தமிழ்நாடு அரசு

முதல் வகுப்பு

முதல் பருவம்

தொகுதி 1

தமிழ்

ENGLISH

விற்பனைக்கு அன்று

தீண்டாமை மனிதநேயமற்ற செயலும் பெருங்குற்றமும் ஆகும்

தமிழ்நாடு அரசு இலவசப்பாடநூல்
வழங்கும் திட்டத்தின்கீழ்
வெளியிடப்பட்டது

பள்ளிக் கல்வித்துறை

© தமிழ்நாடு அரசு
முதல் பதிப்பு – 2012
திருத்திய பதிப்பு – 2013
மறுபதிப்பு – 2015

(பொதுப் பாடத்திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்பட்ட முப்பருவ நூல்)

பாடநூல் உருவாக்கமும் தொகுப்பும்

மாநிலக் கல்வியியல் ஆராய்ச்சி மற்றும் பயிற்சி நிறுவனம்

கல்லூரிச் சாலை, சென்னை – 600 006.

நூல் அச்சாக்கம்

தமிழ்நாடு பாடநூல் மற்றும் கல்வியியல் பணிகள் கழகம்

கல்லூரிச் சாலை, சென்னை – 600 006.

இந்நூல் 80 ஜி. எஸ். எம். மேப்லித்தோ தாளில் அச்சிடப்பட்டுள்ளது.

விலை : ரூ.

வெப் ஆப்செட் முறையில் அச்சிட்டோர் :

பாடநூல் வலைதளம்

www.textbooksonline.tn.nic.in

நாட்டுப்பண்

ஜன கண மன அதிநாயக ஜய ஹே
பாரத பாக்ய விதாதா
பஞ்சாப ஸிந்து குஜராத மராட்டா
திராவிட உத்கல பங்கா
விந்திய ஹிமாசல யமுனா கங்கா
உச்சல ஜலதி தரங்கா
தவ சுப நாமே ஜாகே
தவ சுப ஆசிஸ மாகே
காஹே தவ ஜய காதா
ஜன கண மங்கள தாயக ஜய ஹே
பாரத பாக்ய விதாதா
ஜய ஹே ஜய ஹே ஜய ஹே
ஜய ஜய ஜய ஜய ஹே!

– மகாகவி இரவீந்திரநாத தாகூர்.

நாட்டுப்பண் – பொருள்

இந்தியத் தாயே! மக்களின் இன்ப துன்பங்களைக் கணிக்கின்ற நீயே எல்லாருடைய மனத்திலும் ஆட்சி செய்கிறாய்.

நின் திருப்பெயர் பஞ்சாபையும், சிந்துவையும், கூர்ச்சரத்தையும், மராட்டியத்தையும், திராவிடத்தையும், ஒரிசாவையும், வங்காளத்தையும் உள்ளக் கிளர்ச்சி அடையச் செய்கிறது.

நின் திருப்பெயர் விந்திய, இமயமலைத் தொடர்களில் எதிரொலிக்கிறது; யமுனை, கங்கை ஆறுகளின் இன்னொலியில் ஒன்றுகிறது; இந்தியக் கடலலைகளால் வணங்கப்படுகிறது.

அவை நின்னருளை வேண்டுகின்றன; நின் புகழைப் பரவுகின்றன.

இந்தியாவின் இன்ப துன்பங்களைக் கணிக்கின்ற தாயே! உனக்கு

வெற்றி! வெற்றி! வெற்றி!

THE NATIONAL ANTHEM

Jana–gana-mana-adhinayaka jaya he
Bharata-bhagya-vidhata.
Punjaba-Sindhu-Gujarata-Maratha-
Dravida-Utkala-Banga
Vindhya-Himachala-Yamuna-Ganga
Uchchhala-jaladhi-taranga
Tava subha name jage,
Tava Subha asisa mage,
Gahe tava jaya-gatha.
Jana-gana-mangala-dayaka jaya he
Bharata-bhagya-vidhata
Jaya he, jaya he, jaya he,
Jaya jaya, jaya, jaya he.

- Rabindranath Tagore.

SHORT VERSION

Jana-gana-mana-adhinayaka jaya he
Bharata-bhagya-vidhata.
Jaya he, jaya he, jaya he
Jaya jaya, jaya, jaya he.

AUTHENTIC ENGLISH TRANSLATION OF THE NATIONAL ANTHEM

Thou art the ruler of the minds of all people,
Thou dispenser of India's destiny.
Thy name rouses the hearts of the Punjab, Sind,
Gujarat and Maratha, of Dravid, Orissa and Bengal.
It echoes in the hills of the Vindhyas and Himalayas,
mingles in the music of the Yamuna and Ganges
and is chanted by the waves of the Indian Sea.
They pray for Thy blessings and sing Thy praise
The saving of all people waits in Thy hand,
Thou dispenser of India's destiny.
Victory, Victory, Victory to Thee.

தமிழ்த்தாய் வாழ்த்து

நீராருங் கடலுடுத்த நிலமடந்தைக் கெழிலொழுகும்
சீராரும் வதனமெனத் திகழ்பரதக் கண்டமிதில்
தெக்கணமும் அதிற்சிறந்த திராவிடநல் திருநாடும்
தக்கசிறு பிறைநுதலும் தரித்தநறுந் திலகமுமே!
அத்திலக வாசனைபோல் அனைத்துலகும் இன்பமுற
எத்திசையும் புகழ்மணக்க இருந்தபெருந் தமிழணங்கே!
தமிழணங்கே!
உன் சீரிளமைத் திறம்வியந்து செயல்மறந்து வாழ்த்துதுமே!
வாழ்த்துதுமே!
வாழ்த்துதுமே!

– 'மனோன்மணியம்' பெ. சுந்தரனார்.

தேசிய ஒருமைப்பாட்டு உறுதிமொழி

'நாட்டின் உரிமை வாழ்வையும் ஒருமைப்பாட்டையும் பேணிக் காத்து வலுப்படுத்தச் செயற்படுவேன்' என்று உளமார நான் உறுதி கூறுகிறேன்.

'ஒருபோதும் வன்முறையை நாடேன்' என்றும், சமயம், மொழி, வட்டாரம் முதலியவை காரணமாக எழும் வேறுபாடுகளுக்கும் பூசல்களுக்கும் ஏனைய அரசியல் – பொருளாதாரக் குறைபாடுகளுக்கும் அமைதி நெறியிலும் அரசியல் அமைப்பின் வழியிலும் நின்று தீர்வு காண்பேன்' என்றும் நான் மேலும் உறுதியளிக்கிறேன்.

உறுதிமொழி

இந்தியா எனது நாடு. இந்தியர் அனைவரும் என் உடன் பிறந்தவர்கள். என் நாட்டை நான் பெரிதும் நேசிக்கிறேன். இந்நாட்டின் பழம்பெருமைக்காகவும் பன்முக மரபுச் சிறப்புக்காகவும் நான் பெருமிதம் அடைகிறேன். இந்நாட்டின் பெருமைக்குத் தகுந்து விளங்கிட என்றும் பாடுபடுவேன்.

என்னுடைய பெற்றோர், ஆசிரியர்கள், எனக்கு வயதில் மூத்தோர் அனைவரையும் மதிப்பேன்; எல்லாரிடமும் அன்பும் மரியாதையும் காட்டுவேன்.

என் நாட்டிற்கும் என் மக்களுக்கும் உழைத்திட முனைந்து நிற்பேன். அவர்கள் நலமும் வளமும் பெறுவதிலேதான் என்றும் மகிழ்ச்சி காண்பேன்.

INVOCATION TO GODDESS TAMIL

Bharat is like the face beauteous of Earth clad in wavy seas;

Deccan is her brow crescent-like on which the fragrant 'Tilak' is the blessed Dravidian land.

Like the fragrance of that 'Tilak' plunging the world in joy supreme reigns Goddess Tamil with renown spread far and wide.

Praise unto 'You, Goddess Tamil, whose majestic youthfulness, inspires awe and ecstasy.'

THE NATIONAL INTEGRATION PLEDGE

"I solemnly pledge to work with dedication to preserve and strengthen the freedom and integrity of the nation."

"I further affirm that I shall never resort to violence and that all differences and disputes relating to religion, language, region or other political or economic grievances should be settled by peaceful and constitutional means."

A STUDENT'S VOW BEFORE MOTHER INDIA

Name :

Class : School :

I shall overcome the obstacles raised by caste and communal prejudices and work for the greatness of my Motherland putting to the fullest use the benefits that I derive through education.

Vande mataram!

Signature

பொருளடக்கம்

தமிழ் (1 - 42)

பாடம்	தலைப்பு	பக்கம்
1.	ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம்	3
2.	என் பந்து	9
3.	செல்லக்குட்டி	20
4.	காய்! காய்! காய்!	29

ENGLISH (43 - 76)

Lesson	Topic	Page No.
	Be Good To Elders	45
1.	Look at Me	49
2.	Ponni's House	58
3.	We are Friends	66

தமிழ்

முதல் வகுப்பு

முதல் பருவம்

திறன் பகுதி	திறன்	பாடப்பகுதி
பார்த்தறிதல்	படங்களைப் பார்த்துப் பெயர்களைக் கூறுதல்.	1. ஆடிப் பாடி மகிழ்வோம்
கேட்டல்	ஓசை நயமிக்க குழந்தைப் பாடல்களைக் கேட்டல்.	1. ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம் 2. என் பந்து 3. செல்லக் குட்டி 4. காய்! காய்! காய்!
பேசுதல்	தன் பெயர், குடும்பத்தினர் பெயர், ஊர்ப்பெயர் கூறுதல். படத்தைப் பார்த்துப் பெயர் சொல்லுதல்.	1. ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம் 2. என் பந்து 3. செல்லக் குட்டி 4. காய்! காய்! காய்!
படித்தல்	தெரிந்த எழுத்துகளைக் கொண்ட சொற்களைப் படித்தல். தெரிந்த எழுத்துகளை அடையாளப்படுத்துதல்.	2. என் பந்து 3. செல்லக் குட்டி 4. காய்! காய்! காய்!
எழுதுதல்	நேர்கோடு, வளைகோடு, சாய்வுகோடுகளை வரைதல்.	1. ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம் 2. என் பந்து 3. செல்லக் குட்டி 4. காய்! காய்! காய்!
படைப்பாற்றல்	படங்களுக்குப் பொருத்தமான வண்ணம் தீட்டுதல்.	1. ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம் 2. என் பந்து 3. செல்லக் குட்டி 4. காய்! காய்! காய்!
நடைமுறை இலக்கணம்	ஒத்த ஓசையுடைய சொற்களை இனங்காணல். குறிலை நெடிலாகவும், நெடிலைக் குறிலாகவும் மாற்றி எழுதுதல்.	1. ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம் 3. செல்லக் குட்டி 4. காய்! காய்! காய்!
சொற் களஞ்சியப் பெருக்கம்	அனைத்துப் பாடங்கள்	

ஆடுவோம்! பாடுவோம்!

1 ஆடிப்பாடி மகிழ்வோம்

படத்திலுள்ள உயிரினங்கள் என்னென்ன செய்கின்றன என்பதனைக் குறித்துக் குழந்தைகளைப் பேசச்செய்யவும்.

டம் டம்... டும் டும்... கச்சேரி

காக்கா அந்தப்பக்கம் கா, கா, கா...

கிளி இந்தப்பக்கம் கீ, கீ, கீ....

குயில் மரத்தில் கூ, கூ, கூ...

கோழி கூரையில் கொக், கொக்,கொக்...

பசுவும் கன்றும் மா, மா, மா...

பதுங்கும் பூனை மியாவ், மியாவ், மியாவ்...

மேயும் ஆடு மே, மே, மே...

காக்கும் நாய் லொள், லொள், லொள்...

டம் டம் ... டும் டும் ... கச்சேரி

நடக்குது பாரு ஊருக்குள்ளே.

டம் டம் ... டும் டும் ... கச்சேரி

விளையாடலாம் வாங்க!

ஒலி எழுப்பி விளையாடுவோம்

- குழந்தைகளை இரு குழுக்களாகப் பிரித்து எதிரெதிர் வரிசையில் நிற்கச் செய்யவும்.
- ஒரு குழுவில் உள்ள ஒவ்வொரு குழந்தையின் காதிலும் பறவைகள், விலங்குகள், வாகனங்களின் பெயர்களுள் ஒன்றனைச் சொல்லவும்.

- அதே பெயர்களை மற்றொரு குழுவில் உள்ள குழந்தைகளின் காதுகளில் சொல்லவும்.
- ஆசிரியர் கையொலி எழுப்பியவுடன், குழந்தைகள் தமக்குச் சொல்லப்பட்ட பறவை அல்லது விலங்கினைப்போல ஒலி எழுப்பிக்கொண்டே, தன் இணையைத் தேடிச் சேர்ந்துகொள்ளச் செய்யவும்.

கலையும் கைவண்ணமும்

வண்ணக்கோலங்கள் உருவாக்குவோம்

- ❖ ஒரு பெரிய கோலம் (ரங்கோலி) வரையவும், குழந்தைகளை அதன்மேல் சிறு இலைகள், பூக்கள், சோழிகள், விதைகள், மணல், சிப்பி, வண்ணப் பொடிகள் போன்றவற்றைக் கொண்டு அழகுபடுத்தச் சொல்லவும்.
- ❖ பல வண்ணப்பொடிகளை ஒன்றாகக் கலந்து வேறு வண்ணங்களை உருவாக்கச் சொல்லவும்.

பொருத்தமான நிழலைக் கண்டுபிடிப்பேன்

இணைந்து செய்வோம்

பூனை, பாலைக் குடிப்பதற்கு வழிகாட்டுவோம்

கலையும் கைவண்ணமும்

புள்ளிகளை இணைத்து வண்ணம் தீட்டுவேன்

கலையும் கைவண்ணமும்

விடுபட்டதனை வரைந்து வண்ணம் தீட்டுவேன்

வரைந்து காட்டுவேன்

சிவப்பு வண்ணமிட்ட இடத்திலிருந்து தொடங்கவும்.

2 என் பந்து

சின்னச் சின்னப் பந்து
சிறுமி ஆடும் பந்து
வண்ண வண்ணப் பந்து
வானில் பாயும் பந்து
குட்டிக் கையால் தட்டினால்
குதித்து ஓடும் பந்து
எட்டி ஓங்கி உதைத்தால்
எங்கோ போகும் பந்து!

விளையாடலாம் வாங்க!

- குழந்தைகளை வட்டமாக நிற்கச் செய்யவும்.
- ஆசிரியர் வட்டத்தின் நடுவில் நின்று, ஒவ்வொரு குழந்தையின் பெயரைக் கூறிக்கொண்டே அக்குழந்தைக்குப் பந்தைப் போடவும். இவ்வாறு தொடர்ந்து சில சுற்றுகள் விளையாடவும்.
- ஆசிரியர் விளையாடியதைப் போன்று ஒவ்வொரு குழந்தையையும் விளையாடச் சொல்லவும்.
- குழந்தைகளுக்குத் தங்கள் பெயர்கள் ஒருவருக்கொருவர் நன்கு அறிமுகம் ஆகும்வரை தொடர்ந்து விளையாடச் செய்யவும்.

என் குடும்பம்

என் குடும்பம் பற்றிச் சொல்லவா... ?

என் அம்மா பெயர் தேன்மொழி.

என் அப்பா பெயர் கபிலன்.

என் தம்பி பெயர் இனியன்.

என் தாத்தா பெயர் அறிவொளி.

என் பாட்டி பெயர் அரசம்மாள்.

என் பெயர் கார்குழலி.

உன் குடும்பத்தினரின் புகைப்படங்களை ஒட்டி அவர்களைப் பற்றிக் கூறுக.

- படத்திலுள்ளவை பற்றிக் குழந்தைகளைப் பேசச் சொல்லவும்.
- குழந்தைகளுக்குத் தெரிந்த ப, ம, பா, மா எழுத்துகளில் தொடங்கும் பொருள்களின் பெயர்களையும் குழந்தைகளின் பெயர்களையும் கூறச் சொல்லவும்.

நான் சொல்வேன்

படம்

பட்டம்

மரம்

பம்பரம்

பழம்

வரைந்து காட்டுவேன்

சிவப்பு வண்ணமிட்ட இடத்திலிருந்து தொடங்கவும்.

எழுதிப் பழகுவேன்

ட ட ட ட ட ட ட ட ட ட

ப ப ப ப ப ப ப ப ப ப

ம ம ம ம ம ம ம ம ம ம

ர ர ர ர ர ர ர ர ர ர

ழ ழ ழ ழ ழ ழ ழ ழ ழ ழ

படம் பார்த்துப் பெயர் எழுதுவேன்

பட்டம்

பழம்

பம்பரம்

பட்டம் பழம் பம்பரம்

பட்டம் பழம் பம்பரம்

பட்டம் பழம் பம்பரம்

பட்டம் பழம் பம்பரம்

நான் சொல்வேன்

பாப்பா

பா

மாம்பழம்

மா

பாய்

ய

வரைந்து காட்டுவேன்

சிவப்பு வண்ணமிட்ட இடத்திலிருந்து தொடங்கவும்.

எழுதிப் பழகுவேன்

டா	டா	டா	டா	டா	டா	டா	டா
பா	பா	பா	பா	பா	பா	பா	பா
மா	மா	மா	மா	மா	மா	மா	மா
யா	யா	யா	யா	யா	யா	யா	யா
ரா	ரா	ரா	ரா	ரா	ரா	ரா	ரா
ழா	ழா	ழா	ழா	ழா	ழா	ழா	ழா

படம் பார்த்துப் பெயர் எழுதுவேன்

பாப்பா

மாம்பழம்

பாய்

பாப்பா	மாம்பழம்	பாய்
பாப்பா	மாம்பழம்	பாய்
பாப்பா	மாம்பழம்	பாய்
பாப்பா	மாம்பழம்	பாய்
பாப்பா	மாம்பழம்	பாய்
பாப்பா	மாம்பழம்	பாய்

தெரிந்த எழுத்துகளை வட்டமிடுவேன்

பாம்பு	பக்கம்	பந்தயம்
பப்பாளி	பண்டம்	மாம்பழம்
பார்	மயில்	தாத்தா

நானே படிப்பேன்; நானே எழுதுவேன்

பாடம் பாப்பா பம்பரம் பட்டம்

படம் மடம் மட்டம் யார்

மாடம் மாமரம் மரம் பட பட

மட மட பாய்

பார் பார் பட்டம் பார்!
பார் பார் பம்பரம் பார்!

படத்தின் பெயரைக் கோடிட்டு இணைப்பேன்

மரம்

மாம்பழம்

பம்பரம்

பாய்

படத்தின் முதல் எழுத்தை எழுதுவேன்

[ம] த்தளம்

[ ] யில்

[ ] லர்

[ ] னை

[ ] ப்பா

[ ] ன்

இணைந்து செய்வோம்

நாமே நிரப்புவோம்

ப	ட்		ம்
ப	ட		
ர			
மா	ம		ம்
	ம்		

நான் பேசுவேன்

எனக்கு விருப்பமான விளையாட்டைச் சொல்லட்டுமா!

★ செய்தித்தாளைக் கொடுத்து குழந்தைகளுக்குத் தெரிந்த எழுத்துகளை வட்டமிடச் செய்யவும்

இணைந்து செய்வோம்

சொல் உருவாக்குவோம்

பாடம்

சொற்களைச் சேர்த்து எழுதுவேன்

வேறுபட்டதனைக் ✕ குறியிடுவேன்

பா	பாடம்	பாப்பா	~~பம்பரம்~~
ப	படம்	பட்டம்	பாடம்
ம	மரம்	மாமரம்	மட்டம்
மா	மாமரம்	மாடம்	மரம்

நாங்கள் படிப்போம்...

பட்டம்

படத்திலுள்ள செயல்களைப் பற்றிக் குழந்தைகளைக் கூறச் செய்யவும்.
படத்திலுள்ள சொற்களைப் படிக்கச் செய்யவும்.

3 செல்லக்குட்டி

சின்னச் சின்ன நாய்க்குட்டி
செல்லமான நாய்க்குட்டி
பள்ளிக்கூடம் விட்டு வந்தால்
பாய்ந்து வரும் நாய்க்குட்டி
கொஞ்சம் நானும் பக்கம் வந்தால்
கொஞ்சி வரும் நாய்க்குட்டி
எட்டாத் தூரம் செல்லும் பந்தை
எடுத்து வரும் நாய்க்குட்டி.

குழந்தைகள் வளர்க்க விரும்பும் செல்ல விலங்குகள் எவை? ஏன்? என்பன குறித்துக் குழந்தைகளுடன் கலந்துரையாடவும்.

விளையாடலாம் வாங்க!

கண்ணைக் கட்டு! விளையாடு!

மூக்கு மேலே ஒட்டிடாதீங்க

கரும்பலகையில் ஒரு நாய்க்குட்டியின் படத்தை வரையவும் அல்லது ஒட்டவும். ஒவ்வொரு குழந்தையாகக் கண்களை மூடிக்கொண்டு நாய்க்குட்டியின் நெற்றியில் பொட்டு ஒட்டச் செய்யவும்.

- படத்திலுள்ளவை பற்றிக் குழந்தைகளைப் பேசச் செய்யவும்.
- குழந்தைகளுக்குத் தெரிந்த க, ச, த, ந எழுத்துகளில் தொடங்கும் பொருள்களின் பெயர்களையும் குழந்தைகளின் பெயர்களையும் கூறச் செய்யவும்.

நான் சொல்வேன்

கரகம்

காகம்

சக்கரம்

தச்சர்

தாத்தா

நகம்

நாய்

வரைந்து காட்டுவேன்

சிவப்பு வண்ணமிட்ட இடத்திலிருந்து தொடங்கவும்.

எழுதிப் பழகுவேன்

க	க	க	க	க	க	க
ச	ச	ச	ச	ச	ச	ச
த	த	த	த	த	த	த
ந	ந	ந	ந	ந	ந	ந

சக்கரம்

சக்கரம் சக்கரம் சக்கரம்

தாத்தா

தாத்தா தாத்தா தாத்தா

நாய்

நாய் நாய் நாய்

தச்சர்

தச்சர் தச்சர் தச்சர்

நான் நிரப்புவேன்

க ☐☐ ம்

☐ க ☐

த ☐ ச ☐

தாத் ☐

☐ ய்

ந ☐ ம்

படத்தின் பெயரை எழுதுவேன்

நான் பேசுவேன்

என் ஊரில் நடந்த விழாவைப்பற்றிச் சொல்லட்டுமா... ?

நான் சொல்வேன்

மாங்காய்

பாகற்காய்

ங ற

வரைந்து காட்டுவேன்

வ வ வ வ வ வ வ

எழுதிப் பழகுவேன்

ங ங ங ங ங ங ங

ற ற ற ற ற ற ற

மாங்காய்

மாங்காய் மாங்காய் மாங்காய்

பாகற்காய்

பாகற்காய் பாகற்காய்

நானே படிப்பேன்; நானே எழுதுவேன்

கம்பம் தந்தம் சாயம் காயம்

நகம் மாம்பழம் நாட்டம்

மாதம் தச்சர் தாயம் யாழ்

சத்தம் மாங்காய் பாகற்காய்

சங்கம் மாற்றம் நாற்றம் தங்கம்

பார் பார் பாப்பா பார்!
பார் பார் தாத்தா பார்!

இணைந்து செய்வோம்

சொல் உருவாக்குவோம்

பழம் ....

....

....

....

சொற்களை வகைப்படுத்துவோம்

(பட்டம், சாயம், மட்டம், காயம், சட்டம், தாயம், வட்டம், கட்டம், மாயம்)

பட்டம்	தாயம்
.....	.....
.....	.....
.....	.....
.....	.....

தெரியாத எழுத்தை வட்டமிட்டு நீக்கி எழுதுவேன்

(எ.கா)

ப ண் ட ம் -	படம்	மகுடம் -	_____
பட்டணம் -	_____	பயணம் -	_____
மதுரம் -	_____	பழனம் -	_____

பிடித்தது எது ? அதுவாக மாறுவேன் !

கொக்கரக்கோ... கோ
நான்தான் சேவல்.
நான் ஊரையே எழுப்புவேன்;
உங்களை யார் எழுப்புவாங்க ?

என்னை உங்களுக்குப் பிடிக்கும்;
ஆனா உதைப்பீங்க.
நான் யார் கண்டுபிடிங்க.

குழந்தைகளுக்குப் பிடித்ததைக் கேட்டு, அதுவாக மாறி நடிக்கச் செய்யவும்.

குழுவாகச் செய்வோம்

உருவங்கள் செய்வோம்

- ★ குழந்தைகளிடம் களிமண்ணைக்கொடுத்து முறையே இரண்டு, மூன்று, நான்கு, ஐந்து விரல்களைக் கொண்டு உருட்டச் செய்யவும்.
- ★ சிறுசிறு உருண்டைகள் செய்து, துளையிட்டு உலர வைக்கவும். உலர்ந்தபின் வண்ணம் தீட்டி மாலைகள் உருவாக்கி மகிழச் செய்யவும்.
- ★ களிமண்ணைக்கொண்டு விரும்பும் உருவங்களைச் செய்து, மகிழச் செய்யவும்.

நாங்கள் படிப்போம்...

ஒலிகள்

பட்.... பட்...

டம்... டம்...

படப்.... படப்....

தட... தட...

மட... மட...

படத்திலுள்ள நிகழ்வுகளைப் பற்றிக் குழந்தைகளைக் கூறச் சொல்லவும். சொற்களைப் படிக்கச் செய்யவும்.

4 காய்! காய்! காய்!

இவ்வளவு வேணுமா பாகற்காய் ?
அத்துடன் வேணும் பீர்க்கங்காய்!
இவ்வளவு வேணுமா பீர்க்கங்காய் ?
அத்துடன் வேணும் கத்தரிக்காய்!
இவ்வளவு வேணுமா கத்தரிக்காய் ?
அத்துடன் வேணும் வாழைக்காய்!
இவ்வளவு வேணுமா வாழைக்காய் ?
அத்துடன் வேணும் முருங்கைக்காய்!
இவ்வளவு வேணுமா முருங்கைக்காய் ?
அத்துடன் வேணும் சுண்டைக்காய்!
இன்னும் வேணுமா உனக்கு ?
எல்லாம் வேணுமே எனக்கு!

ஆசிரியர் காய் காய் என்று கூறிக் குழந்தைகளைத் தங்களுக்குத் தெரிந்த காயின் பெயரை அச்சொல்லோடு இணைத்துக் கூறச் செய்யவும். (எ.கா) காய் காய் வாழைக்காய்.

- படத்திலுள்ளவை பற்றிக் குழந்தைகளைப் பேசச் செய்யவும்.
- குழந்தைகளுக்குத் தெரிந்த வ, வா, எழுத்துகளில் தொடங்கும் பொருள்களின் பெயர்களையும் குழந்தைகளின் பெயர்களையும் கூறச் செய்யவும்.

நான் சொல்வேன்

கப்பல்

கண்

பலா

வயல்

வானம்

மான்

ல வ ன் ண்

வரைந்து காட்டுவேன்

சிவப்பு வண்ணமிட்ட இடத்திலிருந்து தொடங்கவும்.

எழுதிப் பழகுவேன்

ல ல ல ல ல ல

வ வ வ வ வ வ

ன ன ன ன ன ன

ண ண ண ண ண ண

கப்பல்

கப்பல் கப்பல் கப்பல் கப்பல்

பலா

பலா பலா பலா பலா

வானம்

வானம் வானம் வானம் வானம்

கண்

கண் கண் கண் கண்

நான் சொல்வேன்

மஞ்சள்

மத்தளம்

காளான்

ள ஞ

வரைந்து காட்டுவேன்

சிவப்பு வண்ணமிட்ட இடத்திலிருந்து தொடங்கவும்.

எழுதிப் பழகுவேன்

ள ள ள ள ள ள ள

ஞ ஞ ஞ ஞ ஞ ஞ ஞ

எழுதிப் பழகுவேன்

மத்தளம் மத்தளம் மத்தளம்

மத்தளம்

காளான் காளான் காளான்

காளான்

மஞ்சள் மஞ்சள் மஞ்சள்

மஞ்சள்

இணைந்து செய்வோம்

தெரிந்த எழுத்துகளுக்கு வண்ணமிடுவோம்

நானே படிப்பேன்; நானே எழுதுவேன்

நாள் வாய் மான் வணக்கம்
மக்கள்
வற்றல் பலா மணல் வயல்
பண்டம்
கப்பல் தாழ்ப்பாள் மத்தளம் காளான்
காளான் பார் வண்ணப்பட்டம்

பார்

வண்ணப்

எழுத்துகளை இணைத்துச் சொல் உருவாக்குவேன்

ல்: ப, க, பா, வா

ப	ல்

ய்: தா, நா, கா, பா

தா	ய்

யம்: தா, கா, சா, மா

தா	ய	ம்

எழுத்துகளை முறைப்படுத்திச் சொல்லாக்குவேன்

ல்	வ	ய				வ	ய	ல்	
ம்	ப	ண்	ட						
ர்	ம	ல							
ச	ம்	பா	ய						
ம்	க்	க	ண	வ					

தெரிந்த எழுத்துகளை வட்டமிடுவேன் வட்டமிடாத எழுத்துகளைப் படித்து எழுதுவேன்

ப் ழ ஞா ழா
க ள ட ந ஙா
ஞ ங ச வ ப
யா ற
ண ன் ய
ங் ழ் ந்
னா த
ஞ் ர் சா
க் வ்
ம பா ல

துணைஎழுத்தைச் சேர்த்து எழுதுவேன்

(எ.கா.) நகம் – நாகம்

வனம் – _____

பலம் – _____

வரம் – _____

கலம் – _____

படத்துக்குரிய பெயரை எடுத்து எழுதுவேன்

படம்	பழம்	நகம்	நாகம்	வானம்	வனம்

கலையும் கைவண்ணமும்

படத்துக்குரிய வண்ணம் தீட்டுவேன்

படத்துக்குரிய பெயரை எடுத்து எழுதுவேன்

(மத்தளம், சத்தம், பாகற்காய், யாழ், தந்தம்)

இணைந்து செய்வோம்

ஒளிந்துள்ள சொற்களைக் கண்டுபிடிப்போம்

ஆலமரம்

(எ.கா.)

ஆரம்

.....

.....

.....

.....

பல்லாவரம்

.....

.....

.....

.....

இணைந்து செய்வோம்

இடை எழுத்தை மாற்றிப் புதிய சொல்லை உருவாக்குவோம்

(எ.கா.) பா [ச] ம் – பா [ட] ம்

பா [ ] ம்

பா [ ] ம்

பா [ ] ம்

சிந்திக்கலாமா ?

இந்த நண்பர் குழுவில் நீ இருந்தால் என்ன செய்வாய் ? ஆசிரியருடன் கலந்துரையாடுக.

நாங்கள் படிப்போம்...

காய்கள்

காய்கள் வாங்கலாம்

காய் காய்

காய் காய்

காய் காய்

காய் காய்

படத்திலுள்ள செயல்களைப் பற்றிக் குழந்தைகளைக் கூறச் செய்யவும்.

படத்திலுள்ள சொற்களைக் காயுடன் இணைத்துப் படிக்கச் செய்யவும்.

‘என்னால் முடியும், நான் செய்தேன்’

('I can, I did')

மாணவர்கள் கற்றல் செயல்பாடுகள் பதிவேடு

பாடம் :

வ. எண்	நாள்	பாட எண்	பாடத்தலைப்பு	செயல் பாடுகள்	குறிப்புரை

கணிதவியல்

மேனிலை – முதலாம் ஆண்டு

தொகுதி – II

பாடநூல் மேம்பாட்டுக் குழுவின் பரிந்துரையின் அடிப்படையில் திருத்தப்பட்டது

தீண்டாமை ஒரு பாவச்செயல்
தீண்டாமை ஒரு பெருங்குற்றம்
தீண்டாமை மனிதத்தன்மையற்ற செயல்

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் கழகம்
கல்லூரிச்சாலை, சென்னை–600 006

நூல் முகம்

தமிழ்நாடு அரசின் புதிய கல்விப் பாடத்திட்டம் -2003 வழிகாட்டுதலின்படி மேனிலை முதலாம் ஆண்டிற்காக இக்கணிதப்பாட நூல் இயற்றப்பட்டுள்ளது. இளைஞர்களின் வருங்காலத்தை நிர்ணயிக்கக் கூடியதோடல்லாமல். தங்களுடைய பகுப்பாய்வு மற்றும் சிந்தனைத் திறனையும் வளர்த்து அறிவியல் தொழில்நுட்பத்தின் அடித்தளமாக கணிதம் நிகழ்வதால் இன்றைய அதிவேக அறிவு வளர்ச்சி யுகத்தில் கணிதப் பாடநூல் இயற்றுதல் என்பது சவாலாகவும் சாதனையாகவும் உள்ளது.

அதிகப் பயிற்சி தேவைப்படுகின்ற மாணவர்களுக்கு இந்நூல் பயன்படுவதைப் போன்றே அறிவினை அடுத்த படிநிலைக்கும் கொண்டு செல்ல விரும்பும் மாணவர்களுக்கும் இந்நூல் துணை செய்யும்.

இந்நூலின் ஒவ்வொரு பாடப்பகுதியும் அறிமுகம், விளக்கம், கருத்துருக்கள், கணிதச் செயல்பாடுகள், விடைகள் ஆகியவற்றைக் கொண்டுள்ளது. இவற்றைத் தொடர்ந்து பல்வேறு விதமான கணிதத் தீர்வுச் சான்றுகளும் அளிக்கப்பட்டுள்ளன. இந்நூலில் புதிதாக இணைக்கப்பட்டுள்ள **'சார்புகளும் வரைபடங்களும்'** என்னும் பகுதி இப்பாடநூலின் குறிப்பிடத்தக்க அம்சமாகும். இப்பகுதியில் நுண்கருத்துக்கள் பல பருப்பொருள் நிலையிலான கருத்துக்களாலும் வரைபடங்களாலும் விளக்கப்பட்டுள்ளன.

இந்நூல் கணிதம் பயிற்றுவிக்கும் ஆசிரியர்களுக்கும் பயிலும் மாணவர்களுக்கும் பெருந்துணைபுரியும் என்பதில் எள்ளளவும் ஐயமில்லை. ஏனெனில் இப்பாடப் புத்தகத்தில் **ஐந்நூற்றுக்கும் மேற்பட்ட எடுத்துக்காட்டுகளும். ஆயிரத்திற்கும் மேற்பட்ட பயிற்சி வினாக்களும் இடம்பெற்றுள்ளன.** இவை அனைத்தையும் ஆசிரியர்களே கற்பிக்க வேண்டும் என்று எதிர்பார்ப்பது முற்றிலும் இயலாத ஒன்று, எனவே. ஆசிரியர் கற்பித்த கணித அடிப்படைகளைக் கொண்டு, மாணவர்கள் தாங்களாகவே விடை காண முயல வேண்டும். பயிற்சி வினாக்கள் என்பது பயிலும் மாணவர்களுக்கு என்பதை நினைவில் கொள்ளுதல் வேண்டும். உயர்கல்விக்கு நுழைவாயிலாக '+1 வகுப்பு' நிகழ்வதால் இப்பாடப் புத்தகத்தில் காணும் ஒவ்வொரு கருத்தாக்கத்தையும் கவனமாகப் புரிந்து கொள்ளுதல் வேண்டும்.

இப்பாடப்புத்தகத்தின் சிறப்புகள் :

(i) மாணவர்கள் தாங்களாகவே விடைகாணும் வழிகளைப் புரிந்து கொள்ளக்கூடிய நிலையில் எளிமையானதாகவும். ஆழமாகவும் கணக்குகள் விளக்கப்பட்டுள்ளது,

(ii) கணிதக் கொள்கைகளை விளக்குவதில் மிகுந்த கவனம் மேற்கொள்ளப்பட்டுள்ளது.

(iii) வழிகாட்டுதல் கூறப்பட்டுள்ளதால் மாணவர்கள் தாங்களாகவே பயிற்சி வினாக்களுக்கு விடைகாண முயல வழி ஏற்படுகிறது.

(iv) விளக்கத்திற்குத் தேவையான வரைபடங்கள் ஆங்காங்கே தரப்பட்டுள்ளன, இதனால் கருத்தாக்கங்களின் புரிதிறன் எளிமையாக்கப்பட்டுள்ளது.

(v) கணக்குகள் தக்க கவனத்துடன் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டு நன்றாக தரப்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

இப்புத்தகத்தை மேலும் சீராக்கும் பொருட்டு ஆசிரிய பெருமக்களிடமிருந்தும் மாணவ மணிகளிடமிருந்தும் ஆலோசனைகள் மற்றும் விமர்சனங்களையும் வரவேற்கிறோம்.

கோ. ஸ்ரீனிவாசன்
தலைவர்
ஆசிரியர் குழு

பாடத்திட்டம்

(1) ***அணிகளும் அணிக்கோவைகளும் : <u>அணி இயற்கணிதம்</u>*** – *வரையறைகள், வகைகள், அணிகளின் மீதான செயல்முறைகள், இயற்கணிதப் பண்புகள்,* ***<u>அணிக்கோவைகள்</u>*** – *வரையறைகள், பண்புகள், மதிப்பிடல், காரணி முறை, அணிக்கோவைகளின் பெருக்கல், இணைக்காரணிக் கோவைகள்.* **(18 periods)**

(2) ***வெக்டர் இயற்கணிதம் :*** *வரையறைகள்,* ***<u>வெக்டர் வகைகள்,</u>*** *வெக்டர் கூட்டர், கழித்தல், திசையிலி பெருக்கல், பெருக்கற் பண்புகள்,* ***<u>நிலை வெக்டர்</u>****, வெக்டரை கூறுகளாகப் பிரித்தல், திசைக் கொசைன்கள், திசை விகிதங்கள்.* **(15 periods)**

(3) ***இயற்கணிதம் : <u>பகுதிப் பின்னங்கள்</u>*** – *வரையறைகள், ஒரு படிக் காரணிகள் (ஒரே காரணி மீண்டும் வராமை), ஒருபடிக் காரணிகள் (காரணிகள் மீண்டும் வருதல்), இருபடிக் காரணிகள் (காரணிகள் மீண்டும் வராமை),* ***<u>வரிசை மாற்றங்கள்</u>*** *– எண்ணுதலின் அடிப்படைக் கொள்கைகள், வரிசை மாற்றங்களின் கருத்தியல், பலமுறை வரும் பொருட்களின் வரிசை மாற்றங்கள், பொருட்கள் மீண்டும் ஒரே இடத்தில் இடம்பெறுவதை ஏற்றுக் கொள்ளும் வரிசை மாற்றங்கள், வட்ட வரிசை மாற்றங்கள்,* ***<u>சேர்வுகள், கணிதத் தொகுத்தறிதல், ஈருறுப்புத் தேற்றம்</u>*** *(இயல் எண் அடுக்கு) – மைய உறுப்பு, குறிப்பிட்ட உறுப்புக் காணல்* **(25 periods)**

(4) ***தொடர் முறையும் தொடரும் :*** *வரையறைகள், சில சிறப்பான தொடர் முறைகளும் அவற்றின் தொடர்களும், இசைத் தொடர்முறை, தொடர்முறைகளின் சராசரிகள், விகிதமுறு அடுக்குக்குரிய ஈருறுப்புத் தேற்றம், ஈருறுப்புத் தொடர், தோராய மதிப்பு, கூடுதல் காணல், படிக்குறித் தொடர், மடக்கைத் தொடர் (எளிய கணக்குகள்)* **(15 periods)**

(5) ***பகுமுறை வடிவியல் :*** *நியமப் பாதை, நேர்க்கோடுகள், செங்குத்து வடிவம், துணையலகு வடிவம், பொது வடிவம், புள்ளியிலிருந்து வரையப்படும் செங்கோட்டின் நீளம், நேர்க்கோடுகளின் தொகுப்பு, இரு கோடுகளுக்கு இடையே உள்ள கோணம், இரட்டை நேர்க்கோடுகள், வட்டம் – பொதுச் சமன்பாடு, துணையலகு வடிவம், தொடுகோடு, தொடுகோட்டின் நீளம், தொடுகோட்டிற்கான நிபந்தனை, தொடுகோடுகளின் தொடு நாணின் சமன்பாடு, வட்டங்களின் தொகுப்பு – பொது மைய வட்டங்கள், செங்குத்து வட்டங்கள்* **(23 periods)**

(6) ***திரிகோணமிதி*** **:** *அறிமுகம், திரிகோணமிதி விகிதங்களும் முற்றொருமைகளும்* T-*விகிதங்களின் குறியீடுகள், கூட்டுக் கோணங்கள்* A ± B, *மடங்கு கோணங்கள்* 2A, 3A, A/2. *பெருக்கலை கூட்டல் அல்லது கழித்தல் வடிவில் எழுதுதல், நிபந்தனைக்குட்பட்ட முற்றொருமைகள், திரிகோணமிதி சமன்பாடுகள், முக்கோணத்தின் பண்புகள், முக்கோணங்களின் தீர்வுகள்* (SSS, SAA, SAS *மட்டும்*), *நேர்மாறு திரிகோணமிதி சார்புகள்* **(25 periods)**

(7) ***சார்புகளும் வரைபடங்களும்*** **:** *மாறிலிகள், மாறிகள், இடைவெளிகள், அண்மைப்பகுதி, கார்டீசியன் பெருக்கல், தொடர்பு, சார்பு, சார்பின் வரைபடம், நிலைக்குத்துக்கோடு சோதனை, சார்புகளின் வகைகள் - மேற்கோர்த்தல், ஒன்றுக்கு ஒன்று, சமனி, நேர்மாறு சார்பு, இரு சார்புகளின்-இணைப்பு, கூடுதல், வித்தியாசம், பெருக்கல் மற்றும் வகுத்தல், மாறிலிச் சார்பு, விகிதமுறு சார்பு, படிக்குறிச் சார்பு, தலைகீழி, எண்ணளவைச் சார்பு, மீப்பெரு முழு எண் மற்றும் மீச்சிறு முழு எண் சார்புகள், குறிச்சார்பு, ஒற்றைப்படை மற்றும் இரட்டைப்படைச் சார்பு, திரிகோணமிதிச் சார்புகள், இருபடிச் சார்புகள், இருபடி அசமன்பாடு - சார்பகம் மற்றும் வீச்சகம்.* **(15 periods)**

(8) ***வகை நுண்கணிதம்*** **:** ***<u>சார்பு எல்லை</u>*** *- கருத்தாக்கம், அடிப்படைத் தேற்றங்கள், முக்கிய எல்லைகள்,* ***<u>சார்பின் தொடர்ச்சி</u>*** *- ஒரு புள்ளியில், இடைவெளியில். தொடர்ச்சியற்ற சார்பு,* ***<u>வகையீடு-கருத்தாக்கம்</u>*** *- வகைக்கெழு, சாய்வு, வகையிடலுக்கும் தொடர்ச்சிக்கும் இடையேயான தொடர்பு, வகையிடல் முறைகள் - அடிப்படைக் கொள்கைகள், தேர்ந்த சார்புகளின் வகைக்கெழுக்கள், பிரதியிடல் முறை, துணையலகுச் சார்பு முறை, உட்படு சார்பு முறை உயர் வரிசை வகைக்கெழு,* (3-*ம் வரிசை வரை*) **(30 periods)**

(9) ***தொகையிடல்*** **:** *கருத்தாக்கம், தொகையிடல் வகையிடலின் எதிர்மறை, ஒருபடிச் சார்புகள், பண்புகள், தொகையீடு முறைகள் - பிரித்தெழுதும் முறை, பிரதியிடல் முறை, பகுதித் தொகையிடல், வரையறுத்தத் தொகைகள் - கூட்டுத் தொகையாகக் காணல் (எளிய கணக்குகள்)* **(32 periods)**

(10) ***நிகழ் தகவு*** **:** *வரையறை, கோட்பாடுகள், அடிப்படைத் தேற்றங்கள், சார்புநிலை நிகழ் தகவு, கூட்டு நிகழ் தகவு, பேய்ஸ்-ன் தேற்றம் (நிரூபணமின்றி) எளிய கணக்குகள்.* **(12 periods)**

பொருளடக்கம்

பக்க எண்

7. **சார்புகளும் வரைபடங்களும்** 1

7.1 அறிமுகம் 1

7.2 சார்பு 5

7.2.1 சார்பின் வரைபடம் 10

7.2.2 சார்புகளின் வகைகள் 11

7.3 இருபடி அசமன்பாடுகள் 30

8. **வகை நுண்கணிதம்** 39

8.1 சார்பு எல்லை 39

8.1.1 சில அடிப்படைத் தேற்றங்கள் 42

8.1.2 சில முக்கிய எல்லைகள் 45

8.2 சார்பின் தொடர்ச்சி 56

8.3 வகையீடு-கருத்தாக்கம் 62

8.3.1 வகைக்கெழு-கருத்தாக்கம் 64

8.3.2 வளைவரையின் சாய்வு 66

8.4 வகையிடல் முறைகள் 72

8.4.1 அடிப்படைச் சார்புகளின் வகைக்கெழுக் காணல் 73

8.4.2 நேர்மாறு சார்பின் வகைக்கெழு 86

8.4.3 மடக்கை மூலம் வகைக்கெழுக் காணல் 90

8.4.4 பிரதியிடல் முறை மூலம் வகைக்கெழுக் காணல் 92

8.4.5 துணையலகுச் சார்புகளின் வகைக்கெழுக் காணல் 94

8.4.6 உட்படு சார்புகளின் வகைக்கெழுக் காணல் 95

8.4.7 உயர்வரிசை வகைக்கெழுக்கள் 97

9. ***தொகையிடல்*** 104

9.1 அறிமுகம் 104

9.2 ஒருபடிச் சார்புகள் - தொகையிடல் 108

9.3 தொகையீடு காணும் முறைகள் 113

9.3.1 பிரித்தெழுதி தொகைக் காணல் 114

9.3.2 பிரதியிடல் முறையில் தொகைக் காணல் 120

9.3.3 பகுதித் தொகையிடல் 136

9.4 வரையறுத்தத் தொகை 173

10. *நிகழ்தகவு* 185

10.1 அறிமுகம் 185

10.2 நிகழ்தகவின் வரையறை 188

10.3 நிகழ்தகவின் சில அடிப்படைத் தேற்றங்கள் 194

10.4 சார்புநிலை நிகழ்தகவு 199

10.5 ஒரு நிகழ்ச்சியின் கூட்டு நிகழ்தகவு 209

குறிக்கோள் வினாக்கள் 216

விடைகள் 222

7. சார்புகளும் வரைபடங்களும்
(FUNCTIONS AND GRAPHS)

7.1 அறிமுகம்

தற்போது நாம் கணிதத்தில் பயன்படுத்தி வரும் சார்புகளைப் பற்றிய கருத்துப் படிவங்களை ஆயிலர் (Leonhard Euler) (1707–1783) என்ற தேர்ந்த கணித வல்லுநர் தன்னுடைய மேன்மையான ஆராய்ச்சிகளில் முதன் முதலாக பயன்படுத்தினார். நுண் கணிதத்தில் சார்பு பற்றிய கருத்தியல், ஒரு முக்கியமான கருவியாக பயன்படுகிறது,

சார்பு பற்றிய கோட்பாட்டினை தெளிவாக்க, அதற்கு தேவையானவற்றை முதலில் காண்போம்.

மாறிலி மற்றும் மாறி (Constant and variable) :

ஒரு கணிதச் செயல் முழுமைக்கும் ஒரே மதிப்பினை பெறும் உரு அல்லது கணியம் (quantity), மாறிலி எனப்படும். குறிப்பிட்ட கணிதச் செயலில் வெவ்வேறு மதிப்புகளை பெற இயலுமாறு உள்ள உருவினை மாறி என்போம். பொதுவாக மாறிலிகளை a, b, c, … என்றும் மாறிகளை x, y, z. என்றும் குறிப்பிடுவது வழக்கம்.

இடைவெளிகள் (Intervals) :

மெய்யெண்களை வடிவக் கணிதத்தில் ஒரு எண்கோட்டின் மீது உள்ள புள்ளிகளாகக் குறிக்கப்படும். இது மெய்க்கோடு (real line) என்றழைக்கப்படும்.

படம் *7. 1*

R என்ற குறியீடு மெய்யெண்களின் தொகுதி அல்லது மெய்க்கோட்டினைக் குறிக்கும். மெய்க்கோட்டின் உட்கணமானது குறைந்தது இரண்டு எண்களையும் அதன் இரு உறுப்புகளுக்கு இடையேயுள்ள அனைத்து மெய்யெண்களையும் பெற்றிருந்தால், அதனை ஒரு இடைவெளி எனலாம்.

எடுத்துக்காட்டாக,

(a) $x > 6$ எனுமாறு உள்ள அனைத்து மெய்யெண்கள் x-ன் கணம்.

(b) $-2 \le x \le 5$ எனுமாறு உள்ள அனைத்து மெய்யெண்கள் x-ன் கணம்.

(c) $x < 5$ எனுமாறு உள்ள அனைத்து மெய்யெண்கள் x-ன் கணம் போன்றவை சில இடைவெளிகள் ஆகும்.

ஆனால், அனைத்து இயல் எண்களின் கணம் ஒரு இடைவெளியல்ல. காரணம், இரு விகிதமுறு எண்களுக்கு இடையே கொடுக்கப்பட்ட

கணத்தில் சேர்க்கப்படாத எண்ணற்ற மெய்யெண்கள் உள்ளன. இதேப் போன்று பூச்சியமற்ற மெய்யெண்களின் கணமும் ஒரு இடைவெளியல்ல, இங்கு '0' இல்லாமையால், இது – 1, 1க்கு இடையே உள்ள ஒவ்வொரு மெய்யெண்ணையும் பெற தவறுகிறது.

வடிவக் கணிதப்படி ஒரு மெய்க்கோட்டின் மீதுள்ள கதிர்கள் மற்றும் கோட்டுத்துண்டுகளை இடைவெளிகளாகக் கொள்ளலாம். கோட்டுத் துண்டுகளால் குறிக்கப்படும் இடைவெளிகள் முடிவுறு இடைவெளிகளாகும் (finite intervals). கதிர் மற்றும் மெய்க்கோடால் குறிக்கப்படும் இடைவெளிகள் முடிவற்ற இடைவெளிகளாகும் (infinite intervals). இங்கு முடிவுறு இடைவெளி என்பது முடிவுள்ள எண்ணிக்கையில் மெய்யெண்களைக் கொண்ட இடைவெளி எனப் பொருளாகாது.

ஒரு முடிவுற்ற இடைவெளியானது, அதன் இறுதிப் புள்ளிகளையும் பெற்றிருந்தால் அதனை மூடிய இடைவெளி என்றும் (closed interval) இறுதிப் புள்ளிகளை பெறாவிடில் அதனை திறந்த இடைவெளி (open interval) என்றும் கூறப்படும். திறந்த இடைவெளியைக் குறிக்க சாதாரண அடைப்புக் குறியான "( )"-ஐ பயன்படுத்தப்படுகிறது. மூடிய இடைவெளியினை குறிக்க சதுர அடைப்புக் குறியான "[ ]"-ஐ பயன்படுத்தப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, $3 \notin (3, 4)$, $3 \in [3, 4]$

இடைவெளிகளின் வகைகள் :

	குறியீடு	கணம்	வரைபடம்
முடிவுற்றவை	(a, b)	$\{x / a < x < b\}$	
	$[a, b)$	$\{x / a \le x < b\}$	
	$(a, b]$	$\{x / a < x \le b\}$	
	$[a, b]$	$\{x / a \le x \le b\}$	
முடிவற்றவை	(a, ∞)	$\{x / x > a\}$	
	$[a, \infty)$	$\{x / x \ge a\}$	
	$(-\infty, b)$	$\{x / x < b\}$	
	$(-\infty, b]$	$\{x / x \le b\}$	
	$(-\infty, \infty)$	$\{x / -\infty < x < \infty\}$ அல்லது மெய்யெண்களின் கணம்	

குறிப்பு :

∞ அல்லது – ∞-ஐ பயன்படுத்தி ஒரு மூடிய இடைவெளியை எழுத இயலாது. இவை இரண்டும் மெய்யெண்களை குறிப்பவையல்ல.

***அண்மைப் பகுதி [அ] சுற்றுப்புறம்* (Neighbourhood) :**

ஒரு எண் கோட்டில், ஒரு புள்ளியின் (மெய்யெண்) அண்மைப் பகுதியானது

கொடுக்கப் புள்ளி நடுப்புள்ளியாகக் கொண்டு வரையப்படும். மிகச்சிறிய நீளமுள்ள ஒரு திறந்த இடைவெளியாகும்.

ஒரு தளத்தில், ஒரு புள்ளியின் அண்மைப் பகுதி அப்புள்ளியை மையாகக் கொண்டு வரையப்படும் மிகச்றிய ஆரமுடைய ஒரு திறந்த வட்டத் தட்டாகும்.

ஒரு வெளியில், ஒரு புள்ளியின் அண்மைப்பகுதி அப்புள்ளியை மையமாகக் கொண்ட மிகச்சிறிய ஆரமுடைய ஒரு திறந்த கோளமாகும்.

படம் 7. 2

***சாரா மற்றும் சார்ந்த மாறிகள்* (Independent / dependent variables) :**

முந்தைய வகுப்புகளில், நாம் பல சூத்திரங்களை பார்த்திருக்கிறோம். இவற்றில் பின்வரும் சில சூத்திரங்களை எடுத்துக் கொள்க.

(a) $V = \frac{4}{3}\pi r^3$ (*கோளத்தின் கன அளவு*) (b) $A = \pi r^2$ (*வட்டத்தின் பரப்பு*)

(c) $S = 4\pi r^2$ (*கோளத்தின் புறப்பரப்பு*) (d) $V = \frac{1}{3}\pi r^2 h$ (*கூம்பின் கன அளவு*)

இங்கு (a), (b), (c)-*ல் r-ன் பல்வேறு மதிப்புகளுக்கு* V, A, S *என்ற மாறிகள் பல்வேறு மதிப்புகளை பெறுவதை கவனிக்கவும். எனவே* V, A, S *ஆகியவற்றை சார்ந்த மாறிகள் என்றும், r தனித்து செயல்படுவதால் அதனை சாரா மாறி எனவும் கூறுகிறோம். சூத்திரம்* (*d*)-*ல் r, h என்பன சாரா மாறிகளாகவும்* V *சார்ந்த மாறியாகவும் உள்ளது.*

ஒரு மாறி எந்தவொரு (தன்னிச்சையாக) மதிப்பையும் பெறுமானால் அது சாரா மாறி எனப்படும்.

ஒரு மாறியின் மதிப்பு மற்ற மாறிகளை சார்ந்திருக்குமெனில் அது சார்ந்த மாறி எனப்படும்.

*"பெற்றோர்களின் **இன்பம்** தங்களின் குழந்தைகள் தேர்வில் பெறும் **மதிப்பெண்களைச்** சார்ந்திருக்கிறது."*

***கார்டீசியன் பெருக்கல்* (Cartesian product) :**

A={a_1, a_2, a_3}, B={b_1, b_2} *என்க. கணங்கள்* A, B*யின் கார்டீசியன் பெருக்கல்* A × B *எனக் குறிக்கப்பட்டு*

A × B = $\{(a_1, b_1), (a_1, b_2), (a_2, b_1), (a_2, b_2), (a_3, b_1), (a_3, b_2)\}$ *என வரையறுக்கப்படுகிறது.*

இவ்வாறாக (a, b), $a \in$ A, $b \in$ B *என்ற வகையில் அமைந்த வரிசைச் சோடிகளின் கணம்,* A *மற்றும்* B *என்ற கணங்களின் கார்டீசியன் பெருக்கல் என்று அழைக்கப்படுகிறது.*

வரிசைப்படுத்தப்பட்ட சோடிகளான (a,b)*யும்* (b,a)*யும் மாறுபாடானவை. எனவே பொதுவாக* A × B ≠ B × A

(a, b) *மற்றும்* (b, a) *என்ற வரிசைச் சோடிகள் சமமாக இருக்க வேண்டுமாயின* $a = b$ *என்றிருக்க வேண்டும்.*

எ.கா. 7.1: A = {1, 2}, B = {a, b} *எனில்* A × B, B × A *ஆகியவற்றைக் காண்க.*

***தீர்வு* :** A × B = $\{(1, a), (1, b), (2, a), (2, b)\}$

B × A = $\{(a, 1), (a, 2), (b, 1), (b, 2)\}$

***தொடர்பு* (Relation) :**

நமது அன்றாட வாழ்க்கையில், இரண்டு நபர்களின் உறவுகளான 'மகன் உறவு', 'தந்தை உறவு', 'சகோதரி உறவு' மேலும் இரண்டு பொருட்களை தொடர்புபடுத்த '…விடக் குறைவானது', '…விடப் பெரியது'போன்ற வார்த்தைகளை பயன்படுத்துகிறோம். இரு பொருட்களை இணைக்க வேண்டுமாயின் 'தொடர்பு' மூலம் இணைக்கலாம்.

A, B *என்பன இரு கணங்கள் என்க.* A *யிலிருந்து* B*க்கு உள்ள தொடர்பினை* A → B *என்று குறிக்கப்பட்டு* "A to B" *என்று படிக்கப்படும். இத்தொடர்பு* A × B *என்ற கார்டீசியன் பெருக்கலின் உட்கணமாகும்.*

எ.கா. 7.2: A = {1, 2}, B = {a, b} *எனில்* A → B *மற்றும்* B → A*க்கான சில தொடர்புகளைக் காண்க.*

***தீர்வு* :**

A-*யிலிருந்து* B-*க்கு உள்ள தொடர்பு* A × B*என்ற கார்டீசியன் பெருக்கலின் உட்கணமாகும்.*

A × B = $\{(1, a), (1, b), (2, a), (2, b)\}$

∴*எனவே* A × B-*ன் உட்கணங்களான*

$\{(1, a), (1, b), (2, a), (2, b)\}$, $\{(1, a), (1, b)\}$, $\{(1, b, (2, b)\}$, $\{(1, a)\}$ *என்பவை* A*யிலிருந்து* B*க்கான சில தொடர்புகள் ஆகும்.*

இதே போன்று $B \times A = \{(a, 1), (a, 2), (b, 1), (b, 2)\}$ என்ற கணத்தின் உட்கணங்களான

$\{(a, 1), (a, 2), (b, 1), (b, 2)\}$, $\{(a, 1), (b, 1)\}$, $\{(a, 2), (b, 1)\}$ என்பவை B-யிலிருந்து A-க்கான சில தொடர்புகள் ஆகும்.

7.2 சார்பு (Function) :

தொடர்பின் ஒரு சிறப்பான வகை சார்பு ஆகும். கொடுக்கப்பட்ட தொடர்பில் உள்ள வரிசைச் சோடிகளில், எந்த இரு வரிசைச் சோடிகளுக்கும் ஒரே முதல் உறுப்பும், வேறுபட்ட இரண்டாம் உறுப்பும் இல்லாமலிருப்பின் அந்த தொடர்பினை சார்பு எனலாம். அதாவது சார்பில் உள்ள வரிசைச் சோடிகளில் ஒரே முதல் உறுப்புக்கு இரண்டு வித்தியாசமான இரண்டாம் உறுப்பு இருக்க முடியாது,

அதாவது ஒரு சார்பில் $a_1 = a_2$, $b_1 \neq b_2$ எனுமாறு (a_1, b_1), (a_2, b_2) என்ற வரிசைச் சோடிகள் இடம்பெற இயலாது.

$\{(3, 2), (5, 7), (1, 0), (10, 3)\}$ என்ற தொடர்பினை எடுத்துக் கொள்வோம். இங்கு எந்தவித இரண்டு சோடிகளிலும் முதல் உறுப்பு சமமாக இருந்து இரண்டாம் உறுப்பு வேறுபட்டதாக இல்லை. இதனை அதற்குரிய படத்தின் (படம் 7.3) மூலம் புரிந்து கொள்ளுதல் எளிது.

படம் 7. 3

எனவே இந்த தொடர்பானது ஒரு சார்பு ஆகும்.

மேலும் $\{(3, 5), (3, -1), (2, 9)\}$ என்ற தொடர்பினை எடுத்துக் கொள்வோம். இங்கு $(3, 5)$ மற்றும் $(3, -1)$ என்ற வரிசைச் சோடிகளின் முதல் உறுப்பு 3 என சமமாக இருந்து இரண்டாம் உறுப்புகள் $5, -1$ என வேறுபாடாக அமைந்துள்ளது. (படம் 7.4).

படம் 7. 4

எனவே கொடுக்கப்பட்ட தொடர்பு, சார்பு இல்லை

எனவே **A என்ற கணத்திலிருந்து B என்ற கணத்திற்கு வரையறுக்கப்படும் சார்பு f என்பது, A-ல் உள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பு x-க்கும் B-ல் $f(x)$ என்ற ஒரு தனித்த உறுப்பினை கொடுக்கும் ஒரு தொடர்பாகும் அல்லது விதியாகும்.**

இதனை குறியீட்டில், $f : A \to B$

i.e. $x \to f(x)$ எனக் குறிப்பிடலாம்.

சார்புகளைக் குறிக்க f, g, h போன்ற எழுத்துகளை நாம் பயன்படுத்துகிறோம். இவ்வாறாக A-யின் ஒவ்வொரு உறுப்பும் B-யின் ஒரே ஒரு உறுப்புடன் கொண்டுள்ள தொடர்பு சார்பாகிறது. கணம் A-யினை f என்ற சார்பின் **சார்பகம்** (domain) எனவும் B-யினை

படம் 7. 5

துணைச் சார்பகம் (co-domain) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. A-யில் உள்ள x என்ற உறுப்புக்கு B-யில் தொடர்புள்ள $f(x)$ என்ற உறுப்பினை 'f-ன் கீழ் x-ன் சாயல்' அல்லது பிம்பம் (image) என்று அழைப்பர். A-யின் அனைத்து உறுப்புகளின் சாயல்களின் கணம், 'சார்பு f-ன் வீச்சகம்' எனப்படுகிறது. வீச்சகமானது துணைச் சார்பகத்தின் உட்கணம் என்பதைக் கவனிக்கவும். f-ன் வீச்சுக் கணம், துணைச் சார்பகத்திற்குச் சமமாக இருக்க வேண்டிய அவசியமில்லை. சார்புக்கு ஆங்கிலத்தில் 'mapping' என்றுமொரு பெயர் உண்டு.

எ.கா. 7.3 : A = {1, 2, 3}, B ={3, 5, 7, 8}. A-யிலிருந்து B-க்கு f என்ற தொடர்பு $f : x \to 2x + 1$ அதாவது $f(x) = 2x + 1$ என வரையறுக்கப்படுகிறது, எனில்

(a) $f(1)$, $f(2)$, $f(3)$ காண்க.

(b) A-யிலிருந்து B-க்கு உள்ள தொடர்பு, ஒரு சார்பு எனக் காட்டுக.

(c) சார்பகம், துணைச்சார்பகம், A-யில் உள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பின் சாயல்கள், f-ன் வீச்சகம் ஆகியவற்றைக் கண்டறிக.

(d) வீச்சகமானது துணைச் சார்பகத்திற்கு சமமானதா என்பதனை சரிபார்க்க.

தீர்வு :

(a) $f(x) = 2x + 1$

$f(1) = 2 + 1 = 3$, $f(2) = 4 + 1 = 5$, $f(3) = 6 + 1 = 7$

(b) இங்கு தொடர்பானது{(1,3), (2, 5), (3, 7)} ஆகும்.

இங்கு A-யில் உள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பும் ஒரு தனித்த சாயலை B-யில் பெற்றிருப்பதை தெளிவாக காண முடிகிறது. எனவே f ஒரு சார்பாகும்.

படம் 7. 6

(c) சார்பகம் A = {1, 2, 3}

துணைச் சார்பகம் B = {3, 5, 7, 8}

1-ன் சாயல் 3 ; 2-ன் சாயல் 5 ; 3-ன் சாயல் 7

f-ன் வீச்சகம் {3, 5, 7} ஆகும்.

(d) $\{3, 5, 7\} \neq \{3, 5, 7, 8\}$

எனவே f-ன் வீச்சகமும் துணைச் சார்பகமும் சமமல்ல.

எ.கா. 7.4:

'd' என்ற ஒரு தந்தைக்கு a, b, c என்ற மூன்று மகன்கள் உள்ளனர். மகன்களின் கணத்தை A எனவும் தந்தையை ஒரு ஒற்றையுறுப்பு கணம் B எனவும் கொண்டு

(i) 'மகன் உறவு' என்ற தொடர் $A \rightarrow B$க்கு ஒரு சார்பு எனவும்

(ii) 'தந்தை உறவு' என்ற தொடர்பு $B \rightarrow A$க்கு ஒரு சார்பு அல்ல எனவும் நிரூபிக்க.

தீர்வு :

(i) $A = \{a, b, c\}$, $B = \{d\}$

a என்பவர் dக்கு மகன்

b என்பவர் dக்கு மகன்

c என்பவர் dக்கு மகன்

படம் 7. 7

இந்த உறவு மூலம் (a, d), (b, d), (c, d) என்ற வரிசைச் சோடிகள் கிடைத்துள்ளன. இங்கு A-யில் உள்ள ஒவ்வொரு உறுப்புக்கும் B-ல் ஒரு தனித்த உறுப்பு கிடைக்கப்பெற்றிருப்பதை காண்கிறோம். எனவே 'மகன் உறவானது' A-யிலிருந்து B-க்கு ஒரு சார்பாக அமைகிறது.

(ii) d யானவர் aக்குத் தந்தை

d யானவர் bக்குத் தந்தை

d யானவர் cக்குத் தந்தை

படம் 7. 8

இந்த உறவு மூலம் (d, a), (d, b), (d, c) என்ற வரிசைச் சோடிகள் கிடைத்துள்ளன. இங்கு வரிசைச் சோடிகளில் முதல் உறுப்பான 'd' ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட 3 உறுப்புகள் a, b, cயுடன் தொடர்பு படுத்தப்பட்டுள்ளமையால், சார்பின் வரையறையின்படி இந்த உறவு சார்பல்ல.

எ.கா. 7.5: ஒரு வகுப்பறையில் 7 பெஞ்சுகள் உள்ளன. அவ்வகுப்பின் மாணவர்களின் எண்ணிக்கை 35 ஆகும். ஒரு பெஞ்சில் 6 பேர் உட்கார இயலும். மாணவர்கள் கணத்திலிருந்து பெஞ்சுகள் கணத்திற்கு வரையப்படும் 'அமர்தல்' என்ற தொடர்பு ஒரு சார்பு எனக் காட்டுக. மேலும் கணங்களை மாற்றியமைத்தால் ஏற்படும் தொடர்பின் நிலை யாது?

தீர்வு :

சார்பகக் கணம் மாணவர்களின் கணமாகும். துணைச் சார்பகக் கணம் பெஞ்சுகளின் கணமாகும். ஒவ்வொரு மாணவனும் ஒரே ஒரு பெஞ்சில் மட்டுமே அமர இயலும். மேலும் அனைத்து மாணவர்களுக்கும் உட்கார இடமுள்ளது. எனவே சார்பின் கொள்கையின்படி ''ஒவ்வொரு மாணவனும் ஒரே ஒரு (unique) பெஞ்சின் மீது அமர்கிறான்'. எனவே 'அமர்தல்' என்ற தொடர்பு மாணவர்களின் கணத்திற்கும் பெஞ்சுகளின் கணத்திற்கும் இடையே ஒரு சார்பு ஆகும்.

நாம் கணங்களை பரிமாற்றினால் பெஞ்சுகளின் கணம், சார்பக கணமாகவும் மாணவர்களின் கணம் துணைச் சார்பகக் கணமாகவும் மாறும். இங்கு ஒரே பெஞ்சில் ஒன்றுக்கு மேலான மாணவர்கள் (பிம்பங்கள்) அமர முடியும். இது சார்பின் கொள்கைக்கு முரணானது. அதாவது சார்பகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பும் ஒரே ஒரு பிம்பத்தினை மட்டுமே கொண்டிருக்க வேண்டும். எனவே கணங்களை பரிமாற்றினால் ஏற்படும் 'அமர்தல்' தொடர்பு ஒரு சார்பல்ல.

குறிப்பு :

$f : A \to B$ *என்ற சார்பினை எடுத்துக் கொள்வோம்.*

அதாவது $x \to f(x)$. *இங்கு* $x \in A$, $f(x) \in B$.

'$f(x)$'-ஐ 'f of x' எனப் படிக்க வேண்டும். f என்ற சார்பின் x-இடத்து மதிப்பு $f(x)$ ஆகும். (இது f-ன் கீழ் x-ன் சாயலாகும்) $y = f(x)$ என நாம் எழுதும்போது, f என்ற குறியீடு சார்பின் பெயரையும் x என்பது சாரா மாறியினையும் மற்றும் y என்பது சார்ந்த மாறியினையும் குறிக்கின்றது.

தெளிவாக, $f(x)$- ல் f என்பதே சார்பின் பெயராகும். $f(x)$ என்பதல்ல. ஆயினும் சார்பு f எந்த மாறியினால் உருவாக்கப்பட்டது என்பதை தெரிந்து கொள்ளும் வகையில் நாம் சார்பினை $f(x)$ என்றும் குறிக்கலாம்.

எ.கா. 7.6: *$f : R \to R$ என்ற சார்பானது $y = f(x) = x^2$ என வரையறுக்கப்பட்டால், சார்பின் பெயர், சார்பகம், துணைச் சார்பகம், சாராமாறி, சார்ந்த மாறி மற்றும் வீச்சுகம் இவற்றைக் காண்க.*

தீர்வு :

சார்பின் பெயர்-வர்க்க சார்பு

சார்பகக் கணம் - R

துணைச் சார்பகக் கணம் - R

சராமாறி - x.

சார்ந்த மாறி - y.

x-ஆனது எந்த ஒரு மெய்யெண்ணையும் தன் மதிப்பாகக் கொள்ளும். ஆனால் இது வர்க்க சார்பானதால் y-ஆனது மிகை மெய்யெண் அல்லது பூச்சியத்தை மட்டுமே மதிப்பாகக் கொள்ளும் எனவே f-ன் வீச்சகக் கணம் குறையில்லா மெய்யெண்களின் கணமாகும்.

எ.கா. 7.7: *பின்வரும் சார்புகளில் சார்பின் பெயரும் சாரா மாறியின் பெயரும் காண்க.*

(i) $f(\theta) = \sin\theta$ (ii) $f(x) = \sqrt{x}$ (iii) $f(y) = e^y$ (iv) $f(t) = \log_e t$

தீர்வு :

	சார்பின் பெயர்	சாரா மாறி
(i)	சைன் (sine)	θ
(ii)	வர்க்கமூலம்	x
(iii)	படிக்குறி	y
(iv)	மடக்கை	t

சார்பகத்தை மாற்றியமைத்தல்

$y = f(x)$ *என்ற சார்பின் சார்பகம் வெளிப்படையாக வரையறுக்கப்படவில்லை எனில், கொடுக்கப்பட்ட வரையறை மூலம் y-க்கு மெய் மதிப்புகளைத் தரும், x-ன் மதிப்புகளின் மிகப்பெரிய கணம் சார்பகமாகக் கருதப்படும்.*

சார்பகத்தை வகைபடுத்த விரும்பினால், நாம் நிபந்தனையுடன் சார்பகத்தை வரையறுக்கலாம்.

பின்வரும் அட்டவணை, சில சார்புகளின் சார்பகம் மற்றும் வீச்சகத்தினைக் காட்டுகிறது.

சார்பு	சார்பகம் (x)	வீச்சகம் (y அல்லது $f(x)$)
$y = x^2$	$(-\infty, \infty)$	$[0, \infty)$
$y = \sqrt{x}$	$[0, \infty)$	$[0, \infty)$
$y = \frac{1}{x}$	$R - \{0\}$ பூச்சியமில்லா மெய்யெண்கள்	$R - \{0\}$
$y = \sqrt{1 - x^2}$	$[-1, 1]$	$[0, 1]$
$y = \sin x$	$(-\infty, \infty)$ $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$ முதன்மை சார்பகம்	$[-1, 1]$
$y = \cos x$	$(-\infty, \infty)$ $[0, \pi]$ முதன்மை சார்பகம்	$[-1. 1]$
$y = \tan x$	$\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$ முதன்மை சார்பகம்	$(-\infty, \infty)$
$y = e^x$	$(-\infty, \infty)$	$(0, \infty)$
$y = \log_e x$	$(0, \infty)$	$(-\infty, \infty)$

7.2.1 *சார்பின் வரைபடம்* (Graph of a function):

ஒரு சார்பு f-ன் வரைபடமானது $y = f(x)$ என்ற சமன்பாட்டின் வரைபடமாகும்.

எ.கா. 7.8: $f(x) = x^2$ என்ற சார்பின் வரைபடத்தை வரையவும்.

தீர்வு :

$y = x^2$-ஐ நிறைவு செய்யும் சில சோடி (x, y) மதிப்புகளை அட்டவணைப்படுத்தவும். குறிக்கப்பட்ட புள்ளிகள் வழியாகச் செல்லும் ஒரு எளிய வளைவரையை வரையவும்.

x	0	1	2	3	– 1	– 2	– 3
y	0	1	4	9	1	4	9

குறிப்பு :

மேற்கண்ட படத்திற்கு நாம் ஒரு நேர்க்குத்துக்கோடு வரைந்தால், அது வளைவரையை ஒரே ஒரு புள்ளியில் மட்டுமே சந்திக்கிறது என்பதைக் கவனிக்கவும். அதாவது, ஒவ்வொரு x-க்கும் ஒரு தனித்த y உள்ளது.

படம் 7. 9

சார்புகளும் அவற்றின் வரைபடங்களும் (நிலைக் குத்துக்கோடு சோதனை)

நாம் வரையும் ஒவ்வொரு வளைவரையும் ஒரு சார்பின் வரைபடமல்ல. ஒரு சார்பு f-ஆனது அதன் சார்பகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு x-க்கும் ஒரே ஒரு தனித்த $f(x)$ $(= y)$-ஐ மட்டுமே தரும். ஓர் நேர்க்குத்துக் கோடானது வளைவரையை ஒருமுறைக்கு மேல் வெட்டாது. அதாவது 'a' என்ற உறுப்பு f-ன் சார்பகத்தில் இருந்தால் $x = a$ என்ற நிலைக் குத்துக்கோடு f என்ற சார்பின் வரைபடத்தை $(a, f(a))$ என்ற ஒரு புள்ளியில் மட்டுமே வெட்டும்.

பின்வரும் வரைபடங்களை எடுத்துக் கொள்க :

படம் 7. 10

$y^2 = x$, (அல்லது $y = \pm\sqrt{x}$)-ன் வரைபடத்தைத் தவிர மற்ற அனைத்து வரைபடங்களும் சார்பின் வரைபடங்களாகும். ஆனால் $y^2 = x$-ல் $x = 2$ என

ஒரு நிலைக்குத்துக் கோட்டினை நாம் வரைந்தால், அது வளைவரையை $(2, \sqrt{2})$ மற்றும் $(2, -\sqrt{2})$ ஆகிய இரு புள்ளிகளில் சந்திக்கும். எனவே, $y^2 = x$-ன் வரைபடம் ஒரு சார்பின் வரைபடமல்ல.

எ.கா. 7.9: $x^2 + y^2 = 4$-ன் வரைபடம் ஒரு சார்பின் வரைபடமல்ல எனக் காட்டுக.

தீர்வு :

$x^2 + y^2 = 4$ என்ற சமன்பாடு ஆதியை மையமாகவும் ஆரம் 2 அலகினையும் கொண்ட வட்டத்தினைக் குறிக்கிறது.

$x = 1$ என்க.

$y^2 = 4 - 1 = 3$

$y = \pm\sqrt{3}$

$x = 1$ என்ற மதிப்பிற்கு y-ஆனது

$\sqrt{3}$, $-\sqrt{3}$ என இரு மதிப்புகளைப் பெறுகிறது. இது சார்பின் வரையறையை மீறுகிறது.

படம் 7. 11

படம் 7.11-ல் $x = 1$ என்ற கோடு வளைவரையை $(1, \sqrt{3})$, $(1, -\sqrt{3})$ என்ற இரண்டு புள்ளிகளில் சந்திக்கிறது. எனவே, $x^2 + y^2 = 4$-ன் வரைபடம் ஒரு சார்பின் வரைபடமல்ல.

7.2.2 சார்புகளின் வகைகள் :

1. மேற்கோர்த்தல் சார்பு (Onto function)

ஒரு சார்பின் வீச்சகமும், அதன் துணைச் சார்பகமும் சமம் எனில் சார்பானது 'மேற்கோர்த்தல் சார்பு' எனப்படும். இல்லாவிடில், அது ஒரு 'கோர்த்தல் சார்பு' (into) எனப்படும்.

f:A→B-யில் f-ன் வீச்சக அல்லது சாயல் கணம் f(A) ஆனது துணைச் சார்பகம் B-க்கு சமம் எனில் (f(A)=B) சார்பு f, மேற்கோர்த்தல் சார்பாகும்.

எ.கா. 7.10

A = {1, 2, 3, 4}, B = {5, 6}. f என்ற சார்பு பின்வருமாறு வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. அதாவது $f(1) = 5$, $f(2) = 5$, $f(3) = 6$, $f(4) = 6$ எனில் f ஒரு மேற்கோர்த்தல் சார்பு எனக்காட்டுக.

தீர்வு :

$f = \{(1, 5), (2, 5), (3, 6), (4, 6)\}$

f-ன் வீச்சகம் $f(A) = \{5, 6\}$

துணைச் சார்பகம் $B = \{5, 6\}$

அதாவது $f(A) = B$

எனவே கொடுக்கப்பட்ட சார்பு ஒரு மேற்கோர்த்தல் சார்பு ஆகும்.

படம் 7. 12

எ.கா. 7.11: $X = \{a, b\}$, $Y = \{c, d, e\}$, $f = \{(a, c), (b, d)\}$ எனில் f ஒரு மேற்கோர்த்தல் சார்பு அல்ல என நிரூபி,

தீர்வு :

கொடுக்கப்பட்ட புள்ளி விவரங்களின்படி தகுந்த படத்தினை வரையவும்.

f-ன் வீச்சு $= \{c, d\}$

துணைச் சார்பகம் $= \{c, d, e\}$

இங்கு வீச்சகமும் துணைச் சார்பகமும் சமமாக இல்லாமையால் இந்தச் சார்பு ஒரு மேற்கோர்த்தல் சார்பு அல்ல.

படம் 7. 13

குறிப்பு :

(1) ஒரு மேற்கோர்த்தல் சார்பின் துணைச் சார்பகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு உறுப்புக்கும் (சாயல்) ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட பிரதிச் சாயல்கள் (pre-image) சார்பகத்தில் இருக்கும்.

(2) மேற்கோர்த்தல் (onto) சார்பு ஆங்கிலத்தில் 'surjective' என்றும் அழைக்கப்படும்.

வரையறை : f என்ற சார்பு மேற்கோர்த்தல் சார்பாக இருக்க வேண்டுமெனில் துணைச் சார்பகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பு b-க்கும், தொடர்புள்ள a என்ற ஒரு உறுப்பு (அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட உறுப்புகள்) $b = f(a)$ எனுமாறு சார்பகத்தில் இருக்க வேண்டும்.

2. ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பு (One-to-one function) :

ஒரு சார்பின் வீச்சகத்திலுள்ள ஒவ்வொரு உறுப்பும் சார்பகத்திலுள்ள தனித்த உறுப்புடன் தொடர்பினை ஏற்படுத்தியிருப்பின் அச்சார்பு, ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பு எனப்படும்.

அதாவது சார்பகத்திலுள்ள இரண்டு வெவ்வேறு உறுப்புகளின் சாயல்கள் துணைச் சார்பகத்தில் வெவ்வேறாக இருக்கும்.

அதாவது, $a_1 \neq a_2 \Rightarrow f(a_1) \neq f(a_2) \quad a_1, a_2 \in A$,

அதாவது, $f(a_1) = f(a_2) \Rightarrow a_1 = a_2$

எ.கா. 7.11-ல் வரையறுக்கப்பட்டுள்ள சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பு ஆகும். ஆனால் எ.கா. 7.10-ல் வரையறுக்கப்பட்டுள்ள சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்று அல்ல.

எ.கா. 7.12: A = {1, 2, 3}, B = {a, b, c} எனில் f = {(1, a), (2, b), (3,c)} என வரையறுக்கப்பட்டுள்ள சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்றானது என நிரூபி.

தீர்வு :

சார்பகத்திலுள்ள உறுப்புகளான 1, 2, 3 ஆகியவை துணைச் சார்பகத்தில் உள்ள உறுப்புகளான முறையே a, b, c-யுடன் தொடர்பை ஏற்படுத்தியுள்ளது.

படம் 7. 14

இங்கு f என்ற சார்பின்கீழ் A-ல் உள்ள வெவ்வேறு உறுப்புகளுக்கு B-ல் வெவ்வேறு பிம்பங்கள் உள்ளமையால் இது ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பாகும்.

எ.கா. 7.13: $y = x^2$ என்ற சார்பு, ஒன்றுக்கு ஒன்றானது அல்ல என நிரூபி.

தீர்வு :

x-ன் வெவ்வேறு மதிப்புகளான 1, – 1-க்கு நாம் y-க்கு பெறுவது ஒரே மதிப்பான 1 ஆகும். அதாவது சார்பகத்தின் வெவ்வேறு உறுப்புகள் துணைச் சார்பகத்தில் ஒரே உறுப்பினைச் சாயலாகப் பெறுகின்றது. ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பின் வரையறையின்படி, இது ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பு அல்ல. (அல்லது)

படம் 7. 15

$$y = f(x) = x^2$$
$$f(1) = 1^2 = 1$$
$$f(-1) = (-1)^2 = 1$$
$$\Rightarrow \quad f(1) = f(-1)$$

ஆனால் $1 \neq -1$. எனவே இரு வேறுபட்ட சார்பக உறுப்புகள் துணைச் சார்பகத்தில் ஒரே சாயலைப் பெற்றுள்ளது.

எனவே இச்சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்றானதல்ல.

குறிப்பு : (1) ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பினை ஆங்கிலத்தில் ‘injective’ என்றும் அழைப்பர்.

(2) ஒரு சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்றாகவும் மேற்கோர்த்தலாகவும் இருப்பின் அதனை ஆங்கிலத்தில் ‘bijective’ என்றும் அழைப்பர்.

(3) எடுத்துக்காட்டு 7.12-ல் கூறப்பட்ட சார்பு ஒரு ஒன்றுக்கொன்றான மேற்கோர்த்தல் ஆகும். ஆனால் எ.கா. 7.10, 7.11, 7.13-ல் வரையறுத்த சார்புகள் ஒன்றுக்கொன்றான மேற்கோர்த்தல்கள் அல்ல.

எ.கா. 7.14. $f : R \to R$ என்ற சார்பு $f(x) = x + 1$ என வரையறுக்கப்படின் இது ஒன்றுக்கொன்றான மேற்கோர்த்தல் என நிரூபி.

தீர்வு :

f என்பது ஒன்றுக்கொன்றான மேற்கோர்த்தல் என நிரூபிக்க

(i) மேற்கோர்த்தல்

(ii) ஒன்றுக்கு ஒன்றானது என நிரூபித்தல் போதுமானது.

(i) தெளிவாக, இங்கு வீச்சுக்கணம் R ஆகும். அதே போன்று துணைச்சார்பகமும் R ஆகும். எனவே கொடுக்கப்பட்ட சார்பு, மேற்கோர்த்தல் சார்பு ஆகும். (அல்லது) $b \in R$ என்க.

நாம் $f(b - 1) = (b - 1) + 1 = b$ ஆக இருக்கம்படி $b - 1$ என்ற உறுப்பினை R-ல் காண இயலும். $\therefore f$ ஒரு மேற்கோர்த்தல் சார்பு ஆகும்.

(ii) சார்பகத்தில் உள்ள இரு வெவ்வேறு உறுப்புகள், துணைச் சார்பகத்தில் வெவ்வேறு சாயல்களைக் கொண்டுள்ளது. எனவே f ஒரு ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பு ஆகும்.

(அல்லது) $f(a_1) = f(a_2) \Rightarrow a_1 + 1 = a_2 + 1 \Rightarrow a_1 = a_2$. எனவே f ஒரு ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பு ஆகும்.

3. *சமனிச் சார்பு* (Identity function) :

ஒரு கணம் A-யிலிருந்து அதே கணம் Aக்கு வரையறுக்கப்படும் சார்பு f, அனைத்து $x \in$ Aக்கும் $f(x) = x$ என இருக்குமானால், f ஒரு சமனிச்சார்பு ஆகும்.

அதாவது சமனிச் சார்பு $f : A \to A$, எல்லா $x \in$ A-க்கும் $f(x) = x$ என வரையறுக்கப்படுகிறது. சமனிச் சார்பினை I_A அல்லது I என குறிக்கலாம். எனவே எப்போதும் $I(x) = x$ ஆகும்.

சமனிச் சார்பின் வரைபடம் :

சமனிச் சார்பு $f(x)=x$-ன் வரைபடமானது $y = x$ என்ற சார்பின் வரைபடமாகும். இந்த வரைபடம் $y = x$ என்ற நேர்க்கோட்டினைக் குறிப்பிடுகிறது.

படம் 7. 16

4. *சார்பின் நேர்மாறு சார்பு* (Inverse of a function) :

f என்ற சார்பின் நேர்மாறு சார்பு f^{-1} எனக் குறிக்கப்படும். இதனை '*f* inverse'எனப் படிக்க வேண்டும். ஒரு சார்புக்கு நேர்மாறிச் சார்பு வரையறுக்கப்பட வேண்டுமாயின் அது மேற்கோர்த்தல் மற்றும் ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பாக இருத்தல் வேண்டும்.

A = {1, 2, 3}, B = {*a*, *b*, *c*, *d*} என்ற சார்பினை எடுத்துக் கொள்வோம். *f* = **{**(1, *a*) (2, *b*), (3, *c*)**}.** இங்கு சாயல்களின் கணம் அல்லது வீச்சகம் {*a*, *b*, *c*} ஆகும். ஆனால் இது சார்பகம் {*a*, *b*, *c*, *d*}க்கு சமமானதல்ல. எனவே இது மேற்கோர்த்தல் சார்பு அல்ல.

அதாவது *f* : A → B எனில் f^{-1} : B → A ஒரு சார்பாக வேண்டுமாயின் வரையறையின்படி ஒவ்வொரு உறுப்பும் துணைச்சார்பகத்தில் ஒரு சாயலைப் பெற்றிருக்க வேண்டும். ஆனால் f^{-1}-ன் சார்பகமாக அமைந்துள்ள B-ல் உள்ள *d*-க்கு சாயல் Aயில் இல்லை. எனவே f^{-1}ஆனது ஒரு சார்பல்ல. சார்பு *f* ஆனது மேற்கோர்த்தல் இன்றி அமைந்ததே இதற்கு ஒரு காரணம்.

படம் 7. 17 a

படம் 7.17 b

f(1) = *a*
f(2) = *b*
f(3) = *c*

A-யில் உள்ள உறுப்புகளுக்கும் சாயல்கள் உள்ளன.

$f^{-1}(a)$ = 1
$f^{-1}(b)$ = 2
$f^{-1}(c)$ = 3
$f^{-1}(d)$ = ?

'*d*' என்ற உறுப்புக்குச் சாயல் இல்லை.

மேலும் ஒன்றுக்கு ஒன்று இல்லாத ஒரு சார்பினை எடுத்துக் கொள்வோம்.

அதாவது *f* = {(1, *a*), (2, *a*), (3, *b*)}. இங்கு A = {1, 2, 3}, B = {*a*, *b*}

இங்கு '1', '2'ஆகிய வேறுபட்ட உறுப்புகளுக்கு '*a*' என்ற ஒரே உறுப்பே பிம்பமாக அமைகிறது. எனவே இது ஒன்றுக்கு ஒன்று இல்லாத சார்பாகும்.

ஆனால் வீச்சகம் = $\{a, b\}$ = B. எனவே மேற்கோர்த்தல் சார்பு ஆகும்.

படம் 7. 18

$f(1) = a$

$f(2) = a$

$f(3) = b$

இங்கு A-யில் உள்ள எல்லா உறுப்புகளுக்கும் தனித்த பிம்பங்கள் உள்ளன.

$f^{-1}(a) = 1$

$f^{-1}(a) = 2$

$f^{-1}(b) = 3$

உறுப்பு 'a'க்கு 1, 2 இரண்டு பிம்பங்கள் அமைகின்றன. இது சார்பின் வரையறைக்கு முரணானது.

இதன் காரணம், எடுக்கப்பட்ட சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்று அல்ல.

எனவே, 'f^{-1} கிடைக்க வேண்டுமானால் f மேற்கோர்த்தல் மற்றும் ஒன்றுக்கு ஒன்றான சார்பாக இருக்க வேண்டும். இதன் மறுதலையும் உண்மையாகும்.

குறிப்பு :

(1) எல்லா சார்புகளும் தொடர்புகளாதலால், சார்பின் நேர்மாறு சார்பும் ஒரு தொடர்பாகும். மேற்கோர்த்தல் மற்றும் ஒன்றுக்கு ஒன்றான பண்புகள் இல்லாத சார்புக்கு நேர்மாறு சார்பு கிடையாது.

(2) ஒரு சார்பின் நேர்மாறு சார்பின் வரைபடத்தை வரைய சார்பின் ஆயத்தொலைப் புள்ளிகளை மாற்றியமைத்துக் காணலாம்.

கணித முறைப்படி ஒரு சார்பின் நேர்மாறு சார்பினை வரையறுக்க 'சார்புகளின் இணைப்பு' பற்றிய கருத்துரு நமக்குத் தேவைப்படுகிறது.

5. *சார்புகளின் இணைப்பு* (Composition of functions) :

A, B, C என்ற ஏதேனும் 3 கணங்களை எடுத்துக் கொள்க. $f : A \to B$, $g : B \to C$ என்பன ஏதேனும் இரு சார்புகள் என்க. இங்கு g-ன் சார்பகம், f-ன் துணைச் சார்பகமாக இருப்பதை கவனத்தில் கொள்க. இப்போது $(gof) : A \to C$ என்ற புதிய சார்பினை அனைத்து $a \in A$க்கு $(gof)(a) = g(f(a))$ எனுமாறு வரையறுக்கவும். இங்கு $f(a)$ என்பது B-ன் உறுப்பாகும். எனவே $g(f(a))$ என்பது ஒரு அர்த்தமுள்ள ஒன்றாகும். இப்புதிய சார்பு gof-ஐ f, g என்ற இரு சார்புகளின் இணைப்பு எனலாம்.

படம் 7. 19

குறிப்பு :

gof-ல் உள்ள சிறிய வட்டமானது ‘o’ இரு சார்புகளை இணைக்கும் செயலியாகும்.

எ.கா. 7.15: A = {1, 2}, B = {3, 4}, C = {5, 6}. f : A → B, g : B → C என்ற சார்புகள் $f(1) = 3$, $f(2) = 4$, $g(3) = 5$, $g(4) = 6$ எனுமாறு வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது எனில் *gof*-ஐக் காண்க.

தீர்வு :

gof என்பது A → C என அமையும் சார்பாகும்.

gof-ன் கீழ் Aயின் உறுப்புகளின் சாயல்களை காண வேண்டும்.

$(gof)(1) = g(f(1)) = g(3) = 5$

$(gof)(2) = g(f(2)) = g(4) = 6$

அதாவது A-யில் உள்ள உறுப்புகளான 1, 2-க்கு *gof*-ன் கீழ் சாயல்கள் முறையே 5, 6 ஆகும்.

$\therefore$ $gof = \{(1, 5), (2, 6)\}$

படம் 7. 20

குறிப்பு :

மேற்குறிப்பிட்ட *f*, *g*-ன் வரையறைகளின்படி *fog*-ஐ நாம் காண இயலாது. சில குறிப்பிட்ட *f*, *g* சார்புகளுக்கு *fog*, *gof* ஆகிய இரண்டு இணைப்புச் சார்புகளுக்கும் காண இயலும். பொதுவாக $fog \neq gof$. அதாவது சார்புகளின் இணைப்பு பரிமாற்றத் தக்கதல்ல (பொதுவாக).

எ.கா. 7.16: f : R → R, g : R → R என்ற சார்புகள்

$f(x) = x^2 + 1$, $g(x) = x - 1$ என வரையறுக்கப்படுகின்றன எனில் *fog* மற்றும் *gof*-ஐ வரையறுத்து $fog \neq gof$ என நிரூபி.

தீர்வு :

$$(fog)(x) = f(g(x)) = f(x-1) = (x-1)^2 + 1 = x^2 - 2x + 2$$
$$(gof)(x) = g(f(x)) = g(x^2+1) = (x^2+1) - 1 = x^2$$
$$(fog)(x) = x^2 - 2x + 2$$
$$(gof)(x) = x^2$$
$$\Rightarrow \quad fog \neq gof$$

எ.கா. 7.17: $f, g : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$ *என்ற சார்புகள்* $f(x) = 2x + 1$, $g(x) = \dfrac{x-1}{2}$ *என வரையறுக்கப்படுகின்றன, எனில்* $(fog) = (gof)$ *எனக் காட்டுக.*

தீர்வு :

$$(fog)(x) = f(g(x)) = f\left(\frac{x-1}{2}\right) = 2\left(\frac{x-1}{2}\right) + 1 = x - 1 + 1 = x$$
$$(gof)(x) = g(f(x)) = g(2x+1) = \frac{(2x+1)-1}{2} = x$$
$$(fog)(x) = (gof)(x)$$
$$\Rightarrow \quad fog = gof$$

இந்த உதாரணத்தில் $(fog)(x) = x$ and $(gof)(x) = x$. *எ.கா.* 7.17*ஐ எடுத்துக் கொள்வோம். இங்கு வரையறுக்கப்பட்டுள்ள* f, g *என்ற சார்புகளுக்கு* $(fog)(x) = x$ *மற்றும்* $(gof)(x) = x$. *எனவே சமனிச் சார்பின் வரையறையின்படி* $fog = \mathrm{I}$, $gof = \mathrm{I}$ *அதாவது* $fog = gof = \mathrm{I}$

தற்போது நாம் ஒரு சார்பின் நேர்மாறு சார்பினை வரையறுக்கலாம்.

வரையறை :

$f : \mathrm{A} \to \mathrm{B}$ *என்பது ஒரு சார்பு என்க.* $g : \mathrm{B} \to \mathrm{A}$ *என்ற சார்பு* $(fog) = \mathrm{I_B}$ *மற்றும்* $(gof) = \mathrm{I_A}$ *எனுமாறு அமையுமெனில்,* g*-யானது* f*-ன் நேர்மாறு சார்பு எனப்படும்.* f*-ன் நேர்மாறு சார்பு* f^{-1} *எனக் குறிக்கப்படும்.*

குறிப்பு :

(1) f, g*என்ற சார்புகளின் சார்பகம் மற்றும் துணைச் சார்பகங்கள் சமம் எனில் மேற்கண்ட நிபந்தனையை* $fog = gof = \mathrm{I}$ *என எழுதலாம்.*

(2) f^{-1} *கிடைக்குமானால்* f *-ஆனது நேர்மாற்றத்தக்கது ஆகும்.*

(3) $f \circ f^{-1} = f^{-1} \circ f = \mathrm{I}$

எ.கா. 7.18: $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$ *என்ற சார்பு* $f(x) = 2x + 1$ *என வரையறுத்தால்* f^{-1}*ஐ வரையறுக்க.*

தீர்வு :

$$g = f^{-1} \text{ என்க.}$$

$$(gof)(x) = x \qquad \because gof = I$$

$$g(f(x)) = x \Rightarrow g(2x+1) = x$$

$$2x + 1 = y \Rightarrow x = \frac{y-1}{2}$$

$$\therefore \quad g(y) = \frac{y-1}{2} \text{ அல்லது } f^{-1}(y) = \frac{y-1}{2}$$

y-ஐ x ஆல் பிரதியிட,

$$f^{-1}(x) = \frac{x-1}{2}$$

6. இரு சார்புகளின் கூடுதல், கழித்தல், பெருக்கல் மற்றும் வகுத்தல் :

இரு சார்புகளின் சார்பகம் மற்றும் துணைச் சார்பகங்கள் முறையே சமமாக இருப்பின் இரு சார்புகளின் கூடுதல், கழித்தல், பெருக்கல் மற்றும் வகுத்தல் செயல்பாடுகளை வரையறுக்கலாம்.

$f, g : A \to B$ என்ற இரு சார்புகளுக்கு கீழ்க்காண்பவை உண்மைகளாகும்.

$$(f+g)(x) = f(x) + g(x)$$

$$(f-g)(x) = f(x) - g(x)$$

$$(fg)(x) = f(x)\, g(x)$$

$$\left(\frac{f}{g}\right)(x) = \frac{f(x)}{g(x)} \text{ இங்கு } g(x) \neq 0$$

$$(cf)(x) = c.f(x) \text{ இங்கு } c \text{ ஒரு மாறிலி}$$

குறிப்பு : இரு சார்புகளின் பெருக்கல் என்பது இரு சார்புகளின் இணைப்பிலிருந்து மாறுபட்டது.

எ.கா. 7.19: $f, g : R \to R$ என்ற சார்புகள் $f(x) = x + 1$, $g(x) = x^2$ என வரையறுத்தால், $f + g$, $f - g$, fg, $\frac{f}{g}$, $2f$, $3g$ ஆகியவற்றைக் காண்க.

தீர்வு :

சார்பு	வரையறை
f	$f(x) = x + 1$
g	$g(x) = x^2$
$f + g$	$(f+g)(x) = f(x) + g(x) = x + 1 + x^2$
$f - g$	$(f-g)(x) = f(x) - g(x) = x + 1 - x^2$
fg	$(fg)(x) = f(x)\, g(x) = (x+1)x^2$

$\frac{f}{g}$ $\left(\frac{f}{g}\right)(x) = \frac{f(x)}{g(x)} = \frac{x+1}{x^2}$,

($x \neq 0$-க்கு மட்டுமே வரையறுக்கப்படும்.)

$2f$ $(2f)(x) = 2f(x) = 2(x+1)$

$3g$ $(3g)(x) = 3g(x) = 3x^2$

7. *மாறிலிச் சார்பு* (Constant function) :

ஒரு சார்பின் வீச்சகம் ஒரு ஒற்றை உறுப்புக் கணம் எனில், அச்சார்பு ஒரு மாறிலிச் சார்பு என்றழைக்கப்படும். அதாவது,

$f : A \to B$ *ஆனது அனைத்து* $a \in A$*க்கும்* $f(a) = b$ *என அமைந்தால்* f *ஒரு மாறிலிச் சார்பு ஆகும்.*

$A = \{1, 2, 3\}$, $B = \{a, b\}$*என்க.* f *என்ற சார்பு* $f(1) = a$, $f(2) = a$, $f(3) = a$ *என வரையறுக்கப்பட்டால்,* f *ஒரு மாறிலிச் சார்பு ஆகும்.*

படம் 7. 21

எளிமையாக, $f : R \to R$ *என்ற சார்பு* $f(x) = k$ *என வரையறுக்கப்படுமெனில் அது ஒரு மாறிலிச் சார்பாகும். அதன் வரைபடம்* (7.22)*-ல் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.*

படம் 7. 22

மகன்களின் கணத்திற்கும் அவர்களின் தந்தையைக் கொண்ட ஒற்றையுறுப்பு கணத்திற்கும் இடையே உருவாக்கும் 'மகன் உறவு' என்ற சார்பு ஒரு மாறிலிச் சார்பு என்பதைக் கவனிக்கவும்.

8. *ஒருபடிச் சார்பு* (Linear function) *அல்லது நேர்க்கோட்டுச் சார்பு* :

$f : R \to R$ *என்ற சார்பு* $f(x) = ax + b$ *என வரையறுக்கப்பட்டால் அச்சார்பு ஒருபடிச் சார்பு எனப்படும். இங்கு* a, b *என்பவை மாறிலிகளாகும்.*

எ.கா. 7.20: $f : R \to R$ *என்ற சார்பு* $f(x) = 2x + 1$ *என வரையறுக்கப்படின் அதன் வரைபடம் வரைக.*

***தீர்வு* :**

$f(x) = 2x + 1$*-ஐ நிறைவு செய்யும் சில சோடி* $(x, f(x))$*களை அட்டவணைப்படுத்தி எழுதவும்.*

x	0	1	– 1	2
$f(x)$	1	3	– 1	5

புள்ளிகளைக் குறித்து, இப்புள்ளிகள் வழிச் செல்லும் வளைவரையானது ஒரு நேர்க்கோடாக அமைவதைக் காணலாம்.

படம் 7. 23

குறிப்பு :

(1) ஒருபடிச் சார்பின் வரைபடம் ஒரு நேர்க்கோடாகும்.

(2) ஒருபடிச் சார்பின் நேர்மாறுச் சார்பும் ஒரு ஒருபடிச் சார்பாகும்.

9. பல்லுறுப்புச் சார்பு (Polynomial function) :

f : R→R என்ற சார்பு $f(x) = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \ldots + a_1 x + a_0$ என வரையறுப்பின் f ஒரு n-படியுள்ள பல்லுறுப்புச் சார்பு எனலாம். இங்கு $a_0, a_1, \ldots, a_n$ மெய்யெண்கள். மேலும் $a_n \neq 0$.

$f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$ என்ற சார்பு $f(x) = x^3 + 5x^2 + 3$ என வரையறுப்பின் இதனை 3 படியுள்ள பல்லுறுப்புச் சார்பு எனலாம்.

10. விகிதமுறுச் சார்பு (Rational function) :

$p(x)$, $q(x)$ என்பவை இரு பல்லுறுப்புக் கோவைச் சார்புகள் என்க. $q(x) = 0$ ஆகக்கூடிய x-ன் எல்லா மதிப்புகளையும் R-லிருந்து நீக்கிய பின்னர் கிடைக்கும் கணத்தினை S என்க.

$f : \mathrm{S} \to \mathrm{R}$ என்ற சார்பு $f(x) = \dfrac{p(x)}{q(x)}$, $q(x) \neq 0$ என வரையறுக்கப்பட்டால், அதனை ஒரு விகிதமுறுச் சார்பு எனலாம்.

எ.கா. 7.21: $f(x) = \dfrac{x^2 + x + 2}{x^2 - x}$ என்ற விகிதமுறு சார்பின் சார்பகத்தைக் காண்க.

தீர்வு :

சார்பகம் S ஆனது R-லிருந்து $g(x) = 0$ என்ற நிபந்தனைக்குட்பட்ட எல்லா x-மதிப்புகளையும் நீக்கிய பின்னர் கிடைப்பதாகும்.

இங்கு $q(x) = x^2 - x = 0 \Rightarrow x(x-1) = 0 \Rightarrow x = 0, 1$

$\therefore$ S = R – {0, 1}

எனவே கொடுக்கப்பட்ட விகிதமுறு சார்பானது 0, 1-ஐ தவிர்த்த அனைத்து மெய்யெண்களுக்கும் வரையறுக்கப்படுகிறது.

11. படிக்குறிச் சார்புகள் (Exponential functions) :

எந்தவொரு எண் $a > 0$-க்கும் $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$ என்ற சார்பு $f(x) = a^x$ என வரையறுக்கப்படுமாயின் இதனை படிக்குறிச் சார்பு எனலாம்.

குறிப்பு : ஒரு படிக்குறிச் சார்பின் வீச்சகம் எப்பொழுதும் R^+ (மிகையெண்களின் கணம்) ஆகவே இருக்கும்.

எ.கா. 7.22: $f : R \to R^+$ என்ற சார்பு

(1) $f(x) = 2^x$ (2) $f(x) = 3^x$ (3) $f(x) = 10^x$

என வரையறுக்கப்பட்டால் அதன் வரைபடங்களை வரையவும்.

தீர்வு :

$x = 0$ எனும் போது அனைத்துச் சார்புகளுக்கும் $f(x) = 1$ ஆகும். எனவே $y = 1$ என்ற இடத்தில் அனைத்தும் y-அச்சினை வெட்டுகிறது. மேலும் x-ன் எந்த மெய்மதிப்பிற்கும் $f(x)$, பூச்சியமாவதில்லை. எனவே மேற்கண்ட சார்புகளுக்கான ஒத்த வளைவரைகள், x-ன் மெய் மதிப்பிற்கு x-அச்சினை சந்திப்பதில்லை (அல்லது x-அச்சினை $-\infty$இல் சந்திக்கிறது எனலாம்)

படம் 7. 24

குறிப்பாக $2 < e < 3$ என்பதால் $f(x) = e^x$ என்ற வளைவரை $f(x) = 2^x$, $f(x) = 3^x$ இடையே இருப்பதைக் காணலாம்.

எ.கா. 7.23:

$f(x) = e^x$ என்ற படிக்குறிச் சார்பின் வரைபடம் வரைக.

தீர்வு :

$x = 0$ என்ற மதிப்பிற்கு $f(x)=1$ ஆகும். அதாவது வளை வரையானது y-அச்சினை $y = 1$ என்ற புள்ளியில் வெட்டும். மேலும் x-ன் மெய்யெண் மதிப்பிற்கு $f(x)$ பூச்சியமாகாது. அதாவது மெய்யெண் x-க்கு, x அச்சினை வளைவரை சந்திக்காது.

படம் 7. 25

எ.கா. 7.24:

கீழ்க்காணும் மடக்கைச் சார்புகளின் (Logarithmic function) *வரைபடங்களை வரையவும்.*

(1) $f(x) = \log_2 x$ (2) $f(x) = \log_e x$ (3) $f(x) = \log_3 x$

தீர்வு :

மடக்கைச் சார்புகள், மிகை மெய்யெண்களுக்கு மட்டுமே வரையறுக்கப்படும்.

சார்பகம் : $(0, \infty)$

வீச்சகம் : $(-\infty, \infty)$

படம் 7. 26

குறிப்பு :

படிக்குறிச் சார்பின் நேர்மாறு சார்பு, மடக்கைச் சார்பாகும். மடக்கைச் சார்பின் பொது வடிவம். $f(x) = \log_a x$, $a \neq 1$, a *என்பது மிகை எண்ணாகும். மடக்கைச் சார்பின் சார்பகமான* $(0, \infty)$, *படிக்குறிச் சார்பின் துணைச் சார்பகமாகவும், மடக்கைச் சார்பின் துணைச் சார்பகமான* $(-\infty, \infty)$ *படிக்குறிச் சார்பின் சார்பகமாக அமையும். இது நேர்மாறு பண்பின் காரணமாக அமைகிறது.*

11. *ஒரு சார்பின் தலைகீழி அல்லது தலைகீழ் சார்பு*

(Reciprocal of a function) :

$g : S \to R$ *என்ற சார்பு* $g(x) = \dfrac{1}{f(x)}$ *என வரையறுக்கப்படுமாயின்* $g(x)$ *ஆனது* $f(x)$*-ன் தலைகீழி எனப்படும். இச்சார்பு* $f(x) \neq 0$ *என்ற* x*-க்கு மட்டுமே வரையறுக்கப்படும்.* $f(x)$*-ன் தலைகீழ் சார்பு* $g(x)$*-ன் சார்பகம்*

$S = R - \{x : f(x) = 0\}$ *ஆகும்.*

எ.கா. 7.25: $f(x) = x$ *என* f *என்ற சார்பு வரையறுக்கப்படுமாயின், இதன் தலைகீழ் சார்பின் வரைபடத்தினை வரைக.*

தீர்வு :

$f(x)$*-ன் தலைகீழ் சார்பு* $\dfrac{1}{f(x)}$ *ஆகும்.*

$\therefore\ g(x) = \dfrac{1}{f(x)} = \dfrac{1}{x}$

எனவே g-யின் சார்பகம்

R – { $f(x) = 0$ என்றபடி உள்ள x புள்ளிகளின் கணம்}

= R – {0}

$g(x) = \dfrac{1}{x}$-ன் வரைபடம், படம் 7.27-ல் காட்டியபடி அமையும்.

படம் 7. 27

குறிப்பு :

(1) $g(x) = \dfrac{1}{x}$ என்ற சார்பின் வரைபடம், எந்தவொரு அச்சினையும் முடிவுள்ள x-ன் மதிப்புக்கு சந்திப்பதில்லை. ஆனால் இவ்வளைவரை x, yஅச்சுக்களை முடிவிலியில் (∞-ல்) சந்திக்கும் என்பதனை கவனத்தில் கொள்க. இவ்வாறாக x, y அச்சுகள் $g(x) = \dfrac{1}{x}$ என்ற வளைவரைக்கு முடிவிலியில் தொலைத் தொடுகோடுகளாக அமைகின்றன (asymptotes) [ஒரு வளைவரைக்கு முடிவிலியில் வரையப்படும் தொடுகோடு, தொலைத் தொடுகோடு ஆகும். தொலைத் தொடுகோடுகளைப் பற்றிய விரிவான பாடம் XII வகுப்பில் பார்க்கலாம்].

(2) தலைகீழ் சார்புகள், இரண்டு சார்புகளின் பெருக்கலோடு தொடர்புடையது.

அதாவது f மற்றும் g என்பவை ஒன்றுக்கொன்று தலைகீழ் சார்புகளாயின் $f(x)\, g(x) = 1$ ஆகும்.

நேர்மாறு சார்புகள், இரண்டு சார்புகளின் இணைப்புகளுடன் தொடர்புடையது. அதாவது, f மற்றும் g என்பவை ஒன்றுக்கொன்று நேர்மாறுகளாக இருப்பின் $fog = gof = I$ ஆகும்.

12. எண்ணளவைச் சார்பு அல்லது மட்டுச் சார்பு (Absolute value function) :

$f : R \to R$ என்ற சார்பு $f(x) = |x|$ என வரையறுக்கப்படுமாயின் அது எண்ணளவைச் சார்பு எனப்படும்.

இங்கு $|x| = \begin{cases} x & x \geq 0 \text{ எனில்} \\ -x & x < 0 \text{ எனில்} \end{cases}$

இங்கு சார்பகம் R துணைச் சார்பகம் குறையற்ற மெய்யெண்களின் கணம்.

(1) $f(x) = |x|$ (2) $f(x) = |x - 1|$ (3) $f(x) = |x + 1|$ ஆகிய எண்ணளவுச் சார்புகளின் வரைபடங்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

$f(x) = |x|$ $f(x) = |x - 1|$ $f(x) = |x + 1|$

படம் 7. 28

13. படிநிலைச் சார்புகள் (Step functions) :

(a) மீப்பெரு முழு எண் சார்பு (Greatest integer function)

ஒரு மெய்யெண் x இடத்து, x-ஐ விட மிகைப்படாத மீப்பெரு முழு எண் மதிப்பைப் பெறும் சார்பு, மீப்பெரு முழு எண் சார்பு எனப்படுகிறது. இது $\lfloor x \rfloor$ எனக் குறிக்கப்படுகிறது.

அதாவது $f : R \to R$ என்ற சார்பு $f(x) = \lfloor x \rfloor$ என வரையறுக்கப்படுமாயின் அதனை மீப்பெரு முழு எண் சார்பு எனலாம்.

$\lfloor 2.5 \rfloor = 2$, $\lfloor 3.9 \rfloor = 3$, $\lfloor -2.1 \rfloor = -3$, $\lfloor .5 \rfloor = 0$, $\lfloor -.2 \rfloor = -1$, $\lfloor 4 \rfloor = 4$ என்பதனை கவனிக்கவும்.

இச்சார்பின் சார்பகம் R மற்றும் துணைச் சார்பகம் Z (முழு எண்களின் கணம்) ஆகும்.

(b) மீச்சிறு முழு எண் சார்பு (Least integer function)

ஒரு மெய்யெண் x இடத்து, x-ஐ விட குறையாத மீச்சிறு முழு எண் மதிப்பினை பெறும் சார்பு, மீச்சிறு முழு எண் சார்பு எனப்படுகிறது. இது $\lceil x \rceil$ எனக் குறிக்கப்படுகிறது.

அதாவது $f : R \to R$ என்ற சார்பு $f(x) = \lceil x \rceil$ என வரையறுக்கப்படுமாயின் அது மீச்சிறு முழு எண் சார்பு எனப்படும்.

$\lceil 2.5 \rceil = 3$, $\lceil 1.09 \rceil = 2$, $\lceil -2.9 \rceil = -2$, $\lceil 3 \rceil = 3$ என்பதனை கவனிக்கவும்.

இச்சார்பின் சார்பகம் R மற்றும் துணைச் சார்பகம் Z ஆகும்.

$f(x) = \lfloor x \rfloor$-ன் வரைபடம்

படம் 7. 29

$f(x) = \lceil x \rceil$-ன் வரைபடம்

படம் 7. 30

14. குறிச்சார்பு (Signum function) :

f:R→R என்ற சார்பு $f(x) = \begin{cases} \dfrac{\lfloor x \rfloor}{x}, & x \neq 0 \\ 0, & x = 0 \end{cases}$ என வரையறுக்கப்படுமாயின் அது குறிச்சார்பு எனப்படும்.

இதன் சார்பகம் R,
வீச்சகம் $\{-1, 0, 1\}$ ஆகும்.

படம் 7. 31

15. ஒற்றை மற்றும் இரட்டைப் படைச் சார்புகள் (Odd and even functions) :

சார்பகத்திலுள்ள x-ன் அனைத்து மதிப்புகளுக்கும் $f(x) = f(-x)$ எனில் இச்சார்பு இரட்டைப்படைச் சார்பாகும்.

சார்பகத்திலுள்ள x-ன் அனைத்து மதிப்புகளுக்கும் $f(x) = -f(-x)$ எனில் இச்சார்பு ஒற்றைப்படைச் சார்பாகும்.

உதாரணமாக,, $f(x) = x^2$, $f(x) = x^2 + 2x^4$, $f(x) = \dfrac{1}{x^2}$, $f(x) = \cos x$ என்பவை இரட்டைப்படைச் சார்புகளாகும்.

$f(x) = x^3$, $f(x) = x - 2x^3$, $f(x) = \dfrac{1}{x}$, $f(x) = \sin x$ என்பவை ஒற்றைப்படைச் சார்புகளாகும்.

இரட்டைப்படைச் சார்பின் வரைபடத்தை y-அச்சு மிகச் சரியாக இருசமச்சீர் பகுதிகளாக பிரிக்கிறது. இச்சார்பின் வரைபடம், y-அச்சைப் பொறுத்து சமச்சீரானது. ஒற்றைப்படைச் சார்பின் வரைபடம், ஆதியைப் பொறுத்து சமச்சீரானது.

பண்புகள் :

(1) இரண்டு ஒற்றைப்படைச் சார்புகளின் கூடுதல் மீண்டும் ஒரு ஒற்றைப்படையாகும்.

(2) இரண்டு இரட்டைப்படைச் சார்புகளின் கூடுதல் மீண்டும் ஒரு இரட்டைப்படையாகும்.

(3) ஒரு ஒற்றை மற்றும் இரட்டைப் படைச் சார்புகளின் கூடுதல் ஒற்றையாகவும் இரட்டையாகவும் இல்லாத சார்பாகும்.

(4) இரண்டு ஒற்றைப்படைச் சார்புகளின் பெருக்கற்பலன் ஒரு இரட்டைப் படையாகும்.

(5) இரண்டு இரட்டைப்படைச் சார்புகளின் பெருக்கற்பலன் ஒரு இரட்டைப்படையாகும்.

(6) ஒரு ஒற்றை மற்றும் இரட்டைப்படை சார்புகளின் பெருக்கற்பலன் ஒற்றைப் படையாகும்.

(7) இரண்டு இரட்டைப் படைச் சார்புகளின் வகுபலன் இரட்டைப் படையாகும். (பகுதிச் சார்பு பூச்சியமற்றது)

(8) இரண்டு ஒற்றைப்படைச் சார்புகளின் வகுபலன் இரட்டைப் படையாகும். (பகுதிச்சார்பு பூச்சியமற்றது)

(9) ஒரு இரட்டை மற்றும் ஒற்றைப்படை சார்பு வகுபலன் ஒரு ஒற்றைப்படை சார்பாகும் (பகுதிச் சார்பு பூச்சியமற்றது)

16. திரிகோணமிதிச் சார்புகள் (Trigonometrical functions) :

திரிகோணமிதியில் இரண்டு வகையான சார்புகள் உள்ளன. அவை

(1) வட்டச் சார்புகள் (Circular functions)

(2) அதிபரவளையச் சார்புகள் (Hyperbolic functions)

இங்கு நாம் வட்டச் சார்புகளை மட்டுமே எடுத்துக் கொள்வோம்.

(a) $f(x) = \sin x$ (b) $f(x) = \cos x$ (c) $f(x) = \tan x$

(d) $f(x) = \sec x$ (e) $f(x) = \operatorname{cosec} x$ (f) $f(x) = \cot x$

என்பன வட்டச் சார்புகள் ஆகும். வட்டச் சார்புகளின் வரைபடங்களை பின்வரும் படங்கள் விளக்குகின்றன.

(a) $y = \sin x$ அல்லது

$f(x) = \sin x$

சார்பகம் = $(-\infty, \infty)$

வீச்சகம் = $[-1, 1]$

முதன்மைச் சார்பகம் = $\left[-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$

படம் 7. 32

(b) $y = \cos x$

சார்பகம் = $(-\infty, \infty)$

வீச்சகம் = $[-1, 1]$

முதன்மைச் சார்பகம் = $[0 \;\; \pi]$

படம் 7. 33

(c) $y = \tan x$

$\tan x = \frac{\sin x}{\cos x}$ என்பதால் $\cos x \neq 0$ என்ற x-ன் மதிப்புகளுக்கு மட்டுமே $\tan x$ வரையறுக்கப்படுகிறது.

அதாவது x-மதிப்பு $\frac{\pi}{2}$ மற்றும் அதன் ஒற்றைப்படை மடங்குகளைத் தவிர பிற மதிப்புகளுக்கு மட்டுமே $\tan x$ பெற முடியும். ($\cos x = 0$ எனில் $\tan x$ஐ பெற இயலாது. எனவே $\frac{\pi}{2}$-ன் ஒற்றைப்படை மடங்குகளுக்கு $\tan x$ வரையறுக்கப்படாது)

சார்பகம் = $R - \left\{(2k+1)\frac{\pi}{2}\right\}, \quad k \in Z$

வீச்சகம் = $(-\infty, \infty)$

படம் 7. 34

(d) $y = \text{cosec}\, x$

sin$x$-ன் தலைகீழி cosec x என்பதால், $\sin x = 0$ என்ற x-ன் மதிப்புகளுக்கு cosec x வரையறுக்கப்படாது.

எனவே π-ன் மடங்குகளைத் தவிர அனைத்து மெய்யெண்களின் கணம் சார்பகமாகும்.

சார்பகம் = $R - \{k\pi\}, \quad k \in Z$

வீச்சகம் = $(-\infty, -1] \cup [1, \infty)$

படம் 7. 35

(e) $y = \sec x$

cos$x$-ன் தலைகீழி sec x என்பதால் $\cos x = 0$ என்ற x-ன் மதிப்புகளுக்கு sec x வரையறுக்கப் படாது.

$\therefore$ சார்பகம்= $R - \left\{(2k+1)\frac{\pi}{2}\right\}, k \in Z$

வீச்சகம் = $(-\infty, -1] \cup [1, \infty)$

படம் 7. 36

(f) $y = \cot x$

$\cot x = \frac{\cos x}{\sin x}$ என்பதால் $\sin x = 0$ என்ற x-ன் மதிப்புகளுக்கு cot x வரையறுக்கப்படாது.

$\therefore$ சார்பகம் = $R - \{k\pi\}, k \in Z$

வீச்சகம் = $(-\infty, \infty)$

படம் 7. 37

17. இருபடிச் சார்புகள் (Quadratic functions) :

இது படி இரண்டு கொண்ட பல்லுறுப்புக் கோவை சார்பாகும்.

ஒரு இருபடி சார்பானது $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$, $f(x) = ax^2 + bx + c$, $a, b, c \in \mathrm{R}$, $a \neq 0$ எனுமாறு வரையறுக்கப்படும் சார்பாகும். ஒரு இருபடிச் சார்பின் வரைபடம் எப்பொழுதும் ஒரு பரவளையமாகும்.

7.3 இருபடி அசமன்பாடுகள் (Quadratic Inequations) :

$f(x) = ax^2 + bx + c$, $a, b, c \in \mathrm{R}$, $a \neq 0$ என்ற இருபடிச் சார்பு அல்லது கோவையினை எடுத்துக் கொள்க. இங்கு $f(x) \geq 0$, $f(x) > 0$, $f(x) \leq 0$ மற்றும் $f(x) < 0$ என்பவை இருபடி அசமன்பாடுகள் ஆகும்.

இருபடி அசமன்பாடுகளைத் தீர்க்க பின்வரும் பொது விதிகள் பெரிதும் பயன்படும்.

பொது விதிகள் :

1. $a > b$ எனில்
   - (i) அனைத்து $c \in \mathrm{R}$க்கு $(a + c) > (b + c)$
   - (ii) அனைத்து $c \in \mathrm{R}$க்கு $(a - c) > (b - c)$
   - (iii) $-a < -b$
   - (iv) அனைத்து மிகையெண் c-க்கு $ac > bc$, $\frac{a}{c} > \frac{b}{c}$
   - (v) அனைத்து குறையெண் c-க்கு $ac < bc$, $\frac{a}{c} < \frac{b}{c}$

அசமக் குறிகளான $<$, $>$ ஆகியவை முறையே $\leq$, $\geq$ என்ற குறிகளால் மாற்றப்படினும், மேற்கண்ட பண்புகள் உண்மையாகும்.

2. (i) $ab > 0$ எனில் $a > 0, b > 0$ அல்லது $a < 0, b < 0$
   - (ii) $ab \geq 0$ எனில் $a \geq 0, b \geq 0$ அல்லது $a \leq 0, b \leq 0$
   - (iii) $ab < 0$ எனில் $a > 0, b < 0$ அல்லது $a < 0, b > 0$
   - (iv) $ab \leq 0$ எனில் $a \geq 0, b \leq 0$ அல்லது $a \leq 0, b \geq 0$. $a, b, c \in \mathrm{R}$

இருபடிச் சார்பின் சார்பகம் மற்றும் வீச்சகம் (Domain and range of a quadratic function) :

ஒரு இருபடி அசமன்பாட்டினை தீர்ப்பதென்பது, கொடுக்கப்பட்ட அசம நிபந்தனைக்குட்பட்டு சார்பு $f(x)$-ன் சார்பகத்தை கண்டறிவதே ஆகும்.

இருபடி அசமன்பாடுகளின் தீர்வு காண பல்வேறு முறைகள் உள்ளன. அசமன்பாட்டிற்கு பொருத்தமான ஏதேனும் ஒரு முறையை நாம் தேர்ந்தெடுக்கலாம்.

குறிப்பு : பாடத்திட்டத்தின்படி முறைகளின் முடிவு மட்டுமே தேவை. கற்றல் திறனை அதிகரிக்கும் நோக்கத்தோடு அதன் முறைகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

***முறை* I : *காரணிப்படுத்துதல் முறை* :**

$ax^2 + bx + c \geq 0$ … (1)

என்பது $a, b, c \in$ R and $a \neq 0$, x*-ல் அமைந்த இருபடி அசமன்பாடு என்க.*

இந்த அசமன்பாட்டிற்கு ஒத்த இருபடிச் சமன்பாடு $ax^2 + bx + c = 0$- *ஆகும். இச்சமன்பாட்டின் தன்மை காட்டி* (discriminant) $b^2 - 4ac$ *ஆகும். இப்பொழுது. மூன்று நிலைமைகள் உருவாகும்.*

***நிலை* (i):** $b^2 - 4ac > 0$

இந்நிலைமையில $ax^2 + bx + c = 0$*-ன் மூலங்கள் மெய் மற்றும் வெவ்வேறானவை ஆகும். இவற்றை* α, β *என்க.*

$\therefore\ ax^2 + bx + c = a(x - \alpha)(x - \beta)$

ஆனால் $ax^2 + bx + c \geq 0$ (1)*லிருந்து*

$\Rightarrow \quad a(x - \alpha)(x - \beta) \geq 0$

$\Rightarrow \quad a > 0$ *எனில்* $(x - \alpha)(x - \beta) \geq 0$

$a < 0$ *எனில்* $(x - \alpha)(x - \beta) \leq 0$

இந்த அசமன்பாட்டினை பொது விதி (2)*-னை பயன்படுத்தி தீர்வு காணலாம்.*

***நிலை* (ii):** $b^2 - 4ac = 0$

இந்நிலைமையில $ax^2 + bx + c = 0$*-ன் மூலங்கள் மெய் மற்றும் சமமானவை ஆகும். இவற்றை* α, α *என்க.*

$\therefore\ ax^2 + bx + c = a(x - \alpha)^2.$

$\Rightarrow\ a(x - \alpha)^2 \geq 0$

$\Rightarrow\ a > 0$ *எனில்* $(x - \alpha)^2 \geq 0 \qquad a < 0$ *எனில்* $(x - \alpha)^2 \leq 0$

இந்த அசமன்பாட்டினை பொது விதி 2*-னை பயன்படுத்தி தீர்வு காணலாம்.*

***நிலை* (iii):** $b^2 - 4ac < 0$

இந்நிலைமையில $ax^2 + bx + c = 0$ *என்ற சமன்பாட்டின் மூலங்கள் வேறுபட்ட மெய்யற்றவை ஆகும்.*

இங்கு

$$ax^2 + bx + c = a\left(x^2 + \frac{bx}{a} + \frac{c}{a}\right)$$

$$= a\left[\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 - \frac{b^2}{4a^2} + \frac{c}{a}\right]$$

$$= \quad a\left[\left(x+\frac{b}{2a}\right)^2+\frac{4ac-b^2}{4a^2}\right]$$

$\therefore$ $ax^2 + bx + c$-ன் குறியீடு x-ன் எல்லா மதிப்புகளுக்கும் a-ன் குறியீடாக அமையும். ஏனெனில்

$\left[\left(x+\frac{b}{2a}\right)^2+\frac{4ac-b^2}{4a^2}\right]$ என்பது x-ன் எல்லா மதிப்புகளுக்கும் மிகையெண்ணாகும்.

இவ்வாறாக $ax^2 + bx + c \geq 0$ என்ற வகையான அசமன்பாட்டினைத் தீர்க்கும் முறையினைக் கண்டோம்.

***முறை* : II**

ஒத்த பல்லுறுப்புக் கோவையினை காரணிப்படுத்துவதன் மூலமாக ஒரு இருபடிச் சமன்பாட்டினைத் தீர்க்க இயலும்.

1. $ax^2 + bx + c > 0$ என்க.

   $ax^2 + bx + c = a(x - \alpha)(x - \beta)$ என்க.

   $\alpha < \beta$ என்க.

***நிலை* (i) :** $x < \alpha$ எனில் $x - \alpha < 0$ & $x - \beta < 0$

$\therefore (x - \alpha)(x - \beta) > 0$

***நிலை* (ii):** $x > \beta$ எனில் $x - \alpha > 0$ & $x - \beta > 0$

$\therefore (x - \alpha)(x - \beta) > 0$

எனவே $(x - \alpha)(x - \beta) > 0$ எனில் x-ன் மதிப்புகள் α, β ஆகியவற்றிற்கு வெளியே அமையும்.

2. $ax^2 + bx + c < 0$ என்க.

   $ax^2 + bx + c = a(x - \alpha)(x - \beta)$; $\alpha, \beta \in R$

   $\alpha < \beta$, $\alpha < x < \beta$ என்க.

   எனவே $x - \alpha > 0$ and $x - \beta < 0$

   $\therefore (x - \alpha)(x - \beta) < 0$

எனவே $(x - \alpha)(x - \beta) < 0$ எனில் x-ன் மதிப்புகள் α, β ஆகியவற்றிற்கு இடையே அமையும்.

***முறை* : III**

இருபடி அசமன்பாட்டினைத் தீர்ப்பதற்கான நடைமுறை படிநிலைகள்

***படிநிலை* 1 :** x^2-ன் குணகம் மிகையில்லையெனில், அசமன்பாட்டின் இருபுறமும் -1ஆல் பெருக்கவும். குறை எண்ணால் பெருக்கும் போது அசமன்பாட்டின் குறி மாறும் என்பதை கவனிக்கவும்.

படிநிலை 2 : இருபடிக் கோவையை காரணிப்படுத்தி அதன் ஒருபடிச் சார்புகளை பூச்சியத்துடன் சமன்படுத்தி தீர்வினைப் பெறவும்.

படிநிலை 3 : படிநிலை 2-ல் பெறப்பட்ட மூலங்களை மெய்யெண் கோட்டில் குறிக்கவும். மூலங்கள் மெய்யெண் கோட்டினை மூன்று இடைவெளிகளாகப் பிரிக்கும்.

படிநிலை 4 : வலக்கோடியிலும் இடக்கோடியிலும் உள்ள இடைவெளிகளில் இருபடிக் கோவையானது மிகைக் குறியீட்டினையும் நடுப்பகுதியில் உள்ள இடைவெளியில் குறைக் குறியினையும் பெறும்.

படிநிலை 5 : கொடுக்கப்பட்ட அசமன்பாட்டின் தீர்வு கணத்தை, படிநிலை 4-ல் குறிப்பிட்டபடி ஏற்புடைய இடைவெளியினைத் தேர்ந்தெடுக்கவும்.

படிநிலை 6 : அசமன்பாட்டில், சம செயலிகளும் ($\leq$, $\geq$) இருப்பின், மூலங்களை தீர்வு கணத்தில் சேர்க்கவும்.

எ.கா. 7.26: $x^2 - 7x + 6 > 0$ என்ற அசமன்பாட்டின் தீர்வு காண்க.

***முறை* I:**

தீர்வு : $x^2 - 7x + 6 > 0$

$\Rightarrow \quad (x-1)(x-6) > 0$ [இங்கு $b^2 - 4ac = 25 > 0$]

இப்பொழுது பொது விதி2-ஐ பயன்படுத்த,

$x - 1 > 0, x - 6 > 0$	(அல்லது)	$(x-1) < 0, (x-6) < 0$
$\Rightarrow x > 1,\ x > 6$		$\Rightarrow x < 1, x < 6$
இங்கு $x > 1$ஐ விட்டு விடலாம்		$x < 6$ஐ விட்டு விடலாம்
$\Rightarrow\ x > 6$		$\Rightarrow\ x < 1$

$\therefore\ x \in (-\infty, 1) \cup (6, \infty)$

***முறை* II:**

$x^2 - 7x + 6 > 0$

$\Rightarrow\ (x-1)(x-6) > 0$

$(x-\alpha)(x-\beta) > 0$ எனில் x-ன் மதிப்புகள் (α,β)க்கு வெளியே இருக்கும்.

அதாவது $(1, 6)$க்கு வெளியே இருக்கும்.

$\Rightarrow\ x \in (-\infty, 1) \cup (6, \infty)$

***முறை* III:**

$x^2 - 7x + 6 > 0$

$\Rightarrow\ (x-1)(x-6) > 0$

காரணிகளைப் பூச்சியத்துக்கு சமப்படுத்த, $x = 1$, $x = 6$ என்ற மூலங்கள் இருபடிச் சமன்பாட்டிற்கு கிடைக்கிறது. இம்மூலங்களை மெய்யெண் கோட்டில் குறிக்கவும். மேலும் இடமிருந்து வலமாக இடைவெளிகளை +, –, + என குறிப்பிடவும். இதற்குரிய எண்கோடு

இங்கு $(-\infty, 1)$, $(1, 6)$, $(6, \infty)$ ஆகிய இடைவெளிகள் உள்ளன. $(x - 1)$ $(x - 6)$ மிகையாக இருக்க வேண்டுமென்பதால் மிகைக்குரிய இடைவெளிகள் $(-\infty, 1)$, $(6, \infty)$ ஆகும்.

$\Rightarrow \quad x \in (-\infty, 1) \cup (6, \infty)$

குறிப்பு : இம்மூன்று முறைகளில் மூன்றாவது முறை மிகவும் உபயோகமானதாகும்.

எ.கா. 7.27: $-x^2 + 3x - 2 > 0$ என்ற அசமன்பாட்டினைத் தீர்க்க.

தீர்வு :

$$-x^2 + 3x - 2 > 0 \quad \Rightarrow \quad -(x^2 - 3x + 2) > 0$$
$$\Rightarrow \quad x^2 - 3x + 2 < 0$$
$$\Rightarrow \quad (x - 1)(x - 2) < 0$$

காரணிகளை பூச்சியத்திற்கு சமப்படுத்த, $x = 1$, $x = 2$ என்ற இரண்டு மூலங்கள் இருபடிச் சமன்பாட்டிற்கு கிடைக்கும். இதனை எண் கோட்டில் குறிப்பிட்டு, ஒவ்வொரு இடைவெளிக்கும் இடமிருந்து வலமாக +, –, + எனக் குறியிடவும்.

இங்கு $(-\infty, 1)$, $(1, 2)$, $(2, \infty)$ ஆகிய மூன்று இடைவெளிகள் உள்ளன. $(x - 1)$ $(x - 2)$ ஒரு குறையெண்ணாக இருக்கத் தேவையான இடைவெளி $(1, 2)$ ஆகும்.

எனவே $x \in (1, 2)$

குறிப்பு : இதனை முதல் இரண்டு முறையிலும் தீர்வு காணலாம்.

எ.கா. 7.28: தீர்க்க : $4x^2 - 25 \geq 0$

தீர்வு : $4x^2 - 25 \geq 0$

$$\Rightarrow \quad (2x - 5)(2x + 5) \geq 0$$

காரணிகளை பூச்சியத்துக்கு சமப்படுத்த $x = \frac{5}{2}$, $x = -\frac{5}{2}$ ஆகிய மூலங்கள் இருபடிச் சமன்பாட்டுக்கு கிடைக்கும். இதனை எண்கோட்டில் குறிப்பிட்டு இடமிருந்து வலமாக ஒவ்வொரு இடைவெளிக்கும் +, –, + என்றவாறு குறிப்பிடவும்.

இங்கு $\left(-\infty, -\frac{5}{2}\right)$, $\left(-\frac{5}{2}, \frac{5}{2}\right)$ $\left(\frac{5}{2}, \infty\right)$ஆகிய மூன்று இடைவெளிகள் உள்ளன. $(2x - 5)(2x + 5)$-ன் மதிப்பு மிகையாகவோ அல்லது பூச்சியமாகவோ இருக்கலாம். எனவே $\left(-\infty, -\frac{5}{2}\right)$, $\left(\frac{5}{2}, \infty\right)$ ஆகிய இடைவெளிகளுடன் மூலங்களான $-\frac{5}{2}$, $\frac{5}{2}$ ஆகியவற்றையும் சேர்க்க வேண்டும். எனவே $x \in (-\infty, \frac{-5}{2}] \cup [\frac{5}{2}, \infty)$

எ.கா. 7.29: $64x^2 + 48x + 9 < 0$ *என்ற அசமன்பாட்டைத் தீர்க்க.*

தீர்வு :

$64x^2 + 48x + 9 = (8x + 3)^2$

$(8x + 3)^2$ *என்பது ஒரு வர்க்கமாக உள்ளதால், இது x-ன் மெய் மதிப்புக்கு குறையெண்ணாக இருக்க வாய்ப்பில்லை. எனவே இதற்கு தீர்வு கிடையாது.*

எ.கா. 7.30: $f(x)=x^2+2x+6 > 0$ *என்பதன் தீர்வு காண்க (அல்லது) $f(x)$ என்ற சார்பின் சார்பகம் காண்க.*

$x^2 + 2x + 6 > 0$

$(x + 1)^2 + 5 > 0$

இது x-ன் எல்லா மெய் மதிப்புகளுக்கும் உண்மையாகவே இருக்கும். எனவே தீர்வு கணம் R ஆகும்.

எ.கா. 7.31: $f(x) = 2x^2 - 12x + 50 \le 0$ *என்பதன் தீர்வு காண்க.*

தீர்வு :

$2x^2 - 12x + 50 \le 0$

$2(x^2 - 6x + 25) \le 0$

$x^2 - 6x + 25 \le 0$

$(x^2 - 6x + 9) + 25 - 9 \le 0$

$(x - 3)^2 + 16 \le 0$

x-ன் எந்த மெய் மதிப்பிற்கும் இது உண்மையல்ல.

$\therefore$ *கொடுக்கப்பட்ட சமன்பாட்டிற்கு தீர்வு இல்லை.*

சில சிறப்பான கணக்குகள் [இருபடி அசமன்பாட்டிற்கு மாற்றத்தக்கவை]

எ.கா. 7.32: *தீர்வு காண்க :* $\dfrac{x+1}{x-1} > 0, x \ne 1$

தீர்வு :

$$\frac{x+1}{x-1} > 0$$

தொகுதி, பகுதிகளை $(x - 1)$*ஆல் பெருக்க*

$$\Rightarrow \quad \frac{(x+1)(x-1)}{(x-1)^2} > 0$$

$$\Rightarrow \quad (x+1)(x-1) > 0 \qquad [\because (x-1)^2 > 0, x \ne 1]$$

இங்கு $(x + 1)(x - 1)$*-ன் மதிப்பு மிகையெண்ணாக உள்ளதால்* $(x + 1)(x - 1)$ *மிகையாக இருக்கும் இடைவெளிகளை தேர்வு செய்க.*

$$\therefore \quad x \in (-\infty, -1) \cup (1, \infty)$$

எ.கா. 7.33: *தீர்வு காண்க :* $\dfrac{x-1}{4x+5} < \dfrac{x-3}{4x-3}$

தீர்வு : $\dfrac{x-1}{4x+5} < \dfrac{x-3}{4x-3}$

$$\Rightarrow \quad \frac{x-1}{4x+5} - \frac{x-3}{4x-3} < 0 \qquad \text{(இங்கு குறுக்கு பெருக்கல் காண இயலாது)}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{(x-1)(4x-3) - (x-3)(4x+5)}{(4x+5)(4x-3)} < 0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{18}{(4x+5)(4x-3)} < 0$$

$\Rightarrow$ 18 *ஒரு மிகை எண் என்பதால்* $(4x + 5)(4x - 3) < 0$

காரணிகளை பூச்சியத்துக்கு சமப்படுத்த, $x = \frac{-5}{4}$, $x = \frac{3}{4}$ என்ற மூலங்கள், இருபடிச் சமன்பாட்டிற்கு கிடைக்கிறது. இதனை எண்கோட்டில் குறிப்பிட்டு +, –, + ஆகிய குறியீடுகளை இடமிருந்து வலமாக இடைவெளிகளுக்கு கொடுக்கவும்.

$(4x + 5)(4x - 3)$-ன் மதிப்பு குறையெண்ணாக இருப்பதால் அதற்குரிய இடைவெளி $\left(\frac{-5}{4}, \frac{3}{4}\right)$ ஆகும். எனவே $x \in \left(\frac{-5}{4}, \frac{3}{4}\right)$

எ.கா. 7.34 : x ஒரு மெய்யெண் எனில், $f(x) = \frac{x^2 - 3x + 4}{x^2 + 3x + 4}$ என்ற சார்பின் வீச்சகம் $\left[\frac{1}{7}, \ 7\right]$ என நிரூபி.

தீர்வு :

$$y = \frac{x^2 - 3x + 4}{x^2 + 3x + 4} \text{ என்க.}$$

$$(x^2 + 3x + 4)y = x^2 - 3x + 4$$

$$\Rightarrow \quad x^2 (y - 1) + 3x (y + 1) + 4(y - 1) = 0$$

இது ஒரு x-ல் அமைந்த இருபடிச் சமன்பாடு ஆகும். x என்பது மெய் என்பதால்

$\Rightarrow$ தன்மைக் காட்டி ≥ 0

$$\Rightarrow \quad 9(y + 1)^2 - 16(y - 1)^2 \geq 0$$

$$\Rightarrow \quad [3(y + 1)]^2 - [4(y - 1)]^2 \geq 0$$

$$\Rightarrow \quad [3(y + 1) + 4(y - 1)] \ [3(y + 1) - 4(y - 1)] \geq 0$$

$$\Rightarrow \quad (7y - 1)(-y + 7) \geq 0$$

$$\Rightarrow \quad -(7y - 1)(y - 7) \geq 0$$

$$\Rightarrow \quad (7y - 1)(y - 7) \leq 0$$

இங்கு $\left(-\infty, \frac{1}{7}\right)$, $\left(\frac{1}{7}, 7\right)$, $(7, \infty)$ ஆகிய இடைவெளிகள் உள்ளன. $(7y - 1)(y - 7)$-ன் மதிப்பு குறையாகவோ அல்லது பூச்சியமாகவோ இருக்க அதற்குரிய இடைவெளியான $\left(\frac{1}{7}, 7\right)$ ஐ எடுத்து அதனுடன் மூலங்களான $\frac{1}{7}$, 7ஐ சேர்க்கவும்.

$\therefore y \in \left[\frac{1}{7}, 7\right]$ அதாவது $\frac{x^2 - 3x + 4}{x^2 + 3x + 4}$-ன் மதிப்பு $\frac{1}{7}$ மற்றும் 7 இடையே உள்ளது. அதாவது $f(x)$-ன் வீச்சகம் $\left[\frac{1}{7}, 7\right]$ ஆகும்.

பயிற்சி 7.1

(1) $f, g : R \to R$ என்ற சார்புகள் $f(x) = x + 1$, $g(x) = x^2$ என வரையறுக்கப்படுகிறதெனில்

(i) $(fog)(x)$ (ii) $(gof)(x)$ (iii) $(fof)(x)$ (iv) $(gog)(x)$ (v) $(fog)(3)$ (vi) $(gof)(3)$ ஆகியவற்றைக் காண்க.

(2) மேற்குறிப்பிட்ட (1)-ல் f, g-ன் வரையறைகளின்படி

(i) $(f + g)(x)$ (ii) $\left(\frac{f}{g}\right)(x)$ (iii) $(fg)(x)$ (iv) $(f - g)(x)$ (v) $(gf)(x)$ ஆகியவற்றைக் காண்க.

(3) $f : R \to R$ என்ற சார்பு $f(x) = 3x + 2$ என வரையறுப்பின் f^{-1}-ஐக் காண்க. மேலும் $fof^{-1} = f^{-1}of = I$ எனவும் நிரூபிக்க.

(4) கீழ்க்காணும் அசமன்பாடுகளுக்குத் தீர்வு காண்க.

(i) $x^2 \le 9$ (ii) $x^2 - 3x - 18 > 0$ (iii) $4 - x^2 < 0$

(iv) $x^2 + x - 12 < 0$ (v) $7x^2 - 7x - 84 \ge 0$ (vi) $2x^2 - 3x + 5 < 0$

(vii) $\frac{3x - 2}{x - 1} < 2,\ x \ne 1$ (viii) $\frac{2x - 1}{x} > -1, x \ne 0$ (ix) $\frac{x - 2}{3x + 1} > \frac{x - 3}{3x - 2}$

(5) x ஒரு மெய்யெண் எனில் $\frac{x^2 + 34x - 71}{x^2 + 2x - 7}$-ன் மதிப்பு 5 மற்றும் 9க்கு இடையே இருக்காது என நிரூபி.

(6) x ஒரு மெய்யெண் எனில் $f(x) = \frac{x^2 - 2x + 4}{x^2 + 2x + 4}$ என்ற சார்பின் வீச்சகம் $\left[\frac{1}{3}, 3\right]$ என நிரூபி.

(7) x ஒரு மெய்யெண் எனில் $\frac{x}{x^2 - 5x + 9}$ என்பது $-\frac{1}{11}$ மற்றும் 1க்கு இடையே அமைந்துள்ளது என நிரூபி.

8. வகை நுண்கணிதம்
(DIFFERENTIAL CALCULUS)

நுண்கணிதமென்பது இயக்கம், மாற்றம் அகியவற்றின் கணிதம் ஆகும். அதிகரிக்கும் அல்லது குறையும் அளவுகள், கணித ஆய்வுப் பொருளாக அமையும்போது வளர்ச்சி மற்றும் சிதைவு வீதங்களைக் கணக்கிடுவது அவசியமாகிறது. தொடர்ந்து மாறும் அளவுகள் குறித்த பிரச்சினைகளை (கணக்குகளை) தீர்ப்பதற்கு கண்டுபிடிக்கப்பட்டதே நுண்கணிதம் ஆகும். இத்தகைய வீதங்களை அளப்பதற்கும், அவற்றின் உருவாக்கம் மற்றும் பயன்பாடு குறித்த விதிகளை வகுப்பதற்கும் தேவையான கருவியை விவரிப்பதே வகை நுண்கணிதம் ஆகும்.

ஒரு வாகனத்தின் திசைவேகம் காலத்தைப் பொறுத்து மாறும் வீதம், மக்கள்தொகை வளர்ச்சியானது காலத்தைப் பொறுத்து மாறும் வீதம் போன்றவைகளை கணக்கிடுவதற்கு வகை நுண்கணிதம் பயன்படுகிறது. இலாபங்களை பெருமமாக்குவதற்கும் இழப்புகளை சிறுமமாக்குவதற்கும் வகை நுண்கணிதம் நமக்கு உதவுகிறது.

இங்கிலாந்தைச் சேர்ந்த ஐசக் நியூட்டனும் ஜெர்மனியைச் சார்ந்த கோட்பிறைட்வில்ஹெம் லீப்னிட்சும் தனித்தனியே 17ஆம் நுற்றாண்டில் நுண்கணிதத்தைக் கண்டுபிடித்தனர். மாபெரும் கணிதமேதையான லீப்னிட்ஸ் வடிவ கணிதத்தில் தொடுகோடுகளைத் தீர்மானிக்கும் பிரச்சினையின் ஊடாக நுண்கணிதத்தை அணுகினார். மாபெரும் கணிதமேதையாக மட்டுமின்றி இயற்பியல் அறிஞருமாக விளங்கிய நியூட்டன் தனது இயக்கம் மற்றும் ஈர்ப்பு விதிகளை உருவாக்குவதற்கு நுண்கணிதத்தைப் பயன்படுத்தினார்.

8.1 சார்பு எல்லை (Limit of a function) :

அருகாமை அல்லது நெருக்கம் குறித்த உணர்நிலையுடன் நெருக்கமாக இருப்பது எல்லை எனும் கருத்தாக்கம். இத்தகைய நெருக்கங்களை கூட்டல், பெருக்கல், கழித்தல், வகுத்தல் முதலான இயற்கணித அடிப்படைச் செயல்பாடுகள் மூலம் விளக்க முடியாது. மாறுகிற ஒரு அளவையைச் சார்ந்து இன்னொரு அளவை அமையும் சூழல்களில் எல்லைக் கருத்தாக்கம் பயன்படுகிறது. மாறுகிற அளவை கொடுக்கப்பட்ட ஒரு நிலையான மதிப்பிற்கு மிக அருகாமையில் உள்ளபோது அதைச் சார்ந்துள்ள அளவை எவ்வாறு செயல்படுகிறது என நாம் அறிய விரும்பும்போதும் இது பயன்படுகிறது.

இப்போது சில எடுத்துக்காட்டுகளின் மூலம் இந்த எல்லைக் கருத்தாக்கத்தை விளக்குவோம்.

மெய்யெண்களின் கணமாகிய R-லிருந்து R-க்கு வரையறுக்கப்பட்ட சார்பு $f(x) = x + 4$ஐ எடுத்துக் கொள்வோம்.

x-ன் மதிப்புகள் 2-ஐ கீழிருந்தும், மேலிருந்தும் நெருங்கும் போது $f(x)$-ன் மதிப்பை பட்டியல்கள் 8.1 மற்றும் 8.2-ல் காண்க. x என்ற மாறிக்கு எண்ணற்ற மதிப்புகள் தரமுடியும்.

x	1	1.5	1.9	1.99	1.999
$f(x)$	5	5.5	5.9	5.99	5.999

பட்டியல் 8.1

x	3	2.5	2.1	2.01	2.001
$f(x)$	7	6.5	6.1	6.01	6.001

பட்டியல் 8.2

அந்த மதிப்புகள் நிலை எண் 2-ஐ நெருங்க நெருங்க, $f(x) = x + 4$ ஆனது 6-க்கு மிக அருகாமையில் இருக்கும். அதாவது 2-ஐ x-ன் மதிப்புகள் நெருங்கும் போது $f(x)$ ஆனது 6 என்ற எல்லையை நெருங்கும். இதனை $\lim\limits_{x \to 2} f(x) = 6$ எனக் குறிப்பது வழக்கம். இந்தக் குறிப்பிட்ட எடுத்துக்காட்டைப் பொறுத்தவரையில் $\lim\limits_{x \to 2} f(x)$-ம் $f(2) = 6$-ம் ஒன்று எனக் காண்கிறோம். அதாவது $\lim\limits_{x \to 2} f(x) = f(2)$.

'$x \to 0$' என்பதற்கும் '$x = 0$' என்பதற்கும் மிகுந்த வேறுபாடு உள்ளது என்பதையும் கவனிக்க. $x \to 0$ என்பது 0 என்ற எல்லையை x நெருங்குகிறது அல்லது நோக்குகிறது என்றும் ஆனால் x ஒருபோதும் பூச்சியம் ஆகாது என்பதுமாகும். $x = 0$ என்பது 0 என்ற மதிப்பை x பெறுகிறது என்பதாகும்.

இப்பொழுது $f(x) = \dfrac{x^2 - 4}{(x - 2)}$ என்ற விகிதமுறு சார்பை எடுத்துக் கொள்வோம். x-க்கு 2-ஐத் தவிர எந்த மதிப்பு வேண்டுமானாலும் கொடுக்கலாம். இச்சார்பு $x = 2$ என்ற புள்ளியில் வரையறுக்கப்படவில்லை. ஆனால் 2-க்கு அண்மையில் உள்ள மதிப்புகளுக்கு வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. ஆகவே $\lim\limits_{x \to 2} \dfrac{x^2 - 4}{(x - 2)}$ ஐக் காண முயல்வோம். பட்டியல்கள் 8.3 மற்றும் 8. 4 ஆகியன x-ஆனது 2-க்கு கீழான மற்றும் மேலான மதிப்புகளிலிருந்து நெருங்க, $f(x)$-ன் மதிப்புகளைக் குறிக்கிறது.

x	1	1.5	1.9	1.99	1.999
$f(x)$	3	3.5	3.9	3.99	3.999

பட்டியல் 8.3

x	3	2.5	2.1	2.01	2.001
$f(x)$	5	4.5	4.1	4.01	4.001

பட்டியல் 8.4

x-ஆனது நிலை எண் 2-ஐ அணுக, $f(x)$ ஆனது 4 என்ற எல்லையை எட்டுகிறது என்பதைப் பார்க்கிறோம். எனவே $\lim_{x \to 2} \frac{x^2 - 4}{(x-2)} = 4$. $x \neq 2$ எனும்போது, $f(x) = \frac{x^2 - 4}{(x-2)} = x + 2$ என்பதையும் கவனித்திருப்பீர்கள். இவ்வாறான சார்புகளின் எல்லையைக் கணக்கிட $x \neq 2$ஆக இருக்கும்போது $x = 2$ என்ற மதிப்பை $x + 2$-ல் பிரதியிட்டுப் பெற வேண்டும் என்பதையும் உற்றுக் கவனித்திருப்பீர்கள்.

மேலும் $f(x) = \frac{1}{x}$ என்ற தலைகீழ்ச் சார்பை எடுத்துக் கொள்வோம். $f(0)$ வரையறுக்கப்படாத ஒன்றாயிருப்பினும் $\lim_{x \to 0} f(x)$ஐக் கணக்கிட முடியுமா என முயல்வோம். x-க்கு 0-வைத் தவிர எந்த மதிப்பு வேண்டுமானாலும் கொடுக்கலாம். பட்டியல்கள் 8.5 மற்றும் 8.6ஐக் கவனிக்க. x-ன் மதிப்புகள் 0-வை மேலிருந்தும், கீழிருந்தும் நெருங்க நெருங்க $f(x)$-ன் மதிப்புகள் எந்த ஒரு நிலை எண்ணையும் அணுகவில்லை என்பதும் புலனாகிறது. அதாவது xஆனது, 0-ஐ அணுக அணுக $f(x) = \frac{1}{x}$ எல்லையை அடையவில்லை என்பது தீர்மானமாகிறது.

x	1/2	1/10	1/100	1/1000
$f(x)$	2	10	100	1000

பட்டியல் 8.5

x	– 1/2	– 1/10	– 1/100	– 1/1000
$f(x)$	– 2	– 10	– 100	– 1000

பட்டியல் 8.6

மேற்கண்ட மூன்று எடுத்துக்காட்டுகளில், முதல் இரண்டும் தனித்த மாறிகள் ஒரு நிலை எண்ணை இடமிருந்தோ அல்லது வலமிருந்தோ அணுகும்போது, எல்லையை அடைய முடியுமென்றும் மூன்றாவது எடுத்துக்காட்டு அப்படிப்பட்ட எல்லையை அடையவேண்டிய

அவசியமில்லை என்பதையும் புலப்படுத்துகிறது. இந்த மூன்று எடுத்துக்காட்டும் உணர்த்தும் உண்மையிலிருந்து சார்பின் எல்லையை கீழ்வருமாறு வரையறுக்கலாம்.

வரையறை :

f ஆனது x-ஐச் சார்ந்த சார்பு என்க. c, l என்பன இரண்டு நிலை எண்கள். x-ஆனது c-ஐ நெருங்கும்போது, $f(x)$ஆனது l-ஐ நெருங்குமானால் l-ஐ $f(x)$-ன் எல்லை என்கிறோம். இதனை $\lim_{x \to c} f(x) = l$ என எழுதுவது வழக்கம்.

இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகள் :

(Left hand and Right hand limits)

$f(x)$-ன் எல்லையை வரையறுக்கும்போது, நிலை எண் c-ஐ x நெருங்க நெருங்க $f(x)$-ன் மதிப்புகளை கருத்தில் கொண்டோம். x-ன் மதிப்புகள் c-ஐ விட சிறியதாகவோ (இடமிருந்து நெருங்கும் போது) அல்லது பெரியதாகவோ (வலமிருந்து நெருங்கும்போது) இருக்கும். x-ன் மதிப்புகள் c-ஐ விட குறைந்த மதிப்புகளைத்தான் எடுக்க வேண்டும் என்ற நிபந்தனைக்குட்படுத்தினால், x-ஆனது c-யின் கீழிருந்து அல்லது இடமிருந்து நெருங்குகிறது என்போம். இதனை $x \to c - 0$ அல்லது $x \to c_-$ எனக் குறிக்கப்படும். c-ஐ x-ஆனது இடமிருந்து அல்லது கீழிருந்து நெருங்க $f(x)$-ன் எல்லையை கீழிருந்து அல்லது இடமிருந்து எல்லை என்போம். இதனை,

$$\mathrm{L}f(c) = \lim_{x \to c_-} f(x) \text{ என எழுதுவோம்.}$$

அதேபோல், xஆனது c-ஐ விட அதிக மதிப்புகளிலிருந்து நெருங்குமாயின் அதனை $x \to c + 0$ அல்லது $x \to c_+$ எனக் குறிப்பிடலாம். மேலும் $x \to c_+$ எனும் போது $f(x)$-ன் எல்லையை மேலிருந்து எல்லை அல்லது வலமிருந்து எல்லை என்போம். இதனை, $\mathrm{R}f(c) = \lim_{x \to c_+} f(x)$ என எழுதுவோம்.

கொடுக்கப்பட்ட சார்பு, எல்லையைப் பெற்றிருக்க வேண்டுமெனில் இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகள் பெற்றிருக்க வேண்டும். மேலும் அவைகள் சமமாக அமைய வேண்டுமென்பதும் அவசியமாகிறது. இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகள் ஒருதலைபட்ச எல்லைகள் எனவும் அழைக்கப்படும்.

8.1.1 எல்லை காணப் பயன்படும் சில அடிப்படைத் தேற்றங்கள்

(1) $f(x) = k$ (மாறிலிச் சார்பு) எனில், $\lim_{x \to c} f(x) = k$.

(2) $f(x) = x$ *(சமனிச் சார்பு) எனில்,* $\lim\limits_{x \to c} f(x) = c$.

(3) $f(x)$, $g(x)$ *ஆகியன எல்லை பெற்ற சார்புகள் மற்றும்* k *மாறிலி எனில்,*

(i) $$\lim_{x \to c} k\, f(x) = k \lim_{x \to c} f(x)$$

(ii) $$\lim_{x \to c} [f(x) + g(x)] = \lim_{x \to c} f(x) + \lim_{x \to c} g(x)$$

(iii) $$\lim_{x \to c} [f(x) - g(x)] = \lim_{x \to c} f(x) - \lim_{x \to c} g(x)$$

(iv) $$\lim_{x \to c} [f(x) \,.\, g(x)] = \lim_{x \to c} f(x) \cdot \lim_{x \to c} g(x)$$

(v) $$\lim_{x \to c} \left[\frac{f(x)}{g(x)}\right] = \lim_{x \to c} f(x) \Big/ \lim_{x \to c} g(x), \qquad g(x) \neq 0$$

(vi) $f(x) \leq g(x)$ *எனில்,* $\lim\limits_{x \to c} f(x) \leq \lim\limits_{x \to c} g(x)$.

எ.கா. 8.1 :

$\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{x^2 - 1}{x - 1}$ *-ன் மதிப்பு காண்க.*

தீர்வு :

இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகளைத் தனித்தனியே கண்டுபிடித்து எல்லை மதிப்பைக் காண்போம்.

$x \to 1_-$ *எனும்பொழுது,* $x = 1 - h$, $h > 0$ *எனப் பிரதியிடுக.*

$$\lim_{x \to 1-} \frac{x^2 - 1}{x - 1} = \lim_{h \to 0} \frac{(1-h)^2 - 1}{1 - h - 1} = \lim_{h \to 0} \frac{1 - 2h + h^2 - 1}{-h}$$

$$= \lim_{h \to 0} (2 - h) = \lim_{h \to 0} (2) - \lim_{h \to 0} (h) = 2 - 0 = 2$$

$x \to 1_+$ *எனும் பொழுது,* $x = 1 + h$, $h > 0$ *எனப் பிரதியிடுக*

$$\lim_{x \to 1+} \frac{x^2 - 1}{x - 1} = \lim_{h \to 0} \frac{(1+h)^2 - 1}{1 + h - 1} = \lim_{h \to 0} \frac{1 + 2h + h^2 - 1}{h}$$

$$= \lim_{h \to 0} (2 + h) = \lim_{h \to 0} (2) + \lim_{h \to 0} (h)$$

$$= 2 + 0 = 2, \qquad \text{(8.1.1ன் (1), (2)ஐப் பயன்படுத்த)}$$

இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகள் சமம் ஆதலால்,

$\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{x^2 - 1}{x - 1}$ மதிப்பு பெற்றுள்ளது. மேலும் $\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{x^2 - 1}{x - 1} = 2.$

குறிப்பு : $x \neq 1$ ஆதலால் $(x - 1)$ ஆல் வகுக்க முடியும்.

$$\therefore \lim_{x \to 1} \frac{x^2 - 1}{x - 1} = \lim_{x \to 1} (x + 1) = 2 .$$

எ.கா. 8.2 : இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகளை $x = 4$-ல் காண்க.

$$\boldsymbol{f(x)} = \begin{cases} \dfrac{|x - 4|}{x - 4} & x \neq 4 \quad \text{எனும் பொழுது} \\ 0, & x = 4 \quad \text{எனும் பொழுது} \end{cases}$$

தீர்வு :

$x > 4$ எனும் பொழுது $|x - 4| = x - 4$

எனவே $\lim\limits_{x \to 4+} f(x) = \lim\limits_{x \to 4+} \dfrac{|x - 4|}{x - 4} = \lim\limits_{x \to 4+} \dfrac{x - 4}{x - 4} = \lim\limits_{x \to 4} (1) = 1$

$x < 4$ எனும் பொழுது $|x - 4| = -(x - 4)$

எனவே $\lim\limits_{x \to 4-} f(x) = \lim\limits_{x \to 4-} \dfrac{-(x - 4)}{(x - 4)} = \lim\limits_{x \to 4-} (-1) = -1$

வலமிருந்து மற்றும் இடமிருந்து எல்லைகள் ஆகிய இரண்டும் பெற்றிருப்பினும், இவைகள் சமமின்மையால், $x = 4$-ல் கொடுக்கப்பட்ட சார்பிற்கு எல்லை மதிப்பு இல்லை என்பதைப் புரிந்து கொள்க.

அ.து. $Rf(4) = \lim\limits_{x \to 4+} f(x) \neq \lim\limits_{x \to 4-} f(x) = Lf(4).$

எ.கா. 8.3

மதிப்பு காண்க $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{3x + |x|}{7x - 5|x|}$

தீர்வு :

$$Rf(0) = \lim_{x \to 0+} \frac{3x + |x|}{7x - 5|x|} = \lim_{x \to 0+} \frac{3x + x}{7x - 5x} \quad (x > 0 \text{ ஆதலால் } |x| = x)$$

$$= \lim_{x \to 0+} \frac{4x}{2x} = \lim_{x \to 0+} 2 = 2 .$$

$$L f(0) = \lim_{x \to 0-} \frac{3x + |x|}{7x - 5|x|} = \lim_{x \to 0-} \frac{3x - x}{7x - 5(-x)} \quad (x<0, \text{ ஆதலால் } |x| = -x)$$

$$= \lim_{x \to 0-} \frac{2x}{12x} = \lim_{x \to 0-} \left(\frac{1}{6}\right) = \frac{1}{6} .$$

$Rf(0) \neq Lf(0)$ ஆதலால் எல்லை மதிப்பு இல்லை.

குறிப்பு : $f(x) = g(x) / h(x)$ என்க. $x = c$யில், $g(c) \neq 0$ மற்றும் $h(c) = 0$ என இருந்து $f(c) = \frac{g(c)}{0}$ என அமையுமெனில் $\lim\limits_{x \to c} f(x)$ காண இயலாது.

எ.கா. 8.4 : மதிப்பிடுக : $\lim\limits_{x \to 3} \frac{x^2 + 7x + 11}{x^2 - 9}$.

தீர்வு :

$f(x) = \frac{x^2 + 7x + 11}{x^2 - 9} = \frac{g(x)}{h(x)}$ என்க. இங்கு

$g(x) = x^2 + 7x + 11$; $h(x) = x^2 - 9$.

$x = 3$-ல் $g(3) = 41 \neq 0$ மற்றும் $h(3) = 0$.

மேலும் $f(3) = \frac{g(3)}{h(3)} = \frac{41}{0}$ ஆகும். எனவே $\lim\limits_{x \to 3} \frac{x^2 + 7x + 11}{x^2 - 9}$ காண இயலாது.

எ.கா. 8.5: மதிப்பிடுக $\lim\limits_{x \to 0} \frac{\sqrt{1+x} - 1}{x}$

தீர்வு :

$$\lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{1+x} - 1}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{\left(\sqrt{1+x} - 1\right)\left(\sqrt{1+x} + 1\right)}{x\left(\sqrt{1+x} + 1\right)}$$

$$= \lim_{x \to 0} \frac{(1+x) - 1}{x\left(\sqrt{1+x} + 1\right)} = \lim_{x \to 0} \frac{1}{\left(\sqrt{1+x} + 1\right)}$$

$$= \frac{\lim\limits_{x \to 0} (1)}{\lim\limits_{x \to 0} \left(\sqrt{1+x} + 1\right)} = \frac{1}{\sqrt{1} + 1} = \frac{1}{2} .$$

8.1.2 சில முக்கிய எல்லைகள் (Some important limits)

எ.கா. 8.6 :

n ஒரு விகிதமுறு எண்ணாக இருந்து $\left|\frac{\Delta x}{a}\right| < 1$ என இருப்பின்

$$\lim_{x \to a} \frac{x^n - a^n}{x - a} = na^{n-1} \qquad (a \neq 0)$$

தீர்வு : x க்குப் பதிலாக $a + \Delta x$ என ஈடாக்குவோம். பின்பு $x \to a$ எனும் பொழுது $\Delta x \to 0$ மற்றும் $\left|\frac{\Delta x}{a}\right| < 1$ என்பதைக் கவனிக்க.

எனவே $\dfrac{x^n - a^n}{x - a} = \dfrac{(a + \Delta x)^n - a^n}{\Delta x} = \dfrac{a^n\left(1 + \dfrac{\Delta x}{a}\right)^n - a^n}{\Delta x}$

விகிதமுறு படிக்குரிய ஈருறுப்புத் தேற்றத்தை $\left(1 + \dfrac{\Delta x}{a}\right)^n$ க்கு உபயோகிக்க

$$\left(1 + \frac{\Delta x}{a}\right)^n = 1 + \binom{n}{1}\left(\frac{\Delta x}{a}\right) + \binom{n}{2}\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^2 + \binom{n}{3}\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^3 + \ldots + \binom{n}{r}\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^r + \ldots$$

$$\therefore \frac{x^n - a^n}{x - a} = \frac{a^n\left[1 + \binom{n}{1}\left(\frac{\Delta x}{a}\right) + \binom{n}{2}\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^2 + \ldots + \binom{n}{r}\left(\frac{\Delta x}{a}\right)^r + \ldots\right] - a^n}{\Delta x}$$

$$= \frac{\left[\binom{n}{1} a^{n-1}\,\Delta x + \binom{n}{2} a^{n-2}(\Delta x)^2 + \ldots + \binom{n}{r} a^{n-r}(\Delta x)^r + \ldots\right]}{\Delta x}$$

$$= \binom{n}{1} a^{n-1} + \binom{n}{2} a^{n-2}(\Delta x) + \ldots + \binom{n}{r} a^{n-r}(\Delta x)^{r-1} + \ldots$$

$= \binom{n}{1} a^{n-1} + \Delta x$ம் அதன் படிகளையுமுடைய உறுப்புகள்

$\Delta x = x - a$ ஆதலால், $x \to a$ எனும் பொழுது $\Delta x \to 0$ ஆகும்.

எனவே $\lim\limits_{x \to a} \dfrac{x^n - a^n}{x - a} = \lim\limits_{\Delta x \to 0} \binom{n}{1} a^{n-1} + \lim\limits_{\Delta x \to 0}$ Δxம் அதன் படிகளையுமுடைய உறுப்புகள்

$$= \binom{n}{1} a^{n-1} + 0 + 0 + \ldots = na^{n-1} \qquad \because \binom{n}{1} = n\,.$$

இதனைப் பயன்படுத்தும் விதமாக கீழ்க்காணும் எடுத்துக்காட்டுகளைப் பார்ப்போம்.

எ.கா. 8.7: மதிப்பிடுக $\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{x^3 - 1}{x - 1}$

தீர்வு : $\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{x^3 - 1}{x - 1} = 3(1)^{3-1} = 3(1)^2 = 3$

எ.கா. 8.8: $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{(1 + x)^4 - 1}{x}$ காண்க.

தீர்வு : $1 + x = t$ எனப் பிரதியிட $x \to 0$ எனும் பொழுது $t \to 1$

$$\therefore \lim_{x \to 0} \frac{(1 + x)^4 - 1}{x} = \lim_{t \to 1} \frac{t^4 - 1^4}{t - 1} = 4(1)^3 = 4$$

எ.கா. 8.9: $\lim\limits_{x \to 2} \dfrac{x^n - 2^n}{x - 2} = 32$ என இருக்குமாறு மிகை முழு n-ஐக் காண்க.

தீர்வு : நாம் $\lim\limits_{x \to 2} \dfrac{x^n - 2^n}{x - 2} = n2^{n-1}$ என்பதைப் பெற்றிருக்கிறோம்.

$$\therefore n2^{n-1} = 32 = 4 \times 8 = 4 \times 2^3 = 4 \times 2^{4-1}$$

இருபுறமும் ஒப்பிட நாம் பெறுவது $n = 4$

எ.கா. 8.10: $\lim\limits_{\theta \to 0} \dfrac{\sin\theta}{\theta} = 1$

தீர்வு : $y = \dfrac{\sin\theta}{\theta}$ என எடுத்துக் கொள்வோம். $\theta = 0$ என்பதைத் தவிர θ-ன் எல்லா மதிப்புகளுக்கும் y வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது. $\theta = 0$-க்கு y-ன் மதிப்பை $\dfrac{0}{0}$ என்ற 'தேரப்பெறாதது' (indeterminate) ஆகக் காண்கிறோம். θ-க்குப் பதில் $-\theta$ பிரதியிட, $\dfrac{\sin(-\theta)}{-\theta} = \dfrac{\sin\theta}{\theta}$ என்பதால் பின்னம் $\dfrac{\sin\theta}{\theta}$-ன் எண்ணளவை (magnitude) மாறுவதில்லை. எனவே θ ஆனது 0-க்கு வலமிருந்து நெருங்கும் போது $\dfrac{\sin\theta}{\theta}$-ன் எல்லையைக் கண்டுபிடித்தல் போதுமானது. அதாவது θ முதல் கால்மானப் பகுதியில் இருக்கும்போது எல்லை கண்டால் போதுமானது. Oவை மையமாகவும் ஒரு அலகு ஆரமும் கொண்ட வட்டம் ஒன்றை வரைக. OA = OB = 1 என இருக்குமாறு A, B எனும் புள்ளிகளை வட்டத்தின் பரிதியில் குறித்துக் கொள்க. 'θ' ஆரையன்களை வட்ட மையத்தில் தாங்கும் AOE என்ற வட்டகோணப் பகுதியை எடுத்துக் கொள்வோம். A என்ற புள்ளியில் வட்டத்திற்கு AD என்ற தொடுகோட்டை வரைவோம். அது OE-ஐ D என்ற புள்ளியில் வெட்டட்டும். OD மற்றும் நாண் AB வெட்டிக் கொள்ளும் புள்ளி C என்க.

படம் 8.1

படத்தில் $\sin\theta = AC$; $\cos\theta = OC$;

$\theta = \dfrac{1}{2}$ arc AB, $\angle OAD = 90°$

செங்கோண முக்கோணம் OAD-ல்

$AD = \tan\theta$.

வட்ட வில் ABன் நீளம் $= 2\theta$

நாண் AB-ன் நீளம் $= 2\sin\theta$

தொடுகோடுகளின் கூடுதல் $= AD + BD = 2\tan\theta$

வட்ட வில்லின் நீளம் நாணின் நீளத்திற்கும் தொடுகோடுகளின் நீளத்திற்கும் இடைப்பட்டது என்பதால் கீழ்க்காணும் சமனின்மை கிடைக்கும்.

$2 \sin\theta < 2\theta < 2 \tan\theta$.

$2 \sin\theta$-ல் வகுக்க $1 < \dfrac{\theta}{\sin\theta} < \dfrac{1}{\cos\theta}$ அதாவது $1 > \dfrac{\sin\theta}{\theta} > \cos\theta$ ஆகும்.

$\theta \to 0$ எனும் பொழுது $OC = \cos\theta \to 1$

அதாவது $\lim\limits_{\theta \to 0} \cos\theta = 1$.

எனவே 8.1.1-ன் 3(vi)ஐப் பயன்படுத்த நாம் பெறுவது $1 > \lim\limits_{\theta \to 0} \dfrac{\sin\theta}{\theta} > 1$

அதாவது மாறி $y = \dfrac{\sin\theta}{\theta}$ ன் மதிப்பு ஒன்றிற்கும், ஒன்றை மிக அண்மையில் நெருங்கும் மதிப்பிற்குமிடையே அமைகிறது.

$$\therefore \lim_{\theta \to 0} \frac{\sin\theta}{\theta} = 1.$$

சார்பு $y = \dfrac{\sin\theta}{\theta}$ ன் வரைபடம் படம் 8.2ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

படம் 8.2

எ.கா. 8.11: மதிப்பிடுக : $\lim\limits_{\theta \to 0} \dfrac{1 - \cos\theta}{\theta^2}$.

தீர்வு :

$$\frac{1-\cos\theta}{\theta^2} = \frac{2\sin^2\frac{\theta}{2}}{\theta^2} = \frac{1}{2}\,\frac{\sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right)}{\left(\frac{\theta}{2}\right)^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}}\right)^2$$

$\theta \to 0$ ஆனால் $\alpha = \frac{\theta}{2} \to 0$ மேலும் $\lim\limits_{\theta \to 0} \frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}} = \lim\limits_{\alpha \to 0} \frac{\sin\alpha}{\alpha} = 1$

$$\lim_{\theta \to 0} \frac{1-\cos\theta}{\theta^2} = \lim_{\theta \to 0} \frac{1}{2}\left(\frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}}\right)^2 = \frac{1}{2}\left(\lim_{\theta \to 0} \frac{\sin\frac{\theta}{2}}{\frac{\theta}{2}}\right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 1^2 = \frac{1}{2}$$

எ.கா. 8.12: *மதிப்பிடுக* : $\lim\limits_{x \to 0_+} \frac{\sin x}{\sqrt{x}}$

தீர்வு : $\lim\limits_{x \to 0_+} \frac{\sin x}{\sqrt{x}} = \lim\limits_{x \to 0_+} \left(\frac{\sin x}{x}\right)\sqrt{x}$

$$= \lim_{x \to 0_+} \left(\frac{\sin x}{x}\right) \cdot \lim_{x \to 0_+} \left(\sqrt{x}\right) = 1 \times 0 = 0 .$$

குறிப்பு : $x < 0$ *ஆனால்* $\sqrt{x}$ *கற்பனை ஆதலால், இடமிருந்து எல்லை கிடையாது.*

எ.கா. 8.13: *கணக்கிடுக* : $\lim\limits_{x \to 0} \frac{\sin\beta x}{\sin\alpha x}$, $\alpha \neq 0$.

தீர்வு :

$$\lim_{x \to 0} \frac{\sin\beta x}{\sin\alpha x} = \lim_{x \to 0} \frac{\beta \cdot \frac{\sin\beta x}{\beta x}}{\alpha \cdot \frac{\sin\alpha x}{\alpha x}} = \frac{\beta \lim\limits_{x \to 0}\left(\frac{\sin\beta x}{\beta x}\right)}{\alpha \lim\limits_{x \to 0}\left(\frac{\sin\alpha x}{\alpha x}\right)}$$

$$= \frac{\beta \lim\limits_{\theta \to 0}\left(\frac{\sin\theta}{\theta}\right)}{\alpha \lim\limits_{y \to 0}\left(\frac{\sin y}{y}\right)} = \frac{\beta \times 1}{\alpha \times 1} = \frac{\beta}{\alpha}.$$

since $\theta = \beta x \to 0$ as $x \to 0$ and $y = \alpha x \to 0$ as $x \to 0$

எ.கா. 8.14 : கணக்கிடுக : $\lim\limits_{x \to \pi/6} \dfrac{2\sin^2 x + \sin x - 1}{2\sin^2 x - 3\sin x + 1}$

தீர்வு :

$$2\sin^2 x + \sin x - 1 = (2\sin x - 1)(\sin x + 1)$$

$$2\sin^2 x - 3\sin x + 1 = (2\sin x - 1)(\sin x - 1)$$

$$\lim_{x \to \pi/6} \frac{2\sin^2 x + \sin x - 1}{2\sin^2 x - 3\sin x + 1} = \lim_{x \to \pi/6} \frac{(2\sin x - 1)(\sin x + 1)}{(2\sin x - 1)(\sin x - 1)}$$

$$= \lim_{x \to \pi/6} \frac{\sin x + 1}{\sin x - 1} \left(2\sin x - 1 \neq 0 \text{ for } x \to \frac{\pi}{6}\right)$$

$$= \frac{\sin \pi/6 + 1}{\sin \pi/6 - 1} = \frac{1/2 + 1}{1/2 - 1} = -3 .$$

எ.கா. 8.15: $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{e^x - 1}{x} = 1$ எனக் காட்டுக.

தீர்வு : $$e^x = 1 + \frac{x}{\lfloor 1} + \frac{x^2}{\lfloor 2} + \ldots + \frac{x^n}{\lfloor n} + \ldots$$

என்பது நமக்குத் தெரியும்

அவ்வாறாயின் $$e^x - 1 = \frac{x}{\lfloor 1} + \frac{x^2}{\lfloor 2} + \ldots + \frac{x^n}{\lfloor n} + \ldots$$

அதாவது $$\frac{e^x - 1}{x} = \frac{1}{\lfloor 1} + \frac{x}{\lfloor 2} + \ldots + \frac{x^{n-1}}{\lfloor n} + \ldots$$

($\because x \neq 0$ ஆதலால் xஆல் வகுக்க இயலும்)

$$\therefore \lim_{x \to 0} \frac{e^x - 1}{x} = \frac{1}{\lfloor 1} = 1 .$$

எ.கா. 8.16: மதிப்பிடுக $\lim\limits_{x \to 3} \dfrac{e^x - e^3}{x - 3}$.

தீர்வு : $\dfrac{e^x - e^3}{x - 3}$ யை எடுத்துக் கொள்வோம்.

$y = x - 3$ என்போம். பின் $x \to \mathbf{3}$ ஆனால் $\boldsymbol{y} \to 0$

ஆகவே $\lim\limits_{x \to 3} \dfrac{e^x - e^3}{x-3} = \lim\limits_{y \to 0} \dfrac{e^{y+3} - e^3}{y} = \lim\limits_{y \to 0} \dfrac{e^3 . e^y - e^3}{y}$

$$= e^3 \lim_{y \to 0} \frac{e^y - 1}{y} = e^3 \times 1 = e^3 .$$

எ.கா. 8.17: மதிப்பிடுக : $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{e^x - \sin x - 1}{x}$.

தீர்வு :

$$\frac{e^x - \sin x - 1}{x} = \left(\frac{e^x - 1}{x}\right) - \left(\frac{\sin x}{x}\right)$$

$$\lim_{x \to 0} \frac{e^x - \sin x - 1}{x} = \lim_{x \to 0} \left(\frac{e^x - 1}{x}\right) - \lim_{x \to 0} \left(\frac{\sin x}{x}\right) = 1 - 1 = 0$$

எ.கா. 8.18: மதிப்பிடுக : $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{e^{\tan x} - 1}{\tan x}$

தீர்வு : $\tan x = y$ என்க. பின் $x \to 0$ ஆனால் $y \to 0$

எனவே $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{e^{\tan x} - 1}{\tan x} = \lim\limits_{y \to 0} \dfrac{e^y - 1}{y} = 1$

எ.கா. 8.19: $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{\log(1+x)}{x} = 1$

தீர்வு : $\log_e (1+x) = \dfrac{x}{1} - \dfrac{x^2}{2} + \dfrac{x^3}{3} - \ldots$ என்பது நமக்குத் தெரியும்

இதிலிருந்து $\dfrac{\log_e (1+x)}{x} = 1 - \dfrac{x}{2} + \dfrac{x^2}{3} - \ldots$

எனவே $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{\log_e (1+x)}{x} = 1.$

குறிப்பு : $\log x$ என்பது இயல் மடக்கை $\log_e x$ஐக் குறிக்கும்

எ.கா. 8.20: மதிப்பிடுக $\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{\log x}{x-1}$.

தீர்வு : $x - 1 = y$ எனக் கொள்வோம். பின் $x \to 1$ ஆனால் $y \to 0$

எனவே $\lim\limits_{x \to 1} \dfrac{\log x}{x-1} = \lim\limits_{y \to 0} \dfrac{\log(1+y)}{y}$

$= 1$ (எ.கா.8.19ன் படி)

எ.கா. 8.21: $\lim\limits_{x \to 0} \dfrac{a^x - 1}{x} = \log a, \quad a > 0$

தீர்வு : $f(x) = e^{\log f(x)}$ என்பது நமக்குத் தெரியும். இதிலிருந்து

$$a^x = e^{\log a^x} = e^{x \log a}$$

எனவே $\dfrac{a^x - 1}{x} = \dfrac{e^{x \log a} - 1}{x \log a} \times \log a$

தற்பொழுது $x \to 0$ ஆனால் $y = x \log a \to 0$

$$\therefore \lim_{x \to 0} \frac{a^x - 1}{x} = \lim_{y \to 0} \frac{e^y - 1}{y} \times \log a = \log a \lim_{y \to 0} \left(\frac{e^y - 1}{y}\right)$$

$$= \log a. \quad \left(\because \lim_{x \to 0} \frac{e^x - 1}{x} = 1\right)$$

எ.கா. 8.22: மதிப்பிடுக $\displaystyle\lim_{x \to 0} \frac{5^x - 6^x}{x}$

தீர்வு :

$$\lim_{x \to 0} \frac{5^x - 6^x}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{(5^x - 1) - (6^x - 1)}{x}$$

$$= \lim_{x \to 0} \left(\frac{5^x - 1}{x}\right) - \lim_{x \to 0} \left(\frac{6^x - 1}{x}\right)$$

$$= \log 5 - \log 6 = \log\left(\frac{5}{6}\right).$$

எ.கா. 8.23: மதிப்பிடுக $\displaystyle\lim_{x \to 0} \frac{3^x + 1 - \cos x - e^x}{x}$

தீர்வு :

$$\lim_{x \to 0} \frac{3^x + 1 - \cos x - e^x}{x} = \lim_{x \to 0} \frac{(3^x - 1) + (1 - \cos x) - (e^x - 1)}{x}$$

$$= \lim_{x \to 0} \left(\frac{3^x - 1}{x}\right) + \lim_{x \to 0} \left(\frac{1 - \cos x}{x}\right) - \lim_{x \to 0} \left(\frac{e^x - 1}{x}\right)$$

$$= \log 3 + \lim_{x \to 0} \frac{2 \sin^2 x/2}{x} - 1$$

$$= \log 3 + \lim_{x \to 0} \frac{x}{2} \left(\frac{\sin x/2}{x/2}\right)^2 - 1$$

$$= \log 3 + \frac{1}{2} \lim_{x \to 0} (x) \lim_{x \to 0} \left(\frac{\sin x/2}{x/2}\right)^2 - 1$$

$$= \log 3 + \frac{1}{2} \times 0 \times 1 - 1 = \log 3 - 1.$$

சில முக்கிய எல்லைகள் :

(1) $\lim\limits_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$ –ன் எல்லை கிடைக்கப் பெறும். அதனை e என்பர்.

(2) $\lim\limits_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e$-ல் $x = \frac{1}{y}$ எனப் பிரதியிட $\lim\limits_{x \to 0} (1 + x)^{1/x} = e$

(3) $\lim\limits_{x \to \infty} \left(1 + \frac{k}{x}\right)^x = e^k$

எல்லைகளின் தீர்வுகளைத் தெரிந்து கொள்ள **தீர்வுப் புத்தகத்தை** பார்க்கவும்.

குறிப்பு : (1) e-ன் மதிப்பு $2 < e < 3$ என அமையும்.

(2) $\lim\limits_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e$ ஆனது x-ன் எல்லா மெய் மதிப்புகளுக்கும் உண்மை ஆகும்.

அதாவது x -ன் எல்லா மெய்மதிப்புகளுக்கும் $\lim\limits_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e$ ஆகும்.

$e = e^1 = 1 + \frac{1}{1!} + \frac{1}{2!} + \frac{1}{3!} + \ldots + \frac{1}{r!} + \ldots$ என்பதை கவனத்தில் கொள்க. இந்த மெய்யெண் e எந்த ஒரு பல்லுறுப்புக் கோவைச் சமன்பாட்டையும் நிறைவு செய்யாது. அதாவது $a_0x^n + a_1x^{n-1} + \ldots + a_{n-1}x + a_n = 0$ என்ற அமைப்பில் உள்ள எந்த ஒரு சமன்பாட்டிற்கும் தீர்வாகாது. எனவே இந்த எண் e-யை கடந்த எண் (transcendental number)என அழைப்பர்.

எ.கா. 8.24: கணக்கிடுக : $\lim\limits_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^{3x}$.

தீர்வு : தற்போது $\left(1 + \frac{1}{x}\right)^{3x} = \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$. இதிலிருந்து

$$\lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^{3x} = \lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x . \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x . \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x$$

$$= \lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x . \lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x . \lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{1}{x}\right)^x = e.\ e.\ e. = e^3 .$$

எ.கா. 8.25: மதிப்பிடுக : $\lim\limits_{x \to \infty} \left(\frac{x+3}{x-1}\right)^{x+3}$.

தீர்வு :

$$\lim_{x \to \infty} \left(\frac{x+3}{x-1}\right)^{x+3} = \lim_{x \to \infty} \left(\frac{x-1+4}{x-1}\right)^{(x-1)+4}$$

$$= \lim_{x \to \infty} \left(1 + \frac{4}{x-1}\right)^{(x-1)+4}$$

$$= \lim_{y \to \infty} \left(1 + \frac{4}{y}\right)^{y+4} \quad (\because y = x - 1 \to \infty \text{ as } x \to \infty)$$

$$= \lim_{y \to \infty} \left(1 + \frac{4}{y}\right)^{y} \left(1 + \frac{4}{y}\right)^{4}$$

$$= \lim_{y \to \infty} \left(1 + \frac{4}{y}\right)^{y} \cdot \lim_{y \to \infty} \left(1 + \frac{4}{y}\right)^{4} = e^4 .\ 1 = e^4$$

எ.கா. 8.26: மதிப்பிடுக : $\lim_{x \to \pi/2} (1 + \cos x)^{3 \sec x}$.

தீர்வு : $\cos x = \frac{1}{y}$ எனப் பிரதியிடுவோம். $x \to \frac{\pi}{2}$ எனில் $y \to \infty$

$$\lim_{x \to \pi/2} (1 + \cos x)^{3 \sec x} = \lim_{y \to \infty} \left(1 + \frac{1}{y}\right)^{3y} = \lim_{y \to \infty} \left[\left(1 + \frac{1}{y}\right)^{y}\right]^{3}$$

$$= \left[\lim_{y \to \infty} \left(1 + \frac{1}{y}\right)^{y}\right]^{3} = e^3.$$

எ.கா. 8.27: மதிப்பிடுக : $\lim_{x \to 0} \frac{2^x - 1}{\sqrt{1+x} - 1}$

தீர்வு :

$$\lim_{x \to 0} \frac{2^x - 1}{\sqrt{1+x} - 1} = \lim_{x \to 0} \frac{2^x - 1}{(1 + x - 1)} \left(\sqrt{1+x} + 1\right)$$

$$= \lim_{x \to 0} \frac{2^x - 1}{x} \cdot \lim_{x \to 0} \left(\sqrt{1+x} + 1\right)$$

$$= \log 2 \,.\, \left(\sqrt{1} + 1\right) \qquad \left(\because \lim_{x \to 0} \frac{a^x - 1}{x} = \log a\right)$$

$$= 2 \log 2 = \log 4 \,.$$

எ.கா. 8.28: மதிப்பிடுக : $\lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x}}{\sin^{-1} x}$

தீர்வு :

$$\lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x}}{\sin^{-1} x} = \lim_{x \to 0} \frac{(1+x) - (1-x)}{\sin^{-1} x} \left(\frac{1}{\sqrt{1+x} + \sqrt{1-x}}\right)$$

$\sin^{-1} x = y$ எனப் பிரதியிடுவோம். $\therefore\ x = \sin y$ மேலும் $x \to 0$ எனில் $y \to 0$

$$\lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{1+x} - \sqrt{1-x}}{\sin^{-1} x} = \lim_{y \to 0} \frac{2 \sin y}{y} \cdot \lim_{y \to 0} \frac{1}{\sqrt{1+\sin y} + \sqrt{1-\sin y}}$$

$$= 2 \lim_{y \to 0} \left(\frac{\sin y}{y}\right) \left(\frac{1}{\sqrt{1+0} + \sqrt{1-0}}\right)$$

$$= 2 \times 1 \times \frac{1}{2} = 1$$

பயிற்சி 8.1

கீழ்க்காணும் எல்லைகளைக் கணக்கிடுக. (1 – 13)

(1) $\lim_{x \to 1} \frac{x^2 + 2x + 5}{x^2 + 1}$

(2) $\lim_{x \to 2_-} \frac{x - 2}{\sqrt{2 - x}}$

(3) $\lim_{h \to 0} \frac{(x+h)^2 - x^2}{h}$

(4) $\lim_{x \to 1} \frac{x^m - 1}{x - 1}$

(5) $\lim_{x \to 4} \frac{\sqrt{2x+1} - 3}{\sqrt{x-2} - \sqrt{2}}$

(6) $\lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{x^2 + p^2} - p}{\sqrt{x^2 + q^2} - q}$

(7) $\lim_{x \to a} \frac{\sqrt[m]{x} - \sqrt[m]{a}}{x - a}$

(8) $\lim_{x \to 1} \frac{\sqrt[3]{x} - 1}{\sqrt{x} - 1}$

(9) $\lim_{x \to 0} \frac{\sqrt{1 + x + x^2} - 1}{x}$

(10) $\lim_{x \to 0} \frac{\sin^2 (x/3)}{x^2}$

(11) $\lim_{x \to 0} \frac{\sin (a + x) - \sin (a - x)}{x}$

(12) $\lim_{x \to 0} \frac{\log (1 + \alpha x)}{x}$

(13) $\lim_{n \to \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^{n+5}$

(14) $f(x) = \frac{x^3 - 27}{x - 3}$ என்ற சார்பிற்கு $x = 3$-ல் இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து எல்லைகளை மதிப்பிடுக. 3ஐ x நெருங்க $f(x)$க்கு எல்லை உள்ளதா? உம் பதிலுக்குக் காரணம் கூறுக.

(15) $\lim_{x \to 3} \frac{x^n - 3^n}{x - 3} = 108$ என இருக்குமாறு மிகை முழு n-ஐக் காண்க.

(16) மதிப்பிடுக : $\lim_{x \to 0} \frac{e^x - e^{\sin x}}{x - \sin x}$.

(17) $f(x) = \frac{ax^2 + b}{x^2 - 1}$, $\lim_{x \to 0} f(x) = 1$ மற்றும் $\lim_{x \to \infty} f(x) = 1$ எனில் $f(-2) = f(2) = 1$ என நிறுவுக.

(18) $\lim\limits_{x \to 0^-} \frac{|x|}{x}$ மற்றும் $\lim\limits_{x \to 0^+} \frac{|x|}{x}$ ஆகியவற்றை மதிப்பிடுக.

$\lim\limits_{x \to 0} \frac{|x|}{x}$ ஐப் பற்றி என்ன கூற முடியும்?

(19) கணக்கிடுக : $\lim\limits_{x \to 0} \frac{a^x - b^x}{x}$, $a, b > 0$.

இதிலிருந்து $\lim\limits_{x \to 0} \frac{5^x - 6^x}{x}$ ஐ மதிப்பிடுக.

(20) $\log(1 + x)$-ன் தொடரைப் பயன்படுத்தாமல்

$\lim\limits_{x \to 0} \frac{\log(1 + x)}{x} = 1$ என நிறுவுக.

8.2 சார்பின் தொடர்ச்சி (Continuity of a function) :

fஆனது $I = [a, b]$ என்ற மூடிய இடைவெளியில் வரையறுக்கப்பட்ட சார்பு. இதன் தொடர்ச்சித் தன்மையை தன் வளைவரை $y = f(x)$ ன் மீது அமைந்த ஒரு துகள், $(a, f(a))$ என்ற புள்ளியிலிருந்து $(b, f(b))$ என்ற புள்ளிக்கு தன் பாதையை விட்டு விலகாமல் நகர்ந்து செல்லும் இயக்கத்தின் வாயிலாக விளக்க முடியும்.

ஒரு புள்ளியில் தொடர்ச்சி (Continuity at a point) :

வரையறை **:** திறந்த இடைவெளி (a,b)யில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளி c-யில் சார்பு fஆனது

$$\lim_{x \to c} f(x) = f(c) \text{ என இருக்குமானால்}$$

புள்ளி c-யில் f-ஐ ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு என்போம். இச்சார்பானது c-யில் $\lim\limits_{x \to c^-} f(x) = f(c)$ என இருக்குமானால் இடமிருந்து தொடர்ச்சியான சார்பு எனவும் $\lim\limits_{x \to c^+} f(x) = f(c)$ என அமையுமானால் வலமிருந்து தொடர்ச்சியான சார்பு எனவும் கூறுவோம்.

ஒரு சார்பானது ஒரு புள்ளியில் இடமிருந்து மற்றும் வலமிருந்து தொடர்ச்சியாக இருந்தால் மட்டுமே அச்சார்பு தொடர்ச்சியான சார்பாகும். இதன் மறுதலையும் உண்மையாகும்.

முடிவுப் புள்ளியில் தொடர்ச்சி (Continuity at an end point) :

மூடிய இடைவெளி $[a, b]$ -யில் வரையறுக்கப்பட்ட ஒரு சார்பு இடது முடிவுப்புள்ளி a-யில் வலமிருந்த தொடர்ச்சி எனில் f-ஐ a-யில் தொடர்ச்சியான சார்பு என்போம். அதாவது $\lim\limits_{x \to a^+} f(x) = f(a)$.

அதுபோல $\lim_{x \to b^-} f(x) = f(b)$ எனில் f-ஐ வலது முடிவுப்புள்ளி b-யில் தொடர்ச்சியான சார்பு என்போம்.

ஆக ஒரு சார்பு f-ஆனது ஒரு புள்ளி c-யில் தொடர்ச்சியானதாக இருக்க கீழ்க்காணும் நிபந்தனைகளை நிறைவு செய்ய வேண்டுமென்பதை முக்கியமாக நினைவில் கொள்ள வேண்டும்.

(i) $f(x)$ஆனது c-யில் வரையறுக்கப்பட வேண்டும்.

(ii) $\lim_{x \to c} f(x)$-ன் மதிப்பு காண முடிதல் வேண்டும்.

(iii) $\lim_{x \to c} f(x) = f(c)$ என இருக்க வேண்டும்.

மூடிய இடைவெளியில் தொடர்ச்சி (Continuity in $[a, b]$) :

ஒரு மூடிய இடைவெளி $[a, b]$-யில் உள்ள ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் சார்பு f-ஆனது தொடர்ச்சியானதாக இருக்குமாயின் அது $[a, b]$- ல் ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு என்போம்.

தொடர்ச்சியற்ற சார்புகள் (Discontinuous functions) :

ஒரு சார்பு தன் அரங்கில் உள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் தொடர்ச்சியற்றதாக இருப்பின் அதனை அப்புள்ளியில் தொடர்ச்சியற்ற சார்பு என்போம்.

தேற்றம் 8.1: f, g என்பன c எனும் புள்ளியில் தொடர்ச்சியான சார்புகள் எனில், $f + g$, $f - g$ மற்றும் fg என்பனவும் c-யில் தொடர்ச்சியான சார்புகளாகும். மேலும் $g(c) \neq 0$ எனில் f/g-யும் cயில் தொடர்ச்சியான சார்பாகும்.

எ.கா. 8.29: ஒவ்வொரு மாறிலிச் சார்பும் ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு என நிரூபி.

***தீர்வு* :** மாறிலிச் சார்பு fஐ $f(x) = k$ என்போம்.

f-ன் அரங்கில் ஏதேனும் ஒரு புள்ளி c எனில் $f(c) = k$.

மேலும் $\lim_{x \to c} f(x) = \lim_{x \to c} (k) = k$,

ஆக $\lim_{x \to c} f(x) = f(c)$.

படம் 8.3

எனவே $f(x) = k$ ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும்.

குறிப்பு : $y = f(x) = k$-ன் வரைபடமானது x-அச்சுக்கு இணையான இடைவெளி ஏதுமற்ற ஒரு நேர்க்கோடு ஆகும். இதிலிருந்து தொடர்ச்சியான சார்புகள் தம்முடைய வரைபடத்தில் (பாதையில்) எந்த இடைவெளியையும் அனுமதிப்பதில்லை என்பதை உணர்வு நிலை வாயிலாகப் புரிந்து கொள்க.

எ.கா. 8.30 : $f(x) = x^n$, $x \in \mathrm{R}$ தொடர்ச்சியான சார்பு.

தீர்வு : R-ன் ஏதேனும் ஒர புள்ளி x_0 என்க.

பின்பு $\lim\limits_{x \to x_0} f(x) = \lim\limits_{x \to x_0} (x^n) = \lim\limits_{x \to x_0} (x.\, x \ldots n$ காரணிகள்)

$= \lim\limits_{x \to x_0} (x) . \lim\limits_{x \to x_0} (x) \cdots \lim\limits_{x \to x_0} (x) \ldots (n$ காரணிகள்)

$= x_0 . x_0 \ldots x_0 \quad (n$ காரணிகள்) $= x_0^{\,n}$

மேலும் $f(x_0) = x_0^{\,n}$. ஆக $\lim\limits_{x \to x_0} f(x) = f(x_0) = x_0^{\,n}$

$\Rightarrow \quad f(x) = x^n$ ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு

எ.கா. 8.31: $k \neq 0$ ஒரு மெய்மாறிலி எனில் $f(x) = kx^n$ $(k \in \mathrm{R})$ தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும் என நிரூபி.

தீர்வு : $g(x) = k$ மற்றும் $h(x) = x^n$ எனக் கொள்வோம்.

எ.கா. 8.29-ன் படி g-யும் எ.கா.8.30-ன்படி h-ம் தொடர்ச்சியான சார்புகள். இவற்றிலிருந்து தேற்றம் 8.1-ன் படி $f(x) = g(x) \,.\, h(x) = kx^n$ தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும்.

எ.கா. 8.32: n படி கொண்ட ஒவ்வொரு பல்லுறுப்புக் கோவைச் சார்பும் ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும் என நிரூபி.

தீர்வு . n படி கொண்ட பல்லுறுப்புக் கோவைச் சார்பை

$f(x) = a_0x^n + a_1 x^{n-1} + a_2x^{n-2} + \ldots + a_{n-1} x + a_n$, $a_0 \neq 0$ என எடுத்துக் கொள்வோம்.

இப்பொழுது எ.கா. 8.31-ன் படி a_ix^i, $i = 0, 1, 2, \ldots n$ எல்லாம் தொடர்ச்சியான சார்புகள். ஆக தேற்றம் 8.1 படி தொடர்ச்சியான சார்புகளின் கூடுதலும் தொடர்ச்சியான சார்புகள் ஆதலால், $f(x)$-ம் தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும்.

எ.கா. 8.33: $p(x)$, $q(x) \neq 0$ என்பன பல்லுறுப்புக் கோவைகளாக அமைந்த விகிதமுறுச் சார்பு, $r(x) = p(x) \,/\, q(x)$ தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும் என நிரூபி.

தீர்வு. $r(x) = p(x) / q(x)$. $p(x)$, $q(x)$ *என்பன பல்லுறுப்புக் கோவைகள் ஆதலால் எ.கா.8.35-ன் படி இவைகள் தொடர்ச்சியான சார்புகள் ஆகும். இதிலிருந்து, தேற்றம் 8.1-ன் படி இரண்டு பல்லுறுப்புக் கோவைச் சார்புகளின் விகிதமும் ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு ஆதலால்,* $r(x)$*-ம் தொடர்ச்சி ஆகும். அதாவது ஒவ்வொரு விகிதமுறுச் சார்பும் தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும்.*

சில முடிவுகள் [நிரூபணமின்றி] :

(1) *படிக்குறிச் சார்பு ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு.*

குறிப்பாக $f(x) = e^x$*ம் தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும்.*

(2) $f(x) = \log x$, $x > 0$, R^+*ல் தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும். இங்கு* R^+ *என்பது மிகை மெய்யெண்களின் கணம்.*

(3) *வட்டச் சார்பு* $f(x) = \sin x$ *ஆனது* R*-ல் தொடர்ச்சியானது.*

(4) *கொசைன் சார்பு* $f(x) = \cos x$ *ஆனது* R*-ல் தொடர்ச்சியானது.*

குறிப்பு : *இம்முடிவுகளின் நிரூபணங்களைக் காண* ***தீர்வுப் புத்தகத்தைப்*** *பார்க்கவும்.*

எ.கா. 8.34: $f(x) = \begin{cases} \dfrac{\sin 2x}{x}, & x \neq 0 \text{ எனும் பொழுது} \\ 1\ . & x = 0 \text{ எனும் பொழுது} \end{cases}$ *என்ற சார்பு* $x = 0$ *எனும் புள்ளியில் தொடர்ச்சியான சார்பா? உங்கள் விடைக்கு காரணம் கூறுங்கள்.*

தீர்வு : $f(0) = 1$ *என்பதைக் கவனிக்க.*

$$\text{இப்பொழுது } \lim_{x \to 0} f(x) = \lim_{x \to 0} \frac{\sin 2x}{x} \quad \left(\because x \neq 0,\ f(x) = \frac{\sin 2x}{x}\right)$$

$$= \lim_{x \to 0} 2\left(\frac{\sin 2x}{2x}\right) = 2 \lim_{x \to 0} \left(\frac{\sin 2x}{2x}\right)$$

$$= 2 \lim_{2x \to 0} \left(\frac{\sin 2x}{2x}\right) = 2.1 = 2\ .$$

$\lim\limits_{x \to 0} f(x) = 2 \neq 1 = f(0)$ *ஆதலால்* $x = 0$*-ல்* $f(x)$ *ஆனது தொடர்ச்சியான சார்பு அல்ல. அதாவது* $x = 0$*-ல்* $f(x)$ *ஒரு தொடர்ச்சியற்ற சார்பு. இச்சார்பை*

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{\sin 2x}{x}, & x \neq 0 \\ 2, & x = 0 \end{cases} \quad \text{என வரையறுப்பின்} \quad \lim_{x \to 0} f(x) = f(0)$$

என்பதைக் கவனித்திருப்பீர்கள். மாற்றி வரையறுக்கப்பட்ட சார்பு $x = 0$ *புள்ளியில் தொடர்ச்சியான சார்பு ஆதலால் இப்படிப்பட்ட புள்ளிகளை நீக்கத்தக்க தொடர்ச்சியின்மைப் புள்ளிகள் என்போம்.*

எ.கா. 8.35 : $x = c$ *எனும் புள்ளியில் கீழ்க்காணும் சார்புக்கு தொடர்ச்சித் தன்மையை ஆய்வு செய்க.*

$$f(x) = \begin{cases} \dfrac{\sin(x-c)}{x-c} & x \neq c \text{ எனில்} \\ 0 & x = c \text{ எனில்} \end{cases}$$

தீர்வு : $x = c$-யில் $f(c) = 0$ எனப் பெற்றிருக்கிறோம். இப்பொழுது

$$\lim_{x \to c} f(x) = \lim_{x \to c} \frac{\sin(x-c)}{x-c} = \lim_{h \to 0} \frac{\sin h}{h} \qquad \because x \to c \text{ எனும்போது } h = x - c \to 0$$

$$= 1 .$$

$f(c) = 0 \neq 1 = \lim\limits_{x \to c} f(x)$ ஆதலால் $f(x)$ ஆனது $x = c$-யில் தொடர்ச்சியற்றது.

குறிப்பு : $f(x) = \begin{cases} \dfrac{\sin(x-c)}{x-c} & x \neq c \text{ எனில்} \\ 1 & x = c \text{ எனில்} \end{cases}$

என மாற்றி வரையறுக்கப்பட்ட சார்பு $x = c$-ல் தொடர்ச்சியான சார்பு என்பதைக் கவனிக்க. இதிலிருந்து $x = c$ ஆனது நீக்கத்தக்க தொடர்ச்சியின்மைப் (முறிவுப்) புள்ளி என்பதையும் கவனித்துக் கொள்ளுங்கள்.

எ.கா. 8.36 : சார்பு f ஆனது $f(x) = \begin{cases} -x^2 & x \leq 0 \text{ எனில்} \\ 5x - 4 & 0 < x \leq 1 \text{ எனில்} \\ 4x^2 - 3x & 1 < x < 2 \text{ எனில்} \\ 3x + 4 & x \geq 2 \text{ எனில்} \end{cases}$

என வரையறுக்கப்படுகிறது. $x = 0, 1, 2$ ஆகிய புள்ளிகளில் f-ன் தொடர்ச்சித்தன்மையை பரிசோதிக்க.

தீர்வு :

(i) $\lim\limits_{x \to 0^-} f(x) = \lim\limits_{x \to 0^-} (-x^2) = 0$

$\lim\limits_{x \to 0^+} f(x) = \lim\limits_{x \to 0^+} (5x - 4) = (5.0 - 4) = -4$

$\lim\limits_{x \to 0^-} f(x) \neq \lim\limits_{x \to 0^+} f(x)$ ஆதலால் $f(x)$ஆனது $x = 0$ புள்ளியில் தொடர்ச்சியற்ற சார்பு.

(ii) $\lim\limits_{x \to 1^-} f(x) = \lim\limits_{x \to 1^-} (5x - 4) = 5 \times 1 - 4 = 1.$

$\lim\limits_{x \to 1^+} f(x) = \lim\limits_{x \to 1^+} (4x^2 - 3x) = 4 \times 1^2 - 3 \times 1 = 1$

மேலும் $f(1) = 5 \times 1 - 4 = 5 - 4 = 1$

$\lim\limits_{x \to 1^-} f(x) = \lim\limits_{x \to 1^+} f(x) = f(1)$ ஆக இருப்பதால் $f(x)$ ஆனது $x = 1$-ல் தொடர்ச்சியான சார்பு.

(iii) $\lim\limits_{x \to 2^-} f(x) = \lim\limits_{x \to 2^-} (4x^2 - 3x)$

$$= 4 \times 2^2 - 3 \times 2 = 16 - 6 = 10 .$$

மற்றும் $\lim\limits_{x \to 2^+} f(x) = \lim\limits_{x \to 2^+} (3x + 4) = 3 \times 2 + 4 = 6 + 4 = 10 .$

மேலும் $f(2) = 3 \times 2 + 4 = 10 .$

$f(2) = \lim\limits_{x \to 2} f(x)$ ஆதலால் $f(x)$ ஆனது $x = 2$ என்ற புள்ளியில் தொடர்ச்சியானது ஆகும்.

எ.கா. 8.37 : $\lfloor x \rfloor$ ஆனது மீப்பெரு முழு எண் சார்பைக் குறிக்கிறது. $f(x) = x - \lfloor x \rfloor, x \geq 0$ சார்பின் தொடர்ச்சித்தன்மையை $x = 3$ என்ற புள்ளியில் விவாதிக்க,

தீர்வு: இப்பொழுது $\lim\limits_{x \to 3^-} f(x) = \lim\limits_{x \to 3^-} x - \lfloor x \rfloor = 3 - 2 = 1,$

$\lim\limits_{x \to 3^+} f(x) = \lim\limits_{x \to 3^+} x - \lfloor x \rfloor = 3 - 3 = 0,$

மற்றும் $f(3) = 0 .$

$f(3) = \lim\limits_{x \to 3^+} f(x) \neq \lim\limits_{x \to 3^-} f(x)$ என்பதைக் கவனியுங்கள்.

எனவே $f(x) = x - \lfloor x \rfloor$ ஆனது $x = 3$ல் தொடர்ச்சியற்ற சார்பு.

பயிற்சி 8.2

சுட்டிக்காட்டப்பட்டுள்ள புள்ளிகளில் தொடர்ச்சித்தன்மையை ஆராய்க.

(1) $f(x) = \begin{cases} \dfrac{x^3 - 8}{x^2 - 4} & x \neq 2 \text{ எனில்} \\ 3 & x = 2 \text{ எனில்} \end{cases}$ $x = 2$-ல்

(2) $f(x) = x - |x|$, $x = 0$ எனும் புள்ளியில்

(3) $f(x) = \begin{cases} 2x, & 0 \leq x < 1 \text{ எனும்பொழுது} \\ 3, & x = 1 \text{ எனும்பொழுது} \\ 4x, & 1 < x \leq 2 \text{ எனும்பொழுது} \end{cases}$ $x = 1$-ல்

(4) $f(x) = \begin{cases} 2x - 1, & x < 0 \text{ எனில்} \\ 2x + 6, & x \geq 0 \text{ எனில்} \end{cases}$ $x = 0$-ல்

(5) $f(x) = \begin{cases} 1, x \le 3 \text{ எனில்} \\ ax + b, 3 < x < 5 \text{ எனில்} \\ 7, x \ge 5 \text{ எனில்} \end{cases}$

என்ற சார்பு $x = 3$ மற்றும் $x = 5$ என்ற புள்ளிகளில் தொடர்ச்சியானது எனில் a, b-க்களின் மதிப்பு காண்க.

(6) $f(x) = \begin{cases} \frac{x^2}{2}, 0 \le x \le 1 \text{ எனில்} \\ 2x^2 - 3x + \frac{3}{2}, 1 < x \le 2 \text{ எனில்} \end{cases}$ $f(x)$ ஆனது

$x = 1$ எனும் புள்ளியில் தொடர்ச்சியானது எனக்காட்டு.

(7) $f(x) = |x - 1| + |x - 2|$ என்று வரையறுக்கப்பட்ட சார்பு f-ன் தொடர்ச்சித்தன்மையை $x = 1$ மற்றும் $x = 2$ என்ற புள்ளிகளில் விவாதிக்க.

8.3 வகையீடு - கருத்தாக்கம் (Concept of Differentiation) :

இதுவரை எல்லை என்கிற கருத்து குறித்து பார்த்தோம். இப்போது ஒரு புள்ளியில் ஏற்படும் மாற்ற வீதத்தைத் துல்லியமாகக் கண்டறிய முயற்சிப்போம். முதலில் உயர்வுகள் (increments) என்றால் என்னவென வரையறுப்போம்.

$y = f(x)$ என்ற சார்பை எடுத்துக் கொள்வோம். இதில் x ஆனது தனித்த மாறி. இப்போது x-ன் மதிப்பு x_0 என்கிற தொடக்க அளவிலிருந்து x_1 என்கிற இறுதி அளவிற்கு மாறுவதாகக் கொள்வோம். இங்கு x-ல் ஏற்பட்டுள்ள மாற்றத்தின் அளவு x-ன் உயர்வு என வரையறுக்கப்படுகிறது. இதனை Δx (டெல்டா x) என்று குறிப்பது வழக்கம். அதாவது $\Delta x = x_1 - x_0$ அல்லது $x_1 = x_0 + \Delta x$

x அதிகரிக்குமானால் $\Delta x > 0$ ஏனெனில் $x_1 > x_0$.

x குறையுமானால் $\Delta x < 0$ ஏனெனில் $x_1 < x_0$.

x_0விலிருந்து $x_1 = x_0 + \Delta x$ ஆக x மாறும்போது, y-ன் மதிப்பு $f(x_0)$விலிருந்து $f(x_0 + \Delta x)$ ஆக மாறுகிறது. $f(x_0)$-ஐ y_0 என எடுத்துக் கொண்டால் $f(x_0) = y_0$ ஆகும். எனவே $f(x_0 + \Delta x) = y_0 + \Delta y$. y-ல் ஏற்படும் உயர்வு Δy என்பது x_0 மற்றும் Δx-ன் மதிப்புகளைச் சார்ந்துள்ளது. (x_0-லிருந்து x_1ஆக மாறும்பொழுது y அதிகரித்தால் Δy மிகை

மதிப்புடையதாக இருக்கும். y மதிப்பு குறைந்தால் Δy குறை மதிப்பு உடையதாக இருக்கும். y-ன் மதிப்பு மாறாது இருந்தால் Δy பூச்சியமாக இருக்கும்)

Δy என்கிற உயர்வை Δx ஆல் வகுக்கும்போது $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ என்கிற தகவு கிடைக்கிறது. இது xன் தொடக்க மதிப்பு x_0-லிருந்து $x_1 = x_0 + \Delta x$ என்கிற இறுதி மதிப்பிற்கு மாறும் போது x-ஐப் பொறுத்து y-ல் ஏற்படும் மாற்ற வீதத்தின் சராசரி ஆகும். எனவே,

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$$

இந்தப் பின்னமானது வேறுபாட்டுத் தகவு என்றும் அழைக்கப்படும்.

எ.கா. 8.38: ஒரு ஊழியரின் மாதச் சம்பளம் ரூ.1000/- அவருக்கு ஆண்டுதோறும் ரூ. 100/- ஊதிய உயர்வு வழங்கப்படுகிறது. அவரது வீட்டு வாடகை அவர் ஊதியத்தில் பாதி ஆனால் வீட்டு வாடகையின் ஆண்டு உயர்வு எவ்வளவு? அவரது ஊதியத்தைப் பொறுத்து வீட்டு வாடகையில் ஏற்படும் மாற்ற வீதத்தின் சராசரி என்ன?

தீர்வு :

ஊதியத்தை x எனவும், வீட்டு வாடகையை y என்றும் கொள்வோம்.

இங்கு $y = \frac{1}{2}x$. மேலும் $\Delta x = 100$.

எனவே $\Delta y = \frac{1}{2}(x + \Delta x) - \frac{1}{2}x = \frac{\Delta x}{2} = \frac{100}{2} = 50$.

எனவே வீட்டு வாடகையின் ஆண்டு உயர்வு ரூ. 50/- ஆகும்.

மாற்ற வீதத்தின் சராசரி $\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{50}{100} = \frac{1}{2}$.

எ.கா. 8.39: $y = f(x) = \frac{1}{x}$ எனில், x ஆனது x_1லிருந்து $x_1 + \Delta x$க்கு மாறும்போது xஐப் பொறுத்து y-ன் மாற்ற வீதத்தின் சராசரியைக் காண்க.

தீர்வு : $\Delta y = f(x_1 + \Delta x) - f(x_1) = \frac{1}{x_1 + \Delta x} - \frac{1}{x_1}$

$$= \frac{-\Delta x}{x_1(x_1 + \Delta x)}$$

$$\therefore \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{-1}{x_1(x_1 + \Delta x)} .$$

8.3.1 வகைக்கெழு எனும் கருத்தாக்கம் (Concept of derivative) :

ஒரு நேர்க்கோட்டில் நகரும் ஒரு துகளை (புள்ளியை)க் கருதுவோம். இக்கோட்டில் உள்ள குறிப்பிட்ட புள்ளியிலிருந்து துகள் நகர்ந்த தூரம் s ஆனது காலத்தைப் பொறுத்த சார்பு என்பது தெளிவு :

$$\therefore \; s = f(t) \, .$$

t-ன் குறிப்பிட்ட ஒவ்வொரு மதிப்பிற்கும் அதற்குரிய s-ன் மதிப்பு வரையறுக்கப்படுகிறது. t-யில் Δt என்கிற உயர்வு ஏற்படும் போது $t + \Delta t$ எனும் புதிய கால அளவைக்குரிய தூரம் $s + \Delta s$ ஆகும். இதில் Δs என்பது Δt இடைவெளியில் நகர்ந்த தூரம் ஆகும்.

சீரான இயக்கத்தின் போது தூரத்தில் ஏற்படும் உயர்வு, காலத்தில் ஏற்படும் உயர்வுக்கு நேர்விகிதத்தில் உள்ளது. $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ எனும் வீதம் இந்த இயக்கத்தின் மாறாத திசைவேகத்தைக் குறிக்கிறது. பொதுவாக இவ்வீதம் காலம் t-ஐ மட்டுமின்றி கால உயர்வு Δt-யையும் பொறுத்ததாகும். மேலும் இது t-லிருந்து $t + \Delta t$ என்கிற கால இடைவெளியில் ஏற்படும் சராசரி திசைவேகமும் ஆகும். Δt பூச்சியத்தை நெருங்க $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ என்கிறத் தகவிற்கு கொடுக்கப்பட்ட நேரத்தில் எல்லை இருக்குமானால் அந்த எல்லை திசைவேகத்தைக் குறிக்கிறது. அதாவது,

$v = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ அல்லது $\lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$ என்பது கணநேரத் திசைவேகம் (instantaneous velocity) v ஆகும்.

தூரம் s-ஐப் போலவே திசைவேகம் v-யும் காலம் t-ன் சார்பாகும், இந்தச் சார்பு t-ஐப் பொறுத்த $s = f(t)$-ன் வகைக்கெழு எனப்படும். இவ்வாறு திசைவேகமென்பது காலத்தைப் பொறுத்த தூரம் s-ன் வகைக்கெழு ஆகிறது.

ஒரு வேதியல் வினையில் பங்குபெறும் ஒரு பொருளை எடுத்துக் கொள்வோம். t எனும் நேரத்தில் வினையில் பங்குபெறும் பொருளின் அளவு x ஆனது t-ன் சார்பு ஆகும். Δt அளவு காலம் அதிகரிக்கும்போது x-ன் அளவு $x + \Delta x$ ஆக அதிகரிக்கிறது. $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ எனும் வீதம் Δt எனும் கால இடைவெளியில் ஏற்படும் வேதி வினையின் சராசரி வேகத்தைத் தருகிறது. Δt பூச்சியத்தை நெருங்கும் போது $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ என்ற வீதத்தின் எல்லை கொடுக்கப்பட்ட t எனும் நேரத்தில் வேதியல் வினையின் வேகத்தைத் தருகிறது.

மேற்குறித்த எடுத்துக்காட்டுகள் ஒரு சார்பின் வகைக்கெழு என்கிற கருத்தாக்கத்திற்கு இட்டுச் செல்கிறது.

வரையறை

Δx பூச்சியத்தை நெருங்கும் நிலையில் Δx எனும் உயர்வுக்கும் அதைப் பொறுத்து Δy-ல் ஏற்படும் உயர்வுக்கும் உள்ள தகவின் எல்லை, $y = f(x)$ என்கிற சார்பின் வகைக்கெழு என வரையறுக்கப்படுகிறது.

y' அல்லது $f'(x)$ அல்லது $\frac{dy}{dx}$ ஆகியவை வகைக்கெழுவை குறிக்கப் பயன்படுகின்றன.

அதாவது
$$\frac{dy}{dx} = y' = f'(x) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$
$$= \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

மேற்குறித்த எல்லை இல்லாமல் போவதற்கான சாத்தியம் உள்ளது. அப்படியாயின் வகைக்கெழுவும் இராது.

குறிப்பு :

(1) ஒரு வகைக்கெழுவைக் கண்டுபிடிப்பதற்கான செயல்பாடு வகைப்படுத்தல் எனப்படும். தவிரவும் $\frac{dy}{dx}$ என்கிற குறியீட்டை $dy \div dx$ என்பதாகப் பொருள் கொள்ளக் கூடாது. அது வெறுமனே $\frac{d(y)}{dx}$ அல்லது $\frac{d}{dx} f(x)$ என்று மட்டுமே பொருள் கொள்கிறது. $\frac{d}{dx}$ என்பது ஒரு செயலி. x-ஐப் பொறுத்து வகையீடு செய்யப்படுகிறது என்பதை மட்டுமே அது பொருள் கொள்கிறது. ஆனால் $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ என்கிற பின்னம் $\Delta y \div \Delta x$ எனப் பொருள் கொள்கிறது. $\frac{dy}{dx}$ என்கிற குறியீடு dy மற்றும் dx (அதாவது y-லும் x-லும் ஏற்படும் மிகச்சிறு மாற்றங்கள்) என்கிற இரு எண்களின் தகவையே உணர்த்துகின்ற போதிலும் உண்மையில் அது ஒரு தனித்த எண்தான். Δy, Δx ஆகிய இரண்டும் பூச்சியத்தை நெருங்கும்போது அவற்றின் தகவு $\frac{\Delta y}{\Delta x}$-ன் எல்லையே $\frac{dy}{dx}$ ஆகும்.

(2) ஏதேனும் ஒரு குறிப்பிட்ட x மதிப்பிற்கு (x_0 என எடுத்துக் கொள்வோம்), கொடுக்கப்பட்ட சார்பு $f(x)$-ன் வகையீட்டுக் கெழு

$f'(x_0)$ அல்லது $\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x = x_0}$ என்று குறிக்கப்படுகிறது. இது $\lim\limits_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$ என்பதைப் பொருள் கொள்கிறது. ஆனால் இந்த எல்லை இருக்கும்போது மட்டுமே இது பொருந்தும்.

(3) வலமிருந்து $\Delta x \to 0$ ஆகும் போது (அதாவது மிகை மதிப்புகளின் ஊடாக மட்டும் $\Delta x \to 0$ எனில்) $\frac{f(x_0 - \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$ என்பதன் எல்லை இருக்குமானால் அது வலப்புற அல்லது ஏறுமுக (progressive) வகையீட்டுக் கெழு எனப்படும். இது $f'(x_0+) = \lim\limits_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x} = Rf'(x_0)$ என்று குறிக்கப்படுகிறது. இதுபோலவே இடமிருந்து $\Delta x \to 0$ ஆகும் போது (அதாவது குறை மதிப்புகளின் ஊடாக மட்டும் $\Delta x \to 0$ எனில்) $\frac{f(x_0 - \Delta x) - f(x_0)}{-\Delta x}$ என்பதன் எல்லை இருக்குமானால் அது இடப்புற அல்லது இறங்குமுக (regressive) வகையீட்டுக் கெழு எனப்படும். இது $f'(x_0-) = \lim\limits_{\Delta x \to 0} \frac{f(x_0 - \Delta x) - f(x_0)}{-\Delta x} = Lf'(x_0)$ என்று குறிக்கப்படுகிறது.

$Rf'(x_0) = Lf'(x_0)$ எனில் f எனும் சார்பு $x = x_0$ல் வகையிடத்தக்கது எனச் சொல்லப்படும். இந்த பொது மதிப்பை $f'(x_0)$ எனக் குறிப்பர். $Rf'(x_0)$ மற்றும் $Lf'(x_0)$ ஆகியவை காணப்பெற்று, சமமற்றதாக இருப்பின் $f(x)$ என்பது $x = x_0$ல் வகையிடத்தக்கதல்ல. இவற்றில் எதுவும் காணமுடியாத போதும் $f(x)$ ஆனது $x = x_0$ல் வகையிடத்தக்கதல்ல.

வடிவக்கணிதத்தைப் பொறுத்தமட்டில் இதன் பொருள் என்னவெனில் சார்பின் வரைபடம் ஒரு மூலையைக் கொண்டுள்ளது. எனவே $(x_0, f(x_0))$ எனும் புள்ளியில் தொடுகோடு வரைய இயலாது.

8.3.2 வளைவரையின் சாய்வு $\left(\text{வடிவ கணிதத்தில் } \frac{dy}{dx} \text{ ன் பொருள்}\right)$

(Slope or gradient of a curve)

ஒரு வளைவரையின் P எனும் புள்ளியில் வளைவரையின் சாய்வு என்பதை எவ்வாறு வரையறுப்பது எனப்பார்ப்போம்.

$y = f(x)$ என்ற வளைவரையின் மீதான நிலைப்புள்ளி P என்க. Q ஆனது அதே வளைவரையின் மீதான மற்றுமொரு புள்ளி. இவற்றின் வழியே செல்லும் வெட்டுக்கோட்டை PQ என்க. Qஆனது வளைவரை வழியாக நகர்ந்து Pஐ நெருங்க வெட்டுக்கோடான

படம் 8.4

PQ ஆனது அதன் எல்லை நிலையாகிய PTஐ அடையும். (படம் 8.4ஐப் பார்க்க)

வரையறை

வளைவரை வழியாக நகர்ந்து செல்லும் புள்ளி Q, நிலைப்புள்ளி Pஐ நெருங்கும்போது வெட்டுக்கோடு PQ, ஒரே ஒரு எல்லை நிலையைப் பெற்றிருப்பின், PQவின் எல்லை நிலையாகிய PTயே Pயில் வளைவரைக்கு வரையப்பட்ட தொடுகோடு ஆகும்.

$P_0(x_0, y_0)$ மற்றும் P $(x_0 + \Delta x, y_0 + \Delta y)$ ஆகியன $y = f(x)$ஆல் வரையறுக்கப்பட்ட வளைவரையின் மீதான ஏதேனும் இரண்டு புள்ளிகள் எனில் (படம் 8.5) இவ்விரு புள்ளிகளின் வழியாகச் செல்லும் வெட்டுக்கோடு P_0P-ன் சாய்வு,

$m' = \tan \alpha_0' = \dfrac{\Delta y}{\Delta x} = \dfrac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$ ஆகும். இங்கு α_0' ஆனது வெட்டுக்கோடு P_0P ஆனது xஅச்சுடன் ஏற்படுத்தும் கோணம் ஆகும்.

Δx பூச்சியத்தை நெருங்க P ஆனது P_0ஐ நோக்கி நகருகிறது; புள்ளி $P_0(x_0, y_0)$ல் $f'(x_0)$ இருப்பின், P_0ல் தொடுகோட்டின் சாய்வு வெட்டுக்கோடு P_0 Pன் சாய்வின் எல்லையாகும். அல்லது

$m_0 = \tan\alpha_0 = \lim\limits_{\Delta x \to 0} \dfrac{\Delta y}{\Delta x} = f'(x_0) = \left(\dfrac{dy}{dx}\right)_{x = x_0}$ இங்கு α_0 என்பது தொடுகோடு P_0T ஆனது x அச்சுடன் ஏற்படுத்தும் கோணம் மற்றும் m_0 அதன் சாய்வு ஆகும். P_0ல் தொடுகோட்டின் சாய்வே அப்புள்ளியில் வளைவரையின் சாய்வு ஆகும்.

இவ்வாறு, வடிவ கணித ரீதியாக $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ என்பதனை $P_0(x_0, y_0)$ வழியாகச் செல்லும் வெட்டுக் கோட்டின் சாய்வு என்றும் $\left(\frac{dy}{dx}\right)_{x = x_0} = f'(x_0)$ என்பதான தொடு கோட்டின் சாய்வு என்றும் விளக்க முடியும்.

படம் 8.5

அதாவது வேறுபாட்டுத் தகவு $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ வெட்டுக்கோட்டின் சாய்வையும் வகைக்கெழு $\frac{dy}{dx}$ தொடுகோட்டின் சாய்வையும் குறிக்கிறது என்பதே வகைக்கெழுவின் வடிவகணித விளக்கமாகும்.

வரையறை

$f(x)$ ஆனது $x_0 \le x < b$ என்ற இடைவெளியில் வரையறுக்கப்படின், x_0ல் $\lim_{x \to x_0 +} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$ மதிப்பு பெற்றிருப்பின்,

$f'(x_0+) = \lim_{x \to x_0 +} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$ ஐ x_0-ல் $f(x)$-ன் வலப்புற வகைக்கெழு என வரையறுக்கப்படுகிறது. $f(x)$ஆனது $a < x \le x_0$ என்ற இடைவெளியில் வரையறுக்கப்படின் x_0ல் $f(x)$-ன் இடப்புற வகைக்கெழு

$f'(x_0 -) = \lim_{x \to x_0 -} \frac{f(x_0 - \Delta x) - f(x_0)}{-\Delta x}$ (மதிப்பு பெற்றிருப்பின்) என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$f(x)$ ஆனது $a \le x \le b$ என்ற மூடிய இடைவெளியில் வரையறுக்கப்படின் $f'(a)$யை $f'(a+)$ எனவும் $f'(b)$யை $f'(b-)$ எனவும் எழுதுவர்

வகையிடலுக்கும் தொடர்ச்சித் தன்மைக்குமிடையேயான தொடர்பு
(Relationship between differentiability and continuity) :

***தேற்றம்* 8.2**

வகையிடத்தக்க ஒவ்வொரு சார்பும் தொடர்ச்சியான சார்பு ஆகும்.

***நிரூபணம்* :**

வகையிடத்தக்க சார்பை $f(x)$ என்க. $x = c$ என்ற புள்ளியில் வகையிடத்தக்கது எனில் $f'(c)$-ஐக் காண முடியும். மேலும் $f'(c) = \lim\limits_{x \to c} \dfrac{f(x) - f(c)}{x - c}$

இப்பொழுது $f(x) - f(c) = (x - c)\ \dfrac{[f(x) - f(c)]}{(x - c)}\ ,\ x \neq c$

$x \to c$ எனும்போது எல்லை காண

$$\lim_{x \to c} \{f(x) - f(c)\} = \lim_{x \to c} (x - c) \cdot \frac{[f(x) - f(c)]}{(x - c)}$$

$$= \lim_{x \to c} (x - c) \cdot \lim_{x \to c} \frac{f(x) - f(c)}{x - c}$$

$$= \lim_{x \to c} (x - c) \cdot f'(c) = 0.\ f'(c) = 0.$$

இப்பொழுது $f(x) = f(c) + [f(x) - f(c)]$

மற்றும் $\lim\limits_{x \to c} f(x) = f(c) + 0 = f(c)$

இதிலிருந்து $f(x)$ஆனது $x = c$-ல் தொடர்ச்சியானது ஆகும்.

இதன் மறுதலை உண்மை அல்ல. அதாவது தொடர்ச்சியான சார்பு ஒவ்வொன்றும் ஒரு வகையிடத்தக்க சார்பாக இருக்க வேண்டியதில்லை. இதனை ஒரு எடுத்துக்காட்டின் மூலம் நியாயப்படுத்துவோம்.

எ.கா. 8.40:

சார்பு $f(x)$ ஆனது $[0, 2]$ என்ற மூடிய இடைவெளியில் கீழ்க்காணுமாறு வரையறுக்கப்படுகிறது: $f(x) = \begin{cases} x, & 0 \le x \le 1 \text{ எனில்} \\ 2x - 1, & 1 < x \le 2 \text{ எனில்} \end{cases}$

$f(x)$ ஆனது $x = 1$ எனும் புள்ளியில் தொடர்ச்சியானதாகவும் ஆனால் அப்புள்ளியில் வகையிடத்தக்கதல்ல எனவும் காட்டுக.

தீர்வு :

கொடுக்கப்பட்ட சார்பின் வரைபடம் படம் 8.6ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

இச்சார்பானது $x = 1$-ல் தொடர்ச்சியானது. ஏனெனில்

$$\lim_{x \to 1-} f(x) = \lim_{h \to 0} f(1-h)$$
$$= \lim_{h \to 0} (1-h)$$
$$= 1 - 0 = 1$$
$$\lim_{x \to 1_+} f(x) = \lim_{h \to 0} f(1+h)$$
$$= \lim_{h \to 0} \left(2(1+h) - 1\right)$$
$$= \lim_{h \to 0} (2h+1)$$
$$= 1 .$$

படம் 8.6

இவ்வாறு $f(x)$ ஆனது $x = 1$-ல் தொடர்ச்சியானது.

இப்பொழுது $$Rf'(1) = \lim_{h \to 0} \frac{f(1+h) - f(1)}{h}$$

$$= \lim_{h \to 0} \frac{[2(1+h) - 1] - [2(1) - 1]}{h} = \lim_{h \to 0} \frac{2h}{h} = 2$$ *மற்றும்*

$$Lf'(1) = \lim_{h \to 0} \frac{f(1-h) - f(1)}{(1-h) - 1} = \lim_{h \to 0} \frac{(1-h) - 1}{-h}$$
$$= \lim_{h \to 0} \frac{-h}{-h} = 1.$$

$Rf'(1) \neq Lf'(1)$ *ஆதலால் கொடுக்கப்பட்ட சார்பு* $x = 1$*-ல் வகையிடத்தக்கதல்ல. வடிவக்கணித ரீதியாக கொடுக்கப்பட்ட வளைவரைக்கு* (1, 1)*-ல் தொடுகோடு இல்லை என்பதாகும்.*

எ.கா. 8.41:

$y = x^{1/3} = f(x)$ *எனும் சார்பு* $x = 0$*-ல் வகையிடத்தக்கதல்ல எனக் காட்டுக.*

தீர்வு :

இச்சார்பானது தனித்த மாறி x*-ன் எல்லா மதிப்புகளுக்கும் வரையறுக்கப்பட்டு தொடர்ச்சியாகவும் உள்ளது.*

இதன் வரைபடத்தை 8.7*-ல் காண்க.*]

$$y + \Delta y = \sqrt[3]{x + \Delta x}$$

$$\Delta y = \sqrt[3]{x + \Delta x} - \sqrt[3]{x}$$

$x = 0$-ல் $y = 0$ மற்றும் $\Delta y = \sqrt[3]{\Delta x}$.

இப்பொழுது $\lim\limits_{\Delta x \to 0} \dfrac{\Delta y}{\Delta x}$

$$= \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(0 + \Delta x) - f(0)}{\Delta x}$$

படம் 8.7

$$= \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\sqrt[3]{\Delta x} - 0}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{1}{\sqrt[3]{(\Delta x)^2}} = +\infty.$$

இதன் விளைவாக $x = 0$ல் $y = \sqrt[3]{x}$ வகையிடத்தக்கதல்ல என்பது புலனாகிறது. இப்புள்ளியில் அதாவது (0, 0) என்ற புள்ளியிடத்துத் தொடுகோடானது x-அச்சுடன் $\frac{\pi}{2}$ என்ற கோணத்தை ஏற்படுத்துகிறது. y-அச்சும் இந்தத் தொடுகோடும் ஒன்று என்பதே இதன் பொருளாகும்.

எ.கா. 8.42: $f(x) = x^2$ ஆனது [0, 1] இடைவெளியில் வகையிடத்தக்கது எனக் காட்டு.

தீர்வு . $0 < c < 1$ என இருக்குமாறு c எனும் புள்ளியை எடுத்துக்கொள்வோம். இப்போது

$$f'(c) = \lim_{x \to c} \frac{f(x) - f(c)}{x - c} = \lim_{x \to c} \frac{x^2 - c^2}{x - c} = \lim_{x \to c} (x + c) = 2c .$$

கடைசிப்புள்ளிகளில்,

$$f'(0) = \lim_{x \to 0+} \frac{f(x) - f(0)}{x - 0} = \lim_{x \to 0+} \frac{x^2}{x} = \lim_{x \to 0} (x) = 0$$

மற்றும் $$f'(1) = \lim_{x \to 1-} \frac{f(x) - f(1)}{x - 1} = \lim_{x \to 1-} \frac{x^2 - 1}{x - 1}$$

$$= \lim_{x \to 1-} (x + 1) = 2 .$$

[0, 1] இடைவெளியின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் f ஆனது வகையிடத்தக்கதால் $f(x) = x^2$ ஆனது [0, 1]-ல் வகையிடத்தக்கதாகும்.

பயிற்சி 8.3

(1) $f(x)=\begin{cases} x & 0 < x < 1 \text{ எனில்} \\ 1 & x \geq 1 \text{ எனில்} \end{cases}$ எனுமாறு R^+ -ன் மீது f வரையறுக்கப்படுகிறது எனில், $f'(1)$ இருக்காது எனக் காட்டுக.

(2) $f(x) = |x|$ ஆதியில் வகையிடத்தக்கதா? உம் பதிலை நியாயப்படுத்தவும்.

(3) $f(x) = |x| + |x - 1|$ என்ற சார்பின் தொடர்ச்சித்தன்மையை R-ல் சரிபார்க்க. $x = 0$ மற்றும் $x = 1$-ல் அதன் வகையிடத்தக்கத் தன்மையைப் பற்றி என்ன கூற முடியும்?

(4) (i) $f(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x \leq 1 \\ x, & x > 1 \end{cases}$ $x = 1$-ல்

(ii) $f(x) = \begin{cases} 2x - 3, & 0 \leq x \leq 2 \\ x^2 - 3, & 2 < x \leq 4 \end{cases}$ $x = 2, x = 4$-ல்

என்ற சார்புகளின் வகையிடல் தன்மையை சுட்டிக்காட்டப்பட்டுள்ள புள்ளிகளில் விவாதிக்க.

(5) $f(x) = \begin{cases} \dfrac{x(e^{1/x} - 1)}{(e^{1/x} + 1)}, & x \neq 0 \\ 0, & x = 0 \end{cases}$ என்ற சார்பிற்கு $Lf'(0)$ மற்றும் $Rf'(0)$ ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக.

8.4. வகையிடல் முறைகள் (Differentiation techniques) :

இப்பிரிவில், கொடுக்கப்பட்ட சார்புகளின் வகைக்கெழுக்களைப் பெறும் வெவ்வேறு முறைகளைப் பற்றி விவாதிப்போம். அடிப்படைக் கொள்கைகளிலிருந்து $y = f(x)$-ன் வகைக்கெழுவைக் காண கீழ்க்காணும் செயல் நிலைகள் அவசியமாகும் :

1) தனித்த மாறி x-ன் அளவை Δx அளவு உயர்த்தி சார்பின் உயர்த்திய மதிப்பு $y + \Delta y = f(x + \Delta x)$-ஐக் கணக்கிடவும்.

2) சார்பின் இணையான உயர்வு $\Delta y = f(x + \Delta x) - f(x)$-ஐக் காணவும் ;

3) சராசரி வீதமாகிய $\dfrac{\Delta y}{\Delta x} = \dfrac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$ -ஐக் காணவும் ;

4) $\Delta x \to 0$ எனும் போது மேற்கண்ட வீதத்தின் எல்லை

$$\frac{dy}{dx} = f'(x) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$ ஐக் காணவும்.

பொதுமுறையைக் கையாண்டு அடிப்படை (தேர்ந்த)ச் சார்புகளின் வகைக்கெழுக்களை மதிப்பிடுவோம். வசதியின் பொருட்டு $\dfrac{dy}{dx} = f'(x)$-ஐ y' எனக் குறிப்பிடுவோம்

8.4.1 அடிப்படைக் கொள்கைகளிலிருந்து சில அடிப்படைச் சார்புகளின் வகைக்கெழு காணல்

I. மாறிலிச் சார்பின் வகைக்கெழு பூச்சியமாகும்

அதாவது, $\frac{d}{dx}(c) = 0$, இங்கு c மாறிலி … (1)

நிரூபணம் : $f(x) = c$ என்க. பின் $f(x + \Delta x) = c$

$$\frac{df(x)}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

$$\therefore \frac{d}{dx}(c) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{c - c}{\Delta x} = 0 .$$

II. x^n-ன் வகைக்கெழு nx^{n-1} இங்கு n ஒரு விகிதமுறு எண்.

அதாவது $\frac{d}{dx}(x^n) = nx^{n-1}$. … (2)

நிரூபணம்: $f(x) = x^n$ என்க. பின் $f(x + \Delta x) = (x + \Delta x)^n$

இப்போது $\frac{d\,f(x)}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$

$$\therefore \frac{d(x^n)}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{(x + \Delta x)^n - x^n}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{x^n\left(1 + \frac{\Delta x}{x}\right)^n - x^n}{\Delta x}$$

$$= \lim_{\Delta x \to 0} x^n \left[\frac{\left(1 + \frac{\Delta x}{x}\right)^n - 1}{\Delta x}\right]$$

$$= x^{n-1} \lim_{\Delta x \to 0} \left[\frac{\left(1 + \frac{\Delta x}{x}\right)^n - 1}{\frac{\Delta x}{x}}\right] .$$

$y = 1 + \frac{\Delta x}{x}$ என்க. $\Delta x \to 0$ ஆனால் $y \to 1$.

$$\therefore \frac{d(x^n)}{dx} = x^{n-1} \lim_{y \to 1} \left(\frac{y^n - 1}{y - 1}\right)$$

$$= n\,x^{n-1}$$

$$= nx^{n-1}. \left[\because \lim_{y \to a} \frac{y^n - a^n}{y - a} = na^{n-1}\right]$$

குறிப்பு : இந்தத் தேற்றம் எந்த ஒரு மெய்யெண்ணிற்கும் உண்மையானது.

எ.கா. 8.43: $y = x^5$ எனில் $\frac{dy}{dx}$ காண்க.

தீர்வு : $\frac{dy}{dx} = 5x^{5-1} = 5x^4$.

எ.கா. 8.44: $y = x$ எனில் $\frac{dy}{dx}$ காண்க.

தீர்வு : $\frac{dy}{dx} = 1.x^{1-1} = 1x^{\circ} = 1$.

எ.கா. 8.45: $y = \sqrt{x}$ எனில் $\frac{dy}{dx}$ காண்க.

தீர்வு : $y = x^{\frac{1}{2}}$;

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}\left(x^{\frac{1}{2}}\right) = \frac{1}{2}x^{\frac{1}{2}-1} = \frac{1}{2}x^{-\frac{1}{2}} = \frac{1}{2\sqrt{x}} .$$

எ.கா. 8.46: $y = \frac{1}{x\sqrt{x}}$ எனில் $\frac{dy}{dx}$ காண்க.

தீர்வு : $y = x^{-\frac{3}{2}}$.

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{3}{2}x^{-\frac{3}{2}-1} = -\frac{3}{2}x^{-\frac{5}{2}}$$

III. sin$x$-ன் வகைக்கெழு cos$x$

அதாவது $y = \sin x$ எனில் $\frac{dy}{dx} = \cos x$ … (3)

நிரூபணம் :

$y = \sin x$ என்க.

$y + \Delta y = \sin(x + \Delta x)$

$$\Delta y = \sin(x + \Delta x) - \sin x = 2\sin\frac{(x + \Delta x - x)}{2}\cos\frac{(x + \Delta x + x)}{2}$$

$$= 2\sin\frac{\Delta x}{2} . \cos\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{2\sin\frac{\Delta x}{2}\cos\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)}{\Delta x} = \frac{\sin\frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}}\cos\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\sin \frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}} \cdot \lim_{\Delta x \to 0} \cos\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$= 1. \lim_{\Delta x \to 0} \cos\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right) .$$

$f(x) = \cos x$ ஒரு தொடர்ச்சியான சார்பு ஆதலால்

$$\lim_{\Delta x \to 0} f(x + \Delta x) = \lim_{\Delta x \to 0} \cos (x + \Delta x) = \cos x$$

$$= 1. \cos x = \cos x .$$

IV. $\cos x$-ன் வகைக்கெழு – $\sin x$

அதாவது $y = \cos x$ எனில் $\frac{dy}{dx} = -\sin x$. … (4)

நிரூபணம் : $y = \cos x$. x மதிப்பை Δx அளவுக்கு உயர்த்துக.

பின் $y + \Delta y = \cos (x + \Delta x)$;

$$\Delta y = \cos (x + \Delta x) - \cos x$$

$$= -2 \sin \frac{x + \Delta x - x}{2} \sin \frac{x + \Delta x + x}{2}$$

$$= -2 \sin \frac{\Delta x}{2} \sin\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = -\frac{\sin \frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}} . \sin\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right) ;$$

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = -\lim_{\Delta x \to 0} \frac{\sin \frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}} \sin\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$$= -\lim_{\Delta x \to 0} \frac{\sin \frac{\Delta x}{2}}{\frac{\Delta x}{2}} \cdot \lim_{\Delta x \to 0} \sin\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right)$$

$\sin x$ தொடர்ச்சியான சார்பு என்பதால்

$\lim_{\Delta x \to 0} \sin\left(x + \frac{\Delta x}{2}\right) = \sin x$ மற்றும் $\lim_{\theta \to 0} \frac{\sin\theta}{\theta} = 1$ $\therefore$ $\frac{dy}{dx} = -\sin x$.

***தேற்றம்* 8.3** *f மற்றும் g ஆகியன x-ஐப் பொறுத்து வகையிடத்தக்க சார்புகள்; c ஒரு மாறிலி எனில்*

(i) $$\frac{d(cf(x))}{dx} = c\,\frac{d\,(f(x))}{dx} \qquad \ldots (5)$$

(ii) $$\frac{d\big(f(x) \pm g(x)\big)}{dx} = \frac{d(f(x))}{dx} \pm \frac{d(g(x))}{dx} \quad . \qquad \ldots (6)$$

எ.கா. 8.47: $y = \dfrac{3}{\sqrt{x}}$ *எனில்* $\dfrac{dy}{dx}$ *காண்க.*

தீர்வு :

$$y = 3\,x^{-\frac{1}{2}}$$

$$\frac{dy}{dx} = 3\left(-\frac{1}{2}\right)\,x^{-\frac{1}{2}-1} = -\frac{3}{2}\,x^{-\frac{3}{2}}$$

எ.கா. 8.48 : $y = 3x^4 - 1/\sqrt[3]{x}$ *எனில்* $\dfrac{dy}{dx}$ *காண்க.*

தீர்வு :

$$y = 3x^4 - x^{-1/3}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}\left(3x^4 - x^{-1/3}\right) = 3\,\frac{d(x^4)}{dx} - \frac{d}{dx}\,(x^{-1/3})$$

$$= 3 \times 4x^{4-1} - \left(-\frac{1}{3}\right)\,x^{-\frac{1}{3}-1}$$

$$= 12x^3 + \frac{1}{3}\,x^{-\frac{4}{3}}$$

V. $\boldsymbol{y = \log_a x}$ ***எனில்*** $\boldsymbol{\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{x}\ \log_a e}$ **… (7)**

துணைத்தேற்றம் : $\boldsymbol{y = \log_e x}$ ***எனில்*** $\boldsymbol{\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{x}}$ **… (8)**

நிரூபணம் : *(7)ல் a = e எனக் கொள்க.*

$$\frac{d}{dx}\,(\log_e x) = \frac{1}{x}\,\log_e e = \frac{1}{x}\ .\ 1 = \frac{1}{x}\,.$$

எ.கா. 8.49: $y = x^2 + \cos x$ *எனில்* y' *காண்க.*

தீர்வு : $y = x^2 + \cos x$.

எனவே $y' = \dfrac{dy}{dx} = \dfrac{d}{dx}\,(x^2 + \cos x)$

$$= \frac{d(x^2)}{dx} + \frac{d(\cos x)}{dx}$$

$$= 2x^{2-1} + (-\sin x)$$

$$= 2x - \sin x$$

எ.கா. 8.50: $1/\sqrt[3]{x} + \log_5 x + 8$-ன் x-ஐப் பொறுத்த வகைக்கெழுக் காண்க.

தீர்வு : $y = x^{-1/3} + \log_5 x + 8$ என்க

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}\left(x^{-\frac{1}{3}} + \log_5 x + 8\right)$$

$$= \frac{d\left(x^{-\frac{1}{3}}\right)}{dx} + \frac{d(\log_5 x)}{dx} + \frac{d(8)}{dx}$$

$$= -\frac{1}{3}\, x^{-\frac{1}{3}-1} + \frac{1}{x}\log_5 e + 0,$$

$$= -\frac{1}{3}\, x^{-\frac{4}{3}} + \frac{1}{x}\log_5 e$$

எ.கா. 8.51 : $x^5 + 4x^4 + 7x^3 + 6x^2 + 2$-ன் வகைக்கெழுக் காண்க.

தீர்வு : $y = x^5 + 4x^4 + 7x^3 + 6x^2 + 8x + 2$ என்க

$$y' = \frac{d}{dx}\,(x^5 + 4x^4 + 7x^3 + 6x^2 + 8x + 2)$$

$$= \frac{d(x^5)}{dx} + \frac{d(4x^4)}{dx} + \frac{d(7x^3)}{dx} + \frac{d(6x^2)}{dx} + \frac{d\,(8x)}{dx} + \frac{d(2)}{dx}$$

$$= 5x^4 + 4 \times 4x^3 + 7 \times 3x^2 + 6 \times 2x + 8 \times 1 + 0$$

$$= 5x^4 + 16x^3 + 21x^2 + 12x + 8\,.$$

எ.கா. 8.52: $y = e^{7x}$-ன் வகைக்கெழுவை அடிப்படைக் கொள்கையை பயன்படுத்தி காண்க.

தீர்வு : $y = e^{7x}$

$$y + \Delta y = e^{7\,(x + \Delta x)}$$

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{e^{7x}\,.\,e^{7\Delta x} - e^{7x}}{\Delta x}$$

$$= e^{7x}\left(\frac{e^{7\Delta x}-1}{\Delta x}\right)$$

$$y' = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0} e^{7x}\left(\frac{e^{7\Delta x}-1}{\Delta x}\right) = e^{7x} \lim_{\Delta x \to 0} 7\left(\frac{e^{7\Delta x}-1}{7\Delta x}\right)$$

$$= 7\, e^{7x} \lim_{t \to 0} \left(\frac{e^{t}-1}{t}\right) \qquad (\because\ t = 7\Delta x \to 0 \text{ as } \Delta x \to 0)$$

$$= 7\, e^{7x} \times 1 = 7e^{7x}. \qquad \left(\because \lim_{t \to 0} \frac{e^{t}-1}{t} = 1\right)$$

குறிப்பாக, $y = e^x$ எனில் $\frac{d}{dx}(e^x) = e^x$ … (9)

மேலும், இதே போன்று

VI. $y = \tan x$**-ன் வகைக்கெழு** $y' = \sec^2 x$ … (10)

VII. $y = \sec x$**-ன் வகைக்கெழு** $y' = \sec x \tan x$ … (11)

VIII. $y = \operatorname{cosec} x$**-ன் வகைக்கெழு** $y' = -\operatorname{cosec} x \cot x$ … (12)

IX. $y = \cot x$**-ன் வகைக்கெழு** $y' = -\operatorname{cosec}^2 x$ … (13)

குறிப்பு : ***வகைக் கெழுக்களின் முறையினைக் காண தீர்வுப் புத்தகத்தைப் பார்க்கவும்.***

பயிற்சி 8.4

1. $y = x^3 - 6x^2 + 7x + 6$ எனில் $\frac{dy}{dx}$ காண்க.
2. $f(x) = x^3 - 8x + 10$ எனில் $f'(x)$ காண்க.
   இதிலிருந்து $f'(2)$ மற்றும் $f'(10)$ காண்க.
3. $f(x) = ax^2 + bx + 12$ என்ற சார்பிற்கு
   $f'(2) = 11$ மற்றும் $f'(4) = 15$ எனில் a, b-க்களின் மதிப்பு காண்க.
4. கீழ்க்காணும் சார்புகளை x-ஐப் பொறுத்து வகைக்கெழுக் காண்க.

   (i) $x^7 + e^x$ (ii) $\log_7 x + 200$

   (iii) $3 \sin x + 4 \cos x - e^x$ (iv) $e^x + 3\tan x + \log x^6$

   (v) $\sin 5 + \log_{10} x + 2\sec x$ (vi) $x^{-3/2} + 8e + 7 \tan x$

   (vii) $\left(x + \frac{1}{x}\right)^3$ (viii) $\frac{(x-3)(2x^2-4)}{x}$

தேற்றம் 8.4: [வகைப்படுத்தலின் பெருக்கல் விதி] (Product Rule) :

u மற்றும் v என்பன x-ஐப் பொறுத்து வகையிடத்தக்க சார்புகள் எனில் இவற்றின் பெருக்கல்

$y = u(x)\ v(x)$ வகையிடத்தக்க சார்பு மற்றும்

$$y' = u(x)\ v'(x) + v(x)\ u'(x) \qquad \ldots (14)$$

நிரூபணம்:

$$y = u(x)\ v(x)$$

$$y + \Delta y = u(x + \Delta x)\ v(x + \Delta x)$$

$$\Delta y = u(x + \Delta x)\ v(x + \Delta x) - u(x)\ v(x)$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

$$= \lim_{\Delta x \to 0} \frac{u(x + \Delta x)\ v(x + \Delta x) - u(x)\ v(x)}{\Delta x}.$$

$u(x + \Delta x)\ v(x)$-ஐ தொகுதியில் கூட்டிக்கழித்து மாற்றியமைக்க:

$$y' = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{u(x + \Delta x)\, v(x + \Delta x) - u(x + \Delta x)\ v(x) + u(x + \Delta x)\ v(x) - u(x)\, v(x)}{\Delta x}$$

$$= \lim_{\Delta x \to 0} \frac{u(x + \Delta x)\left[v(x + \Delta x) - v(x)\right] + v(x)\left[u(x + \Delta x) - u(x)\right]}{\Delta x}$$

$$= \lim_{\Delta x \to 0} u(x+\Delta x) . \lim_{\Delta x \to 0} \frac{v(x + \Delta x) - v(x)}{\Delta x} + v(x) \lim_{\Delta x \to 0} \frac{u(x + \Delta x) - u(x)}{\Delta x}$$

இப்போது u வகையிடத்தக்கதால், இது தொடர்ச்சியானதே. இவற்றிலிருந்து,

$$\lim_{\Delta x \to 0} u(x + \Delta x) = u(x)$$

u மற்றும் v ஆகியன வகையிடத்தக்க சார்புகள் என்பதால்

$$u'(x) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{u(x + \Delta x) - u(x)}{\Delta x}$$

மற்றும் $$v'(x) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{v(x + \Delta x) - v(x)}{\Delta x}.$$

எனவே $y' = u(x)\, v'(x) + v(x)\ u'(x)$.

அதுபோல, u, v மற்றும் w என்பன வகையிடத்தக்க சார்புகள் ஆக இருந்து $y = u(x)\ v(x)\ w(x)$ ஆகவும் இருப்பின்

$$y' = u(x)\ v(x)\ w'(x) + u(x)\ v'(x)\ w(x) + u'(x)\ v(x)\ w(x)$$

குறிப்பு (1) : மேற்சொன்ன பெருக்கல் விதியை கீழ்க்காணுமாறு நினைவில் கொள்ளலாம்.

இரு சார்புகளின் பெருக்கலின் வகைக்கெழு

= (முதல் சார்பு) (இரண்டாம் சார்பின் வகைக்கெழு)+

(இரண்டாம் சார்பு) (முதல் சார்பின் வகைக்கெழு).

குறிப்பு (2) : பெருக்கல் விதியை கீழ்க்காணுமாறு திருப்பி எழுதலாம்.

$$\big(u(x) \,.\, v(x)\big)' = u(x) \,.\, v'(x) + v(x) \,.\, u'(x)$$

$$\frac{(u(x) \,.\, v(x))'}{u(x) \,.\, v(x)} = \frac{u'(x)}{u(x)} + \frac{v'(x)}{v(x)} \,. \qquad \ldots (15)$$

இதனை கீழ்க்காணுமாறு பொதுமைப்படுத்தலாம் :

வகையிடத்தக்க சார்புகள் u_1, u_2, … ,u_n என்பனவற்றின் வகைக்கெழுக்கள் u_1', u_2', …, u_n' எனில்

$$\frac{(u_1 \,.\, u_2 \ldots u_n)'}{u_1 \,.\, u_2 \ldots u_n} = \frac{u_1'}{u_1} + \frac{u_2'}{u_2} + \frac{u_3'}{u_3} + \ldots + \frac{u_n'}{u_n} \,. \qquad \ldots (16)$$

எ.கா. 8.53: வகைப்படுத்து : $e^x \tan x$

தீர்வு : $y = e^x \,.\, \tan x$ என்க.

பின்பு $y' = \dfrac{d}{dx}\,(e^x \,.\, \tan x) = e^x \dfrac{d}{dx}\,(\tan x) + \tan x \dfrac{d}{dx}\,(e^x)$

$$= e^x . \sec^2 x + \tan x \,.\, e^x$$

$$= e^x\,(\sec^2 x + \tan x)\,.$$

எ.கா. 8.54: $y = 3x^4 e^x + 2\sin x + 7$ எனில் y' காண்க.

தீர்வு :

$$y' = \frac{dy}{dx} = \frac{d(3x^4 e^x + 2\sin x + 7)}{dx}$$

$$= \frac{d(3x^4 e^x)}{dx} + \frac{d(2\sin x)}{dx} + \frac{d(7)}{dx}$$

$$= 3\,\frac{d(x^4 e^x)}{dx} + 2\,\frac{d(\sin x)}{dx} + 0$$

$$= 3\left[x^4 \frac{d}{dx}(e^x) + e^x \frac{d}{dx}(x^4)\right] + 2\cos x$$

$$= 3\,[x^4 \,.\, e^x + e^x \,.\, 4x^3] + 2\cos x$$

$$= 3x^3 e^x\,(x + 4) + 2\cos x\,.$$

எ.கா. 8.55: x-ஐப் பொறுத்து வகைப்படுத்து : $(x^2 + 7x + 2)\,(e^x - \log x)$

தீர்வு : $y = (x^2 + 7x + 2)(e^x - \log x)$ என்க.

$$y' = \frac{d}{dx}\left[(x^2 + 7x + 2)(e^x - \log x)\right]$$

$$= (x^2 + 7x + 2)\frac{d}{dx}(e^x - \log x) + (e^x - \log x)\frac{d}{dx}(x^2 + 7x + 2)$$

$$= (x^2 + 7x + 2)\left[\frac{d}{dx}(e^x) - \frac{d}{dx}(\log x)\right]$$

$$+ (e^x - \log x)\left[\frac{d}{dx}(x^2) + \frac{d}{dx}(7x) + \frac{d}{dx}(2)\right]$$

$$= (x^2 + 7x + 2)\left(e^x - \frac{1}{x}\right) + (e^x - \log x)(2x + 7 + 0)$$

$$= (x^2 + 7x + 2)\left(e^x - \frac{1}{x}\right) + (e^x - \log x)(2x + 7).$$

எ.கா. 8.56: $(x^2 - 1)(x^2 + 2)$-ஐ x-ஐ பொறுத்து வகைக்கெழுவை பெருக்கல் விதியைப் பயன்படுத்தி காண்க. பல்லுறுப்புக் கோவையாக விரிவுபடுத்தியும் வகைக்கெழுக் காண்க. இரண்டும் ஒரே விடையைத் தரும் என்பதை சரிபார்க்க.

தீர்வு : $y = (x^2 - 1)(x^2 + 2)$ என்க.

இப்போது $y' = \frac{d}{dx}[(x^2 - 1)(x^2 + 2)]$

$$= (x^2 - 1)\frac{d}{dx}(x^2 + 2) + (x^2 + 2)\frac{d}{dx}(x^2 - 1)$$

$$= (x^2 - 1)\left[\frac{d}{dx}(x^2) + \frac{d}{dx}(2)\right] + (x^2 + 2)\left[\frac{d}{dx}(x^2) + \frac{d}{dx}(-1)\right]$$

$$= (x^2 - 1)(2x + 0) + (x^2 + 2)(2x + 0)$$

$$= 2x(x^2 - 1) + 2x(x^2 + 2)$$

$$= 2x(x^2 - 1 + x^2 + 2) = 2x(2x^2 + 1).$$

பெருக்கல் விதி

$$y = (x^2 - 1)(x^2 + 2) = x^4 + x^2 - 2$$

$$y' = \frac{d}{dx}(x^4 + x^2 - 2) = 4x^3 + 2x = 2x(2x^2 + 1)$$

இரண்டு முறைகளும் ஒரே விடையைத் தருகின்றன என்பதை கவனியுங்கள்.

எ.கா. 8.57: $e^x \log x \cot x$-ஐ வகைப்படுத்துக.

தீர்வு : $y = e^x \log x \cot x$ என்க.

$= u_1 . u_2 . u_3$ (say)

இங்கு $u_1 = e^x$; $u_2 = \log x$, $u_3 = \cot x$.

$$y' = u_1 u_2 u_3' + u_1 u_3 u_2' + u_2 u_3 u_1'$$

$$= e^x \log x (-\operatorname{cosec}^2 x) + e^x \cot x . \frac{1}{x} + \log x . \cot x . e^x$$

$$= e^x \left[\cot x . \log x + \frac{1}{x} \cot x - \log x . \operatorname{cosec}^2 x \right]$$

குறிப்பு : இந்தக் கணக்கை குறிப்பு (2)-ஐப் பயன்படுத்தி தீர்க்க.

பயிற்சி 8.5

கீழ்க்காணும் சார்புகளை x-ஐப் பொறுத்து வகைப்படுத்துக.

(1) $e^x \cos x$ (2) $\sqrt[n]{x} \log \sqrt{x}$, $x > 0$

(3) $6 \sin x \log_{10} x + e$ (4) $(x^4 - 6x^3 + 7x^2 + 4x + 2)(x^3 - 1)$

(5) $(a - b \sin x)(1 - 2 \cos x)$ (6) $\operatorname{cosec} x . \cot x$

(7) $\sin^2 x$ (8) $\cos^2 x$

(9) $(3x^2 + 1)^2$ (10) $(4x^2 - 1)(2x + 3)$

(11) $(3 \sec x - 4 \operatorname{cosec} x)(2 \sin x + 5 \cos x)$

(12) $x^2 e^x \sin x$ (13) $\sqrt{x}\, e^x \log x$.

தேற்றம் : 8.5 (வகுத்தல் விதி) (Quotient rule) [நிரூபணமின்றி]

u மற்றும் v ஆகியன வகையிடத்தக்கச் சார்புகள் எனில்

$$\frac{d\left(\frac{u}{v}\right)}{dx} = \frac{v\frac{du}{dx} - u\frac{dv}{dx}}{v^2} \qquad \ldots (17)$$

அதாவது $\left(\frac{u}{v}\right)' = \frac{vu' - uv'}{v^2}$.

எ.கா. 8.58: வகைப்படுத்து : $\frac{x^2 - 1}{x^2 + 1}$.

தீர்வு : $y = \frac{x^2 - 1}{x^2 + 1} = \frac{u}{v}$, $u = x^2 - 1$; $v = x^2 + 1$ என்க.

$$y' = \frac{d}{dx}\left(\frac{x^2-1}{x^2+1}\right) = \frac{(x^2+1)(x^2-1)' - (x^2-1)(x^2+1)'}{(x^2+1)^2} \quad \text{(17ன் படி)}$$

$$= \frac{(x^2+1)(2x) - (x^2-1)(2x)}{(x^2+1)^2} \quad \frac{[(x^2+1)-(x^2-1)]2x}{(x^2+1)^2}$$

$$= 2x\frac{2}{(x^2+1)^2} = \frac{4x}{(x^2+1)^2}.$$

எ.கா. 8.59: $\frac{x^2+e^x\sin x}{\cos x+\log x}$ *-ன் x-ஐப் பொறுத்த வகைக்கெழுக் காண்க.*

தீர்வு :

$$y = \frac{x^2+e^x\sin x}{\cos x+\log x} = \frac{u}{v}, \quad u = x^2+e^x\sin x, \quad v = \cos x+\log x \quad \text{என்க.}$$

இப்பொழுது

$$y' = \frac{vu'-uv'}{v^2}$$

$$= \frac{(\cos x+\log x)(x^2+e^x\sin x)' - (x^2+e^x\sin x)(\cos x+\log x)'}{(\cos x+\log x)^2}$$

$$= \frac{(\cos x+\log x)\left[(x^2)'+(e^x\sin x)'\right] - (x^2+e^x\sin x)\left[(\cos x)'+(\log x)'\right]}{(\cos x+\log x)^2}$$

$$= \frac{(\cos x+\log x)\left[2x+e^x\cos x+\sin x\, e^x\right] - (x^2+e^x\sin x)\left(-\sin x+\frac{1}{x}\right)}{(\cos x+\log x)^2}$$

$$= \frac{(\cos x+\log x)\left[2x+e^x(\cos x+\sin x)\right] - (x^2+e^x\sin x)\left(\frac{1}{x}-\sin x\right)}{(\cos x+\log x)^2}.$$

எ.கா. 8.60: $\frac{\sin x+\cos x}{\sin x-\cos x}$ *-ஐ x-ஐப் பொறுத்து வகைப்படுத்துக.*

தீர்வு : $y = \frac{\sin x+\cos x}{\sin x-\cos x} = \frac{u}{v}, \quad u = \sin x+\cos x, \quad v = \sin x-\cos x$ *என்க.*

$$y' = \frac{vu'-uv'}{v^2} = \frac{(\sin x-\cos x)(\cos x-\sin x) - (\sin x+\cos x)(\cos x+\sin x)}{(\sin x-\cos x)^2}$$

$$= \frac{-\left[(\sin x - \cos x)^2 + (\sin x + \cos x)\right]^2}{(\sin x - \cos x)^2}$$

$$= \frac{-\left(\sin^2 x + \cos^2 x - 2\sin x \cos x + \sin^2 x + \cos^2 x + 2\sin x \cos x\right)}{(\sin x - \cos x)^2}$$

$$= -\frac{2}{(\sin x - \cos x)^2}$$

பயிற்சி 8.6

கீழ்க்காணும் சார்புகளை வகுத்தல் விதியைப் பயன்படுத்தி வகைப்படுத்துக:

(1) $\frac{5}{x^2}$ (2) $\frac{2x-3}{4x+5}$ (3) $\frac{x^7 - 4^7}{x-4}$

(4) $\frac{\cos x + \log x}{x^2 + e^x}$ (5) $\frac{\log x - 2x^2}{\log x + 2x^2}$ (6) $\frac{\log x}{\sin x}$

(7) $\frac{1}{ax^2 + bx + c}$ (8) $\frac{\tan x + 1}{\tan x - 1}$ (9) $\frac{\sin x + x\cos x}{x \sin x - \cos x}$ (10) $\frac{\log x^2}{e^x}$

சார்பின் சார்பினது வகைக்கெழு (சங்கிலி விதி) (Chain Rule) :

*x*ன் சார்பாக *u*வும், *u*ன் சார்பாக *y*ம் இருப்பின் *y* ஆனது *x*ன் சார்பு என்று சொல்லப்படும். அதாவது $u = f(x)$ ஆகவும் $y = F(u)$ ஆகவும் இருப்பின் $y = F(f(x))$ ஆகும். இதனை சார்பின் சார்பு என்பர்.

$y = F(u)$ல் *u*-ஐ இடைப்பட்ட மாறி என்றழைக்கலாம்.

***தேற்றம்* 8.6:** $u = f(x)$ ன் வகைக்கெழு $f'(x)$ ஆகவும் $y = F(u)$-ன் வகைக்கெழு $F'(u)$ ஆகவும் இருப்பின், சார்பின் சார்பான $F(f(x))$ன் வகைக்கெழு $F'(u)\, f'(x)$க்குச் சமம் ஆகும். இங்கு *u*க்கு $f(x)$ எனப் பிரதியிட வேண்டும்.

***நிரூபணம்* :** $u = f(x)$, $y = F(u)$.

இப்போது $u + \Delta u = f(x + \Delta x)$, $y + \Delta y = F(u + \Delta u)$

எனவே $\frac{\Delta u}{\Delta x} = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$, $\frac{\Delta y}{\Delta u} = \frac{F(u + \Delta u) - F(u)}{\Delta u}$

$f'(x) = \frac{du}{dx} \neq 0$ எனில் $\Delta u, \Delta x \neq 0$.

f ஆனது வகையிடத்தக்க சார்பு ஆதலால், இது தொடர்ச்சியான சார்பும் கூட. எனவே $\Delta x \to 0$ எனில் $x + \Delta x \to x$, $f(x+\Delta x) \to f(x)$.

அதாவது, $\lim\limits_{\Delta x \to 0} (x+\Delta x) = x$ மற்றும் $\lim\limits_{\Delta x \to 0} f(x+\Delta x) = f(x)$.

எனவே $\lim\limits_{\Delta x \to 0} (u + \Delta u) = u$.

$\Delta x \to 0$ ஆனால் $\Delta u \neq 0$ ஆதலால் $\dfrac{\Delta y}{\Delta x} = \dfrac{\Delta y}{\Delta u} \cdot \dfrac{\Delta u}{\Delta x}$ என எழுதலாம்.

f மற்றும் F ஆகிய இரண்டும் தொடர்ச்சியான சார்புகள் என்பதால், $\Delta u \to 0$ எனும்பொழுது $\Delta x \to 0$ மற்றும் $\Delta y \to 0$ எனும் பொழுது $\Delta u \to 0$.

எனவே $\lim\limits_{\Delta x \to 0} \dfrac{\Delta y}{\Delta x} = \lim\limits_{\Delta u \to 0} \dfrac{\Delta y}{\Delta u} \cdot \lim\limits_{\Delta x \to 0} \dfrac{\Delta u}{\Delta x}$

$$= y'(u)\ u'(x) = F'(u)\ f'(x) = F'(f(x))\ f'(x) \quad \ldots (18)$$

இந்தச் சங்கிலி விதியை மேலும் அதிகமான சார்புகளுக்கு விரிவுபடுத்த முடியும்.

அதாவது $y = F(u),\ u = f(t),\ t = g(x)$ எனில்

$$\frac{dy}{dx} = F'(u) \cdot u'(t) \cdot t'(x)$$

அதாவது $$\frac{dy}{dx} = \frac{dF}{du} \cdot \frac{du}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} \cdot \quad \ldots (19)$$

எ.கா. 8.61: வகைப்படுத்துக : $\log \sqrt{x}$

தீர்வு : $y = \log \sqrt{x}$ என்க.

$u = \sqrt{x}$ என எடுத்துக்கொள்வோமெனில் $y = \log u$ ஆகும். சங்கிலி விதிப்படி $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{dy}{du} \cdot \dfrac{du}{dx}$

இப்போது $\dfrac{dy}{du} = \dfrac{1}{u}$; $\dfrac{du}{dx}$; $\dfrac{1}{2\sqrt{x}}$

எனவே $$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{u} \cdot \frac{1}{2\sqrt{x}} = \frac{1}{\sqrt{x} \cdot 2\sqrt{x}} = \frac{1}{2x}.$$

எ.கா. 8.62: வகைப்படுத்துக : $\sin(\log x)$

தீர்வு : $y = \sin u$ என்க. இங்கு $u = \log x$

சங்கிலி விதிப்படி, $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{dy}{du} \cdot \dfrac{du}{dx}$,

இப்போது $\dfrac{dy}{du} = \cos u$; $\dfrac{du}{dx} = \dfrac{1}{x}$

$$\therefore \quad \frac{dy}{dx} = \cos u \cdot \frac{1}{x} = \frac{\cos(\log x)}{x}.$$

எ.கா. 8.63: *வகைப்படுத்துக* : $e^{\sin x^2}$

தீர்வு : $y = e^{\sin x^2}$; $u = \sin x^2$; $t = x^2$

பின் $y = e^u$, $u = \sin t$, $t = x^2$

$\therefore$ சங்கிலி விதிப்படி

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du} \cdot \frac{du}{dt} \cdot \frac{dt}{dx} = e^u \,.\, \cos t.\ 2x$$

$$= e^{\sin x^2} \,.\, \cos(x^2) \,.\, 2x = 2x\, e^{\sin(x^2)} \cos(x^2)$$

$$= 2x\, e^{\sin(x^2)} \cos(x^2)\,.$$

எ.கா. 8.64: *x*ஐப் பொறுத்து $\sin(ax + b)$ஐ வகைப்படுத்துக.

தீர்வு : $y = \sin(ax + b) = \sin u$, $u = ax + b$

$$\frac{dy}{du} = \cos u \ ; \ \frac{du}{dx} = a$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = \cos u \,.\, a = a \cos(ax + b).$$

பயிற்சி 8.7

கிழ்க்காணும் சார்புகளை *x*ஐப் பொறுத்து வகைப்படுத்துக.

(1) $\log(\sin x)$ (2) $e^{\sin x}$ (3) $\sqrt{1 + \cot x}$

(4) $\tan(\log x)$ (5) $\dfrac{e^{bx}}{\cos(ax + b)}$ (6) $\log \sec\left(\dfrac{\pi}{4} + \dfrac{x}{2}\right)$

(7) $\log \sin(e^x + 4x + 5)$ (8) $\sin\left(\dfrac{3}{x^2}\right)$ (9) $\cos\left(\sqrt{x}\right)$ (10) $e^{\sin(\log x)}$.

8.4.2 நேர்மாறு சார்பின் வகைக்கெழு (Derivative of inverse functions)

$y = f(x)$ *என்ற சார்பிற்கு* $x = \phi(y)$ *எனும் நேர்மாறு சார்பு காணப்பெற்று, மேலும்* $\dfrac{dx}{dy} = \phi'(y) \neq 0$ *எனில்* $y = f(x)$*-ன் வகைக்கெழு* $\dfrac{1}{\phi'(y)}$*க்குச் சமம். அதாவது*

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\left(\dfrac{dx}{dy}\right)} \qquad \ldots (20)$$

நிரூபணம் : $x = \phi(y)$ பின் $\dfrac{dx}{dx} = \dfrac{d(\phi(y))}{dx}$

அதாவது $1 = \phi'(y)\, \dfrac{dy}{dx}$ (சங்கிலி விதிப்படி)

$1 = \dfrac{dx}{dy} \cdot \dfrac{dy}{dx}$. ஆகவே, $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{\left(\dfrac{dx}{dy}\right)}$.

நேர்மாறு திரிகோணமிதிச் சார்புகளின் வகைக்கெழு :

I. $y = \sin^{-1}x$-ன் வகைக்கெழு $\quad \dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ … (21)

நிரூபணம் : $y = \sin^{-1}x$ *மற்றும்* $x = \sin y$

பின் $\dfrac{dx}{dy} = \cos y = \sqrt{1-\sin^2 y} = \sqrt{1-x^2}$

$$\frac{d(\sin^{-1}x)}{dx} = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\left(\frac{dx}{dy}\right)} = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} .$$

II. $y = \cos^{-1}x$-ன் வகைக்கெழு $\dfrac{dy}{dx} = -\dfrac{1}{\sqrt{1-x^2}}$ … (22)

நிரூபணம் : $y = \cos^{-1}x$ *மற்றும்* $x = \cos y$

$$\therefore \quad \frac{dx}{dy} = -\sin y = -\sqrt{1-\cos^2 y} = -\sqrt{1-x^2}$$

$$\frac{d(\cos^{-1}x)}{dx} = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\left(\frac{dx}{dy}\right)} = \frac{-1}{\sqrt{1-x^2}} .$$

மாற்றுமுறை : $\sin^{-1}x + \cos^{-1}x = \dfrac{\pi}{2}$ *என்பது நமக்குத் தெரியும்*

$$\Rightarrow \quad \frac{d}{dx}(\sin^{-1}x) + \frac{d}{dx}(\cos^{-1}x) = \frac{d}{dx}\left(\frac{\pi}{2}\right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{d(\cos^{-1}x)}{dx} = 0 \quad \therefore \frac{d(\cos^{-1}x)}{dx} = -\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} .$$

III. $y = \tan^{-1}x$-ன் வகைக்கெழு $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{1+x^2}$ … (23)

நிரூபணம் : $y = \tan^{-1}x$ *மற்றும்* $x = \tan y$

$$\Rightarrow \quad x' = \frac{d}{dy}(\tan y) = \sec^2 y = 1 + \tan^2 y = 1 + x^2$$

$$y' = \frac{1}{x'} = \frac{1}{1+x^2}$$

IV. $y = \cot^{-1}x$-ன் வகைக்கெழு $y' = -\dfrac{1}{1+x^2}$ **.** … (24)

நிரூபணம் : $y = \cot^{-1}x$ *மற்றும்* $x = \cot y$.

$$\frac{dx}{dy} = -\operatorname{cosec}^2 y = -(1+\cot^2 y) = -(1+x^2)$$

$\therefore$ (20)ன் படி $$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\left(\frac{dx}{dy}\right)} = -\frac{1}{1+x^2}\ .$$

மாற்று முறை: $\tan^{-1}x + \cot^{-1}x = \frac{\pi}{2}$ என்பது நமக்குத் தெரியும்.

xஐப் பொறுத்து இருபுறமும் வகைக்கெழுக் காண,

$$\frac{d(\tan^{-1}x)}{dx} + \frac{d(\cot^{-1}x)}{dx} = \frac{d\left(\frac{\pi}{2}\right)}{dx}$$

$$\frac{1}{1+x^2} + \frac{d(\cot^{-1}x)}{dx} = 0$$

$$\therefore \frac{d(\cot^{-1}x)}{dx} = -\frac{1}{1+x^2}\ .$$

V. $y = \sec^{-1}x$ -ன் வகைக்கெழு $$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{x\sqrt{x^2-1}} \qquad \ldots (25)$$

நிரூபணம்: $y = \sec^{-1}x$ மற்றும் $x = \sec y$

$$\frac{dx}{dy} = \sec y \tan y = \sec y\sqrt{\sec^2 y - 1}$$

$\therefore$ (20)ன் படி $$\frac{d(\sec^{-1}x)}{dx} = \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dy}} = \frac{1}{x\sqrt{x^2-1}}\ .$$

VI. $y = \operatorname{cosec}^{-1}x$ன் வகைக்கெழு $$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{x\sqrt{x^2-1}} \qquad \ldots (26)$$

நிரூபணம்: $y = \operatorname{cosec}^{-1}x$ மற்றும் $x = \operatorname{cosec} y$

$$\frac{dx}{dy} = \frac{d(\operatorname{cosec} y)}{dy} = -\operatorname{cosec} y \cot y$$

$$= -\operatorname{cosec} y\sqrt{\operatorname{cosec}^2 y - 1} = -x\sqrt{x^2-1}$$

எனவே (20)ன் படி $$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dy}} = -\frac{1}{x\sqrt{x^2-1}}\ .$$

எ.கா. 8.65: வகைப்படுத்துக : $y = \sin^{-1}(x^2 + 2x)$

தீர்வு : $y = \sin^{-1}(x^2 + 2x)$

$u = x^2 + 2x$ என வைத்துக் கொள்வோம். பின் $y = \sin^{-1}(u)$ ஒரு சார்பின் சார்பு.

எனவே சங்கிலி விதிப்படி,

$$y' = \frac{dy}{du}\,\frac{du}{dx} = \frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\;\frac{d(x^2+2x)}{dx}, \text{ by (21)}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{1-(x^2+2x)^2}}\,(2x+2) = \frac{2(x+1)}{\sqrt{1-x^2(x+2)^2}}\,.$$

எ.கா. 8.66: $y = \cos^{-1}\left(\frac{1-x}{1+x}\right)$ எனில் $\frac{dy}{dx}$ காண்க.

தீர்வு : $y = \cos^{-1}\left(\frac{1-x}{1+x}\right)$.

$u = \frac{1-x}{1+x}$ என எடுத்துக் கொள்வோம். எனவே $y = \cos^{-1}(u)$ ஒரு சார்பின் சார்பு.

சங்கிலி விதிப்படி

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{du}\cdot\frac{du}{dx}\,.$$

$$\therefore\ \frac{dy}{dx} = -\frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\cdot\frac{d\left(\frac{1-x}{1+x}\right)}{dx}$$

$$= -\frac{1}{\sqrt{1-u^2}}\left[\frac{(1+x)(-1)-(1-x)(1)}{(1+x)^2}\right] = -\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{1-x}{1+x}\right)^2}}\cdot\frac{-2}{(1+x)^2}$$

$$= -\frac{1}{\sqrt{\frac{(1+x)^2-(1-x)^2}{1+x}}}\;\frac{-2}{(1+x)^2} = \frac{(1+x)}{\sqrt{4x}}\;\frac{2}{(1+x)^2} = \frac{1}{\sqrt{x}\,(1+x)}\,.$$

எ.கா. 8.67: $y = \tan^{-1}(e^x)$ எனில் y' காண்க.

தீர்வு : $y = \tan^{-1}(e^x)$. $u = e^x$ என எடுக்க $y = \tan^{-1}(u)$ ஆகும்.

சங்கிலி விதிப்படி $y' = \frac{dy}{du}\cdot\frac{du}{dx} = \frac{1}{1+u^2}\;\frac{d(e^x)}{dx} = \frac{e^x}{1+e^{2x}}\,.$

பயிற்சி 8.8

கீழ்க்காணும் சார்புகளின் வகைக்கெழுக்கள் காண்க :

(1) $\sin^{-1}\left(\frac{1-x}{1+x}\right)$ (2) $\cot^{-1}(e^{x^2})$

(3) $\tan^{-1}(\log x)$ (4) $y = \tan^{-1}(\cot x) + \cot^{-1}(\tan x)$

8.4.3 மடக்கை மூலம் வகைக்கெழுக் காணல் (Logarithmic differentiation)

$y = u^v$, இங்கு u மற்றும் v ஆகியன x-ன் சார்புகள் எனில் x-ஐப் பொறுத்த y-ன் வகையிடலைக் காண்போம்.

$y = u^v$-ஐ $y = e^{\log u^v} = e^{v\log u}$ என எழுத முடியும்.

இப்பொழுது y ஆனது சார்பின் சார்பு அமைப்பைச் சார்ந்ததாகும்.

எனவே
$$y' = e^{v\log u}\ \frac{d(v\log u)}{dx}$$
$$= e^{v\log u}\left[v\,.\,\frac{1}{u}u' + \log u.v'\right] = u^v\left[\frac{v}{u}u' + v'\log u\right]$$
$$= vu^{v-1}u' + u^v(\log u)\,v'. \qquad \ldots (27)$$

மாற்று முறை :

$y = u^v$ இருபுறமும் மடக்கை எடுக்க

$$\log y = \log u^v \Rightarrow \log y = v\log u$$

xஐப் பொறுத்து இருபுறமும் வகையிட :

$$\frac{1}{y}\frac{dy}{dx} = v\frac{1}{u}u' + v'\log u$$
$$\frac{dy}{dx} = y\left(\frac{v}{u}u' + v'\log u\right) = u^v\left(\frac{v}{u}u' + v'\log u\right)$$

எ.கா. 8.68: $y = x^\alpha$, (α மெய்யெண்)ன் வகைக்கெழு காண்க.

தீர்வு . $y = x^\alpha$, $y = u^v$ எனும் வடிவத்தில் உள்ளது.

இங்கு $u = x$, $v = \alpha$

$u' = 1$, $v' = 0$

எனவே (27)-ன் படி, $y' = \alpha x^{\alpha-1}.1 + x^\alpha.(\log x).0$

$= \alpha x^{\alpha-1}$ $(\because u = x, v = \alpha, v' = 0)$

குறிப்பு : எ.கா. 8.74லிருந்து x^nன் வகைக்கெழு $= nx^{n-1}$ ஆனது எந்த மெய்யென் nக்கும் மெய்யானது என்பதை நுட்பமாகக் கவனிப்போமாக.

எ.கா. 8.69: xஐப் பொறுத்து $x^{\sin x}$ன் வகைக்கெழு காண்க.

தீர்வு : $y = x^{\sin x}$ என்க. இங்கு $u = x$; $v = \sin x$; $u' = 1$; $v' = \cos x$.

எனவே (27)ன் படி,
$$y' = \frac{dy}{dx} = \sin x \,.\, x^{\sin x - 1} \,.\, 1 + x^{\sin x} (\log x) \cos x$$
$$= x^{\sin x}\left(\frac{\sin x}{x} + \cos x\,(\log x)\right).$$

எ.கா. 8.70: வகைப்படுத்துக : $\dfrac{(1-x)\sqrt{x^2+2}}{(x+3)\sqrt{x-1}}$

தீர்வு :
$$y = \frac{(1-x)\sqrt{x^2+2}}{(x+3)\sqrt{x-1}} \text{ என்க.}$$

இருபுறமும் மடக்கை எடுக்க,
$$\log y = \log (1-x)\sqrt{x^2+2} - \log (x+3)\sqrt{x-1}$$
$$= \log (1-x) + \frac{1}{2}\log (x^2+2) - \log (x+3) - \frac{1}{2}\log (x-1).$$

x-ஐப் பொறுத்து வகையிட :
$$\therefore \frac{1}{y}\frac{dy}{dx} = \frac{-1}{1-x} + \frac{2x}{2(x^2+2)} - \frac{1}{x+3} - \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{x-1}$$
$$= \frac{x}{x^2+2} + \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{x-1} - \frac{1}{x+3}$$
$$\therefore \frac{dy}{dx} = y\left[\frac{x}{x^2+2} + \frac{1}{2(x-1)} - \frac{1}{x+3}\right].$$
$$= \frac{(1-x)\sqrt{x^2+2}}{(x+3)\sqrt{x-1}}\left[\frac{x}{x^2+2} + \frac{1}{2(x-1)} - \frac{1}{x+3}\right]$$

பயிற்சி 8.9

xஐப் பொறுத்து கீழ்க்காணும் சார்புகளை வகையிடுக

(1) $x^{\sqrt{2}}$ (2) x^{x^2} (3) $x^{\tan x}$ (4) $\sin x^{\sin x}$

(5) $(\tan^{-1}x)^{\log x}$ (6) $(\log x)^{\sin^{-1}x}$ (7) $\dfrac{(x^2+2)(x+\sqrt{2})}{\left(\sqrt{x+4}\right)(x-7)}$

(8) $(x^2+2x+1)^{\sqrt{x-1}}$ (9) $\dfrac{\sin x \cos (e^x)}{e^x + \log x}$ (10) $x^{\sin x} + (\sin x)^x$

8.4.4 பிரதியிடல் முறை மூலம் வகைக்கெழுக் காணுதல் (Method of substitution):

சில நேரங்களில் பிரதியிடல் முறை வகையிடலை எளிதாக்கும். கீழ்க்காணும் எடுத்துக்காட்டு இம்முறையை விளக்கும்.

எ.கா. 8.71 : கீழ்க்காணும் சார்புகளின் வகைக்கெழுக் காண்க.

(i) $(ax + b)^n$ (ii) $\log (ax + b)^n$

(iii) $\sin^{-1} \dfrac{2x}{1 + x^2}$ (iv) $\cos^{-1} \dfrac{1 - x^2}{1 + x^2}$ (v) $\sin^2 (ax + b)$

தீர்வு : (i) $y = (ax + b)^n$.

$u = ax + b$ எனப் பிரதியிடுக. பின் $y = u^n$.

இப்போது y ஆனது uவைப் பொறுத்த சார்பு மற்றும் u ஆனது x-ஐப் பொறுத்த சார்பு. சங்கிலி விதிப்படி,

$$y' = \frac{dy}{du} \cdot \frac{du}{dx} = nu^{n-1} . \frac{d(ax + b)}{dx}$$

$$= n (ax + b)^{n-1} . a = na (ax + b)^{n-1}.$$

(ii) $y = \log (ax + b)^n$ என்க. $ax + b = u$ எனப் பிரதியிடுக.

பின் (i)ல் உள்ளது போல தொடர, $y' = \dfrac{na}{ax + b}$.

(iii) $y = \sin^{-1} \dfrac{2x}{1 + x^2}$.

$x = \tan\theta$ எனப் பிரதியிட, $\theta = \tan^{-1}x$.

$$\therefore\ y = \sin^{-1} \frac{2 \tan\theta}{1 + \tan^2\theta} = \sin^{-1} (\sin 2\theta) \left(\because \sin 2\theta = \frac{2 \tan \theta}{1 + \tan^2\theta} \right)$$

$$= 2\theta \qquad (\because \sin^{-1} (\sin \theta) = \theta)$$

$$= 2 \tan^{-1} x .$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = 2 . \frac{d}{dx} (\tan^{-1}x) = \frac{2}{1 + x^2} .$$

(iv) $y = \cos^{-1} \dfrac{1 - x^2}{1 + x^2}$ என்க .

$x = \tan\theta$ எனப் பிரதியிடுக.

$\theta = \tan^{-1}x$ மற்றும் $\dfrac{1 - x^2}{1 + x^2} = \dfrac{1 - \tan^2\theta}{1 + \tan^2\theta} = \cos 2\theta$

$$\therefore\ y = \cos^{-1}(\cos 2\theta) = 2\theta = 2\tan^{-1}x$$

$$\frac{dy}{dx} = 2 \cdot \frac{1}{1+x^2} = \frac{2}{1+x^2}\ .$$

(v) $y = \sin^2 (ax + b)$

$ax + b = u$ மற்றும் $v = \sin u$ எனப் பிரதியிடுக.

பின் $y = v^2$, $v = \sin u$ மற்றும் $u = ax + b$.

எனவே சங்கிலி விதிப்படி

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dy}{dv} \cdot \frac{dv}{du} \cdot \frac{du}{dx} = 2\,v \,.\, \cos u \,.\, a$$

$$= 2\,a \sin u \,.\, \cos u = a \sin 2u = a \sin 2\,(ax + b).$$

எ.கா. 8.72:

வகையிடுக (i) $\sin^{-1}(3x - 4x^3)$ (ii) $\cos^{-1}(4x^3 - 3x)$ (iii) $\tan^{-1}\left(\frac{3x - x^3}{1 - 3x^2}\right)$.

தீர்வு :

(i) $y = \sin^{-1}(3x - 4x^3)$ என்க.

$x = \sin\theta$ எனப் பதிலியிட, $\theta = \sin^{-1}x$.

இப்பொழுது $y = \sin^{-1}(3\sin\theta - 4\sin^3\theta)$

$= \sin^{-1}(\sin 3\theta) = 3\theta = 3\sin^{-1}x$. ($\because \sin 3\theta = 3\sin\theta - 4\sin^3\theta$)

$$\frac{dy}{dx} = 3 \cdot \frac{1}{\sqrt{1-x^2}} = \frac{3}{\sqrt{1-x^2}}$$

(ii) $y = \cos^{-1}(4x^3 - 3x)$ என்க.

$x = \cos\theta$ எனப் பிரதியிட, $\theta = \cos^{-1}x$.

$y = \cos^{-1}(4\cos^3\theta - 3\cos\theta)$

$= \cos^{-1}(\cos 3\theta)$ ($\therefore \cos 3\theta = 4\cos^3\theta - 3\cos\theta$)

$= 3\theta = 3\cos^{-1}x$.

$$\therefore\ \frac{dy}{dx} = -\frac{3}{\sqrt{1-x^2}}\ .$$

(iii) $y = \tan^{-1}\left(\frac{3x - x^3}{1 - 3x^2}\right)$ என்க.

$x = \tan\theta$ *என்க. எனவே* $\theta = \tan^{-1}x$.

$$y = \tan^{-1}\left(\frac{3\tan\theta - \tan^3\theta}{1 - 3\tan^2\theta}\right) = \tan^{-1}(\tan 3\theta) = 3\theta = 3\tan^{-1}x.$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = \frac{3}{1 + x^2}.$$

பயிற்சி 8.10

வகையிடுக :

(1) $\cos^{-1}\sqrt{\frac{1+\cos x}{2}}$ (2) $\sin^{-1}\sqrt{\frac{1-\cos 2x}{2}}$ (3) $\tan^{-1}\sqrt{\frac{1-\cos x}{1+\cos x}}$

(4) $\tan^{-1}\left(\frac{\cos x + \sin x}{\cos x - \sin x}\right)$ (5) $\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{1+x^2}-1}{x}\right)$ (6) $\tan^{-1}\frac{1+x^2}{1-x^2}$

(7) $\tan^{-1}\frac{\sqrt{x}+\sqrt{a}}{1-\sqrt{ax}}$ (8) $\tan^{-1}\frac{\sqrt{1+x}-\sqrt{1-x}}{\sqrt{1+x}+\sqrt{1-x}}$

(9) $\cot^{-1}\left[\frac{\sqrt{1+\sin x}+\sqrt{1-\sin x}}{\sqrt{1+\sin x}-\sqrt{1-\sin x}}\right]$

(*இங்கு* $\sin^2 x/2+\cos^2 x/2=1$; $\sin x=2\sin x/2\cos x/2$ *எனக் கொள்க.*)

8.4.5 துணையலகுச் சார்புகளின் வகைக்கெழு (Differentiation of parametric functions)

x, y எனும் இரண்டு மாறிகள் மூன்றாவது மாறி t-ன் சார்புகளாக இருப்பின், x, y என்பவை துணையலகுச் சார்புகள் எனப்படும்.

$x = f(t)$, $y = g(t)$ *என்பன துணையலகுச் சமன்பாடுகள். t துணையலகு. t-ன் உயர்வாகிய* Δt*க்கு இணையாக x, y-க்களின் உயர்வை* Δx, Δy *என்போம்.*

எனவே $x + \Delta x = f(t + \Delta t)$ and $y + \Delta y = g(t + \Delta t)$

மற்றும் $\Delta x = f(t + \Delta t) - f(t)$, $\Delta y = g(t + \Delta t) - g(t)$.

$$\therefore \frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x} = \lim_{\Delta x \to 0}\left[\frac{\left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right)}{\left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)}\right] = \frac{\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta y}{\Delta x}}{\lim_{\Delta t \to 0}\frac{\Delta x}{\Delta t}} = \frac{\left(\frac{dy}{dt}\right)}{\left(\frac{dx}{dt}\right)} \quad \ldots(28)$$

இங்கு $\frac{dx}{dt} \neq 0$. $\Delta x \to 0 \Rightarrow f(t + \Delta t) \to f(t) \Rightarrow \Delta t \to 0$ *என்பதைக் கவனிக்கவும்.*

எ.கா. 8.73: $x = a\cos^3 t$, $y = a\sin^3 t$ *எனில்* $\frac{dy}{dx}$ *காண்க.*

***தீர்வு* :** $x = a\cos^3 t,\ y = a\sin^3 t.$

இப்பொழுது $\therefore \dfrac{dx}{dt} = -3a\cos^2 t\sin t$ and $\dfrac{dy}{dt} = 3a\sin^2 t\cos t$.

எனவே (28)-ன் படி $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \dfrac{3a\sin^2 t\cos t}{-3a\cos^2 t\sin t} = -\dfrac{\sin t}{\cos t} = -\tan t$.

எ.கா. 8.74: $x = a(\theta + \sin\theta),\ y = a(1 - \cos\theta)$ எனில் $\dfrac{dy}{dx}$ காண்க.

***தீர்வு* :** $\dfrac{dx}{d\theta} = a(1 + \cos\theta)$ $\quad \dfrac{dy}{d\theta} = a(0 + \sin\theta)$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = \frac{\left(\frac{dy}{d\theta}\right)}{\left(\frac{dx}{d\theta}\right)} = \frac{a\sin\theta}{a(1+\cos\theta)} = \frac{2\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}}{2\cos^2\frac{\theta}{2}} = \tan\frac{\theta}{2}.$$

பயிற்சி 8.11

x, yஆகியன துணையலகின் ஊடாக பிணைக்கப்பட்ட சமன்பாடுகள் எனில் (துணையலகை நீக்காமல்) $\dfrac{dy}{dx}$-ஐக் காண்க.

(1) $x = a\cos\theta,\ y = b\sin\theta$

(2) $x = at^2,\ \ y = 2at$

(3) $x = a\sec^3\theta,\ y = b\tan^3\theta$

(4) $x = 4t,\ y = \dfrac{4}{t}$

(5) $x = 2\cos\theta - \cos 2\theta,\ y = 2\sin\theta - \sin 2\theta$

(6) $x = a\left(\cos\theta + \log\tan\dfrac{\theta}{2}\right),\ y = a\sin\theta$

(7) $x = \dfrac{3at}{1+t^3},\ y = \dfrac{3at^2}{1+t^3}$

8.4.6 உட்படு சார்புகளின் வகைக்கெழுக் காணல் (Differentiation of implicit functions):

x, y என்பன $f(x, y) = 0$ என்ற சமன்பாட்டின் வடிவத்தில் பிணைக்கப்பட்டிருந்து இந்தச் சமன்பாடானது y-க்கு எளிமையான முறையில் தீர்வு காண இயலாமலிருப்பின் y-ஐ x-ன் உட்படு சார்பு என்பர். y ஆனது x-ன் சார்பாக வெளிப்படையாக தரப்படின் y ஆனது x-ன் வெளிப்படு சார்பு எனக் கூறப்படும். y ஆனது x-ன் உட்படு சார்பாக இருப்பின் கூட அதன் y-க்குத் தீர்விடாமலேயே தரப்பட்ட தொடர்பை வகையிடுவதின் மூலம் $\dfrac{dy}{dx}$-ஐக் காண்பது சாத்தியமானதாகும். கீழ்க்காணும் எடுத்துக்காட்டுகளின் மூலம் இதனை விளக்குவோம்.

எ.கா. 8.75: $x^3 + 8xy + y^3 = 6$ *எனும்போது* $\frac{dy}{dx}$ *காண்க.*

தீர்வு : $x^3 + 8xy + y^3 = 64$ *நமக்குத் தரப்பட்டுள்ளது.*

xஐப் பொறுத்து இருபுறமும் வகைப்படுத்த,

$$3x^2 + 8\left[x\frac{dy}{dx} + y\,.\,1\right] + 3y^2\frac{dy}{dx} = 0$$

$$3x^2 + 8y + 8x\frac{dy}{dx} + 3y^2\frac{dy}{dx} = 0$$

$$(3x^2 + 8y) + (8x + 3y^2)\frac{dy}{dx} = 0$$

$$(8x + 3y^2)\frac{dy}{dx} = -(3x^2 + 8y) \qquad \therefore \frac{dy}{dx} = -\frac{(3x^2 + 8y)}{(8x + 3y^2)}$$

எ.கா. 8.76: $\tan(x + y) + \tan(x - y) = 1$ *என இருப்பின்* $\frac{dy}{dx}$ *காண்க.*

தீர்வு : $\tan(x + y) + \tan(x - y) = 1$ *என தரப்பட்டிருக்கிறது.*

xஐப் பொறுத்து இருபுறமும் வகையிட,

$$\sec^2(x + y)\left(1 + \frac{dy}{dx}\right) + \sec^2(x - y)\left(1 - \frac{dy}{dx}\right) = 0$$

$$[\sec^2(x + y) + \sec^2(x - y)] + [\sec^2(x + y) - \sec^2(x - y)]\frac{dy}{dx} = 0$$

$$[\sec^2(x + y) - \sec^2(x - y)]\frac{dy}{dx} = -[\sec^2(x + y) + \sec^2(x - y)]$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = -\frac{\sec^2(x + y) + \sec^2(x - y)}{\sec^2(x + y) - \sec^2(x - y)} = \frac{\sec^2(x + y) + \sec^2(x - y)}{\sec^2(x - y) - \sec^2(x + y)}\,.$$

எ.கா. 8.77: $xy + xe^{-y} + ye^x = x^2$ *எனில்* $\frac{dy}{dx}$ *காண்க.*

தீர்வு : $xy + xe^{-y} + ye^x = x^2$ *நமக்கு தரப்பட்டிருக்கிறது.*

xஐப் பொறுத்து இருபுறமும் வகையிட,

$$x\frac{dy}{dx} + y.1 + xe^{-y}\left(-\frac{dy}{dx}\right) + e^{-y}.1 + y.e^x + e^x\frac{dy}{dx} = 2x$$

$$(y + e^{-y} + ye^x) + (x - xe^{-y} + e^x)\frac{dy}{dx} = 2x$$

$$(ye^x + y + e^{-y} - 2x) + (e^x - xe^{-y} + x)\frac{dy}{dx} = 0$$

$$(e^x - xe^{-y} + x)\frac{dy}{dx} = -(ye^x + y + e^{-y} - 2x)$$

$$\therefore \frac{dy}{dx} = -\frac{(ye^x + y + e^{-y} - 2x)}{(e^x - xe^{-y} + x)} = \frac{(ye^x + y + e^{-y} - 2x)}{(xe^{-y} - e^x - x)} \quad .$$

பயிற்சி 8.12

கீழ்க்காணும் உட்படு சார்புகளுக்கு $\frac{dy}{dx}$ காண்க.

(1) $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1$ (2) $y = x \sin y$ (3) $x^4 + y^4 = 4a^2x^3y^3$

(4) $y \tan x - y^2 \cos x + 2x = 0$ (5) $(1 + y^2) \sec x - y \cot x + 1 = x^2$

(6) $2y^2 + \frac{y}{1 + x^2} + \tan^2 x + \sin y = 0$ (7) $xy = \tan(xy)$ (8) $x^m y^n = (x + y)^{m+n}$

(9) $e^x + e^y = e^{x+y}$ (10) $xy = 100(x + y)$ (11) $x^y = y^x$

(12) $ax^2 + by^2 + 2gx + 2fy + 2hxy + c = 0$ எனில், $\frac{dy}{dx} + \frac{ax + hy + g}{hx + by + f} = 0$ எனக்காட்டுக.

8.4.7 உயர்வரிசை வகைக்கெழுக்கள் (Higher order derivatives) :

$y = f(x)$ ஆனது xஐப் பொறுத்து வகையிடத்தக்க சார்பாக இருக்கட்டும். இதன் வகைக்கெழுவாகிய

$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$ ஐ $y = f(x)$ன் முதல் வரிசை வகைக்கெழு என அழைக்கப்படும். xஐச் சார்ந்த முதல் வரிசை வகைக் கெழுவாகிய $f'(x)$ வகையிடத்தக்கதாகவோ அல்லது வகையிடத்தகாததாகவோ இருக்கலாம். $f'(x)$ வகையிடத்தக்கதெனில் $\frac{d}{dx}\left(\frac{dy}{dx}\right) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f'(x + \Delta x) - f'(x)}{\Delta x}$ ஆனது $y = f(x)$ன் xஐப் பொறுத்த இரண்டாம் வரிசை வகைக்கெழு என அழைக்கப்படுகிறது. இது $\frac{d^2y}{dx^2}$ என குறிக்கப்படுகிறது.

இதர குறியீடுகளாகிய y_2, y'', $\ddot{y}$ அல்லது D^2y இங்கு $D^2 \equiv \frac{d^2}{dx^2}$ என்பனவும் இரண்டாம் வரிசை வகைக்கெழுக்களைக் குறிக்க பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இதுபோலவே $y = f(x)$ன் மூன்றாம் வரிசை வகைக் கெழுவை $\frac{d^3y}{dx^3} = \frac{d}{dx}\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) = \lim_{\Delta x \to 0} \frac{f''(x+\Delta x) - f''(x)}{\Delta x}$ என வரையறுக்கலாம்.

இங்கு $f''(x)$ வகையிடத்தக்கதாயிருக்க வேண்டும் என்பது அவசியம்.

மேலேச் சொன்னது போல y_3, y''', $\dddot{y}$ அல்லது D^3y போன்ற குறியீடுகளும் மூன்றாம் வரிசை வகைக்கெழுவைக் குறிக்கப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

எ.கா. 8.78: $y = x^2$ எனில் y_3 காண்க.

தீர்வு :

$$y_1 = \frac{dy}{dx} = \frac{d}{dx}(x^2) = 2x$$

$$y_2 = \frac{d}{dx}\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{d}{dx}(2x) = 2$$

$$y_3 = \frac{d^3y}{dx^3} = \frac{d}{dx}\left(\frac{d^2y}{dx^2}\right) = \frac{d}{dx}(2) = 0.$$

எ.கா. 8.79:

$y = A\cos 4x + B\sin 4x$, A மற்றும் B என்பன மாறிலிகள், எனில் $y_2 + 16y = 0$ எனக் காட்டுக.

தீர்வு :

$$y_1 = \frac{dy}{dx} = (A\cos 4x + B\sin 4x)' = -4A\sin 4x + 4B\cos 4x$$

$$y_2 = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d}{dx}\left(\frac{dy}{dx}\right)$$

$$= \frac{d}{dx}(-4A\sin 4x + 4B\cos 4x)$$

$$= -16A\cos 4x - 16B\sin 4x$$

$$= -16(A\cos 4x + B\sin 4x) = -16y$$

$$\therefore y_2 + 16y = 0$$

எ.கா.8.80: $\log(\log x)$ என்ற சார்பின் இரண்டாம் வரிசை வகைக்கெழுவைக் கண்டுபிடிக்கவும்.

தீர்வு : $y = \log\ (\log x)$ என்க.

சங்கிலி விதிப்படி $\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{\log x} \cdot \dfrac{d(\log x)}{dx} = \dfrac{1}{\log x} \cdot \dfrac{1}{x}$

$$= \frac{1}{x \log x} = (x \log x)^{-1}$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d}{dx}\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{d(x \log x)^{-1}}{dx} = -(x \log x)^{-2}\ \frac{d(x \log x)}{dx}$$

$$= -\frac{1}{(x \log x)^2}\left[x \cdot \frac{1}{x} + \log x \cdot 1\right] = -\frac{1 + \log x}{(x \log x)^2}.$$

எ.கா. 8.81: $y = \log(\cos x)$ எனில் y_3 கண்டுபிடிக்கவும்.

தீர்வு : $y = \log(\cos x)$ தரப்பட்டிருக்கிறது.

$$y_1 = \frac{d[\log(\cos x)]}{dx} = \frac{1}{\cos x}\ \frac{d(\cos x)}{dx},$$ சங்கிலி விதிப்படி

$$= \frac{1}{\cos x} \cdot (-\sin x) = -\tan x$$

$$y_2 = \frac{d\,y_1}{dx} = \frac{d(-\tan x)}{dx} = -\sec^2 x$$

$$y_3 = \frac{d(y_2)}{dx} = \frac{d(-\sec^2 x)}{dx} = -2\sec x \cdot \frac{d(\sec x)}{dx}$$

$$= -2\sec x \cdot \sec x \cdot \tan x = -2\sec^2 x \tan x.$$

எ.கா. 8.82: $y = e^{ax}\sin bx$ எனில் $\dfrac{d^2y}{dx^2} - 2a \cdot \dfrac{dy}{dx} + (a^2 + b^2)\,y = 0$ என நிறுவுக.

தீர்வு : $y = e^{ax}\sin bx$ தரப்பட்டிருக்கிறது.

$$\frac{dy}{dx} = e^{ax} \cdot b\cos bx + a\,e^{ax}\sin bx$$

$$= e^{ax}(b\cos bx + a\sin bx)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d}{dx}\left\{e^{ax}(b\cos bx + a\sin bx)\right\}$$

$$= e^{ax}\left\{-b^2\sin bx + ab\cos bx\right\} + (b\cos bx + a\sin bx)a\,e^{ax}$$

$$= -b^2(e^{ax}\sin bx) + a\ be^{ax}\cos bx + a.e^{ax}(b\cos bx + a\sin bx)$$

$$= -b^2\ y + a\left(\frac{dy}{dx} - ae^{ax}\sin bx\right) + a\,\frac{dy}{dx}$$

$$= -b^2\ y + a\left(\frac{dy}{dx} - a.y\right) + a\frac{dy}{dx}$$

$$= 2a\ \frac{dy}{dx} - (a^2 + b^2)y$$

எனவே, $\frac{d^2y}{dx^2} - 2a\frac{dy}{dx} + (a^2 + b^2)y = 0$.

எ.கா. 8.83: $y = \sin(ax + b)$ எனில் $y_3 = a^3 \sin\left(ax + b + \frac{3\pi}{2}\right)$ என நிறுவுக.

தீர்வு : $y = \sin(ax + b)$ என கொள்க.

$$y_1 = a\cos(ax + b) = a\sin\left(ax + b + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_2 = a^2\cos\left(ax + b + \frac{\pi}{2}\right) = a^2\sin\left(ax + b + \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2}\right) = a^2\sin\left(ax + b + 2.\frac{\pi}{2}\right)$$

$$y_3 = a^3\cos\left(ax + b + 2.\frac{\pi}{2}\right) = a^3\sin\left(ax + b + 2.\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2}\right) = a^3\sin\left(ax + b + 3\frac{\pi}{2}\right)$$

எ.கா. 8.84: $y = \cos(m\sin^{-1}x)$ எனில் $(1 - x^2)y_3 - 3xy_2 + (m^2 - 1)y_1 = 0$ என நிறுவுக.

தீர்வு : $y = \cos(m\sin^{-1}x)$ நமக்கு தரப்பட்டிருக்கிறது.

$$y_1 = -\sin(m\sin^{-1}x) \cdot \frac{m}{\sqrt{1 - x^2}}$$

$$y_1^{\ 2} = \sin^2(m\sin^{-1}x)\frac{m^2}{(1 - x^2)}$$

இதிலிருந்து $(1 - x^2)y_1^{\ 2} = m^2\sin^2(m\sin^{-1}x) = m^2\left[1 - \cos^2(m\sin^{-1}x)\right]$

அதாவது, $(1 - x^2)\,y_1^{\ 2} = m^2(1 - y^2)$.

மீண்டும் வகையிட, $(1 - x^2)2y_1\frac{dy_1}{dx} + y_1^{\ 2}(-2x) = m^2\left(-2y\frac{dy}{dx}\right)$

$$(1 - x^2)\,2y_1y_2 - 2xy_1^{\ 2} = -2m^2yy_1$$

$$(1 - x^2)\,y_2 - xy_1 = -m^2y$$

மீண்டும் ஒருமுறை வகையிட,

$$(1 - x^2)\frac{dy_2}{dx} + y_2(-2x) - \left[x.\frac{dy_1}{dx} + y_1 . 1\right] = -m^2\frac{dy}{dx}$$

$$(1 - x^2)\,y_3 - 2xy_2 - xy_2 - y_1 = -m^2y_1$$

$$(1 - x^2)\,y_3 - 3xy_2 + (m^2 - 1)\,y_1 = 0.$$

பயிற்சி 8.13

(1) $\frac{d^2y}{dx^2}$ if $y = x^3 + \tan x$ காண்க.

(2) $\frac{d^3y}{dx^3}$ if $y = x^2 + \cot x$ காண்க.

(3) இரண்டாம் வரிசை வகைக்கெழுக்கள் காண்க.

(i) $x^2 + 6x + 5$ (ii) $x \sin x$ (iii) $\cot^{-1}x$.

(4) மூன்றாம் வரிசை வகைக்கெழுக்கள் காண்க,

(i) $e^{mx} + x^3$ (ii) $x \cos x$.

(5) $y = 500\, e^{7x} + 600e^{-7x}$ எனில் $\frac{d^2y}{dx^2} = 49y$ எனக் காட்டுக.

(6) $y = e^{\tan^{-1}x}$ எனில் $(1 + x^2)\, y_2 + (2x - 1)y_1 = 0$ என நிறுவுக.

(7) $y = \log (x^2 - a^2)$ எனில் $y_3 = 2\left[\frac{1}{(x+a)^3} + \frac{1}{(x-a)^3}\right]$ என நிறுவுக.

(8) $x = \sin t$; $y = \sin pt$ எனில் $(1 - x^2)\frac{d^2y}{dx^2} - x\frac{dy}{dx} + p^2y = 0$ எனக் காட்டுக.

(9) $x = a (\cos \theta + \theta \sin \theta)$ எனில் $y = a (\sin \theta - \theta \cos \theta)$,

$a\, \theta \frac{d^2y}{dx^2} = \sec^3\theta$ எனக் காட்டுக.

(10) $y = (x^3 - 1)$ எனில் $x^2\, y_3 - 2xy_2 + 2y_1 = 0$ என நிறுவுக.

வகைக்கெழுக்களின் பட்டியல்

	சார்பு	வகைக்கெழு
1.	k ; (k மாறிலி)	$(k)' = 0$
2.	$kf(x)$	$(kf(x))' = kf'(x)$
3.	$u \pm v$	$(u \pm v)' = u' \pm v'$
4.	$u_1 + u_2 + \ldots + u_n$	$(u_1 + u_2 + \ldots u_n)' = u_1' + u_2' + \ldots + u_n'$
5.	$u \,.\, v$	$(uv)' = uv' + vu'$ $\frac{(uv)'}{uv} = \frac{u'}{u} + \frac{v'}{v}$
6.	$u_1.u_2 \ldots u_n$	$(u_1.u_2 .. u_n)' = u_1' u_2 u_3 .. u_n + u_1 u_2' .. u_n$ $+ \ldots + u_1 u_2 \ldots u_{n-1} u_n'$ $\frac{(u_1.u_2 .. u_n)'}{u_1.u_2 .. u_n} = \frac{u_1'}{u_1} + \frac{u_2'}{u_2} + \ldots + \frac{u_n'}{u_n}$
7.	x^n ($n \in \mathbf{R}$)	$(x^n)' = nx^{n-1}$
8.	$\log_a x$	$(\log_a x)' = \frac{\log a^e}{x}$
9.	$\log_e x$	$(\log_e x)' = \frac{1}{x}$
10.	$\sin x$	$(\sin x)' = \cos x$
11.	$\cos x$	$(\cos x)' = -\sin x$
12.	$\tan x$	$(\tan x)' = \sec^2 x$
13.	$\cot x$	$(\cot x)' = -\operatorname{cosec}^2 x$
14.	$\sec x$	$(\sec x)' = \sec x \,.\, \tan x$
15.	$\operatorname{cosec} x$	$(\operatorname{cosec} x)' = -\operatorname{cosec} x \,.\, \cot x$
16.	$\sin^{-1} x$	$(\sin^{-1} x)' = \frac{1}{\sqrt{1 - x^2}}$
17.	$\cos^{-1} x$	$(\cos^{-1} x)' = \frac{-1}{\sqrt{1 - x^2}}$
18.	$\tan^{-1} x$	$(\tan^{-1} x)' = \frac{1}{1 + x^2}$

	சார்பு	வகைக்கெழு
19.	$\cot^{-1}x$	$(\cot^{-1}x)' = -\dfrac{1}{1+x^2}$
20.	$\sec^{-1}x$	$(\sec^{-1}x)' = \dfrac{1}{x\sqrt{x^2-1}}$
21.	$\operatorname{cosec}^{-1}x$	$(\operatorname{cosec}^{-1}x)' = -\dfrac{1}{x\sqrt{x^2-1}}$
22.	$\dfrac{u}{v}$	$\left(\dfrac{u}{v}\right)' = \dfrac{v.u' - u.v'}{v^2}$
23.	e^x	$(e^x)' = e^x$
24.	u^v	$(u^v)' = vu^{v-1}.\,u' + u^v(\log u)v'$
25.	a^x	$(a^x)' = a^x(\log a)$
26.	$\left.\begin{array}{r} y = f(x) \\ x = \varphi(y)\ (f\text{ன் நேர்மாறு}) \end{array}\right\}$	$\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{1}{\dfrac{dx}{dy}}$.
27.	$y = f(u),\ u = \varphi(x)$	$\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{dy}{du} \cdot \dfrac{du}{dx}$.
28.	$\left.\begin{array}{r} y = f(u) \\ u = g(t) \\ t = h(x) \end{array}\right\}$	$\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{dy}{du} \times \dfrac{du}{dt} \times \dfrac{dt}{dx}$.
29.	$\left.\begin{array}{r} y = g(t) \\ x = f(t) \end{array}\right\}$	$\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{\dfrac{dy}{dt}}{\dfrac{dx}{dt}} = \dfrac{y'(t)}{x'(t)}$
30.	$f(x, y) = k$	$\dfrac{dy}{dx} = \dfrac{f_1(x,y)}{f_2(x,y)}$, $f_2(x, y) \neq 0$

குறிப்பு : மேலே உள்ள 1 முதல் 25வரையான வாய்பாடுகளில்

$(\,.\,)' = \dfrac{d(\,.\,)}{dx}$ என்பதை தெரிந்து கொள்க.

9. தொகையிடல்
(Integral Calculus)

9.1 அறிமுகம் :

நுண்கணிதமானது முக்கியமாக வடிவியலில் எழுகின்ற பின்வரும் இரண்டு பிரச்சினைகளைஆராய்கின்றது.

(i) வளைவரையின் தொடுகோட்டின் சாய்வினைக் காணுதல். இது வகைநுண் கணிதத்தில் எல்லை காணல் வாயிலாக ஆராயப்படுகின்றது.

(ii) வளைவரையின் பரப்பளவு காணுதல். இது தொகை நுண்கணிதத்தில் மற்றொரு எல்லை காணல் வாயிலாக ஆராயப்படுகின்றது.

நெடுங்காலமாக தொகை நுண்கணிதமானது இருவேறு திசைகளில் ஆராயப்பட்டு வளர்ச்சிப் பெற்று வந்தது. ஒருபுறம் இலெபினிஸ் (Leibnitz) மற்றும் அவருடைய வழி வந்தவர்கள் தொகை நுண்கணிதத்தினை, வகையிடலின் எதிர்மறை முறை கணிதமாகக் கருதினர். மறுபுறம் ஆர்கிமிடிஸ், யூடோக்ஸஸ் மற்றும் பலர் தொகை நுண்கணிதத்தினை ஒரு கொடுக்கப்பட்ட இடைவெளியில் ஒரு சார்புக்குரிய வளைவரையின்கீழ் உள்ள பரப்பளவை மதிப்பிடும் முறையாகக் கருதினர்.

17ஆம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் மேலுள்ள இருவகை கருத்துகளும் சமமானது என கண்டறிந்தனர், அதாவது வளைவரையின் பரப்பளவைக் கண்டறிய உள்ள பொதுவான முறையும், வகையிடலின் எதிர்மறை முறையும் ஒன்றேயென நிரூபிக்கப்பட்டது.

தொகையிடலை வகையிடலின் எதிர்மறை முறையாக முதல் பகுதியிலும், வளைவரையின் பரப்பளவைக் காணும் முறையாக இரண்டாம் பகுதியிலும் காண்போம்.

$(+, -)$; $(\times, \div)$, $\left((\ )^n, \sqrt[n]{\ }\right)$ போன்ற எதிர்மறை செயல்முறை ஜோடிகளைப் பற்றி நன்கு அறிந்துள்ளோம். இதேபோல் வகையிடலும், தொகையிடலும் கூட ஒன்றுக்கொன்று எதிர்மறை செயல்முறை ஜோடியாகும். இப்பகுதியில் வகையிடலின் எதிர்மறைச் செயல்முறையை வரைப்படுத்துவோம்.

வரையறை :

$f(x)$ என்பது I என்கிற இடைவெளியில் வரையறுக்கப்பட்ட ஏதேனும் ஒரு சார்பு என்க. I-ல் உள்ள ஒவ்வொரு x-க்கும் $F'(x) = f(x)$ எனில் $F(x)$ஆனது $f(x)$-ன் எதிர்மறை வகையீடு எனப்படும்.

i.e. x-ஐப் பொறுத்து $F(x)$-ன் வகையீடு $f(x)$ எனில் $F(x)$ ஆனது x-ஐப் பொறுத்து $f(x)$-ன் தொகையாகும்.

i.e. $$\int f(x)\,dx = F(x)$$

எடுத்துக்காட்டாக,

$$\frac{d}{dx}(\sin x) = \cos x \quad \text{என அறிவோம்}$$

இவ்வாறாயின், $\int \cos x\,dx = \sin x$. ஆகும்.

மேலும், $\frac{d}{dx}(x^5) = 5x^4$ என்பதிலிருந்து $\int 5x^4\,dx = x^5$

Sum என்ற வார்த்தையின் முதல் எழுத்து S ஆனது மேலும் கீழுமாக நீண்டு '$\int$' என்ற வடிவம் பெற்று தொகையீட்டு குறியாயிற்று.

சார்பு **$f(x)$**-ஐ **தொகைச் சார்பு (Integrand)** எனவும் **dx**-ல் உள்ள **x**-ஐ **தொகைமாறி (Integrator)** எனவும் கூறுவர். தொகைக் காணும் வழிமுறையினை **தொகையிடல்** என அழைக்கின்றோம்.

தொகைக் காணலின் மாறிலி (Constant of integration) :

கீழ்க்காணும் இரண்டு எடுத்துக்காட்டுகளைக் காண்க.

எ.கா. 9.1:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d}{dx}(2x+5) &= 2 \\ \frac{d}{dx}(2x) &= 2 \\ \frac{d}{dx}(2x-4) &= 2 \\ \frac{d}{dx}\left(2x-\sqrt{7}\right) &= 2 \end{aligned}\right\} \Rightarrow \int 2dx = 2x + ? = 2x + C$$

'C' ஆனது 5, 0, – 4 அல்லது $-\sqrt{7}$ போன்ற எந்த ஒரு மாறிலியாகவும் இருக்கலாம். (படம் 9.1(a)).

எ.கா. 9.2:

$$\left.\begin{aligned} \frac{d}{dx}(x^2+1) &= 2x \\ \frac{d}{dx}(x^2) &= 2x \\ \frac{d}{dx}(x^2-4) &= 2x \end{aligned}\right\} \qquad \Rightarrow \int 2x\,dx = x^2 + ? = x^2 + C$$

'C' ஆனது 1, 0, – 4... போன்ற எந்த ஒரு மாறிலியாகவும் இருக்கலாம். (படம் 9.1(b))

படம் 9.1.a

படம் 9.1.b

இவ்விதமாக $\int f(x)\,dx$ என்ற தொகை ஒரு குறிப்பிட்ட தொகையை மட்டும் குறிக்காமல் ஒரு குறிப்பிட்ட வகையிலுள்ள தொகைகளின் தொகுப்பினைக் குறிக்கிறது. F(x)-ஐ மேற்கண்ட தொகுப்பிலுள்ள ஒரு சார்பாக எடுத்துக் கொண்டால்

$\int f(x)\,dx = F(x) + C$ என எழுதலாம்.

இங்கு 'C' ஆனது தொகை காணலின் மாறிலி என அழைக்கப்படுகிறது. மேலும் 'C' என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட மாறிலியாக இல்லாமல் ஏதேனும் ஒரு மாறிலியைக் குறிப்பதால், $\int f(x)\,dx$ -ஐ **வரையறுக்குட்படாத** (indefinite integral) தொகை என்பர்.

சூத்திரங்கள் :

$$\int x^n\,dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} + c \qquad (n \neq -1)$$

$$\int \frac{1}{x^n}\,dx = -\frac{1}{(n-1)\,x^{n-1}} + c \quad (n \neq 1]$$

$$\int \frac{1}{x}\,dx = \log x + c$$

$$\int e^x\,dx = e^x + c$$

$$\int a^x\,dx = \frac{a^x}{\log a} + c$$

$$\int \sin x\,dx = -\cos x + c$$

$$\int \cos x\,dx = \sin x + c$$

$$\int \operatorname{cosec}^2 x\,dx = -\cot x + c$$

$$\int \sec^2 x\,dx = \tan x + c$$

$$\int \sec x \tan x\,dx = \sec x + c$$

$$\int \operatorname{cosec} x \cot x\,dx = -\operatorname{cosec} x + c$$

$$\int \frac{1}{1+x^2}\,dx = \tan^{-1} x + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\,dx = \sin^{-1} x + c$$

எ.கா. 9.3 – 9.7:

கீழ்க்காண்பனவற்றை x-ஐ பொறுத்து தொகை காண்க.

(3) x^6 (4) x^{-2} (5) $\frac{1}{x^{10}}$ (6) $\sqrt{x}$ (7) $\frac{1}{\sqrt{x}}$

தீர்வு :

(3) $\int x^6\,dx = \frac{x^{6+1}}{6+1} = \frac{x^7}{7} + c$

(4) $\int x^{-2}\,dx = \frac{x^{-2+1}}{-2+1} = -\frac{1}{x} + c$

(5) $\int \frac{1}{x^{10}}\,dx = \int x^{-10}\,dx$

$$= \frac{x^{-10+1}}{-10+1} + c$$

$$\int \frac{1}{x^{10}}\,dx = -\frac{1}{9x^9} + c$$

(இங்கு கீழ்க்காணும் சூத்திரத்தினை நேரடியாகவும் பயன்படுத்தலாம்)

$$\int \frac{1}{x^n}\,dx = -\frac{1}{(n-1)\,x^{n-1}} \text{ இங்கு } n \neq 1]$$

(6) $\int \sqrt{x}\,dx = \int x^{1/2}\,dx$

$$= \frac{x^{3/2}}{3/2} + c$$

$$\int \sqrt{x}\,dx = \frac{2}{3}\,x^{3/2} + c$$

(7) $\int \frac{1}{\sqrt{x}}\,dx = \int x^{-\frac{1}{2}}\,dx$

$$= \frac{x^{-1/2+1}}{-1/2+1} + c$$

$$= \frac{x^{1/2}}{+1/2} + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{x}}\,dx = 2\sqrt{x} + c$$

எ.கா. 9.8 – 9.10: தொகைக் காண்க :

(8) $\dfrac{\sin x}{\cos^2 x}$ (9) $\dfrac{\cot x}{\sin x}$ (10) $\dfrac{1}{\sin^2 x}$

தீர்வு :

(8) $$\int \frac{\sin x}{\cos^2 x}\,dx = \int \frac{\sin x}{\cos x}\cdot\frac{1}{\cos x}\,dx$$

$$= \int \tan x \sec x\,dx = \sec x + c$$

(9) $$\int \frac{\cot x}{\sin x}\,dx = \int \operatorname{cosec} x \cot x\,dx = -\operatorname{cosec} x + c$$

(10) $$\int \frac{1}{\sin^2 x}\,dx = \int \operatorname{cosec}^2 x\,dx = -\cot x + c$$

பயிற்சி 9.1

கீழ்க்காண்பனவற்றை x-ஐ பொறுத்து தொகைக் காண்க.

(1) (i) x^{16} (ii) $x^{\frac{5}{2}}$ (iii) $\sqrt{x^7}$ (iv) $\sqrt[3]{x^4}$ (v) $(x^{10})^{\frac{1}{7}}$

(2) (i) $\dfrac{1}{x^5}$ (ii) x^{-1} (iii) $\dfrac{1}{x^{\frac{5}{2}}}$ (iv) $\dfrac{1}{\sqrt[3]{x^5}}$ (v) $\left(\dfrac{1}{x^3}\right)^{\frac{1}{4}}$

(3) (i) $\dfrac{1}{\operatorname{cosec} x}$ (ii) $\dfrac{\tan x}{\cos x}$ (iii) $\dfrac{\cos x}{\sin^2 x}$ (iv) $\dfrac{1}{\cos^2 x}$ (v) $\dfrac{1}{e^{-x}}$

9.2 x-ன் ஒருபடிச் சார்புகளின் சார்பாக அமைந்த தொகைச் சார்பினைத் தொகையிடல் : i.e. $\int f(ax+b)\,dx$

வகையிடலுக்கும் தொகையிடலுக்கும் உள்ள தொடர்பின்படி

$$\frac{d}{dx}\left[\frac{(x-a)^{10}}{10}\right] = (x-a)^9 \qquad \Rightarrow \int (x-a)^9 dx = \frac{(x-a)^{10}}{10}$$

$$\frac{d}{dx}[\sin(x+k)] = \cos(x+k) \qquad \Rightarrow \int \cos(x+k)\,dx = \sin(x+k)$$

மேலுள்ள எடுத்துக்காட்டுகளிலிருந்து மாறி x-உடன் எந்த ஒரு மாறிலியைக் கூட்டினாலும் கழித்தாலும் தொகையிட்டு வாய்பாட்டில் எந்த மாற்றமும் ஏற்படுவது இல்லை என அறிகிறோம்.

ஆனால்

$$\frac{d}{dx}\left[\frac{1}{l}(e^{lx+m})\right] = e^{lx+m} \quad \Rightarrow \int e^{lx+m}\,dx = \frac{1}{l}\,e^{(lx+m)}$$

$$\frac{d}{dx}\left[\frac{1}{a}\sin(ax+b)\right] = \cos(ax+b) \Rightarrow \int \cos(ax+b)\,dx = \frac{1}{a}\sin(ax+b)$$

இந்த எடுத்துக்காட்டுகளின் மூலம் நாம் அறிவது யாதெனில் மாறி x-உடன் ஏதேனும் ஒரு மாறிலி பெருக்கி வரும் எனில், அடிப்படை தொகையீட்டு வாய்பாட்டை அக்குறிப்பிட்ட மாறிலியால் வகுத்து தேவையான சார்புக்குரிய தொகையைப் பெறலாம் என்பதாகும்.

i.e. $\int f(x)\,dx = g(x)+c$ எனில், $\int f(ax+b)\,dx = \frac{1}{a}\,g(ax+b)+c$ ஆகும்.

விரிவுபடுத்தப்பட்ட அடிப்படை வாய்பாடுகள்

$$\int (ax+b)^n dx = \frac{1}{a}\left[\frac{(ax+b)^{n+1}}{n+1}\right] + c \quad (n \neq -1)$$

$$\int \frac{1}{ax+b}\,dx = \frac{1}{a}\log(ax+b) + c$$

$$\int e^{ax+b}\,dx = \frac{1}{a}\,e^{ax+b} + c$$

$$\int \sin(ax+b)dx = -\frac{1}{a}\cos(ax+b) + c$$

$$\int \cos(ax+b)\,dx = \frac{1}{a}\sin(ax+b) + c$$

$$\int \sec^2(ax+b)dx = \frac{1}{a}\tan(ax+b) + c$$

$$\int \operatorname{cosec}^2(ax+b)\,dx = -\frac{1}{a}\cot(ax+b) + c$$

$$\int \operatorname{cosec}(ax+b)\cot(ax+b)\,dx = -\frac{1}{a}\operatorname{cosec}(ax+b) + c$$

$$\int \frac{1}{1+(ax)^2}\,dx = \frac{1}{a}\tan^{-1}(ax) + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{1-(ax)^2}}\,dx = \frac{1}{a}\sin^{-1}(ax) + c$$

மேலுள்ள வாய்பாட்டினை பிரதியிடல் மூலமும் உருவாக்கலாம் என்பதனை பின்னர் காண்போம்.

எ.கா. 9.11 – 9.17: *கீழ்க்காண்பனவற்றின் தொகைக் காண்க.*

(11) $(3-4x)^7$ (12) $\frac{1}{3+5x}$ (13) $\frac{1}{(lx+m)^n}$ (14) e^{8-4x}

(15) $\sin(lx+m)$ (16) $\sec^2(p-qx)$ (17) $\operatorname{cosec}(4x+3)\ \cot(4x+3)$

தீர்வு :

(11) $\int (3-4x)^7 dx = \left(-\frac{1}{4}\right) \frac{(3-4x)^8}{8} + c$

$\int (3-4x)^7 dx = -\frac{1}{32}(3-4x)^8 + c$

(12) $\int \frac{1}{3+5x} dx = \frac{1}{5} \log(3+5x) + c$

(13) $\int \frac{1}{(lx+m)^n} dx = \left(\frac{1}{l}\right) \left[\frac{(-1)}{(n-1)(lx+m)^{n-1}}\right] + c$

$\therefore \int \frac{1}{(lx+m)^n} dx = -\left(\frac{1}{l(n-1)}\right) \frac{1}{(lx+m)^{n-1}} + c$

(14) $\int e^{8-4x} dx = \left(\frac{1}{-4}\right) e^{8-4x} + c$

$\int e^{8-4x} dx = -\frac{1}{4} e^{8-4x} + c$

(15) $\int \sin(lx+m)\, dx = \left(\frac{1}{l}\right) [-\cos(lx+m)] + c$

$= -\frac{1}{l} \cos(lx+m) + c$

(16) $\int \sec^2(p-qx)\, dx = \left(-\frac{1}{q}\right) [\tan(p-qx)] + c$

(17) $\int \operatorname{cosec}(4x+3)\ \cot(4x+3)\, dx = -\frac{1}{4} \operatorname{cosec}(4x+3) + c$

பயிற்சி 9.2

தொகைக் காண்க.

(1) (i) x^4 (ii) $(x+3)^5$ (iii) $(3x+4)^6$ (iv) $(4-3x)^7$ (v) $(lx+m)^8$

(2) (i) $\frac{1}{x^6}$ (ii) $\frac{1}{(x+5)^4}$ (iii) $\frac{1}{(2x+3)^5}$ (iv) $\frac{1}{(4-5x)^7}$ (v) $\frac{1}{(ax+b)^8}$

(3) (i) $\frac{1}{x+2}$ (ii) $\frac{1}{3x+2}$ (iii) $\frac{1}{3-4x}$ (iv) $\frac{1}{p+qx}$ (v) $\frac{1}{(s-tx)}$

(4) (i) $\sin(x+3)$ (ii) $\sin(2x+4)$ (iii) $\sin(3-4x)$
(iv) $\cos(4x+5)$ (v) $\cos(5-2x)$

(5) (i) $\sec^2(2-x)$ (ii) $\text{cosec}^2(5+2x)$ (iii) $\sec^2(3+4x)$
(iv) $\text{cosec}^2(7-11x)$ (v) $\sec^2(p-qx)$

(6) (i) $\sec(3+x)\tan(3+x)$ (ii) $\sec(3x+4)\tan(3x+4)$
(iii) $\sec(4-x)\tan(4-x)$ (iv) $\sec(4-3x)\tan(4-3x)$
(v) $\sec(ax+b)\tan(ax+b)$

(7) (i) $\text{cosec}(2-x)\cot(2-x)$ (ii) $\text{cosec}(4x+2)\cot(4x+2)$
(iii) $\text{cosec}(3-2x)\cot(3-2x)$ (iv) $\text{cosec}(lx+m)\cot(lx+m)$
(v) $\cot(s-tx)\,\text{cosec}(s-tx)$

(8) (i) e^{3x} (ii) e^{x+3} (iii) e^{3x+2} (iv) e^{5-4x} (v) e^{ax+b}

(9) (i) $\frac{1}{\cos^2(px+a)}$ (ii) $\frac{1}{\sin^2(l-mx)}$ (iii) $(ax+b)^{-8}$ (iv) $(3-2x)^{-1}$ (v) e^{-x}

(10) (i) $\frac{\tan(3-4x)}{\cos(3-4x)}$ (ii) $\frac{1}{e^{p+qx}}$ (iii) $\frac{1}{\tan(2x+3)\sin(2x+3)}$
(iv) $(lx+m)^{\frac{1}{2}}$ (v) $\sqrt{(4-5x)}$

பண்புகள் :

(1) *k* என்பது ஏதேனும் ஒரு மாறிலி எனில் $\int kf(x)\,dx = k\int f(x)\,dx$

(2) *f*(*x*) மற்றும் *g*(*x*) என்பவை *x*-ன் சார்புகள் எனில்

$$\int [f(x)+g(x)]\,dx = \int f(x)\,dx + \int g(x)\,dx$$

எ.கா. 9.18 – 9.21: *கீழ்க்காண்பனவற்றின் தொகைக் காண்க.*

(18) $10x^3 - \frac{4}{x^5} + \frac{2}{\sqrt{3x+5}}$ (19) $k\sec^2(ax+a) - \sqrt[3]{(4x+5)^2} + 2\sin(7x-2)$

(20) $a^x + x^a + 10 - \text{cosec}\,2x\,\cot 2x$ (21) $\frac{1}{5}\cos\left(\frac{x}{5}+7\right) + \frac{3}{(lx+m)} + e^{\frac{x}{2}+3}$

தீர்வு :

(18) $$\int\left(10x^3 - \frac{4}{x^5} + \frac{2}{\sqrt{3x+5}}\right)dx = 10\int x^3\,dx - 4\int\frac{dx}{x^5} + 2\int\frac{1}{\sqrt{3x+5}}\,dx$$

$$= 10\left(\frac{x^4}{4}\right) - 4\left(-\frac{1}{4x^4}\right) + 2\,\frac{\left[2\sqrt{3x+5}\right]}{3}$$

$$= \frac{5}{2}x^4 + \frac{1}{x^4} + \frac{4}{3}\sqrt{3x+5} + c$$

(19) $\int [k\sec^2(ax+b) - \sqrt[3]{(4x+5)^2} + 2\sin(7x-2)]\,dx$

$$= k\int \sec^2(ax+b)\,dx - \int (4x+5)^{\frac{2}{3}}\,dx + 2\int \sin(7x-2)\,dx$$

$$= k\,\frac{\tan(ax+b)}{a} - \frac{1}{4}\,\frac{(4x+5)^{\frac{2}{3}+1}}{\left(\frac{2}{3}+1\right)} + (2)\left(\frac{1}{7}\right)(-\cos(7x-2)) + c$$

$$= \frac{k}{a}\tan(ax+b) - \frac{3}{20}(4x+5)^{\frac{5}{3}} - \frac{2}{7}\cos(7x-2) + c$$

(20) $\int \left(a^x + x^a + 10 - \operatorname{cosec} 2x \cot 2x\right)dx$

$$= \int a^x dx + \int x^a dx + 10\int dx - \int \operatorname{cosec} 2x \cot 2x\,dx$$

$$= \frac{a^x}{\log a} + \frac{x^{a+1}}{a+1} + 10x + \frac{\operatorname{cosec} 2x}{2} + c$$

(21) $\int \left(\frac{1}{5}\cos\left(\frac{x}{5}+7\right) + \frac{3}{lx+m} + e^{\frac{x}{2}+3}\right)dx$

$$= \frac{1}{5}\int \cos\left(\frac{x}{5}+7\right)dx + 3\int \frac{1}{lx+m}dx + \int e^{\frac{x}{2}+3}dx$$

$$= \frac{1}{5}\cdot\frac{1}{(1/5)}\sin\left(\frac{x}{5}+7\right) + 3\left(\frac{1}{l}\right)\log(lx+m) + \frac{1}{(1/2)}e^{\frac{x}{2}+3} + c$$

$$= \sin\left(\frac{x}{5}+7\right) + \frac{3}{l}\log(lx+m) + 2e^{\frac{x}{2}+3} + c$$

பயிற்சி 9.3

x-ஐ பொறுத்து கீழ்க்காண்பனவற்றின் தொகைக் காண்க.

(1) $5x^4 + 3(2x+3)^4 - 6(4-3x)^5$ (2) $\frac{3}{x} + \frac{m}{4x+1} - 2(5-2x)^5$

(3) $4 - \frac{5}{x+2} + 3\cos 2x$ (4) $3e^{7x} - 4\sec(4x+3)\tan(4x+3) + \frac{11}{x^5}$

(5) $p\,\text{cosec}^2(px-q) - 6(1-x)^4 + 4e^{3-4x}$

(6) $\frac{4}{(3+4x)} + (10x+3)^9 - 3\text{cosec}(2x+3)\cot(2x+3)$

(7) $6\sin 5x - \frac{l}{(px+q)^m}$ (8) $a\sec^2(bx+c) + \frac{q}{e^{l-mx}}$

(9) $\frac{1}{\left(3+\frac{2}{3}x\right)} - \frac{2}{3}\cos\left(x-\frac{2}{3}\right) + 3\left(\frac{x}{3}+4\right)^6$

(10) $7\sin\frac{x}{7} - 8\sec^2\left(4-\frac{x}{4}\right) + 10\left(\frac{2x}{5}-4\right)^{\frac{3}{2}}$ (11) $2x^e + 3e^x + e^e$

(12) $(ae)^x - a^{-x} + b^x$

9.3 தொகையீடு காணும் முறைகள் :

தொகையிடல் காண்பது என்பது வகையிடலைப் போன்று அவ்வளவு எளிதல்ல. ஒரு சார்பினை வகையிட வேண்டுமெனில் அதற்கென்று விதிமுறைகள் வகையிடலில் திட்டவட்டமாகவும் மிகத்தெளிவாகவும் உள்ளன.

$\underset{\Delta x \to 0}{\text{L}t} \frac{f(x+\Delta x) - f(x)}{\Delta x}$ என்ற வரையறுக்கப்பட்ட முறையினை பயன்படுத்தி $f(x)$-ஐ வகையிடலாம். எடுத்துக்காட்டாக $\log x$ஐ வகையிட வேண்டுமெனில் மேலுள்ள முறையினை பயன்படுத்தி வகையிட இயலும். ஆனால் $\log x$-ஐ தொகையிட இப்படிப்பட்ட விதிமுறைகள் கிடையாது. எப்படி தொகையிடத் தொடங்குவது என்பதுகூட வரையறுக்கப்படவில்லை.

மேலும் சார்புகளின் கூட்டல், கழித்தல், பெருக்கல், வகுத்தல் மற்றும் சார்பினது சார்பு போன்ற சார்புகளின் அமைப்புகளை வகையிட தனித்தனி வகையிடல் முறைகள் விளக்கமாக உள்ளன. தொகையீட்டில் இப்படிப்பட்ட விதிமுறைகள் தெளிவாக இல்லை. தொகையிடலில் ஒருசில விதிமுறைகள் இருந்தபோதிலும் அவற்றினை பயன்படுத்த பல கட்டுப்பாடுகள் உள்ளன.

தொகையிடலில் உள்ள இச்சில விதிமுறைகள் மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவையாகும். இவ்விதிமுறைகளை தக்க இடங்களில் சிறப்பாக கையாள அதிக பயிற்சி தேவை. தொகைக் காணலுக்குரிய மிக முக்கிய நான்கு முறைகள் கீழ்வருமாறு :

(1) கூட்டல் அல்லது கழித்தலாக பிரித்தெழுதி தொகையிடல்

(2) பிரதியிடல் முறை

(3) பகுதித் தொகையிடல் முறை

(4) அடுக்குகளை படிப்படியாகச் சுருக்கி தொகை காணும் முறை

மேலுள்ள முதல் மூன்று முறையினை மட்டும் இங்கு கற்போம்.

9.3.1 கூட்டல் அல்லது கழித்தல் சார்புகளாக பிரித்தெழுதி தொகைக் காணல் :

கொடுக்கப்படும் தொகைச் சார்பை சில நேரங்களில் தொகையிடல் வாய்ப்பாட்டினை நேரடியாகப் பயன்படுத்தி தொகை காண இயலாது. ஆனால் இதனை கூட்டல் அல்லது கழித்தல் சார்புகளாக பிரித்தெழுதி தொகையிடலுக்கு ஏதுவாக மாற்றியமைத்து தொகை காணலாம். எடுத்துக்காட்டாக

$(1 + x^2)^3$, $\sin 5x \cos 2x$, $\dfrac{x^2 - 5x + 1}{x}$, $\sin^5 x$, $\dfrac{e^x + 1}{e^x}$, $(\tan x + \cot x)^2$ போன்ற சார்புகளை நேரடியாக வாய்ப்பாட்டின் மூலம் தொகையிட இயலாது. இதனை மேற்கூறியவாறு பிரித்தெழுதி தொகை காணலாம்.

எ.கா. 9.22 - தொகை காண்க

(22) $$\int (1 + x^2)^3 dx = \int \left(1 + 3x^2 + 3x^4 + x^6\right) dx$$

$$= x + \frac{3x^3}{3} + \frac{3x^5}{5} + \frac{x^7}{7} + c$$

$$= x + x^3 + \frac{3}{5} x^5 + \frac{x^7}{7} + c$$

(23) $$\int \sin 5x \cos 2x \, dx = \int \frac{1}{2} \left[\sin (5x + 2x) + \sin (5x - 2x)\right] dx$$

$[\because 2\sin A \cos B = \sin (A+B) + \sin(A - B)]$

$$= \frac{1}{2} \int [\sin 7x + \sin 3x] \, dx$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{-\cos 7x}{7} - \frac{\cos 3x}{3}\right] + c$$

$$\therefore \quad \int \sin 5x \cos 2x \, dx = -\frac{1}{2} \left[\frac{\cos 7x}{7} + \frac{\cos 3x}{3}\right] + c$$

(24) $\int \frac{x^2 - 5x + 1}{x}\, dx = \int \left(\frac{x^2}{x} - \frac{5x}{x} + \frac{1}{x}\right) dx = \int \left(x - 5 + \frac{1}{x}\right) dx$

$= \int x dx - 5 \int dx + \int \frac{1}{x}\, dx$

$= \frac{x^2}{2} - 5x + \log x + c$

(25) $\int \cos^3 x\, dx = \int \frac{1}{4} [3\cos x + \cos 3x]\, dx$

$= \frac{1}{4} \left[3 \int \cos x\, dx + \int \cos 3x\, dx\right]$

$= \frac{1}{4} \left[3 \sin x + \frac{\sin 3x}{3}\right] + c$

(26) $\int \frac{e^x + 1}{e^x}\, dx = \int \left(\frac{e^x}{e^x} + \frac{1}{e^x}\right) dx = \int 1 dx + \int e^{-x}\, dx$

$= x - e^{-x} + c$

(27) $\int (\tan x + \cot x)^2 dx = \int \left(\tan^2 x + 2\tan x \cot x + \cot^2 x\right) dx$

$= \int [\left(\sec^2 x - 1\right) + 2 + (\operatorname{cosec}^2 x - 1)]\, dx$

$= \int \left(\sec^2 x + \operatorname{cosec}^2 x\right) dx$

$= \tan x + (-\cot x) + c$

$= \tan x - \cot x + c$

(28) $\int \frac{1}{1 + \cos x}\, dx = \int \frac{(1 - \cos x)}{(1 + \cos x)(1 - \cos x)}\, dx$

$= \int \frac{1 - \cos x}{1 - \cos^2 x}\, dx = \int \frac{1 - \cos x}{\sin^2 x}\, dx$

$= \int \left[\frac{1}{\sin^2 x} - \frac{\cos x}{\sin^2 x}\right] dx = \int \left[\operatorname{cosec}^2 x - \operatorname{cosec} x \cot x\right] dx$

$$= \int \operatorname{cosec}^2 x\, dx - \int \operatorname{cosec} x \cot x\, dx$$

$$= -\cot x - (-\operatorname{cosec} x) + c$$

$$= \operatorname{cosec} x - \cot x + c$$

குறிப்பு : *மாற்று முறை*

$$\left(\int \frac{1}{1+\cos x}\, dx = \int \frac{1}{2\cos^2 \frac{x}{2}}\, dx = \frac{1}{2} \int \sec^2 \frac{x}{2}\, dx = \frac{1}{2} \frac{\tan \frac{x}{2}}{\frac{1}{2}} + c = \tan \frac{x}{2} + c \right)$$

(29) $$\int \frac{1-\cos x}{1+\cos x}\, dx = \int \frac{2\sin^2 \frac{x}{2}}{2\cos^2 \frac{x}{2}}\, dx = \int \tan^2 \frac{x}{2}\, dx$$

$$= \int \left(\sec^2 \frac{x}{2} - 1 \right) dx = \frac{\tan \frac{x}{2}}{\frac{1}{2}} - x + c$$

$$= 2 \tan \frac{x}{2} - x + c \quad \ldots \text{(i)}$$

மாற்று முறை :

$$\int \frac{1-\cos x}{1+\cos x}\, dx = \int \frac{(1-\cos x)}{(1+\cos x)} \frac{(1-\cos x)}{(1-\cos x)}\, dx$$

$$= \int \frac{(1-\cos x)^2}{1-\cos^2 x}\, dx = \int \frac{1 - 2\cos x + \cos^2 x}{\sin^2 x}\, dx$$

$$= \int \left[\frac{1}{\sin^2 x} - \frac{2\cos x}{\sin^2 x} + \frac{\cos^2 x}{\sin^2 x} \right] dx$$

$$= \int \left(\operatorname{cosec}^2 x - 2\operatorname{cosec} x \cot x + \cot^2 x \right) dx$$

$$= \int \left[\operatorname{cosec}^2 x - 2\operatorname{cosec} x \cot x + (\operatorname{cosec}^2 x - 1) \right] dx$$

$$= \int \left[2\operatorname{cosec}^2 x - 2\operatorname{cosec} x \cot x - 1 \right] dx$$

$$= 2\int \text{cosec}^2 x\, dx - 2 \int \text{cosec}\, x \cot x\, dx - \int dx$$

$$= -2 \cot x - 2(-\text{cosec}\, x) - x + c$$

$$\int \frac{1-\cos x}{1+\cos x}\, dx = 2\,\text{cosec}\, x - 2\cot x - x + c \qquad \ldots \text{(ii)}$$

குறிப்பு : (i), (ii)-ல் இருந்து $2\tan\frac{x}{2} - x + c$-ம் $2\,\text{cosec}\, x - 2\cot x - x + c$-ம் திரிகோணமிதி விகிதப்படி சமம் எனக் காணலாம்.

(30) $$\int \sqrt{1+\sin 2x}\, dx = \int \sqrt{(\cos^2 x + \sin^2 x) + (2\sin x \cos x)}\, dx$$

$$= \int \sqrt{(\cos x + \sin x)^2}\, dx = \int (\cos x + \sin x)\, dx$$

$$= [\sin x - \cos x] + c$$

(31) $$\int \frac{x^3+2}{x-1}\, dx = \int \frac{x^3-1+3}{x-1}\, dx = \int \left(\frac{x^3-1}{x-1} + \frac{3}{x-1}\right) dx$$

$$= \int \left[\frac{(x-1)(x^2+x+1)}{x-1} + \frac{3}{x-1}\right] dx$$

$$= \int \left(x^2 + x + 1 + \frac{3}{x-1}\right) dx$$

$$= \frac{x^3}{3} + \frac{x^2}{2} + x + 3\log(x-1) + c$$

(32) $$\int \frac{\cos 2x}{\sin^2 x \cos^2 x}\, dx = \int \frac{\cos^2 x - \sin^2 x}{\sin^2 x \cos^2 x}\, dx$$

$$= \int \left(\frac{\cos^2 x}{\sin^2 x \cos^2 x} - \frac{\sin^2 x}{\sin^2 x \cos^2 x}\right) dx$$

$$= \int \left(\frac{1}{\sin^2 x} - \frac{1}{\cos^2 x}\right) dx$$

$$= \int (\text{cosec}^2 x - \sec^2 x)\, dx$$

$$= -\cot x - \tan x + c$$

(33) $\displaystyle\int \frac{3^x - 2^{x+1}}{6^x}\,dx = \int\left(\frac{3^x}{6^x} - \frac{2^{x+1}}{6^x}\right)dx = \int\left[\left(\frac{3}{6}\right)^x - 2.\left(\frac{2}{6}\right)^x\right]dx$

$$= \int\left[\left(\frac{1}{2}\right)^x - 2\left(\frac{1}{3}\right)^x\right]dx = \int (2^{-x} - 2.3^{-x})\,dx$$

$$= \frac{-2^{-x}}{\log 2} - 2\,.\,\frac{(-3^{-x})}{\log 3} + c$$

$$= \frac{2}{\log 3}\,3^{-x} - \frac{1}{\log 2}\,2^{-x} + c$$

(34) $\displaystyle\int e^{x\log 2}\,.\,e^x\,dx = \int e^{\log 2^x}\,e^x\,dx = \int 2^x e^x\,dx$

$$= \int (2e)^x\,dx = \frac{(2e)^x}{\log 2e} + c$$

(35) $\displaystyle\int \frac{dx}{\sqrt{x+3} - \sqrt{x-4}} = \int \frac{\sqrt{x+3} + \sqrt{x-4}}{\left\{\sqrt{x+3} - \sqrt{x-4}\right\}\left\{\sqrt{x+3} + \sqrt{x-4}\right\}}\,dx$

$$= \int \frac{\sqrt{x+3} + \sqrt{x-4}}{(x+3) - (x-4)}\,dx = \int \frac{\sqrt{x+3} + \sqrt{x-4}}{7}\,dx$$

$$= \frac{1}{7}\int\left[(x+3)^{1/2} + (x-4)^{1/2}\right]dx$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x+3} - \sqrt{x-4}} = \frac{1}{7}\left[\frac{2}{3}(x+3)^{3/2} + \frac{2}{3}(x-4)^{3/2}\right] + c$$

(36) $\displaystyle\int (x-1)\sqrt{x+1}\,dx = \int\{(x+1) - 2\}\left(\sqrt{x+1}\right)\,dx$

$$= \int\left[(x+1)^{3/2} - 2(x+1)^{1/2}\right]dx$$

$$= \frac{2}{5}(x+1)^{5/2} - 2.\frac{2}{3}(x+1)^{3/2} + c$$

$$\int (x-1)\sqrt{x+1}\,dx = \frac{2}{5}(x+1)^{5/2} - \frac{4}{3}(x+1)^{3/2} + c$$

(37) $\displaystyle\int (3x+4)\sqrt{3x+7}\,dx = \int\{(3x+7) - 3\}\sqrt{3x+7}\,dx$

$$= \int\left((3x+7)\sqrt{3x+7} - 3\sqrt{3x+7}\right)\,dx$$

$$= \int ((3x+7)^{3/2} - 3\,(3x+7)^{1/2})\,dx$$

$$= \frac{1}{3}\,\frac{(3x+7)^{5/2}}{5/2} - 3\,.\,\frac{1}{3}\,\frac{(3x+7)^{3/2}}{3/2} + c$$

$$= \frac{2}{15}\,(3x+7)^{5/2} - \frac{2}{3}\,(3x+7)^{3/2} + c$$

(37a) $\displaystyle\int \frac{9}{(x-1)\,(x+2)^2}\,dx = \int \left[\frac{A}{x-1} + \frac{B}{x+2} + \frac{C}{(x+2)^2}\right] dx$ பகுதிப் பின்னங்களாக பிரித்து எழுதுதல்

$$= \int \left[\frac{1}{x-1} - \frac{1}{x+2} - \frac{3}{(x+2)^2}\right] dx$$

$$= \log(x-1) - \log(x+2) + \frac{3}{(x+2)} + c$$

பயிற்சி 9.4

தொகைக் காண்க

(1) $(2x-5)\,(36+4x)$ (2) $(1+x^3)^2$ (3) $\dfrac{x^3+4x^2-3x+2}{x^2}$

(4) $\dfrac{x^4-x^2+2}{x+1}$ (5) $\dfrac{(1+x)^2}{\sqrt{x}}$ (6) $\dfrac{e^{2x}+e^{-2x}+2}{e^x}$

(7) $\sin^2 3x + 4\cos 4x$ (8) $\cos^3 2x - \sin 6x$ (9) $\dfrac{1}{1+\sin x}$

(10) $\dfrac{1}{1-\cos x}$ (11) $\sqrt{1-\sin 2x}$ (12) $\sqrt{1+\cos 2x}$

(13) $\dfrac{1}{\sin^2 x\cos^2 x}$ (14) $\dfrac{\sin^2 x}{1+\cos x}$ (15) $\sin 7x\cos 5x$

(16) $\cos 3x\cos x$ (17) $\cos 2x\sin 4x$ (18) $\sin 10x\sin 2x$

(19) $\dfrac{1+\cos 2x}{\sin^2 2x}$ (20) $(e^x-1)^2 e^{-4x}$ (21) $\dfrac{1-\sin x}{1+\sin x}$

(22) $\dfrac{2^{x+1}-3^{x-1}}{6^x}$ (23) $e^{x\log a}e^x$ (24) $\dfrac{a^{x+1}-b^{x-1}}{c^x}$

(25) $\left(\sqrt{x}+\dfrac{1}{\sqrt{x}}\right)^2$ (26) $\sin mx\cos nx\ (m>n)$ (27) $\cos px\cos qx\ (p>q)$

(28) $\cos^2 5x \sin 10x$ (29) $\dfrac{1}{\sqrt{x+1}-\sqrt{x-2}}$ (30) $\dfrac{1}{\sqrt{ax+b}-\sqrt{ax+c}}$

(31) $(x+1)\sqrt{x+3})$ (32) $(x-4)\sqrt{x+7}$ (33) $(2x+1)\sqrt{2x+3}$

(34) $\dfrac{x+1}{(x+2)(x+3)}$ (35) $\dfrac{x^2+1}{(x-2)(x+2)(x^2+9)}$

9.3.2 பிரதியிடல் அல்லது பதிலிடல் முறையில் தொகைக் காணல் :

சில சமயங்களில் கொடுக்கப்பட்டுள்ள தொகைச் சார்பு $f(x)$, தொகை காண்பதற்கேற்ப அமையாமல் இருக்கலாம். அதே நேரத்தில் தொகைச் சார்பு $f(x)$-ஐ தக்க பிரதியிடல் மூலம் தொகையிடுவதற்கேற்ப மாற்றியமைத்து தொகைக் காண இயலும்.

$$F(u) = \int f(u)\,du, \text{ என எடுத்துக்கொண்டால்}$$

பிறகு $\dfrac{dF(u)}{du} = f(u)$ ஆகும்

$u = \phi(x)$ என்க. பின் $\dfrac{du}{dx} = \phi'(x)$

மேலும்

$$\frac{dF(u)}{dx} = \frac{dF(u)}{du}\cdot\frac{du}{dx}$$

$$= f(u)\,\phi'(x)$$

i.e. $$\frac{dF(u)}{dx} = f[\phi(x)]\,\phi'(x)$$

$$\Rightarrow \quad F(u) = \int f[\phi(x)]\,\phi'(x)\,dx$$

$$\therefore \quad \int f(u)du = \int f[\phi(x)]\,\phi'(x)\,dx$$

$$\boxed{\int f[\phi(x)]\phi'(x)\,dx = \int f(u)\,du}$$

மேற்கண்ட முறையை சிறப்பாக கையாள வேண்டுமெனில் தகுந்த பிரதியிடலைத் தேர்ந்தெடுப்பதில்தான் உள்ளது. பிரதியிடல் சில நேரங்களில் $x = \phi(u)$ எனவும் அல்லது $u = g(x)$ எனவும் தேர்வு செய்தல் வேண்டியிருக்கும்.

எ.கா. 9.38 – 9.41: *தொகைக் காண்க.*

(38) $\int 5x^4 e^{x^5}\,dx$ (39) $\int \dfrac{\cos x}{1+\sin x}\,dx$ (40) $\int \dfrac{1}{\sqrt{1-x^2}}\,dx$ (41) $\int \dfrac{1}{1+x^2}\,dx$

(38), (39) ஆகிய முதல் இரு கணக்குகளை $u = \phi(x)$ எனவும் (40), (41) ஆகிய இரு கணக்குகளை $x = \phi(u)$ எனவும் பிரதியிட்டுத் தொகைக் காண்போம்..

(38) $\quad I = \int 5x^4 e^{x^5} dx$ என்க.

$x^5 = u$ எனப் பிரதியிட, … (i)

$\therefore \quad 5x^4\, dx = du$ … (ii)

தொகைமாறி x-ஆனது u-ஆக பிரதியிடப்பட்டு மாற்றப்பட்டதனால் தொகைச் சார்பு முழுவதும் u மூலமாக மாற்றியமைத்தல் வேண்டும்.

$\therefore \quad I = \int \left(e^{x^5}\right)\left(5x^4\, dx\right)$ என்பதனை

$= \int e^u\, du$ என நாம் பெறுகிறோம்.

((i), (ii)-ஐ பயன்படுத்தி)

$= e^u + c$

$= e^{x^5} + c$ (கொடுத்துள்ளபடியே x-ல் எழுத $u = x^5$ எனப் பிரதியிடவும்)

(39) $\quad I = \int \frac{\cos x}{1 + \sin x}\, dx$ என்க

$(1 + \sin x) = u$ எனப் பிரதியிட, … (i)

$\cos x\, dx = du$ … (ii)

$\therefore I = \int \frac{1}{(1 + \sin x)} (\cos x\, dx)$

$= \int \frac{1}{u}\, du$ ((i), (ii)-ஐ பயன்படுத்தி)

$= \log u + c$

$\int \frac{\cos x}{1 + \sin x}\, dx = \log(1 + \sin x) + c$

(40) $\quad I = \int \frac{1}{\sqrt{1 - x^2}}\, dx$ என்க.

$x = \sin u$ எனப் பிரதியிட ….(i) $\Rightarrow u = \sin^{-1} x$

$dx = \cos u\, du$ … (ii)

$$\therefore \quad I = \int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\, dx$$

$$= \int \frac{1}{\sqrt{1-\sin^2 u}} (\cos u\, du) \quad \text{((i), (ii)-ஐ பயன்படுத்தி)}$$

$$= \int \frac{1}{\sqrt{\cos^2 u}} (\cos u\, du)$$

$$= \int du = u + c$$

$$\therefore \quad \int \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\, dx = \sin^{-1} x + c \qquad (\because u = \sin^{-1} x)$$

(41) $I = \int \frac{1}{1+x^2}\, dx$ என்க.

$x = \tan u$ எனப் பிரதியிட, $\Rightarrow u = \tan^{-1} x$

$dx = \sec^2 u\, du$

$$\therefore \quad I = \int \frac{1}{1+\tan^2 u} \sec^2 u\, du$$

$$= \int \frac{1}{\sec^2 u} \sec^2 u\, du = \int du$$

$$I = u + c$$

$$\therefore \quad \int \frac{1}{1+x^2}\, dx = \tan^{-1} x + c$$

சில தேர்ந்தமைந்தத் தொகைகள்

(i) $\int \frac{f'(x)}{f(x)}\, dx = \log [f(x)] + c$

(ii) $\int \frac{f'(x)}{\sqrt{f(x)}}\, dx = 2\sqrt{f(x)} + c$

(iii) $\int f'(x)\, [f(x)]^n\, dx = \frac{[f(x)]^{n+1}}{n+1} + c$ **இங்கு** $n \neq -1$

நிரூபணம் :

(i) $\quad I = \int \frac{f'(x)}{f(x)}\, dx$ என்க.

$f(x) = u$ எனப் பிரதியிட,

$\therefore \quad f'(x)dx = du$

$\therefore \quad I = \int \frac{1}{u}\, du = \log u + c = \log [f(x)] + c$

i.e. $\quad \int \frac{f'(x)}{f(x)}\, dx = \log [f(x)] + c$

(ii) $\quad I = \int \frac{f'(x)}{\sqrt{f(x)}}\, dx$ என்க.

$= \int \frac{1}{\sqrt{u}}\, du$ இங்கு $u = f(x)$ எனில் $du = f'(x)\, dx$

$= 2\sqrt{u} + c = 2\sqrt{f(x)} + c$

$\therefore \quad \int \frac{f'(x)}{\sqrt{f(x)}}\, dx = 2\sqrt{f(x)} + c$

(iii) $\quad I = \int f'(x)\, [f(x)]^n\, dx$ என்க. இங்கு $n \neq -1$

$f(x) = u$ எனப் பிரதியிட,

$\therefore \quad f'(x)\, dx = du$

$\therefore \quad I = \int \{f(x)\}^n \left(f'(x)\, dx \right)$

$= \int u^n\, du = \frac{u^{n+1}}{n+1} + c \qquad (\because n \neq -1)$

$\therefore \quad \int f'(x)\, [f(x)]^n\, dx = \frac{[f(x)]^{n+1}}{n+1} + c$

எ.கா. s 9.42 – 9.47: தொகைக் காண்க.

(42) $\frac{2x+1}{x^2+x+5}$ (43) $\frac{e^x}{5+e^x}$ (44) $\frac{6x+5}{\sqrt{3x^2+5x+6}}$ (45) $\frac{\cos x}{\sqrt{\sin x}}$

(46) $(4x - 1)(2x^2 - x + 5)^4$ (47) $(3x^2 + 6x + 7)(x^3 + 3x^2 + 7x - 4)^{11}$

தீர்வு :

(42) $$I = \int \frac{2x+1}{x^2+x+5}\,dx = \int \frac{1}{(x^2+x+5)}\{(2x+1)\,dx\}$$ என்க.

$x^2 + x + 5 = u$ எனப் பிரதியிட

$(2x + 1)\,dx = du$

$$\therefore \quad I = \int \frac{1}{u}\,du = \log u + c = \log(x^2 + x + 5) + c$$

$$\therefore \int \frac{2x+1}{x^2+x+5}\,dx = \log(x^2 + x + 5) + c$$

(43) $$I = \int \frac{e^x}{5+e^x}\,dx$$ என்க.

$5 + e^x = u$ எனப் பிரதியிட,

$e^x\,dx = du$

$$\therefore \quad I = \int \frac{1}{5+e^x}(e^x\,dx)$$

$$\therefore \quad = \int \frac{1}{u}\,du$$

$$I = \log u + c = \log(5 + e^x) + c$$

$$\text{i.e.} \int \frac{e^x}{5+e^x}\,dx = \log(5 + e^x) + c$$

(44) $$I = \int \frac{6x+5}{\sqrt{3x^2+5x+6}}\,dx$$ என்க.

$3x^2 + 5x + 6 = t$ எனப் பிரதியிட,

$(6x + 5)\,dx = dt$

$$\therefore \quad I = \int \frac{1}{\sqrt{t}}\,dt = 2\sqrt{t} + c = 2\sqrt{3x^2+5x+6} + c$$

$$\therefore \int \frac{6x+5}{\sqrt{3x^2+5x+6}}\,dx = 2\sqrt{3x^2+5x+6} + c$$

(45) $$I = \int \frac{\cos x}{\sqrt{\sin x}}\, dx$$ என்க.

$$\sin x = t$$ எனப் பிரதியிட,

$$\cos x\, dx = dt$$

$$\therefore \quad I = \int \frac{1}{\sqrt{t}}\, dt$$

i.e. $$I = 2\sqrt{t} + c = 2\sqrt{\sin x} + c$$

i.e. $$\int \frac{\cos x}{\sqrt{\sin x}}\, dx = 2\sqrt{\sin x} + c$$

(46) $$I = \int (4x-1)(2x^2 - x + 5)^4\, dx$$ என்க.

$$2x^2 - x + 5 = u$$ எனப் பிரதியிட,

$$(4x-1)\, dx = du$$

$$\therefore \quad I = \int (2x^2 - x + 5)^4 \left((4x-1)\, dx\right)$$

$$= \int u^4 du = \frac{u^5}{5} + c = \frac{(2x^2 - x + 5)^5}{5} + c$$

i.e. $$\int (4x-1)(2x^2 - x + 5)^4\, dx = \frac{(2x^2 - x + 5)^5}{5} + c$$

(47) $$I = \int (3x^2 + 6x + 7)(x^3 + 3x^2 + 7x - 4)^{11}\, dx$$ என்க.

$$x^3 + 3x^2 + 7x - 4 = u$$ எனப் பிரதியிட,

$$\therefore \quad (3x^2 + 6x + 7)\, dx = du$$

$$\therefore \quad I = \int (x^3 + 3x^2 + 7x - 4)^{11} \left\{(3x^2 + 6x + 7) dx\right\}$$

$$= \int u^{11} du$$

$$I = \frac{u^{12}}{12} + c = \frac{(x^3 + 3x^2 + 7x - 4)^{12}}{12} + c$$

$$\therefore \int (x^3 + 3x^2 + 7x - 4)^{11} (3x^2 + 6x + 7)\, dx = \frac{(x^3 + 3x^2 + 7x - 4)^{12}}{12} + c$$

எ.கா. 9.48 – 9.67: *தொகைக் காண்க.*

(48) $x^{16}(1+x^{17})^4$ (49) $\dfrac{x^{24}}{(1+x^{25})^{10}}$ (50) $\dfrac{x^{15}}{1+x^{32}}$ (51) $x(a-x)^{17}$

(52) $\cot x$ (53) $\operatorname{cosec} x$ (54) $\dfrac{\log \tan x}{\sin 2x}$ (55) $\sin^{15}x \cos x$

(56) $\sin^7 x$ (57) $\tan x\sqrt{\sec x}$ (58) $\dfrac{e^{\tan x}}{\cos^2 x}$ (59) $\dfrac{e^{\sqrt{x}}}{\sqrt{x}}$

(60) $\dfrac{e^{\sin^{-1}x}}{\sqrt{1-x^2}}$ (61) $e^{2\log x}\, e^{x^3}$ (62) $\dfrac{\log x}{x}$ (63) $\dfrac{1}{x\log x}$

(64) $\dfrac{1}{x+\sqrt{x}}$ (65) $\dfrac{e^{x/2}-e^{-x/2}}{e^x-e^{-x}}$ (66) $\dfrac{x^{e-1}+e^{x-1}}{x^e+e^x}$

(67) $\alpha\beta\, x^{\alpha-1}\, e^{-\beta x^{\alpha}}$ (68) $(2x-3)\sqrt{4x+1})$

தீர்வு :

(48) $\int x^{16}(1+x^{17})^4\, dx$

$$\begin{aligned}
I &= \int x^{16}(1+x^{17})^4\,(dx) \quad \text{என்க.}\\
1+x^{17} &= u \quad \text{எனப் பிரதியிட,} \qquad \ldots \text{(i)}\\
17x^{16}dx &= du\\
dx &= \frac{1}{17x^{16}}\,du \qquad \ldots \text{(ii)}\\
\therefore\ I &= \int x^{16}(u)^4\left(\frac{1}{17x^{16}}\,dx\right) \quad \text{((i), (ii)-ஐ பயன்படுத்தி)}\\
&= \frac{1}{17}\int u^4 du = \frac{1}{17}\left(\frac{u^5}{5}\right)+c
\end{aligned}$$

$$\int x^{16}(1+x^{17})^4\, dx = \frac{1}{85}(1+x^{17})^5 + c$$

(49) $\displaystyle\int \frac{x^{24}}{(1+x^{25})^{10}}\, dx$

$$I = \int \frac{x^{24}}{(1+x^{25})^{10}}\, dx \quad \text{என்க.}$$

$$1 + x^{25} = u \quad \text{எனப் பிரதியிட,} \qquad \ldots \text{(i)}$$

$$25x^4\, dx = du$$

$$dx = \frac{1}{25x^{24}}\, du \qquad \ldots \text{(ii)}$$

$$\therefore \quad I = \int \frac{x^{24}}{u^{10}}\left(\frac{1}{25x^{24}}\, du\right) \qquad \text{((i), (ii)-ஐ பயன்படுத்தி)}$$

$$= \frac{1}{25}\int \frac{1}{u^{10}}\, du = \frac{1}{25}\left[-\frac{1}{9u^9}\right] + c$$

$$\therefore \quad \int \frac{x^{24}}{(1+x^{25})^{10}}\, dx = -\frac{1}{225\,(1+x^{25})^9} + c$$

(50) $\displaystyle\int \frac{x^{15}}{1+x^{32}}\, dx$

$$I = \int \frac{x^{15}}{1+x^{32}}\, dx \quad \text{என்க.}$$

$$x^{16} = u \quad \text{எனப் பிரதியிட,} \qquad \ldots \text{(i)}$$

$$16x^{15}dx = du$$

$$dx = \frac{1}{16x^{15}}\, du \qquad \ldots \text{(ii)}$$

$$\therefore \quad = \int \frac{x^{15}}{1+u^2}\left(\frac{1}{16x^{15}}\, du\right) \quad \text{((i),(ii)-ஐ பயன்படுத்தி)}$$

$$= \frac{1}{16}\int \frac{1}{1+u^2}\, du$$

$$I = \frac{1}{16}\tan^{-1} u + c$$

$$\int \frac{x^{15}}{1+x^{32}}\, dx = \frac{1}{16}\tan^{-1}(x^{16}) + c$$

(51) $\int x(a-x)^{17}\,dx$

$$I = \int x(a-x)^{17}\,dx \quad \text{என்க.}$$

$$(a-x) = u \text{ எனப் பிரதியிட } \Rightarrow x = a-u$$

$$dx = -du$$

$$\therefore \quad I = \int (a-u)u^{17}\,(-du)$$

$$= \int (u^{18} - au^{17})\,du$$

$$I = \frac{u^{19}}{19} - a\frac{u^{18}}{18} + c$$

$$\therefore \quad \int x(a-x)^{17}\,dx = \frac{(a-x)^{19}}{19} - \frac{a(a-x)^{18}}{18} + c$$

(52) $\int \cot x\,dx$

$$I = \int \cot x\,dx \quad \text{என்க.}$$

$$\sin x = u \text{ எனப் பிரதியிட,}$$

$$\cos x\,dx = du$$

$$\therefore \quad I = \int \frac{\cos x}{\sin x}\,dx = \int \frac{1}{u}\,du = \log u + c$$

$$\therefore \quad \boldsymbol{\int \cot x\,dx = \log \sin x + c}$$

(53) $\int \operatorname{cosec} x\,dx$

$$\text{Let } I = \int \operatorname{cosec} x\,dx = \int \frac{\operatorname{cosec} x\,[\operatorname{cosec} x - \cot x]}{[\operatorname{cosec} x - \cot x]}\,dx$$

$$\operatorname{cosec} x - \cot x = u \text{ எனப் பிரதியிட,} \qquad \ldots \text{(i)}$$

$$(-\operatorname{cosec} x \cot x + \operatorname{cosec}^2 x)dx = du$$

$$\operatorname{cosec} x\,(\operatorname{cosec} x - \cot x)\,dx = du \qquad \ldots\text{(ii)}$$

$$\therefore \quad I = \int \frac{\operatorname{cosec} x\,[\operatorname{cosec} x - \cot x]}{[\operatorname{cosec} x - \cot x]}\,dx$$

$$= \int \frac{du}{u} = \log u + c \qquad \text{((i),(ii)-ஐ பயன்படுத்தி)}$$

$$\therefore \int \text{cosec}\, x\, dx = \log(\text{cosec}x - \cot x) + c$$ (அல்லது)

$$\int \textbf{cosec}\, x\, dx = \log \tan \frac{x}{2} + c$$ (சுருங்கிய வடிவில்)

(54) $\int \frac{\log \tan x}{\sin 2x}\, dx$

$$I = \int \frac{\log \tan x}{\sin 2x}\, dx$$ என்க.

$\log \tan x = u$ எனப் பிரதியிட, … (i)

$$\therefore \frac{1}{\tan x} \sec^2 x dx = du \Rightarrow \frac{\cos x}{\sin x} \cdot \frac{1}{\cos^2 x}\, dx = du$$

$$\text{i.e. } \frac{2}{2\sin x \cos x}\, dx = du \Rightarrow \frac{2}{\sin 2x}\, dx = du$$

$$dx = \frac{\sin 2x}{2}\, du \quad \ldots \text{(ii)}$$

$$\therefore I = \int \frac{u}{\sin 2x} \cdot \left(\frac{\sin 2x}{2}\, du\right)$$ ((i),(ii)-ஐ பயன்படுத்தி)

$$= \frac{1}{2} \int u du = \frac{1}{2}\left[\frac{u^2}{2}\right] + c$$

$$\int \frac{\log \tan x}{\sin 2x}\, dx = \frac{1}{4}[\log \tan x]^2 + c$$

(55) $\int \sin^{15} x \cos x\, dx$

$$I = \int \sin^{15} x \cos x\, dx$$ என்க.

$\sin x = t$ எனப் பிரதியிட $\Rightarrow$ $\cos x\, dx = dt$

$$\therefore I = \int t^{15}\, dt = \frac{t^{16}}{16} + c$$

$$\therefore \int \sin^{15} x \cos x\, dx = \frac{\sin^{16} x}{16} + c$$

(56) $\int \sin^7 x\, dx$

$$I = \int \sin^7 x\, dx$$ என்க.

$$\therefore \quad = \int \sin^6 x \sin x \, dx = \int (1 - \cos^2 x)^3 (\sin x \, dx)$$

$\cos x$ = t எனப் பிரதியிட $\Rightarrow$ $-\sin x \, dx = dt$

$\sin x \, dx = (-dt)$

$$\therefore \quad I = \int (1 - t^2)^3 (-dt)$$

$$= \int (1 - 3t^2 + 3t^4 - t^6)(-dt)$$

$$= \int (t^6 - 3t^4 + 3t^2 - 1) \, dt$$

$$= \frac{t^7}{7} - 3\frac{t^5}{5} + 3\frac{t^3}{3} - t + c$$

$$\therefore \quad \int \sin^7 x \, dx = \frac{\cos^7 x}{7} - \frac{3}{5}\cos^5 x + \cos^3 x - \cos x + c$$

(குறிப்பு : $\sin^n x$, $\cos^n x$-ல் n ஒரு ஒற்றைப்படை எண்ணாக இருந்தால் மட்டுமே மேலுள்ள முறையை கையாள இயலும்).

(57) $\int \tan x \sqrt{\sec x} \, dx$

$I = \int \tan x \sqrt{\sec x} \, dx$ என்க.

$\sec x = t$ எனப் பிரதியிட,

$\sec x \tan x \, dx = dt \qquad \therefore dx = \dfrac{dt}{\sec x \tan x}$

முழுமையாக t-க்கு மாற்ற

$$\therefore I = \int \tan x \left(\sqrt{t}\right)\left(\frac{1}{\sec x \tan x} dt\right)$$

$$= \int \frac{\sqrt{t}}{\sec x} dt = \int \frac{\sqrt{t}}{t} dt = \int \frac{1}{\sqrt{t}} dt = 2\sqrt{t} + c$$

$$\therefore \int \tan x \sqrt{\sec x} \, dx = 2\sqrt{\sec x} + c$$

(கொடுக்கப்பட்ட தொகைச்சார்பு $e^{f(x)}$ என்ற அமைப்பில் உள்ளபோது, $f(x)$ ஆனது x-ல் ஒருபடி சார்பின் சார்பாக இல்லாமலிருப்பின் $u=f(x)$ எனப் பிரதியிடுதல் மூலம் தொகைக் காணலாம்).

(58) $\int \frac{e^{\tan x}}{\cos^2 x}\, dx$

$$\mathrm{I} = \int \frac{e^{\tan x}}{\cos^2 x}\, dx \text{ என்க.}$$

$$\tan x = t \text{ எனப் பிரதியிட,}$$

$$\sec^2 x\, dx = dt \qquad \therefore\ dx = \cos^2 x\, dt$$

$$\therefore\ \mathrm{I} = \int \frac{e^t}{\cos^2 x} \,.\, \cos^2 x\, dt = \int e^t\, dt = e^t + c$$

$$\therefore\ \int \frac{e^{\tan x}}{\cos^2 x}\, dx = e^{\tan x} + c$$

(59) $\int \frac{e^{\sqrt{x}}}{\sqrt{x}}\, dx$

$$\mathrm{I} = \int \frac{e^{\sqrt{x}}}{\sqrt{x}}\, dx \text{ என்க.}$$

$$\sqrt{x} = t \text{ எனப் பிரதியிட} \qquad \therefore\ x = t^2 \ \Rightarrow\ dx = 2tdt$$

$$\therefore\ \mathrm{I} = \int \frac{e^t}{t} \,.\, 2t\ dt = 2\int e^t\, dt = 2\, e^t + c$$

$$\therefore\ \int \frac{e^{\sqrt{x}}}{\sqrt{x}}\, dx = 2\, e^{\sqrt{x}} + c$$

(60) $\int \frac{e^{\sin^{-1} x}}{\sqrt{1-x^2}}\, dx$

$$\mathrm{I} = \int \frac{e^{\sin^{-1} x}}{\sqrt{1-x^2}}\, dx \text{ என்க.}$$

$$\sin^{-1} x = t \text{ எனப் பிரதியிட,}$$

$$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\, dx = dt \qquad \Rightarrow\ dx = \sqrt{1-x^2}\ dt$$

$$\therefore \ I = \int \frac{e^t}{\sqrt{1-x^2}} \sqrt{1-x^2} \ dt$$

$$= \int e^t \, dt = e^t + c$$

$$\therefore \int \frac{e^{\sin^{-1}x}}{\sqrt{1-x^2}} dx = e^{\sin^{-1}x} + c$$

(61) $\int e^{2\log x} e^{x^3} dx$

$I = \int e^{2\log x} e^{x^3} dx$ என்க.

$x^3 = t$ எனப் பிரதியிட, $\Rightarrow 3x^2 \, dx = dt \qquad \therefore \ dx = \frac{1}{3x^2} \ dt$

$$\therefore \ I = \int e^{\log x^2} e^{x^3} dx = \int x^2 e^{x^3} dx$$

$$= \int x^2 e^t \left(\frac{1}{3x^2} dt\right)$$

$$= \frac{1}{3} \int e^t \ dt = \frac{1}{3} e^t + c$$

$$\therefore \int e^{2\log x} e^{x^3} dx = \frac{1}{3} e^{x^3} + c$$

(62) $\int \frac{\log x}{x} dx$

$I = \int \frac{\log x}{x} dx$ என்க.

$\log x = u$ எனப் பிரதியிட, $\Rightarrow \frac{1}{x} \ dx = du \qquad \therefore \ dx = x \, du$

$$\therefore \ I = \int \frac{u}{x} (x \, du) = \int u \, du = \frac{u^2}{2} + c$$

$$\int \frac{\log x}{x} dx = \frac{1}{2} [\log x]^2 + c$$

(63) $\int \frac{1}{x \log x} dx$

$$I = \int \frac{1}{x \log x} dx \quad \text{என்க.}$$

$$\log x = u \quad \text{எனப் பிரதியிட,}$$

$$\frac{1}{x} dx = du \qquad \therefore \quad dx = x\, du$$

$$\therefore \; I = \int \frac{1}{xu} (x\, du) = \int \frac{1}{u} du = \log u + c$$

$$\int \frac{1}{x \log x} dx = \log(\log x) + c$$

(64) $\int \frac{1}{x + \sqrt{x}} dx$

$$I = \int \frac{1}{x + \sqrt{x}} dx \quad \text{என்க.}$$

$$\sqrt{x} = t \quad \text{எனப் பிரதியிட,} \qquad \Rightarrow \quad x = t^2$$

$$dx = 2t\, dt$$

$$\therefore I = \int \frac{1}{t^2 + t} 2t\, dt = 2 \int \frac{t}{t(t+1)} dt$$

$$= 2 \int \left(\frac{1}{1+t}\right) dt = 2 \log(1 + t) + c$$

$$\therefore \int \frac{1}{x + \sqrt{x}} dx = 2 \log\left(1 + \sqrt{x}\right) + c$$

(65) $\int \frac{e^{x/2} - e^{-x/2}}{e^x - e^{-x}} dx$

$$I = \int \frac{e^{x/2} - e^{-x/2}}{e^x - e^{-x}} dx \quad \text{என்க.}$$

$$e^{x\backslash 2} = t \quad \text{எனப் பிரதியிட} \Rightarrow \quad \frac{1}{2} e^{x\backslash 2} dx = dt$$

$$dx = \frac{2}{e^{x/2}} dt = \frac{2}{t} dt$$

$$\therefore \quad I = \int \frac{t - 1/t}{t^2 - 1/t^2} \left(\frac{2dt}{t}\right)$$

$$= 2 \int \frac{\frac{(t^2 - 1)}{t}}{\frac{(t^4 - 1)}{t^2}} \frac{dt}{t} = 2 \int \frac{(t^2 - 1)}{t^4 - 1} dt$$

$$= 2 \int \frac{t^2 - 1}{(t^2 - 1)(t^2 + 1)} dt = 2 \int \frac{1}{1 + t^2} dt = 2 \tan^{-1} t + c$$

$$\therefore \int \frac{e^{x/2} - e^{-x/2}}{e^x - e^{-x}} dx = 2 \tan^{-1}\left(e^{x/2}\right) + c$$

(66) $\int \frac{x^{e-1} + e^{x-1}}{x^e + e^x} dx$

$$I = \int \frac{x^{e-1} + e^{x-1}}{x^e + e^x} dx$$ என்க.

$x^e + e^x = t$ எனப் பிரதியிட, … (i)

$(ex^{e-1} + e^x)\, dx = dt$, $\quad e(x^{e-1} + e^{x-1})\, dx = dt$

$$\therefore \quad dx = \frac{1}{e(x^{e-1} + e^{x-1})} dt \quad \text{… (ii)}$$

$$\therefore \quad I = \int \frac{(x^{e-1} + e^{x-1})}{t} \left(\frac{1}{e\left(x^{e-1} + e^{x-1}\right)}\right) dt$$ (i),(ii)-ஐ பயன்படுத்தி)

$$= \frac{1}{e} \int \frac{1}{t} dt = \frac{1}{e} \log t + c$$

$$\therefore \int \frac{x^{e-1} + e^{x-1}}{x^e + e^x} dx = \frac{1}{e} \log (x^e + e^x) + c$$

(67) $\int \alpha\beta\, x^{\alpha - 1} e^{-\beta x^{\alpha}} dx$

$$I = \int \alpha\beta\, x^{\alpha-1}\, e^{-\beta x^{\alpha}}\, dx \quad \text{என்க.}$$

$$-\beta x^{\alpha} = u \text{ எனப் பிரதியிட} \Rightarrow -\alpha\beta x^{\alpha-1} dx = du \quad \therefore\ dx = -\frac{1}{\alpha\beta\, x^{\alpha-1}}\, du$$

$$\therefore\ I = \int \alpha\beta x^{\alpha-1}\, e^{u} \left(\frac{-1}{\alpha\beta\, x^{\alpha-1}}\right) du = -\int e^{u}\, du = -e^{u} + c$$

$$\therefore\ \int \alpha\beta\, x^{\alpha-1}\, e^{-\beta x^{\alpha}}\, dx = -e^{-\beta x^{\alpha}} + c$$

(68) $\int (2x-3)\sqrt{4x+1}\, dx$

$$I = \int (2x-3)\sqrt{4x+1}\, dx \quad \text{என்க.}$$

$$(4x+1) = t^2 \text{ எனப் பிரதியிட} \Rightarrow x = \frac{1}{4}(t^2-1) \quad \therefore\ dx = \frac{t}{2}\, dt$$

$$\therefore\ I = \int \left\{2 \cdot \frac{1}{4}(t^2-1)-3\right\}(t)\left(\frac{t}{2}\right) dt = \int \frac{1}{2}(t^2-1-6) \cdot \frac{t^2}{2}\, dt$$

$$= \frac{1}{4}\int (t^4 - 7t^2)\, dt = \frac{1}{4}\left(\frac{t^5}{5} - \frac{7}{3}t^3\right) + c$$

$$\int (2x-3)\sqrt{4x+1}\, dx = \frac{1}{20}(4x+1)^{5/2} - \frac{7}{12}(4x+1)^{3/2} + c$$

பயிற்சி 9.5

தொகைக் காண்க

(1) $x^5(1+x^6)^7$ (2) $\dfrac{(2lx+m)}{lx^2+mx+n}$ (3) $\dfrac{4ax+2b}{(ax^2+bx+c)^{10}}$

(4) $\dfrac{x}{\sqrt{x^2+3}}$ (5) $(2x+3)\sqrt{x^2+3x-5}$ (6) $\tan x$

(7) $\sec x$ (8) $\cos^{14}x \sin x$ (9) $\sin^5 x$

(10) $\cos^7 x$ (11) $\dfrac{1+\tan x}{x+\log \sec x}$ (12) $\dfrac{e^{m\tan^{-1}x}}{1+x^2}$

(13) $\dfrac{x\sin^{-1}(x^2)}{\sqrt{1-x^4}}$ (14) $\dfrac{5(x+1)(x+\log x)^4}{x}$ (15) $\dfrac{\sin(\log x)}{x}$

(16) $\dfrac{\cot x}{\log \sin x}$ (17) $\sec^4 x \tan x$ (18) $\tan^3 x \sec x$

(19) $\dfrac{\sin x}{\sin(x+a)}$ (20) $\dfrac{\cos x}{\cos(x-a)}$ (21) $\dfrac{\sin 2x}{a\cos^2 x + b\sin^2 x}$

(22) $\dfrac{1-\tan x}{1+\tan x}$ (23) $\dfrac{\sqrt{\tan x}}{\sin x \cos x}$ (24) $\dfrac{(\log x)^2}{x}$

(25) $e^{3\log x}\, e^{x^4}$ (26) $\dfrac{x^{e-1}+e^{x-1}}{x^e+e^x+e^e}$ (27) $x(l-x)^{16}$

(28) $x(x-a)^m$ (29) $x^2(2-x)^{15}$ (30) $\dfrac{\sin\sqrt{x}}{\sqrt{x}}$

(31) $(x+1)\sqrt{2x+3}$ (32) $(3x+5)\sqrt{2x+1}$ (33) $(x^2+1)\sqrt{x+1}$

9.3.3 பகுதித் தொகையிடல் :

(i) தொகைச் சார்பு $f(x)$ ஆனது இருவேறு சார்புகளின் பெருக்கலாக இருந்தாலோ

(ii) நேரடியாக தொகையிடல் வாய்ப்பாட்டை பயன்படுத்தி தொகையிட முடியாத சார்பாக இருந்தாலோ அல்லது

(iii) $\tan^{-1}x$, $\log x$ போன்ற சார்பு தனியாகத் தொகைக் காண கொடுக்கப்பட்டிருந்தாலோ

பகுதித் தொகையிடல் முறையினைப் பயன்படுத்தி தொகை காணலாம்.

தொகையிடல் சூத்திரத்தினை இரு சார்புகளுக்குரிய பெருக்கலின் வகையீட்டு வாய்ப்பாட்டின் மூலம் தருவிக்கலாம்.

$f(x)$, $g(x)$ என்பன வகையிடத்தக்க ஏதேனும் இருசார்புகள் என்க.

அவ்வாறாயின் $$\frac{d}{dx}[f(x)\,g(x)] = f'(x)\,g(x) + f(x)\,g'(x)$$

வகையிடலின் எதிர்மறை முறையின் வரையறைப்படி

$$f(x)\, g(x) = \int f'(x)\, g(x)\, dx + \int f(x)\, g'(x)\, dx$$

மாற்றி அமைக்க

$$\int f(x)\, g'(x)\, dx = f(x)\, g(x) - \int f'(x)\, g(x)\, dx \qquad \ldots (1)$$

மேலுள்ள சூத்திரத்தினை எளிய முறையில் மாற்றி எழுத

$u = f(x),\ v = g(x)$ என எடுத்துக் கொள்வோம்

$$\therefore \quad du = f'(x)\, dx, \quad dv = g'(x)\, dx$$

எனவே (1) ஆனது $\boxed{\int u\, dv = uv - \int v\, du}$

மேலுள்ள தொகையிடல் சூத்திரமானது $\int u\, dv$ -இன் முழுமையான தீர்வாக இல்லாமல், தீர்வின் ஒரு பகுதியை மட்டும் அளித்து மீதியை மற்றொரு தொகையிடல் $\int v\, du$ வாயிலாக எழுதப்பட்டிருப்பதால், இச்சூத்திரத்தினை **பகுதித் தொகையிடல்** என அழைக்கிறோம்.

பகுதித் தொகையிடல் முறையினை சிறப்பாக கையாள வேண்டுமெனில் $\int u\, dv$ -இல் u என்ற சார்பை தேர்வு செய்வதில்தான் உள்ளது. u-ஐ தேர்வு செய்ய கீழ்க்காணும் முறையினை கையாளுதல் உகந்தது.

(i) தொகைச் சார்பு $\log x$, $\tan^{-1}x$ ... போன்ற நேரடி தொகைக் காண இயலாத சார்பாக இருக்கும்போது $\log x$, $\tan^{-1}x$-ஐ u ஆக எடுத்தல் வேண்டும்.

(ii) தொகைச் சார்பு இரு சார்புகளின் பெருக்கல் சார்பாக இருக்கும்போது இரண்டும் தனித்தனியே தொகைக் காண இயலும்போது, அதில் ஒரு சார்பு x^n $(x \in \mathrm{N})$ஆக இருப்பின் $u = x^n$ என எடுத்துக் கொள்ளவும்.

(iii) மற்றபடி uஐ நம் விருப்பப்படி தேர்வு செய்து கொள்ளலாம்.

கீழ்க்காணும் அட்டவணை, பகுதி தொகையீட்டில் u, dv ஆகியவற்றை தேர்வு செய்ய உதவும்.

எண்	கொடுக்கப்பட்ட தொகைகள்	u	dv	uஐ தேர்வு செய்ய காரணம்
1.	$\int \log x\, dx$ $\int \tan^{-1} x\, dx$	$\log x$ $\tan^{-1}x$	dx dx	$\log x$, $\tan^{-1}x$ நேரடியாக தொகை காண இயலாது.
2.	$\int x^n \log x\, dx$	$\log x$	$x^n\, dx$	
3.	$\int x^n \tan^{-1} x\, dx$	$\tan^{-1}x$	$x^n\, dx$	
4.	$\int x^n e^{ax}\, dx$ (n is a positive integer)	x^n	$e^{ax}\, dx$	இரண்டும் தொகையிட இயலும் x^nஐ uஆக எடுத்தால் x-ன் அடுக்கு, வகையிடல் மூலம் படிப்படியாக குறைந்து கொண்டே போகும்.
5.	$\int x^n(\sin x \text{ or } \cos x)dx$	x^n	$\sin x\, dx$ or $\cos x dx$	இரண்டும் தொகையிட இயலும் x^nஐ uஆக எடுத்தால் x-ன் அடுக்கு, வகையிடல் மூலம் படிப்படியாக குறைந்து கொண்டே போகும்.
6.	$\int e^{ax} \cos bx\, dx$ or $\int e^{ax} \sin bx\, dx$	e^{ax} or $\cos bx$ / $\sin bx$	மற்றவை	–

எ.கா. 9.69 – 9.84: தொகைக் காண்க

(69) xe^x (70) $x \sin x$ (71) $x \log x$ (72) $x \sec^2 x$

(73) $x \tan^{-1}x$ (74) $\log x$ (75) $\sin^{-1}x$ (76) $x \sin^2 x$

(77) $x \sin 3x \cos 2x$ (78) $x\, 5^x$ (79) $x^3 e^{x^2}$ (80) $e^{\sqrt{x}}$

(81) $\int \frac{x \sin^{-1} x}{\sqrt{1-x^2}}\, dx$ (82) $\tan^{-1}\left(\frac{2x}{1-x^2}\right)$ (83) $x^2 e^{3x}$ (84) $x^2 \cos 2x$

தீர்வு :

(69) $\int x e^x\, dx = \int (x)\,(e^x dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = x$ மற்றும் $dv = e^x\, dx$ என எடுத்துக் கொள்வோம்.

பிறகு $du = dx$ மற்றும் $v = \int e^x\, dx = e^x$ ஆகும்.

$$\therefore \quad \int x e^x\, dx = x e^x - \int e^x dx = x e^x - e^x + c$$

(70) $\int x \sin x\, dx = \int (x)\,(\sin x\, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = x$ மற்றும் $dv = \sin dx$ என எடுத்துக் கொள்வோம்.

$du = dx$ மற்றும் $v = -\cos x$

$$\therefore \quad \int x \sin x\, dx = (x)\,(-\cos x) - \int (-\cos x)\,(dx)$$

$$= -x \cos x + \int \cos x\, dx$$

$$\therefore \quad \int x \sin x\, dx = -x \cos x + \sin x + c$$

(71) $\int x \log x = \int (\log x)\,(x\, dx)$

$\log x$ -ஐ வாய்ப்பாட்டின் மூலம் நேரடியாகத் தொகையிட இயலாததால்

$u = \log x$ மற்றும் $dv = x\, dx$ என எடுத்துக் கொள்வோம்

$\therefore\ du = \frac{1}{x}\, dx$ மற்றும் $v = \frac{x^2}{2}$

$$\therefore \quad \int x \log x = (\log x)\left(\frac{x^2}{2}\right) - \int \left(\frac{x^2}{2}\right)\left(\frac{1}{x}\, dx\right)$$

$$= \frac{x^2}{2} \log x - \frac{1}{2} \int x\, dx$$

$$\therefore \quad \int x \log x = \frac{x^2}{2} \log x - \frac{1}{4} x^2 + c$$

(72) $\int x \sec^2 x\, dx = \int (x)\, (\sec^2 x\, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = x, \quad dv = \sec^2 x\, dx$ என எடுத்துக்கொண்டால்

$du = x, \quad v = \tan x$ ஆகும்.

$$\therefore \int x \sec^2 x\, dx = x \tan x - \int \tan x\, dx$$

$$= x \tan x - \log \sec x + c$$

$$\therefore \int x \sec^2 x\, dx = x \tan x + \log \cos x + c$$

(73) $\int x \tan^{-1} x\, dx = \int (\tan^{-1} x)\, (x\, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த $\quad u = \tan^{-1} x \quad dv = x dx$

$$\int x \tan^{-1} x\, dx = (\tan^{-1} x) \left(\frac{x^2}{2}\right) - \int \left(\frac{x^2}{2}\right) \left(\frac{1}{1 + x^2}\right) dx \qquad \therefore du = \frac{1}{1 + x^2} dx \quad v = \frac{x^2}{2}$$

$$= \frac{x^2}{2} \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \int \frac{x^2}{1 + x^2} dx$$

$$= \frac{x^2}{2} \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \int \left[\frac{(x^2 + 1) - 1}{1 + x^2}\right] dx$$

$$= \frac{x^2}{2} \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \int \left(\frac{1+x^2}{1+x^2} - \frac{1}{1+x^2}\right) dx$$

$$= \frac{x^2}{2} \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \int \left(1 - \frac{1}{1 + x^2}\right) dx$$

$$\mathrm{I} = \frac{x^2}{2} \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \left[x - (\tan^{-1} x)\right] + c$$

$$\therefore \int x \tan^{-1} x\, dx = \frac{1}{2} \left[x^2 \tan^{-1} x + \tan^{-1} x - x\right] + c$$

(74) $\int \log x \, dx = \int (\log x)\,(dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = \log x \qquad dv = dx$

$$= (\log x)\,(x) - \int x \cdot \frac{1}{x}\, dx \qquad du = \frac{1}{x}\, dx \qquad v = x$$

$$= x \log x - \int dx$$

$$\therefore \quad \int \log x \, dx = x \log x - x + c$$

(75) $\int \sin^{-1} x \, dx = \int (\sin^{-1} x)\,(dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = \sin^{-1} x \qquad dv = dx$

$$du = \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\, dx \qquad v = x$$

$$\int \sin^{-1} x \, dx = (\sin^{-1} x)\,(x) - \int x \cdot \frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\, dx$$

$$= x \sin^{-1} x - \int \frac{x}{\sqrt{1-x^2}}\, dx$$

பிரதியிடல் முறையினை கையாள

$$\sqrt{1-x^2} = t$$

$$1 - x^2 = t^2$$

$$-2x\, dx = 2t\, d\, t$$

$$dx = \frac{2tdt}{-2x} = \frac{-t}{x}\, dt$$

$$\therefore \quad \int \sin^{-1} x \, dx = x \sin^{-1} x - \int \frac{x}{t}\left(\frac{-t}{x}\, dt\right)$$

$$= x \sin^{-1} x + \int dt = x \sin^{-1} x + t + c$$

$$\therefore \quad \int \sin^{-1} x \, dx = x \sin^{-1} x + \sqrt{1-x^2} + c$$

(76) $\int x \sin^2 x\, dx$

$$I = \int x \sin^2 x\, dx \quad \text{என்க.}$$

[sin$x$ன் அடுக்கினை நீக்க $\sin^2 x = \frac{1}{2}\ (1 - \cos 2x)$]

$$= \int x \left\{\frac{1}{2}(1 - \cos 2x)\right\} dx$$

$$= \frac{1}{2} \int (x - x \cos 2x)\, dx$$

$$= \frac{1}{2}\left[\int x dx - \int x \cos 2x\, dx\right]$$

$$I = \frac{1}{2}\left[\frac{x^2}{2} - I_1\right] \qquad \ldots (1)$$

இங்கு $I_1 = \int x \cos 2x\, dx$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த I_1

$u = x \qquad dv = \cos 2x\, dx$

$du = dx \qquad v = \frac{\sin 2x}{2}$

$$I_1 = \int (x)\ (\cos 2x\, dx)$$

$$= \left[\frac{x \sin 2x}{2} - \int \frac{\sin 2x}{2}\, dx\right]$$

$$= \frac{x}{2} \sin 2x - \frac{1}{2}\left(\frac{-\cos 2x}{2}\right)$$

$$I_1 = \frac{x}{2} \sin 2x + \frac{1}{4} \cos 2x$$

I_1ஐ (1)-ல் பிரதியிட,

$$I = \frac{1}{2}\left[\frac{x^2}{2} - I_1\right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{x^2}{2} - \left(\frac{x}{2}\sin 2x + \frac{1}{4}\cos 2x\right)\right] + c$$

$$\therefore \int x \sin^2 x\, dx = \frac{x^2}{4} - \frac{x}{4} \sin 2x - \frac{\cos 2x}{8} + c$$

(77) $\int x \sin 3x \cos 2x\, dx = \int x \frac{1}{2}\left[\sin(3x + 2x) + \sin(3x - 2x)\right] dx$

$$\left(\because \sin A \cos B = \frac{1}{2}\ \{\sin(A + B) + \sin(A - B)\}\right)$$

$$= \int x \frac{1}{2}\left[\sin(3x + 2x) + \sin(3x - 2x)\right] dx$$

$$= \frac{1}{2}\int x(\sin 5x + \sin x)\, dx \qquad u = x \qquad dv = (\sin 5x + \sin x)dx$$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த $\qquad du = dx \qquad v = \left(-\frac{\cos 5x}{5} - \cos x\right)$

$$= \frac{1}{2}\left[x\left(-\frac{\cos 5x}{5} - \cos x\right) - \int\left(-\frac{\cos 5x}{5} - \cos x\right) dx\right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[-x\left(\frac{\cos 5x}{5} + \cos x\right) + \int\left(\frac{\cos 5x}{5} + \cos x\right) dx\right]$$

$$= \frac{1}{2}\left[-x\left(\frac{\cos 5x}{5} + \cos x\right) + \left(\frac{\sin 5x}{5 \times 5} + \sin x\right)\right] + c$$

$$\therefore \int x \sin 3x \cos 2x\, dx = \frac{1}{2}\left[-x\left(\frac{\cos 5x}{5} + \cos x\right) + \frac{\sin 5x}{25} + \sin x\right] + c$$

(78) $\int x\, 5^x\, dx = \int (x)\,(5^x\, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த $\qquad u = x \qquad dv = 5^x\, dx$

$$\int x\, 5^x\, dx = x\frac{5^x}{\log 5} - \int \frac{5^x}{\log 5} dx \qquad du = dx \qquad v = \frac{5^x}{\log 5}$$

$$= \frac{x5^x}{\log 5} - \frac{1}{\log 5} \cdot \frac{5^x}{\log 5} + c$$

$$\therefore \int x\, 5^x\, dx = \frac{x5^x}{\log 5} - \frac{5^x}{(\log 5)^2} + c$$

(79) முதல் (82) வரை உள்ள எடுத்துக்காட்டுகளில், தக்க பிரதியிடல் மூலம் கொடுக்கப்பட்ட தொகைச் சார்பினை பகுதி தொகையிடல் சூத்திரத்தினை பயன்படுத்துமாறு மாற்றி அமைத்து தொகை காணப்பட்டுள்ளது.

(79) $\int x^3 e^{x^2}\, dx$

Let $\qquad I = \int x^3 e^{x^2}\, dx$

$x^2 = t$ என்க.

$\therefore 2x\, dx = dt$

$\therefore dx = \frac{dt}{2x}$

$$\therefore \quad I = \int x^3 \,.\, e^t \,.\, \frac{dt}{2x}$$

$$= \frac{1}{2} \int x^2 e^t \, dt \quad = \quad \frac{1}{2} \int (t)\,(e^t \, dt) \qquad \begin{array}{ll} u = t & dv = e^t \, dt \\ du = dt & v = e^t \end{array}$$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$$\therefore \quad I = \frac{1}{2}\left(te^t - \int e^t \, dt \right)$$

$$= \frac{1}{2}\left(te^t - e^t + c \right) \;=\; \frac{1}{2}\left(x^2 e^{x^2} - e^{x^2} + c \right)$$

$$\therefore \int x^3 e^{x^2} \, dx \;=\; \frac{1}{2}\left(x^2 e^{x^2} - e^{x^2} \right) + c$$

(80) $\int e^{\sqrt{x}} \, dx$

$$I = \int e^{\sqrt{x}} \, dx$$ என்க.

$\sqrt{x} = t$ எனப் பிரதியிட,

$$\therefore \quad x = t^2 \quad \Rightarrow \quad dx = 2t \, dt$$

$$I = \int e^t \, 2t dt$$

$$= 2 \int (t)\,(e^t \, dt) \qquad \begin{array}{ll} u = t & dv = e^t \, dt \\ du = dt & v = e^t \end{array}$$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$$I = 2\left(te^t - \int e^t \, dt \right)$$

$$= 2\,(te^t - e^t) + c$$

$$\therefore \quad \int e^{\sqrt{x}} \, dx = 2\left(\sqrt{x}\, e^{\sqrt{x}} - e^{\sqrt{x}} \right) + c$$

$(\because t = \sqrt{x})$

(81) $\int \frac{x \sin^{-1} x}{\sqrt{1 - x^2}} \, dx$

$$I = \int \frac{x \sin^{-1} x}{\sqrt{1 - x^2}} \, dx$$ என்க.

$\sin^{-1}x = t$ எனப் பிரதியிட $\Rightarrow x = \sin t$

$$\frac{1}{\sqrt{1-x^2}}\, dx = dt$$

$$dx = \sqrt{1-x^2}\; dt$$

$$\therefore \quad I = \int x \frac{t}{\sqrt{1-x^2}} \cdot \left(\sqrt{1-x^2}\, dt\right)$$

$$= \int xt\, dt$$

$$= \int (\sin t)\,(t)\, dt$$

$$I = \int (t)\;(\sin t\, dt)$$

$dv = \sin t\, dt$

$u = t$ $\quad v = -\cos t$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$du = dt$

$$= t\,(-\cos t) - \int (-\cos t)\, dt$$

$$= -t\cos t + \int \cos t\, dt$$

$$= -t\cos t + \sin t + c$$

$$I = -(\sin^{-1}x)\left(\sqrt{1-x^2}\right) + x + c$$

$$\therefore \int \frac{x\sin^{-1}x}{\sqrt{1-x^2}}\, dx = x - \sqrt{1-x^2}\;\sin^{-1}x + c$$

$\because t = \sin^{-1}x \Rightarrow \sin t = x$

$\cos t = \sqrt{1-\sin^2 t} = \sqrt{1-x^2}$

(82) $\int \tan^{-1}\left(\frac{2x}{1-x^2}\right) dx$

$$I = \int \tan^{-1}\left(\frac{2x}{1-x^2}\right) dx$$ என்க.

$x = \tan\theta$ எனப் பிரதியிட $\Rightarrow \; dx = \sec^2\theta\; d\theta$

$$\therefore \quad I = \int \tan^{-1}\left(\frac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}\right) \sec^2\theta\, d\theta$$

$$= \int \tan^{-1}(\tan 2\theta)\sec^2\theta\, d\theta$$

$$= \int 2\theta \sec^2\theta \, d\theta$$

$$= 2 \int (\theta)\,(\sec^2\theta \, d\,\theta) \qquad u = \theta \quad dv = \sec^2\theta \, d\theta$$

$du = d\theta \quad v = \tan\theta$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$$\therefore \; I = 2\left[\theta \tan\theta - \int \tan\theta \, d\,\theta\right]$$

$$= 2\theta \tan\theta - 2 \log \sec\theta + c$$

$$I = 2\,(\tan^{-1}x)\,(x) - 2 \log \sqrt{1 + \tan^2\theta} + c$$

$$\therefore \int \tan^{-1}\left(\frac{2x}{1 - x^2}\right) dx = 2x \tan^{-1}x - 2 \log \sqrt{1+x^2} + c$$

(83), (84) எடுத்துக்காட்டுகளில் x-ன் அடுக்கு இரண்டு ஆதலால் இருமுறை பகுதித் தொகையிடல் முறை பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

(83) $\int x^2 e^{3x} \, dx = \int (x^2)\,(e^{3x} \, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = x^2 \qquad dv = e^{3x} \, dx$

$du = 2x \, dx \qquad v = \dfrac{e^{3x}}{3}$

$$\int x^2 e^{3x} \, dx = \frac{x^2 e^{3x}}{3} - \int \frac{e^{3x}}{3} \; 2x \, dx$$

$$= \frac{x^2 e^{3x}}{3} - \frac{2}{3} \int (x)\,(e^{3x} \, dx)$$

$u = x \qquad dv = e^{3x} \, dx$

$du = dx \qquad v = \dfrac{e^{3x}}{3}$

மீண்டும் பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$$\int x^2 e^{3x} \, dx = \frac{x^2 e^{3x}}{3} - \frac{2}{3}\left\{x.\,\frac{e^{3x}}{3} - \int \frac{e^{3x}}{3} \, dx\right\}$$

$$= \frac{x^2 e^{3x}}{3} - \frac{2xe^{3x}}{9} + \frac{2}{9} \int e^{3x} \, dx$$

$$= \frac{x^2 e^{3x}}{3} - \frac{2xe^{3x}}{9} + \frac{2}{27} e^{3x} + c$$

$$\therefore \int x^2 e^{3x} \, dx = \frac{x^2 e^{3x}}{3} - \frac{2xe^{3x}}{9} + \frac{2e^{3x}}{27} + c$$

(84) $\int x^2 \cos 2x\, dx = \int (x^2)\ (\cos 2x\, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = x^2 \qquad dv = \cos 2x\, dx$

$du = 2x\, dx \qquad v = \dfrac{\sin 2x}{2}$

$$\int x^2 \cos 2x\, dx = x^2 \frac{\sin 2x}{2} - \int \frac{\sin 2x}{2} . 2x\, dx$$

$$= x^2 \frac{\sin 2x}{2} - \int (x)\ (\sin 2x\, dx)$$

மீண்டும் பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = x \qquad dv = \sin 2x\, dx$

$du = dx \qquad v = \dfrac{-\cos 2x}{2}$

$$\int x^2 \cos 2x\, dx = x^2 \frac{\sin 2x}{2} - \left\{ \frac{x(-\cos 2x)}{2} - \int \left(\frac{-\cos 2x}{2}\, dx \right) \right\}$$

$$= \frac{x^2 \sin 2x}{2} + \frac{x \cos 2x}{2} - \frac{1}{2} \int \cos 2x\, dx$$

$$\mathrm{I} = \frac{x^2 \sin 2x}{2} + \frac{x \cos 2x}{2} - \frac{1}{4} \sin 2x + c$$

$$\therefore \int x^2 \cos 2x\, dx = \frac{1}{2} x^2 \sin 2x + \frac{1}{2} x \cos 2x - \frac{1}{4} \sin 2x + c$$

கீழ்க்கண்ட எடுத்துக்காட்டுகளில் உள்ள தொகைச்சார்பு முடிவில்லாத சுழற்தொகை சார்புகளை கொண்டது.

எ.கா. 9.85 – 9.87: கீழ்க்காண்பவைகளை மதிப்பிடுக

(85) $\int e^x \cos x\, dx$ (86) $\int e^{ax} \sin bx\, dx$ (87) $\int \sec^3 x\, dx$

தீர்வு : (85) $\int e^x \cos x\, dx = \int (e^x)\ (\cos x\, dx)$

இங்கு இருசார்புகளும் தொகைக் காண இயலும் சார்புகளாதலால் u-ஐ தேர்வு செய்வது நமது விருப்பம்.

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = e^x \qquad dv = \cos x\, dx$

$du = e^x\, dx \qquad v = \sin x$

$$\int e^x \cos x\, dx = e^x \sin x - \int \sin x\, e^x\, dx$$

$$= e^x \sin x - \int (e^x)\ (\sin x\, dx) \quad \ldots (1)$$

$u = e^x \qquad dv = \sin x\, dx$

$du = e^x\, dx \qquad v = -\cos x$

மீண்டும் பகுதித் தொகையிடலின்
சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$$\int e^x \cos x\, dx = e^x \sin x - \left[e^x (-\cos x) - \int (-\cos x)(e^x\, dx) \right]$$

$$= e^x \sin x + e^x \cos x - \int e^x \cos x\, dx$$

i.e. $$\int e^x \cos x\, dx = e^x \sin x + e^x \cos x - \int e^x \cos x\, dx \quad \ldots (2)$$

$\int e^x \cos x\, dx$ இருபுறமும் இருப்பதால் மாற்றி அமைக்க

$$2 \int e^x \cos x\, dx = (e^x \sin x + e^x \cos x)$$

$$\therefore \int e^x \cos x\, dx = \frac{1}{2} [e^x \sin x + e^x \cos x] + c$$

$$\int e^x \cos x\, dx = \frac{e^x}{2} (\cos x + \sin x) + c$$

(86) $\int \boldsymbol{e^{ax} \sin bx\, dx} = \int (\sin bx)(e^{ax} dx)$

இரு சார்புகளும் தொகை காண இயலும் சார்பு
எனவே u-ஐ நம் விருப்பப்படி தேர்வு செய்யலாம்

$u = \sin bx$
$du = b \cos bx\, dx$
$dv = e^{ax}\, dx \qquad v = e^{ax}/a$

$$\int e^{ax} \sin bx\, dx = (\sin bx) \frac{e^{ax}}{a} - \int \frac{e^{ax}}{a} (b \cos bx)\, dx$$

$$= \frac{1}{a} e^{ax} \sin bx - \frac{b}{a} \int \cos bx \,.\, e^{ax}\, dx$$

மீண்டும் பகுதித் தொகையிடலின்
சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$u = \cos bx \qquad dv = e^{ax}\, dx$
$du = -b \sin bx\, dx$

$$\int e^{ax} \sin bx\, dx = \frac{1}{a} e^{ax} \sin bx - \frac{b}{a} \left[(\cos bx) \left(\frac{e^{ax}}{a} \right) - \int \frac{e^{ax}}{a} (-b \sin bx\, dx) \right]$$

$$= \frac{1}{a} e^{ax} \sin bx - \frac{b}{a^2} e^{ax} \cos bx - \frac{b^2}{a^2} \int e^{ax} \sin bx\, dx$$

$$\int e^{ax} \sin bx\, dx = \frac{1}{a} e^{ax} \sin bx - \frac{b}{a^2} e^{ax} \cos bx - \frac{b^2}{a^2} \int e^{ax} \sin bx\, dx$$

மாற்றி அமைக்க

$$\int e^{ax} \sin bx\, dx + \frac{b^2}{a^2} \int e^{ax} \sin bx\, dx = \frac{1}{a} e^{ax} \sin bx - \frac{b}{a^2} e^{ax} \cos bx$$

i.e. $$\left[1+\frac{b^2}{a^2}\right]\int e^{ax}\sin bx\,dx = \left[\frac{1}{a}e^{ax}\sin bx - \frac{b}{a^2}e^{ax}\cos bx\right]$$

$$\left(\frac{a^2+b^2}{a^2}\right)\int e^{ax}\sin bx\,dx = e^{ax}\left(\frac{a\sin bx - b\cos bx}{a^2}\right)$$

$$\therefore \quad \int e^{ax}\sin bx\,dx = \left(\frac{a^2}{a^2+b^2}\right)\times\frac{e^{ax}}{a^2}\,(a\sin bx - b\cos bx)$$

$$\boxed{\therefore \int \boldsymbol{e^{ax}\sin bx\,dx = \left(\frac{e^{ax}}{a^2+b^2}\right)(a\sin bx - b\cos bx) + c}}$$

$e^{ax}\cos bx$ அல்லது $e^{ax}\sin bx$-ஐ தொகைச் சார்பாக கொடுக்கப்பட்டு இருந்தாலும், பகுதித் தொகையிடலை இருமுறை பயன்படுத்தி, பின் சமன்பாட்டை தீர்த்து தீர்வு காணுதல் வேண்டும்.

கவனம் :

பகுதித் தொகையிடல் சூத்திரத்தினை பயன்படுத்தும்போது u, dv என்ற ஜோடியினை தேர்வு செய்யும்போது மிகவும் கவனத்துடன் செயல்பட வேண்டும். தொடக்கத்தில் u, dv ஜோடியினை எந்தெந்த சார்புகளுக்குத் தேர்வு செய்தோமோ, அதே முறையினை அடுத்து வரும் பகுதித் தொகையினுக்கும் தேர்வு செய்தல் வேண்டும். மாற்றி தேர்வு செய்தல் கூடாது.

$\int e^x\sin x\,dx$ **-ஐ எடுத்துக் கொண்டால்** **தொடக்கத் தேர்வு**

$$\int e^x\sin x\,dx = -e^x\cos x + \int \cos x\,e^x\,dx$$

$u = e^x \qquad dv = \sin x\,dx$

$du = e^x\,dx \qquad v = -\cos x$

மீண்டும் பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தை R.H.S-ல் மாற்றியமைத்து பயன்படுத்த

$$\int e^x\sin x\,dx = -e^x\cos x + \int \cos x\,e^x - \int e^x(-\sin x)\,dx$$

$u = \cos x \qquad dv = e^x\,dx$

$du = -\sin x\,dx \qquad v = e^x$

$$\int e^x\sin x\,dx = -e^x\cos x + \cos x\,e^x + \int e^x\sin x\,dx$$

$$\int e^x\sin x\,dx = \int e^x\sin x\,dx \ ?$$

இறுதியில் L.H.Sல் உள்ளதைப் போலவே R.H.S-ல் கிடைக்கப் பெற்றோம்.

87) $\int \sec^3 x\, dx = \int (\sec x)\ (\sec^2 x\, dx)$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த

$$\int \sec^3 x\, dx = \sec x \tan x - \int (\tan x)\ (\sec x \tan x\, dx) \qquad u = \sec x \qquad dv = \sec^2 x\, dx$$

$$du = \sec x \tan x\, dx \qquad v = \tan x$$

$$= \sec x \tan x - \int \tan^2 x \sec x\, dx$$

$$= \sec x \tan x - \int (\sec^2 x - 1) \sec x\, dx$$

$$= \sec x \tan x - \int (\sec^3 x - \sec x)\, dx$$

$$= \sec x \tan x - \int \sec^3 x\, dx + \int \sec x\, dx$$

$$\int \sec^3 x\, dx = \sec x \tan x - \int \sec^3 x\, dx + \log(\sec x + \tan x)$$

மாற்றி அமைக்க,

$$2 \int \sec^3 x\, dx = \sec x \tan x + \log(\sec x + \tan x)$$

$$\int \sec^3 x\, dx = \frac{1}{2}\ [\sec x\ \tan x + \log(\sec x + \tan x)] + c$$

பயிற்சி 9.6

தொகைக் காண்க

(1) xe^{-x} (2) $x \cos x$ (3) $x \operatorname{cosec}^2 x$ (4) $x \sec x \tan x$

(5) $\tan^{-1} x$ (6) $x \tan^2 x$ (7) $x \cos^2 x$ (8) $x \cos 5x \cos 2x$

(9) $2x\, e^{3x}$ (10) $x^2 e^{2x}$ (11) $x^2 \cos 3x$ (12) $(\sin^{-1} x) \dfrac{e^{\sin^{-1} x}}{\sqrt{1 - x^2}}$

(13) $x^5 e^{x^2}$ (14) $\tan^{-1}\left(\dfrac{3x - x^3}{1 - 3x^2}\right)$ (15) $x \sin^{-1}(x^2)$ (16) $\operatorname{cosec}^3 x$

(17) $e^{ax} \cos bx$ (18) $e^{2x} \sin 3x$ (19) $e^x \cos 2x$ (20) $e^{3x} \sin 2x$

(21) $\sec^3 2x$ (22) $e^{4x} \cos 5x \sin 2x$ (23) $e^{-3x} \cos^3 x$

வகை 1: 9.88 – 9.93: *சிறப்பான தொகைகள்*

(88) $\int \frac{dx}{a^2 - x^2}$ **(89)** $\int \frac{dx}{x^2 - a^2}$ **(90)** $\int \frac{dx}{a^2 + x^2}$

(91) $\int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}}$ **(92)** $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 - a^2}}$ **(93** $\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}}$

***தீர்வு* :**

(88)
$$\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \int \frac{1}{(a-x)(a+x)}\,dx$$
$$= \frac{1}{2a}\int \frac{2a}{(a-x)(a+x)}\,dx$$
$$= \frac{1}{2a}\int \frac{(a-x)+(a+x)}{(a-x)(a+x)}\,dx$$

(பகுதிப் பின்னங்களாக பிரிக்கும் முறையையும் கையாளலாம்).

$$= \frac{1}{2a}\int \left[\frac{1}{a+x} + \frac{1}{a-x}\right] dx$$
$$= \frac{1}{2a}\left[\log(a+x) - \log(a-x)\right]$$
$$\therefore \int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{2a}\log\left(\frac{a+x}{a-x}\right) + c$$

(89)
$$\int \frac{dx}{x^2 - a^2}\,dx = \int \frac{dx}{(x-a)(x+a)}$$
$$= \frac{1}{2a}\int \frac{2a}{(x-a)(x+a)}\,dx = \frac{1}{2a}\int \frac{(x+a)-(x-a)}{(x-a)(x+a)}\,dx$$
$$= \frac{1}{2a}\int \left[\frac{1}{x-a} - \frac{1}{x+a}\right] dx$$
$$= \frac{1}{2a}\left[\log(x-a) - \log(x+a)\right]$$
$$\therefore \int \frac{dx}{x^2 - a^2} = \frac{1}{2a}\log\left(\frac{x-a}{x+a}\right) + c$$

(90) $$I = \int \frac{dx}{a^2 + x^2}$$ என்க.

$$x = a \tan\theta$$ எனப் பிரதியிட $\Rightarrow \theta = \tan^{-1}(x / a)$

$$dx = a \sec^2\theta \, d\theta$$

$$\therefore \; I = \int \frac{a \sec^2\theta d\theta}{a^2 + a^2 \tan^2\theta} = \int \frac{a \sec^2\theta d\theta}{a^2 \sec^2\theta} = \frac{1}{a} \int d\theta$$

$$I = \frac{1}{a} \theta + c$$

$$\therefore \int \frac{dx}{a^2 + x^2} = \frac{1}{a} \tan^{-1} \frac{x}{a} + c$$

(91) $$I = \int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}}$$ என்க.

$$x = a \sin\theta$$ எனப் பிரதியிட $\Rightarrow \theta = \sin^{-1} (x / a)$

$$dx = a \cos\theta \, d\theta$$

$$\therefore \; I = \int \frac{a \cos\theta \, d\theta}{\sqrt{a^2 - a^2 \sin^2 \theta}} = \int \frac{a \cos\theta \, d\theta}{a \sqrt{1 - \sin^2\theta}}$$

$$= \int \frac{1}{\cos\theta} \cos\theta \, d\theta = \int d\theta$$

$$I = \theta + c$$

$$\therefore \int \frac{dx}{\sqrt{a^2 - x^2}} = \sin^{-1} \frac{x}{a} + c$$

(92) $$I = \int \frac{1}{\sqrt{x^2 - a^2}} \, dx$$ என்க

$$u = x + \sqrt{x^2 - a^2}$$ எனப் பிரதியிட,

$$du = \left(1 + \frac{(2x)}{2\sqrt{x^2 - a^2}}\right) dx = \left(\frac{\sqrt{x^2 - a^2} + x}{\sqrt{x^2 - a^2}}\right) dx$$

$$\therefore dx = \frac{\sqrt{x^2 - a^2}}{x + \sqrt{x^2 - a^2}} \, du = \frac{\sqrt{x^2 - a^2}}{u} \, du$$

$$\therefore \ I = \int \frac{1}{\sqrt{x^2 - a^2}} \cdot \left(\frac{\sqrt{x^2 - a^2}}{u} du \right)$$

$$= \int \frac{1}{u} \, du$$

$$I = \log u + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{x^2 - a^2}} \, dx = \log \left(x + \sqrt{x^2 - a^2} \right) + c$$

($x = a \sec\theta$ என்ற பிரதியிடல் மூலமும் தொகைக் காணலாம் என செய்து அறிக)

(93) $$I = \int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$ என்க.

$u = x + \sqrt{x^2 + a^2}$ என பிரதியிட,

$$du = \left(1 + \frac{2x}{2\sqrt{x^2 + a^2}} \right) dx = \left(\frac{\sqrt{x^2 + a^2} + x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \right) dx$$

$$\therefore dx = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{x + \sqrt{x^2 + a^2}} \, du = \frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{u} \, du$$

$$\therefore \ I = \int \frac{1}{\sqrt{x^2 + a^2}} \cdot \left(\frac{\sqrt{x^2 + a^2}}{u} du \right)$$

$$= \int \frac{1}{u} \, du$$

$$I = \log u + c$$

$$\int \frac{dx}{\sqrt{x^2 + a^2}} = \log \left(x + \sqrt{x^2 + a^2} \right) + c$$

($x = a \tan \theta$ எனப் பிரதியிடல் மூலமும் தொகைக் காணலாம் என செய்து அறிக)

குறிப்புரை :

எளிதாகத் தொகைக் காண பயன்படக்கூடிய கீழ்க்காணும் பிரதியிடலை நினைவில் கொள்க.

கொடுக்கப்பட்டது	பிரதியிடல்
$a^2 - x^2$	$x = a \sin\theta$
$a^2 + x^2$	$x = a \tan\theta$
$x^2 - a^2$	$x = a \sec\theta$

எ.கா. 9.94 – 9.105 :

தொகைக் காண்க :

(94) $\dfrac{1}{1+9x^2}$ (95) $\dfrac{1}{1-9x^2}$ (96) $\dfrac{1}{1+\dfrac{x^2}{16}}$ (97) $\dfrac{1}{1-4x^2}$

(98) $\dfrac{1}{(x+2)^2-4}$ (99) $\dfrac{1}{(2x+1)^2-9}$ (100) $\dfrac{1}{\sqrt{25-x^2}}$ (101) $\dfrac{1}{\sqrt{1-\dfrac{x^2}{16}}}$

(102) $\dfrac{1}{\sqrt{1-16x^2}}$ (103) $\dfrac{1}{\sqrt{x^2-9}}$ (104) $\dfrac{1}{\sqrt{4x^2-25}}$ (105) $\dfrac{1}{\sqrt{9x^2+16}}$

தீர்வு :

(94)
$$\int \frac{1}{1+9x^2}\,dx = \int \frac{1}{1+(3x)^2}\,dx$$
$$= \left[\tan^{-1}\left(\frac{3x}{1}\right)\right] \times \frac{1}{3} + c$$
$$= \frac{1}{3}\tan^{-1} 3x + c$$

(95)
$$\int \frac{1}{1-9x^2}\,dx = \int \frac{1}{1-(3x)^2}\,dx$$
$$= \frac{1}{2.1}\log\left(\frac{1+3x}{1-3x}\right) \times \frac{1}{3}$$
$$= \frac{1}{6}\log\left(\frac{1+3x}{1-3x}\right) + c$$

(96)
$$\int \frac{1}{1+\dfrac{x^2}{16}}\,dx = \int \frac{1}{1+\left(\dfrac{x}{4}\right)^2}\,dx$$
$$= \left[\frac{1}{1}\tan^{-1}\left(\frac{x}{4}\right)\right] \frac{1}{(1/4)}$$
$$= 4\tan^{-1}\left(\frac{x}{4}\right) + c$$

(97)
$$\int \frac{1}{1-4x^2}\,dx = \int \frac{1}{1-(2x)^2}\,dx$$
$$= \left[\frac{1}{2.1}\log\left(\frac{1+2x}{1-2x}\right)\right] \times \frac{1}{2}$$
$$= \frac{1}{4}\log\left(\frac{1+2x}{1-2x}\right) + c$$

(98)
$$\int \frac{dx}{(x+2)^2-4} = \int \frac{dx}{(x+2)^2-2^2}$$
$$= \frac{1}{2.(2)}\log\left(\frac{(x+2)-2}{(x+2)+2}\right)$$
$$= \frac{1}{4}\log\left(\frac{x}{x+4}\right) + c$$

(99)
$$\int \frac{1}{(2x+1)^2-9}\,dx = \int \frac{1}{(2x+1)^2-3^2}\,dx$$
$$= \left[\frac{1}{2.(3)}\log\left(\frac{(2x+1)-3}{(2x+1)+3}\right)\right] \times \frac{1}{2}$$
$$= \frac{1}{12}\log\left(\frac{2x-2}{2x+4}\right)$$
$$= \frac{1}{12}\log\left(\frac{x+1}{x+2}\right) + c$$

(100)
$$\int \frac{1}{\sqrt{25-x^2}}\,dx = \int \frac{1}{\sqrt{5^2-x^2}}\,dx$$
$$= \sin^{-1}\frac{x}{5} + c$$

(101)
$$\int \frac{1}{\sqrt{1-\frac{x^2}{16}}}\,dx = \int \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{x}{4}\right)^2}}\,dx$$
$$= \left[\sin^{-1}\left(\frac{x}{4}\right)\right] \cdot \frac{1}{1/4}$$
$$= 4\sin^{-1}\left(\frac{x}{4}\right) + c$$

(102) $$\int \frac{1}{\sqrt{1-16x^2}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{1-(4x)^2}}\, dx$$

$$= \left[\sin^{-1}(4x)\right] \frac{1}{4}$$

$$= \frac{1}{4} \sin^{-1}(4x) + c$$

(103) $$\int \frac{1}{\sqrt{x^2-9}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{x^2-3^2}}\, dx$$

$$= \log\left(x + \sqrt{x^2-9}\right) + c$$

(104) $$\int \frac{1}{\sqrt{4x^2-25}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{(2x)^2-5^2}}\, dx$$

$$= \log\left[2x + \sqrt{(2x)^2-5^2}\right] \times \frac{1}{2} + c$$

$$= \frac{1}{2} \log\left[2x + \sqrt{4x^2-25}\right] + c$$

(105) $$\int \frac{1}{\sqrt{9x^2+16}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{(3x)^2+4^2}}\, dx$$

$$= \log\left[3x + \sqrt{(3x)^2+4^2}\right] \times \frac{1}{3} + c$$

$$= \frac{1}{3} \log\left[3x + \sqrt{9x^2+16}\right] + c$$

வகை 2 : $\int \frac{dx}{ax^2+bx+c}$, $\int \frac{dx}{\sqrt{ax^2+bx+c}}$

இவ்வடிவிலுள்ள தொகைகளை கணக்கிட முதலில் $(ax^2 + bx + c)$-ஐ இரு வர்க்கங்களின் கூடுதலாக கீழ்க்காணுமாறு பிரித்தெழுதி வகை1-ன் ஏதேனும் ஒரு சிறப்பான அமைப்பிற்கு கொண்டு வந்து தொகைக் காணலாம்.

$(ax^2 + bx + c)$-ஐ இருவர்க்கங்களின் கூடுதலாக பிரித்தெழுத முதலில் x^2-இன் குணகம் aவை பொது காரணியாக வெளியில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். பின் x-ன் குணகத்தை இரண்டால் வகுத்து அதன் வர்க்கத்தினை கூட்டியும் கழித்தும் இரு வர்க்கங்களின் கூடுதலாக பின்வருமாறு எழுதலாம்.

i.e. $$ax^2 + bx + c = a\left[x^2 + \frac{b}{a}x + \frac{c}{a}\right]$$
$$= a\left[\left(x + \frac{b}{2a}\right)^2 + \frac{c}{a} - \left(\frac{b}{2a}\right)^2\right]$$

அல்லது நேரடியாக கீழ்க்காணும் வாய்ப்பாட்டினை பயன்படுத்தலாம்.

$$\boxed{ax^2 + bx + c = \frac{1}{4a}\left[(2ax + b)^2 + (4ac - b^2)\right]}$$

எ.கா. 9.106 – 9.113: தொகைக் காண்க

(106) $\dfrac{1}{x^2 + 5x + 7}$ (107) $\dfrac{1}{x^2 - 7x + 5}$ (108) $\dfrac{1}{\sqrt{x^2 + 16x + 100}}$

(109) $\dfrac{1}{\sqrt{9 + 8x - x^2}}$ (110) $\dfrac{1}{\sqrt{6 - x - x^2}}$ (111) $\dfrac{1}{3x^2 + 13x - 10}$

(112) $\dfrac{1}{2x^2 + 7x + 13}$ (113) $\dfrac{1}{\sqrt{18 - 5x - 2x^2}}$

தீர்வு :

(106) $$\int \frac{1}{x^2 + 5x + 7}\,dx = \int \frac{1}{\left(x + \frac{5}{2}\right)^2 + 7 - \left(\frac{5}{2}\right)^2}\,dx = \int \frac{1}{\left(x + \frac{5}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}}\,dx$$

$$= \int \frac{1}{\left(x + \frac{5}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2}\,dx = \frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{2}} \tan^{-1}\left(\frac{x + \frac{5}{2}}{\frac{\sqrt{3}}{2}}\right) + c$$

$$\int \frac{1}{x^2 + 5x + 7}\,dx = \frac{2}{\sqrt{3}} \tan^{-1}\left(\frac{2x + 5}{\sqrt{3}}\right) + c$$

(107) $$\int \frac{1}{x^2 - 7x + 5}\,dx = \int \frac{1}{\left(x - \frac{7}{2}\right)^2 + 5 - \left(\frac{7}{2}\right)^2}\,dx = \int \frac{1}{\left(x - \frac{7}{2}\right)^2 - \left(\frac{\sqrt{29}}{2}\right)^2}\,dx$$

$$= \frac{1}{2.\frac{\sqrt{29}}{2}} \log\left(\frac{\left(x - \frac{7}{2}\right) - \frac{\sqrt{29}}{2}}{\left(x - \frac{7}{2}\right) + \frac{\sqrt{29}}{2}}\right) + c$$

$$\int \frac{1}{x^2 - 7x + 5}\,dx = \frac{1}{\sqrt{29}} \log\left(\frac{2x - 7 - \sqrt{29}}{2x - 7 + \sqrt{29}}\right) + c$$

(108) $$\int \frac{1}{\sqrt{x^2 + 16x + 100}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{(x+8)^2 + 100 - (8)^2}}\, dx$$

$$= \int \frac{1}{\sqrt{(x+8)^2 + 6^2}}\, dx$$

$$= \log\left[(x+8) + \sqrt{(x+8)^2 + 6^2}\right] + c$$

$$= \log\left((x+8) + \sqrt{x^2 + 16x + 100}\right) + c$$

(109) $$\int \frac{1}{\sqrt{9 + 8x - x^2}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{9 - (x^2 - 8x)}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{9 - \left\{(x-4)^2 - 4^2\right\}}}\, dx$$

$$= \int \frac{1}{\sqrt{9 + 16 - (x-4)^2}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{5^2 - (x-4)^2}}\, dx$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{9 + 8x - x^2}}\, dx = \sin^{-1}\frac{x-4}{5} + c$$

(110) $$\int \frac{1}{\sqrt{6 - x - x^2}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{6 - (x^2 + x)}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{6 - \left\{\left(x + \frac{1}{2}\right)^2 - \left(\frac{1}{2}\right)^2\right\}}}\, dx$$

$$= \int \frac{1}{\sqrt{\left(6 + \frac{1}{4}\right) - \left(x + \frac{1}{2}\right)^2}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{5}{2}\right)^2 - \left(x + \frac{1}{2}\right)^2}}$$

$$= \sin^{-1}\left(\frac{x + \frac{1}{2}}{\frac{5}{2}}\right) + c = \sin^{-1}\left(\frac{2x+1}{5}\right) + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{6 - x - x^2}}\, dx = \sin^{-1}\left(\frac{2x+1}{5}\right) + c$$

111 முதல் 113 வரை உள்ள எடுத்துக்காட்டுகளில்

$ax^2 + bx + c = \frac{1}{4a}\left[(2ax+b)^2 + (4ac - b^2)\right]$ என்ற நேரடி வாய்ப்பாடு பயன்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

(111) $\displaystyle\int \frac{1}{3x^2 + 13x - 10}\, dx = \int \frac{4 \times 3}{(2 \times 3x + 13)^2 - 4 \times 3 \times 10 - 13^2}\, dx$

$$= \int \frac{12}{(6x + 13)^2 - 289}\, dx = 12 \int \frac{1}{(6x + 13)^2 - 17^2}\, dx$$

$$= 12 \times \frac{1}{2 \times 17} \left[\log \left(\frac{6x + 13 - 17}{6x + 13 + 17} \right) \right] \times \left(\frac{1}{6} \right) + c \qquad (6 \text{ - } x\text{ன் குணகம்})$$

$$= \frac{1}{17} \log \left(\frac{6x - 4}{6x + 30} \right) + c = \frac{1}{17} \log \left(\frac{3x - 2}{3x + 15} \right) + c$$

$$\int \frac{1}{3x^2 + 13x - 10}\, dx = \frac{1}{17} \log \left(\frac{3x - 2}{3x + 15} \right) + c$$

(112) $\displaystyle\int \frac{1}{2x^2 + 7x + 13}\, dx = \int \frac{4 \times 2}{(4x+7)^2 + 104 - 49}\, dx = 8 \int \frac{1}{(4x+7)^2 + \sqrt{55}^2}\, dx$

$$= 8 . \frac{1}{\sqrt{55}} \times \tan^{-1} \left(\frac{4x + 7}{\sqrt{55}} \right) \times \left(\frac{1}{4} \right) \qquad (4 \text{ - } x\text{ன் குணகம்})$$

$$\int \frac{1}{2x^2 + 7x + 13}\, dx = \frac{2}{\sqrt{55}} \tan^{-1} \left(\frac{4x + 7}{\sqrt{55}} \right) + c$$

(113) $\displaystyle\int \frac{1}{\sqrt{18 - 5x - 2x^2}}\, dx = \int \frac{1}{\sqrt{-\left\{2x^2 + 5x - 18\right\}}}\, dx$

(கழித்தல் குறியினை வர்க்கமூல குறிக்கு வெளியே எடுக்கக் கூடாது)

$$= \int \frac{\sqrt{4 \times 2}}{\sqrt{-\left\{(4x + 5)^2 - 18 \times 8 - 5^2\right\}}}\, dx$$

$$= \int \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{13^2 - (4x + 5)^2}}\, dx$$

$$= 2\sqrt{2} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{4x + 5}{13} \right) \right\} \times \left(\frac{1}{4} \right) + c$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \sin^{-1} \left(\frac{4x + 5}{13} \right) + c$$

$$\therefore \quad \int \frac{1}{\sqrt{18 - 5x - 2x^2}}\, dx = \frac{1}{\sqrt{2}} \sin^{-1} \left(\frac{4x + 5}{13} \right) + c$$

வகை 3 : $\int \frac{px+q}{ax^2+bx+c}\,dx$, $\int \frac{px+q}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx$ **என்ற வடிவிலுள்ள தொகைகளைக் காணல்**

தொகுதி $px + q$-ஐ பகுதியின் வகைக்கெழுவின் மடங்கு மற்றும் ஒரு மாறிலியைக் கொண்டதாகப் பிரித்து தொகைக் காணும் வடிவில் எழுதி எளிதில் தொகை காணலாம்.

அதாவது

$$(px+q) = A\frac{d}{dx}(ax^2+bx+c) + B$$ *என எடுத்துக் கொண்டால்*

i.e. $(px+q) = A(2ax+b) + B$ *ஆகும்.*

இட, வலப்பக்கங்களிலுள்ள x-ன் குணகங்களையும் மாறிலிகளையும் தனித்தனியே சமப்படுத்தி A, B-ன் மதிப்புகளை காணலாம்.

(i) $$\int \frac{px+q}{ax^2+bx+c} = \int \frac{A(2ax+b)+B}{ax^2+bx+c}\,dx$$

$$= A\int\left(\frac{2ax+b}{ax^2+bx+c}\right)dx + B\int \frac{1}{ax^2+bx+c}\,dx$$

$$\left(\because \int \frac{f'(x)}{f(x)}\,dx = \log f(x) \Rightarrow \int\left(\frac{2ax+b}{ax^2+bx+c}\right)dx = [\log(ax^2+bx+c)]\right)$$

$$\boxed{\therefore \int \frac{px+q}{ax^2+bx+c}\,dx = A\,[\log(ax^2+bx+c)] + B\int \frac{1}{ax^2+bx+c}\,dx}$$

(ii) $$\int \frac{px+q}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx = A\int \frac{(2ax+b)}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx + B\int \frac{1}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx$$

$$\left(\int \frac{f'(x)}{\sqrt{f(x)}}\,dx = 2\sqrt{f(x)} \Rightarrow \int \frac{(2ax+b)}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx = 2\sqrt{ax^2+bx+c}\right)$$

$$\boxed{\int \frac{px+q}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx = A\left(2\sqrt{ax^2+bx+c}\right) + B\int \frac{1}{\sqrt{ax^2+bx+c}}\,dx}$$

எ.கா. 114: *தொகைக் காண்க :*

(114) $\frac{4x-3}{x^2+3x+8}$ (115) $\frac{3x+2}{x^2+x+1}$ (116) $\frac{5x-2}{x^2-x-2}$

(117) $\dfrac{3x+1}{\sqrt{2x^2+x+3}}$ (118) $\dfrac{x+1}{\sqrt{8+x-x^2}}$ (119) $\dfrac{4x-3}{\sqrt{x^2+2x-1}}$

தீர்வு :

(114) $\displaystyle\int \frac{4x-3}{x^2+3x+8}\,dx$

$$4x-3 = A\frac{d}{dx}(x^2+3x+8) + B \text{ என்க.}$$

$$4x-3 = A(2x+3)+B \qquad \ldots \text{(i)}$$

மாற்றி அமைக்க $\quad 4x-3 = (2A)\,x + (3A+B)$

குணகங்களை சமப்படுத்த, $\quad 2A = 4 \quad \Rightarrow \quad A = 2$

$$3A + B = -3 \quad \Rightarrow \quad B = -3-3A = -9$$

$\therefore$ (i) $\Rightarrow$

$$(4x-3) = 2(2x+3)+(-9)$$

$$\therefore \int \frac{4x-3}{x^2+3x+8}\,dx = \int \frac{2(2x+3)+(-9)}{x^2+3x+8}\,dx$$

$$= 2\int \frac{(2x+3)}{x^2+3x+8}\,dx - 9\int \frac{dx}{x^2+3x+8}$$

$$\int \frac{4x-3}{x^2+3x+8}\,dx = 2I_1 - 9I_2 \qquad \ldots (1)$$

இங்கு $\quad I_1 = \displaystyle\int \frac{(2x+3)}{x^2+3x+8}\,dx$ மற்றும் $I_2 = \displaystyle\int \frac{dx}{x^2+3x+8}\,dx$

$$I_1 = \int \frac{(2x+3)}{x^2+3x+8}\,dx$$

$x^2+3x-18 = u$ எனில் $(2x+3)dx = du$

$$\therefore \quad I_1 = \int \frac{du}{u} = \log(x^2+3x+8) \qquad \ldots (2)$$

$$I_2 = \int \frac{dx}{x^2+3x+8} = \int \frac{4(1)}{(2x+3)^2+4\times 8-3^2}\,dx$$

$$= \int \frac{4}{(2x+3)^2+\left(\sqrt{23}\right)^2}\,dx = 4\times\frac{1}{\sqrt{23}}\times\frac{1}{2}\tan^{-1}\frac{2x+3}{\sqrt{23}}$$

$$I_2 = \frac{2}{\sqrt{23}} \tan^{-1} \frac{2x+3}{\sqrt{23}} \qquad \ldots (3)$$

(2), (3)-ஐ (1)-ல் பிரதியிட,

$$\therefore \qquad \int \frac{4x-3}{x^2+3x+8}\, dx = 2 \log (x^2+3x+8) - \frac{18}{\sqrt{23}} \tan^{-1} \frac{2x+3}{\sqrt{23}}$$

(115) $\displaystyle\int \frac{3x+2}{x^2+x+1}\, dx$

$$3x + 2 = A \frac{d}{dx} (x^2 + x + 1) + B \quad \text{என்க,}$$

$$(3x + 12) = \quad A(2x + 1) + B \qquad \ldots (1)$$

i.e. $\quad 3x + 2 = (2A)x + (A + B)$

ஒத்த உறுப்புகளைச் சமப்படுத்த

$$2A = 3 \quad ; \quad A + B = 2$$

$$\therefore A = \frac{3}{2} \quad ; \quad \frac{3}{2} + B = 2 \qquad \Rightarrow B = 2 - \frac{3}{2} = \frac{1}{2}$$

$A = \frac{3}{2}$ and $B = \frac{1}{2}$ in (1) எனப் பிரதியிட,

$$\therefore (3x + 2) = \frac{3}{2} (2x + 1) + \left(\frac{1}{2}\right)$$

$$\therefore \int \frac{3x+2}{x^2+x+1}\, dx = \int \frac{\frac{3}{2}(2x+1) + \left(\frac{1}{2}\right)}{x^2+x+1}\, dx$$

$$= \frac{3}{2} \int \frac{2x+1}{x^2+x+1}\, dx + \frac{1}{2} \int \frac{1}{x^2+x+1}\, dx$$

$$\therefore \int \frac{3x+2}{x^2+x+1}\, dx = \frac{3}{2} \left\{\log (x^2+x+1)\right\} + I \quad \ldots (2)$$

இங்கு $\displaystyle I = \frac{1}{2} \int \frac{1}{x^2+x+1}\, dx = \frac{1}{2} \int \frac{4 \times 1}{(2x+1)^2 + 4 \times 1 \times 1 - 1^2}\, dx$

$$= 2 \int \frac{1}{(2x+1)^2 + (\sqrt{3})^2} = 2 \times \frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{1}{2}\right) \tan^{-1} \left(\frac{2x+1}{\sqrt{3}}\right)$$

$$I = \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1}\left(\frac{2x+1}{\sqrt{3}}\right)$$

மேலுள்ள I-ஐ (2)-ல் பிரதியிட,

$$\therefore \int \frac{3x+2}{x^2+x+1}\, dx = \frac{3}{2} \log (x^2+x+1) + \frac{1}{\sqrt{3}} \tan^{-1}\left(\frac{2x+1}{\sqrt{3}}\right) + c$$

(116) $\displaystyle\int \frac{5x-2}{x^2-x-2}\, dx$

$$5x - 2 = A \frac{d}{dx} (x^2 - x - 2) + B$$ என்க.

$$5x - 2 = A(2x-1) + B \qquad \ldots (1)$$

$$5x - 2 = (2A)x - A + B$$

ஒத்த உறுப்புகளைச் சமப்படுத்த,

$$2A = 5 \;;\; -A + B = -2$$

$$\therefore A = \frac{5}{2} \;;\; -\frac{5}{2} + B = -2 \Rightarrow B = -2 + \frac{5}{2} = \frac{1}{2}$$

$A = \frac{5}{2}$ and $B = \frac{1}{2}$ என (1)-ல் பிரதியிட,

$$(5x-2) = \frac{5}{2}(2x-1) + \frac{1}{2}$$

$$\therefore \int \frac{5x-2}{x^2-x-2}\, dx = \int \frac{\frac{5}{2}(2x-1) + \left(\frac{1}{2}\right)}{x^2-x-2}\, dx$$

$$= \frac{5}{2} \int \frac{2x-1}{x^2-x-2}\, dx + \frac{1}{2} \int \frac{1}{x^2-x-2}\, dx$$

$$\therefore \int \frac{5x-2}{x^2-x-2}\, dx = \frac{5}{2} \left\{\log (x^2-x-2)\right\} + I \ldots (2)$$

இங்கு $$I = \frac{1}{2} \int \frac{1}{x^2-x-2}\, dx = \frac{1}{2} \int \frac{4 \times 1}{(2x-1)^2 - 8 - 1}\, dx$$

$$= \frac{1}{2} \int \frac{4}{(2x-1)^2 - 3^2} = \frac{4}{2} \times \frac{1}{2 \times 3} \frac{1}{2} \log\left[\frac{2x-1-3}{2x-1+3}\right]$$

$$I = \frac{1}{3 \times 2} \log\left[\frac{2x-4}{2x+2}\right] = \frac{1}{6} \log\left(\frac{x-2}{x+1}\right)$$

I-ஐ (2)-ல் பிரதியிட,

$$\int \frac{5x-2}{x^2-x-2}\,dx = \frac{5}{2}\log(x^2-x-2) + \frac{1}{6}\log\left(\frac{x-2}{x+1}\right) + c$$

குறிப்பு : பகுதிப் பின்னங்களாக பிரித்து தொகைக் காண்க.

(117) $\displaystyle\int \frac{3x+1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx$

$$3x+1 = A\frac{d}{dx}(2x^2+x+3) + B \text{ என்க.}$$

$$3x+1 = A(4x+1) + B \qquad \ldots (1)$$

$$3x+1 = 4Ax + A + B$$

ஒத்த உறுப்புகளைச் சமப்படுத்த,

$$4A = 3 \;;\; A + B = 1$$

$$\therefore A = \frac{3}{4} \qquad B = 1 - A = 1 - \frac{3}{4} = \frac{1}{4}$$

(i)-ன் படி $\Rightarrow \therefore 3x+1 = \frac{3}{4}(4x+1) + \frac{1}{4}$

$$\therefore \int \frac{3x+1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx = \int \frac{\frac{3}{4}(4x+1)+\frac{1}{4}}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx$$

$$= \frac{3}{4}\int \frac{4x+1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx + \frac{1}{4}\int \frac{1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx$$

$$\therefore \int \frac{3x+1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx = \frac{3}{4}\left\{2\sqrt{2x^2+x+3}\right\} + \mathbf{I} \ldots (2) \quad \left(\because \int \frac{f'(x)}{\sqrt{f(x)}}\,dx = 2\sqrt{f(x)}\right)$$

இங்கு

$$\mathbf{I} = \frac{1}{4}\int \frac{1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx$$

$$= \frac{1}{4}\int \frac{\sqrt{4.2}}{\sqrt{(4x+1)^2+24-1}}\,dx$$

$$= \frac{1}{\sqrt{2}}\int \frac{1}{\sqrt{(4x+1)^2+\left(\sqrt{23}\right)^2}}\,dx$$

$$\mathbf{I} = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\log(4x+1) + \sqrt{(4x+1)^2+23}\right] \times \frac{1}{4}$$

(2)-ல் பிரதியிட,

$$\int \frac{3x+1}{\sqrt{2x^2+x+3}}\,dx = \frac{3}{2}\sqrt{2x^2+x+3} + \frac{1}{4\sqrt{2}}\left\{\log(4x+1)+\sqrt{(4x+1)^2+23}\right\} + c$$

(118) $\displaystyle\int \frac{x+1}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx$

$$x+1 = A\frac{d}{dx}(8+x-x^2) + B \quad \text{என்க.}$$

$$x+1 = A(1-2x) + B \qquad \ldots (1)$$

$$= (-2A)x + A + B$$

ஒத்த உறுப்புகளைச் சமப்படுத்த,

$$-2A = 1 \;; \qquad A + B = 1$$

$$\therefore A = -\frac{1}{2} \qquad B = 1 - A = 1 - \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$$

$A = -\frac{1}{2}$ மற்றும் $B = \frac{3}{2}$ எனப் பிரதியிட,

(1)-ன் படி $\quad x+1 = -\frac{1}{2}(1-2x) + \frac{3}{2}$

$$\therefore \int \frac{x+1}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx = \int \frac{-\frac{1}{2}(1-2x)+\frac{3}{2}}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx$$

$$= -\frac{1}{2}\int \frac{(1-2x)}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx + \frac{3}{2}\int \frac{1}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx$$

$$\therefore \int \frac{x+1}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx = -\frac{1}{2}\left\{2\sqrt{8+x-x^2}\right\} + \mathbf{I} \ldots (2)$$

இங்கு $\quad \mathbf{I} = \frac{3}{2}\displaystyle\int \frac{1}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx$

$$= \frac{3}{2}\int \frac{1}{\sqrt{-\{x^2-x-8\}}}\,dx$$

$$= \frac{3}{2}\int \frac{\sqrt{4\times 1}}{\sqrt{-\{(2x-1)^2-32-1\}}}\,dx$$

$$= \frac{3}{2}\int \frac{2}{\sqrt{(\sqrt{33})^2-(2x-1)^2}}\,dx$$

$$= 3\left[\left(\frac{1}{2}\right)\sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{\sqrt{33}}\right)\right]$$

$$\mathbf{I} = \frac{3}{2}\ \sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{\sqrt{33}}\right)$$

(2)-ல் பிரதியிட,

$$\int\frac{x+1}{\sqrt{8+x-x^2}}\,dx = -\sqrt{8+x-x^2}\ +\frac{3}{2}\ \sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{\sqrt{33}}\right)\ + c$$

(119) $\displaystyle\int\frac{4x-3}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx$

$$4x-1 = \mathrm{A}(2x+2)+\mathrm{B} \quad \text{என்க.} \qquad \ldots (1)$$

$$4x-3 = (2\mathrm{A})x+2\mathrm{A}+\mathrm{B}$$

ஒத்த உறுப்புகளைச் சமப்படுத்த,

$$4 = 2\mathrm{A}\ ; \qquad 2\mathrm{A}+\mathrm{B}$$

$$\therefore\ \mathrm{A} = 2, \qquad \mathrm{B} = -3-2\mathrm{A} = -3-4 = -7$$

$\mathrm{A} = 2$ மற்றும் $\mathrm{B} = -7$ என (1)-ல் பிரதியிட,

$$4x-3 = 2(2x+2)-7$$

$$\therefore\ \int\frac{4x-3}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx = \int\frac{2(2x+2)-7}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx$$

$$= 2\int\frac{2x+2}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx+(-7)\int\frac{1}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx$$

$$\therefore\ \int\frac{4x-3}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx = 2\left\{2\sqrt{x^2+2x-1}\right\}+\ \mathbf{I} \qquad \ldots (2)$$

இங்கு

$$\mathbf{I} = -7\int\frac{1}{\sqrt{x^2+2x-1}}\ dx = -7\frac{dx}{\sqrt{(x+1)^2-1-1}}$$

$$= -7 \qquad \int\frac{dx}{\sqrt{(x+1)^2-\left(\sqrt{2}\right)^2}}$$

$$= -7\log\ \left\{(x+1)+\sqrt{(x+1)-\left(\sqrt{2}^2\right)}\right\}$$

$$\mathbf{I} = -7\log\left\{(x+1)+\sqrt{x^2+2x-1}\right\}$$

(2)-ல் பிரதியிட,

$$\int \frac{4x-3}{\sqrt{x^2+2x-1}}\,dx = 4\sqrt{x^2+2x-1} - 7\log\left\{(x+1)+\sqrt{x^2+2x-1}\right\} + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{a^2-x^2}}\,dx = \sin^{-1}\frac{x}{a} + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{x^2-a^2}}\,dx = \log\left[x+\sqrt{x^2-a^2}\right] + c$$

$$\int \frac{1}{\sqrt{x^2+a^2}}\,dx = \log\left[x+\sqrt{x^2+a^2}\right] + c$$

ஆகியவற்றினை முன்பே கண்டோம். அதே வகையில் அமைந்துள்ள கீழுள்ள மூன்று வாய்பாட்டினைக் காண்க.

வகை IV:

$$\textbf{(120)} \int \sqrt{a^2-x^2}\,dx = \frac{x}{2}\sqrt{a^2-x^2} + \frac{a^2}{2}\sin^{-1}\frac{x}{a} + c$$

$$\textbf{(121)} \int \sqrt{x^2-a^2}\,dx = \frac{x}{2}\sqrt{x^2-a^2} - \frac{a^2}{2}\log\left[x+\sqrt{x^2-a^2}\right] + c$$

$$\textbf{(122)} \int \sqrt{x^2+a^2}\,dx = \frac{x}{2}\sqrt{x^2+a^2} + \frac{a^2}{2}\log\left[x+\sqrt{x^2+a^2}\right] + c$$

(120) $\mathbf{I} = \int \sqrt{a^2-x^2}\,dx$ என்க.

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த $\qquad dv = dx$

$$\mathbf{I} = x\sqrt{a^2-x^2} - \int x\left(-\frac{x}{\sqrt{a^2-x^2}}\right)dx \qquad u = \sqrt{a^2-x^2} \qquad v = x$$

$$du = \frac{-2x}{2\sqrt{a^2-x^2}}\,dx$$

$$= x\sqrt{a^2-x^2} - \int \frac{-x^2}{\sqrt{a^2-x^2}}\,dx$$

$$= x\sqrt{a^2-x^2} - \int \frac{a^2-x^2-a^2}{\sqrt{a^2-x^2}}\,dx$$

$$= x\sqrt{a^2 - x^2} - \int \left(\frac{a^2 - x^2}{\sqrt{a^2 - x^2}} + \frac{(-a^2)}{\sqrt{a^2 - x^2}} \right) dx$$

$$= x\sqrt{a^2 - x^2} - \int \sqrt{a^2 - x^2}\ dx + \int \frac{a^2}{\sqrt{a^2 - x^2}}\ dx$$

$$\mathbf{I} = x\sqrt{a^2 - x^2} - \mathbf{I} + a^2 \int \frac{1}{\sqrt{a^2 - x^2}}\ dx$$

$$\mathbf{I} + \mathbf{I} = x\sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \,.\, \sin^{-1}\frac{x}{a}$$

$$\therefore\ 2\mathbf{I} = x\sqrt{a^2 - x^2} + a^2 \sin^{-1}\frac{x}{a}$$

$$\mathbf{I} = \frac{x}{2}\sqrt{a^2 - x^2} + \frac{a^2}{2}\sin^{-1}\frac{x}{a} + c$$

$$\boxed{\therefore \int \sqrt{a^2 - x^2}\ dx = \frac{x}{2}\sqrt{a^2 - x^2} + \frac{a^2}{2}\sin^{-1}\frac{x}{a} + c}$$

(121) Let $\mathbf{I} = \int \sqrt{x^2 - a^2}\, dx$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த $u = \sqrt{x^2 - a^2}$ $dv = dx$

$$\mathbf{I} = x\sqrt{x^2 - a^2} - \int x\left(\frac{x}{\sqrt{x^2 - a^2}}\right) dx \qquad du = \frac{2x}{2\sqrt{x^2 - a^2}}\ dx \quad v = x$$

$$= x\sqrt{x^2 - a^2} - \int \frac{x^2 - a^2 + a^2}{\sqrt{x^2 - a^2}}\ dx$$

$$= x\sqrt{x^2 - a^2} - \int \frac{x^2 - a^2}{\sqrt{x^2 - a^2}}\ dx - \int \frac{a^2}{\sqrt{x^2 - a^2}}\ dx$$

$$= x\sqrt{x^2 - a^2} - \int \sqrt{x^2 - a^2}\, dx - a^2 \int \frac{1}{\sqrt{x^2 - a^2}}\ dx$$

$$\mathrm{I} = x\sqrt{x^2 - a^2} - \mathrm{I} - a^2 \log\left[x + \sqrt{x^2 - a^2}\right]$$

$$\therefore\ 2\mathrm{I} = x\sqrt{x^2 - a^2} - a^2 \log\left[x + \sqrt{x^2 - a^2}\right]$$

$$\therefore\ \mathrm{I} = \frac{x}{2}\sqrt{x^2 - a^2} - \frac{a^2}{2}\log\left[x + \sqrt{x^2 - a^2}\right] + c$$

$$\boxed{\therefore \int \sqrt{x^2 - a^2}\ dx = \frac{x}{2}\sqrt{x^2 - a^2} - \frac{a^2}{2}\log\left[x + \sqrt{x^2 - a^2}\right] + c}$$

(122) Let $\mathbf{I} = \int \sqrt{x^2 + a^2}\, dx$

பகுதித் தொகையிடலின் சூத்திரத்தைப் பயன்படுத்த $u = \sqrt{x^2 + a^2}$ $dv = dx$

$$\therefore\ \mathbf{I} = x\sqrt{x^2 + a^2} - \int\left(\frac{x^2}{\sqrt{x^2 + a^2}}\right) dx \qquad du = \frac{2x}{2\sqrt{x^2 + a^2}}\, dx \quad v = x$$

$$= x\sqrt{x^2 + a^2} - \int \frac{x^2 + a^2 - a^2}{\sqrt{x^2 + a^2}}\, dx$$

$$= x\sqrt{x^2 + a^2} - \int \frac{x^2 + a^2}{\sqrt{x^2 + a^2}}\, dx + \int \frac{a^2}{\sqrt{x^2 + a^2}}\, dx$$

$$= x\sqrt{x^2 + a^2} - \int \sqrt{x^2 + a^2}\, dx + a^2 \int \frac{1}{\sqrt{x^2 + a^2}}\, dx$$

$$\mathbf{I} = x\sqrt{x^2 + a^2} - \mathbf{I} + a^2 \log\left[x + \sqrt{x^2 + a^2}\right] + c$$

$$\therefore\ 2\mathbf{I} = x\sqrt{x^2 + a^2} + a^2 \log\left[x + \sqrt{x^2 + a^2}\right] + c$$

$$\therefore\ \mathbf{I} = \frac{x}{2}\sqrt{x^2 + a^2} + \frac{a^2}{2}\log\left[x + \sqrt{x^2 + a^2}\right] + c$$

$$\boxed{\therefore \int \sqrt{x^2 + a^2}\ dx = \frac{x}{2}\sqrt{x^2 + a^2} + \frac{a^2}{2}\log\left[x + \sqrt{x^2 + a^2}\right] + c}$$

எ.கா.: 9.123 – 9.131: தொகைக் காண்க :

(123) $\sqrt{4 - 9x^2}$ (124) $\sqrt{16x^2 - 25}$ (125) $\sqrt{9x^2 + 16}$ (126) $\sqrt{2x - x^2}$

(127) $\sqrt{x^2 - 4x + 6}$ (128) $\sqrt{x^2 + 4x + 1}$ (129) $\sqrt{4 + 8x - 5x^2}$

(130) $\sqrt{(2 - x)(1 + x)}$ (131) $\sqrt{(x + 1)(x - 2)}$

தீர்வு :

(123) $\sqrt{4 - 9x^2}\ dx = \int\sqrt{2^2 - (3x)^2}dx = \frac{1}{3}\left[\frac{(3x)}{2}\sqrt{2^2 - (3x)^2} + \frac{2^2}{2}\sin^{-1}\frac{3x}{2}\right] + c$

$$= \frac{1}{3}\left[\frac{3x}{2}\sqrt{4 - 9x^2} + 2\sin^{-1}\frac{3x}{2}\right] + c$$

(124) $\int\sqrt{16x^2 - 25}\ dx = \int\sqrt{(4x)^2 - 5^2}\ dx$

$$= \frac{1}{4}\left[\frac{(4x)}{2}\sqrt{(4x)^2 - 5^2} - \frac{25}{2}\log\left[4x + \sqrt{(4x)^2 - 5^2}\right]\right]$$

$$= \frac{1}{8}\left[4x\sqrt{16x^2 - 25} - 25\log\left(4x + \sqrt{16x^2 - 25}\right)\right] + c$$

(125) $\int\sqrt{9x^2 + 16}\ dx = \int\sqrt{(3x)^2 + 4^2}\ dx$

$$= \frac{1}{3}\left[\frac{(3x)}{2}\sqrt{(3x)^2 + 4^2} + \frac{4^2}{2}\log\left[3x + \sqrt{(3x)^2 + 4^2}\right]\right]$$

$$= \frac{1}{6}\left[3x\sqrt{9x^2 + 16} + 16\log\left(3x + \sqrt{9x^2 + 16}\right)\right] + c$$

(126) $\int\sqrt{2x - x^2}\ dx = \int\sqrt{1 - \{x^2 - 2x + 1\}}\ dx = \int\sqrt{1^2 - (x - 1)^2}\ dx$

$$= \frac{(x - 1)}{2}\sqrt{1 - (x - 1)^2} + \frac{1^2}{2}\sin^{-1}\left(\frac{x - 1}{1}\right) + c$$

$$= \frac{x - 1}{2}\sqrt{2x - x^2} + \frac{1}{2}\sin^{-1}(x - 1) + c$$

(127) $\int\sqrt{x^2 - 4x + 6}\ dx = \int\sqrt{x^2 - 4x + 4 + 2}\ dx = \int\sqrt{(x - 2)^2 + \left(\sqrt{2}^2\right)}\ dx$

$$= \frac{(x - 2)}{2}\sqrt{(x-2)^2 + \left(\sqrt{2}\right)^2} + \frac{\left(\sqrt{2}\right)^2}{2}\log\left[(x - 2) + \sqrt{(x - 2)^2 + \left(\sqrt{2}\right)^2}\right] + c$$

$$= \frac{(x-2)}{2}\sqrt{x^2-4x+6} + \log\left[(x-2)+\sqrt{x^2-4x+6}\right] + c$$

(128) $\int \sqrt{x^2+4x+1}\, dx = \int \sqrt{(x+2)^2-(\sqrt{3})^2}\, dx$

$$= \frac{(x+2)}{2}\sqrt{(x+2)^2-(\sqrt{3})^2} - \frac{(\sqrt{3})^2}{2}\log\left[(x+2)+\sqrt{(x+2)^2-(\sqrt{3})^2}\right] + c$$

$$= \frac{(x+2)}{2}\sqrt{x^2+4x+1} - \frac{3}{2}\log\left[(x+2)+\sqrt{x^2+4x+1}\right] + c$$

(129) $\int \sqrt{4+8x-5x^2}\, dx = \int \sqrt{-\{5x^2-8x-4\}}\, dx$

$$\left(\because\ ax^2+bx+c = \frac{1}{4a}\ [(2ax+b)^2+(4ac-b^2])\right)$$

$$= \int \frac{1}{\sqrt{4\times 5}}\sqrt{-\{(10x-8)^2-80-64\}}\, dx$$

$$= \frac{1}{\sqrt{20}}\int \sqrt{12^2-(10x-8)^2}\, dx$$

$$= \frac{1}{\sqrt{20}}\left[\left(\frac{1}{10}\right)\left(\frac{10x-8}{2}\sqrt{12^2-(10x-8)^2}+\left(\frac{12^2}{2}\right)\sin^{-1}\frac{10x-8}{12}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{20}}\left[\frac{1}{10}(5x-4)\sqrt{80+16x-100x^2}+\frac{36}{5}\sin^{-1}\left(\frac{5x-4}{6}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{\sqrt{20}}\left[\left(\frac{5x-4}{10}\right)\sqrt{20}\sqrt{(4+8x-5x^2)}+\frac{36}{5}\sin^{-1}\frac{5x-4}{6}\right]$$

$$= \frac{5x-4}{10}\sqrt{4+8x-5x^2} + \frac{36}{\sqrt{20}\times 5}\sin^{-1}\frac{5x-4}{6}$$

$$\therefore \int \sqrt{4+8x-5x^2}\, dx = \frac{5x-4}{10}\sqrt{4+8x-5x^2} + \frac{18}{5\sqrt{5}}\sin^{-1}\frac{5x-4}{6} + c$$

(130) $\int \sqrt{(2-x)(1+x)}\, dx = \int \sqrt{2+x-x^2}\, dx = \int \sqrt{-(x^2-x-2)}\, dx$

$$= \int \frac{\sqrt{-\{(2x-1)^2-8-1\}}}{\sqrt{4.1}}\, dx = \frac{1}{2}\int \sqrt{3^2-(2x-1)^2}\, dx$$

$$= \frac{1}{2}\left[\frac{1}{2}\frac{(2x-1)}{2}\sqrt{3^2-(2x-1)^2}+\left(\frac{1}{2}\right)\frac{3^2}{2}\sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{3}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{8}\left[(2x-1)\sqrt{8+4x-4x^2}+9\sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{3}\right)\right]$$

$$= \frac{1}{8}\left[2(2x-1)\sqrt{2+x-x^2}+9\sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{3}\right)\right]$$

(131) $\int\sqrt{(x+1)(x-2)}\,dx = \int\sqrt{x^2-x-2}\;dx = \int\frac{\sqrt{(2x-1)^2-8-1}}{\sqrt{4}}\;dx$

$$= \frac{1}{2}\int\sqrt{(2x-1)^2-3^2}\;dx$$

$$= \frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{2x-1}{2}\right)\sqrt{(2x-1)^2-3^2}-\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{3^2}{2}\right)\log\left\{(2x-1)+\sqrt{(2x-1)^2-3^2}\right\}\right]$$

$$\int\sqrt{(x+1)(x-2)}dx = \frac{1}{2}\left[\frac{(2x-1)}{4}\sqrt{(2x-1)^2-9}-\frac{9}{4}\log\left\{(2x-1)+\sqrt{(2x-1)^2-9}\right\}\right]$$

பயிற்சி 9.7

தொகை காண்க.

(1) $\frac{1}{x^2+25}$, $\frac{1}{(x+2)^2+16}$, $\frac{1}{(3x+5)^2+4}$, $\frac{1}{2x^2+7x+13}$, $\frac{1}{9x^2+6x+10}$

(2) $\frac{1}{16-x^2}$, $\frac{1}{9-(3-x)^2}$, $\frac{1}{7-(4x+1)^2}$, $\frac{1}{1+x-x^2}$, $\frac{1}{5-6x-9x^2}$

(3) $\frac{1}{x^2-25}$, $\frac{1}{(2x+1)^2-16}$, $\frac{1}{(3x+5)^2-7}$, $\frac{1}{x^2+3x-3}$, $\frac{1}{3x^2-13x-10}$

(4) $\frac{1}{\sqrt{x^2+1}}$, $\frac{1}{\sqrt{(2x+5)^2+4}}$, $\frac{1}{\sqrt{(3x-5)^2+6}}$, $\frac{1}{\sqrt{x^2+3x+10}}$, $\frac{1}{\sqrt{x^2+5x+26}}$

(5) $\frac{1}{\sqrt{x^2-91}}$, $\frac{1}{\sqrt{(x+1)^2-15}}$, $\frac{1}{\sqrt{(2x+3)^2-16}}$, $\frac{1}{\sqrt{x^2+4x-12}}$, $\frac{1}{\sqrt{x^2+8x-20}}$

(6) $\frac{1}{\sqrt{4-x^2}}$, $\frac{1}{\sqrt{25-(x-1)^2}}$, $\frac{1}{\sqrt{11-(2x+3)^2}}$, $\frac{1}{\sqrt{1+x-x^2}}$, $\frac{1}{\sqrt{8-x-x^2}}$

(7) $\frac{3-2x}{x^2+x+1}$, $\frac{x-3}{x^2+21x+3}$, $\frac{2x-1}{2x^2+x+3}$, $\frac{1-x}{1-x-x^2}$, $\frac{4x+1}{x^2+3x+1}$

(8) $\frac{x+2}{\sqrt{6+x-2x^2}}$, $\frac{2x-3}{\sqrt{10-7x-x^2}}$, $\frac{3x+2}{\sqrt{3x^2+4x+7}}$, $\sqrt{\frac{1+x}{1-x}}$, $\frac{6x+7}{\sqrt{(x-4)(x-5)}}$

(9) $\sqrt{1+x^2}$, $\sqrt{(x+1)^2+4)}$, $\sqrt{(2x+1)^2+9}$, $\sqrt{(x^2-3x+10)}$

(10) $\sqrt{4-x^2}$, $\sqrt{25-(x+2)^2}$, $\sqrt{169-(3x+1)^2}$, $\sqrt{1-3x-x^2}$, $\sqrt{(2-x)(3+x)}$

9.4 வரையறுத்தத் தொகை :

பண்டைய கிரேக்கர்கள் தொகை நுண்கணிதத்தின் அடிப்படைக் கோட்பாடுகளை வடிவ இயலின் மூலமாக அறிந்திருந்தனர்.

கிரேக்க வடிவ கணித மேதை ஆர்க்கிமிடிஸ் வட்டத்தின் பரப்பளவைக் காண கீழ்க்காணும் முறையினை கையாண்டார். முதலில் கொடுக்கப்பட்ட வட்டத்தினுள் வட்டத்தை தொட்டுச் செல்லும் ஒழுங்கு பலகோண உருவத்தை வரைந்து அதன் தோராய மதிப்பை கண்டார். பின் அதன் பக்க அளவுகளை மேன்மேலும் குறைத்து, பக்கங்களின் எண்ணிக்கையை அதிகரித்து, இறுதியில் தோராய மதிப்பிலிருந்து சரியான மதிப்பினைக் காணும் முறையை கண்டறிந்தார்.

படம் 9.2

இதே போல் ஒரு ஒழுங்கற்ற உருவமுள்ள தளத்தின் பரப்பளவைக் காண அதனை சம அகலம் கொண்ட சிறுசிறு செவ்வக பட்டைகளாகப் பிரித்து அதன் கூட்டுத் தொகையினை தோராய பரப்பளவாகவும், பின்னர் அகலத்தின் அளவினை மேலும் மேலும் குறைத்து செவ்வகத்தின் எண்ணிக்கையை அதிகரித்து இறுதியில், இதன் கூட்டல்கள் எல்லைத் தொகையினை கொடுக்கப்பட்ட தளத்திற்கு சமமான பரப்பு எனக் கண்டறிந்தனர்.

பரப்பளவு, கன அளவு மற்றும் பல அளவைகளை மிகத் துல்லியமாக கணக்கிட முறையாகவும் எளிமையாகவும் வழிவகுப்பதே தொகை நுண் கணிதத்தின் தனிச்சிறப்பாகும்.

தொகையீட்டை ஒரு கூட்டுத்தொகையாக காணல் :

வரையறுக்கப்பட்ட தொகையீட்டைப் பற்றி தெளிவாக அறிந்து கொள்ள பின்வரும் எளிய நிலையை எடுத்துக் கொள்வோம்.

$y = f(x)$ என்பது $[a, b]$ என்ற மூடிய இடைவெளியில் வரையறுக்கப்பட்ட ஒரு தொடர்ச்சியாக அதிகரிக்கும் சார்பு என்க. மேலும் முடிவுள்ள மதிப்புகளை ஏற்கும் சார்பு என்க. இச்சார்பு $y = f(x)$ என்கிற தொடர்ச்சியான வளைவரை ஒன்றைக் குறிக்கும்.

படம் 9.3

இவ்வளைவரைக்கும் $x = a$, $x = b$, என்ற இரு குத்துக் கோடுகளுக்கும் xஅச்சுக்கும் இடைப்பட்ட பரப்பை R என்போம்.

மூடிய இடைவெளி $[a, b]$-ஐ n-உள் இடைவெளிகளாக பிரித்து, அவற்றின் மீது n செவ்வகப் பட்டைகளைக் கொண்ட பல பக்க வடிவத்தினை படத்தில் காட்டியபடி R-ல் வரையறுப்போம். ஒவ்வொரு செவ்வகப் பட்டையின் அகலமும் Δx என கொண்டால்

$$\therefore \Delta x = \frac{b-a}{n}$$ ஆக இருக்கும்.

$x_0, x_1, x_2 \ldots\ldots\ldots x_r \ldots\ldots x_n$ஐ நுண் இடைவெளிகளின் முனைப்புள்ளிகளாகக் கொள்வோம்.

இங்கு $x_0 = a$, $x_1 = a + \Delta x$, $x_2 = a + 2\Delta x$, …… $x_r = a + r\Delta x$, ……, $x_n = b$

படம் 9.4-ல் பலபக்க வடிவத்தின் பரப்பளவு n செவ்வகப் பட்டையின் பரப்பளவின் கூடுதலாகும்.

x-ன் நுண் இடைவெளியில் x-ன் இடப்பக்க மதிப்பினை எடுத்துக் கொள்வோம்.

படம் 9.4

$$S_n = A_1 + A_2 + \ldots\ldots + A_n$$
$$= f(x_0)\,\Delta x + f(x_1)\Delta x \ldots + f(x_{n-1})\,\Delta x$$
$$= [f(a) + f(a + \Delta x) + \ldots f(a + r\ \Delta x) \ldots + f(a + (n-1)\Delta x)]\,\Delta x$$

$$= \sum_{r=1}^{n} f\{a + (r-1)\,\Delta x\}.(\Delta x) \quad = \Delta x \sum_{r=1}^{n} f\{a + (r-1)\,\Delta x\}$$

$$S_n = \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f\{a + (r-1)\,\Delta x\} \qquad \left(\because \Delta x = \frac{b-a}{n}\right)$$

ஒவ்வொரு செவ்வகப் பட்டையின் அகலத்தையும் பாதியாக குறைத்து செவ்வகங்களின் எண்ணிக்கையை இரு மடங்காக அதிகரிக்கும்போது, பலபக்க வடிவத்தின் பரப்பளவு படம் 9.5-ல் காட்டியபடி அமைகிறது. படம் 9.4-ஐயும் 9.5-ஐயும் ஒப்பிடுகையில் பலபக்க வடிவத்தின் பரப்பளவு 9.4-ல் உள்ள பரப்பை விட 9.5-ல் உள்ள பரப்பு R-ன் பரப்புக்கு மிக நெருங்கி அமைவது அறிய முடிகிறது.

படம் 9.5

இவ்வாறாக பக்கங்களின் எண்ணிக்கை 'n'-ஐ உயர்த்திக் கொண்டே போனால் S_n-ன் மதிப்பு R-ஐ நெருங்குவதை உணரலாம்.

இறுதியில் $\underset{n \to \infty}{\text{Lt}} S_n = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f\{a + (r-1)\Delta x\} \to R$

இதேபோல், x-ன் மதிப்பினை நுண் இடைவெளிகளின் வலது மதிப்புகளை எடுத்துக் கொண்டால்

$$\underset{n \to \infty}{\text{Lt}} S_n = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f(a + r\Delta x) \to R$$

$$\text{i.e. } \boxed{R = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f(a + r\Delta x)} \quad - \mathbf{I}$$

வரையறை **:** $f(x)$ என்பது $[a, b]$ என்ற மூடிய இடைவெளியில் வரையறுக்கப்பட்டச் சார்பு எனில், $x = a$ முதல் $x = b$ வரைக்கும் வளைவரை $f(x)$-ன் வரையறுத்தத் தொகையினை கீழ்க்காண் எல்லை மதிப்பு இருப்பின்

$\boxed{\underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f(a + r\Delta x)}$, (இங்கு $\Delta x = \frac{b-a}{n}$) என வரையறுக்கலாம்

ஒருபுறம் வரையறுத்த தொகையினை மேற்காட்டியபடி கூடுதலின் எல்லை மதிப்பின் மூலம் காணலாம். மறுபுறம் வரையறுத்த தொகையினை வகையிடலின் எதிர்மறை முறையின் மூலமும் காணலாம் என்பதனை இப்போது காண்போம்.

***வகையிடலின் எதிர்மறை முறையில் அரங்கம்* R*-ன் பரப்பளவைக் காணல்* :**

மேற்கண்ட எடுத்துக்காட்டில் உள்ள R என்ற அதே அரங்கத்தின் பரப்பை இங்கு காண்போம். மேற்கூறியபடி R என்ற அரங்கம் $x = a$, $x = b$ என்ற குத்துக் கோடுகளுக்கும் $f(x)$ என்ற வளைவரைக்கும் x-அச்சுக்கும் இடைப்பட்டபரப்பாகும் (படம் 9.6)

படம் 9.6

P(x, y) என்பது $f(x)$-ன் மேலுள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளி என்க. இடமிருந்து P வரை x-அச்சுக்கும் வளைவரைக்கும் இடையே உள்ள பரப்பினை $\mathbf{A}_x$ என கொள்வோம். (படம் 9.7)

Q($x + \Delta x$, $y + \Delta y$ என்ற புள்ளி Pக்கு மிக அருகாமையில் $f(x)$-ன் மேலுள்ள மற்றொரு புள்ளி என்க.

PQ என்ற வில்லிற்கும் x- அச்சுக்கும் இடையே உள்ள பட்டையின் பரப்பினை $\Delta\mathbf{A}_x$ என எடுத்துக்கொள்வோம் (படம் 9.7)

நீளம் y ஆகவும் Δx-ஐ அகலமாகவும் கொண்ட செவ்வகப் பட்டையின் பரப்பு $y \,.\, \Delta x$.-ஐ ΔA_x-ன் தோராய மதிப்பாக எடுத்துக் கொள்வோம். P,Q இரு புள்ளிகளும் மிக அருகாமையில் உள்ள புள்ளிகளாதலால்

$$\Delta\mathbf{A}_x \approx y \,.\, \Delta x \qquad \therefore \quad \frac{\Delta\mathbf{A}_x}{\Delta x} \approx y$$

படம் 9.7

Δx-ன் மதிப்பினை குறைத்துக் கொண்டே போனால், வளைவரையின் பரப்பின் குறைபாடும் (Error) குறைந்து கொண்டே போகும்,

$\Delta x \to 0$ எனில் $\Delta\mathbf{A}_x \to 0$ ஆகும்.

$$\therefore \underset{\Delta x \to 0}{\mathrm{L}t} \frac{\Delta\mathbf{A}_x}{\Delta x} = y$$

$$\Rightarrow \quad \frac{d\mathbf{A}_x}{dx} = y$$

$\therefore$ வகையிடல் எதிர்மறையின் வரையறையின்படி

$$\frac{d\mathbf{A}_x}{dx} = y \;\Rightarrow\; \mathbf{A}_x = \int y dx$$

இடமிருந்து Pவரை, வளைவரை $f(x)$-க்கும் x-அச்சுவிற்கும் இடையே உள்ள பரப்பு $\mathbf{A}_x$ ஆனது வரையறுக்கப்படாத தொகை $\int y dx$ என கிடைக்கிறது.

$\int y dx = F(x) + c$ என்க.

$x = a$ எனில், இடமிருந்து $x = a$ என்ற குத்துக்கோடுவரை வளைவரையின் பரப்பு $\mathbf{A}_a$ ஆகும்.

$\int y dx = F(a) + c$ ஆகும்.

$x = b$ எனில், இடமிருந்து $x = b$ குத்துக்கோடுவரை வளைவரையின் பரப்பு $\mathbf{A}_b$ ஆகும். $\mathbf{A}_b$-ன் மதிப்பு

$\int y dx = F(b) + c$ ஆகும்.

$\therefore$ தேவைப்படும் R-ன் பரப்பு

$(\mathbf{A}_b - \mathbf{A}_a)$ ஆகும்.

அதாவது R-ன் பரப்பை

$$\underset{x = b \text{ வரை}}{\int y dx} - \underset{x = a \text{ வரை}}{\int y dx}$$

$$= (F(b) + c) - (F(a) + c)$$

குறியீட்டின் மூலம் $\int_a^b y dx = F(b) - F(a)$

என எழுதலாம்.

படம் 9.8

$x = a$, $x = b$ என்ற குத்துக் கோடுகளுக்கும் வளைவரை $f(x)$க்கும், x-அச்சுக்கும் இடையே உள்ள R-ன் பரப்பு

$$\boxed{\int_a^b f(x)\, dx = F(b) - F(a)} \quad - \text{II}$$ எனகிடைக்கப் பெற்றோம்.

***a* மற்றும் *b*ஐ வரையறுத்தத் தொகையிடலின் முறையே கீழ் எல்லைப் புள்ளி மற்றும் மேல் எல்லை என அழைக்கிறோம்.**

I, II-ல் இருந்து *(கீழ்க்கண்டவை எல்லை மதிப்பை அடைந்தால்)*

$$\boxed{R = \underset{n \to \infty}{Lt} \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f(a + r\Delta x) = \int_a^b f(x)\, dx = F(b) - F(a)} \ ,$$

என நிரூபணமாகிறது.

வரையறுத்தத் தொகையைக் காண கீழ் கொடுக்கப்பட்ட கூட்டல் வாய்ப்பாடு உதவும்.

(i) $$\sum_{r=1}^{n} r = \frac{n(n+1)}{2}$$

(ii) $$\sum_{r=1}^{n} r^2 = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6}$$

(iii) $$\sum_{r=1}^{n} r^3 = \left[\frac{n(n+1)}{2}\right]^2$$

(iv) $$\sum_{r=1}^{n} a^r = a\left(\frac{a^n - 1}{a - 1}\right) ; (a \neq 1)$$

எடுத்துக்காட்டு :

$y = 3x$ என்ற நேர்க்கோட்டிற்கும் x-அச்சுக்கும் $x = 2$, $x = 6$ ஆகிய குத்துக் கோட்டிற்கும் இடையே உள்ள R-ன் பரப்பைக் காண்போம். (படம் 9.9)

(1) *சரிவகம் ABCD-ன் பரப்பினை வடிவக் கணிதத்தின் சூத்திரத்தின் மூலம் காண*

படம் 9.9

$$R = \frac{h}{2}\,[a + b]$$

$$= \frac{4}{2}\,[6 + 18] = 2 \times 24$$

R = 48 சதுர அலகு … (i)

(2) தொகையீட்டை ஒரு கூட்டுத் தொகையாக காணல் பரப்பு ABCD-ஐ சம அகலமுள்ள n-செவ்வகப் பட்டைகளாக பிரிப்போம்.

இங்கு $a = 2$, $b = 6$

$\therefore$ ஒவ்வொரு பட்டையின் அகலம்

$$\Delta x = \frac{b-a}{n}$$

$$\text{i.e. } \Delta x = \frac{6-2}{n}$$

$$\Delta x = \frac{4}{n}$$

படம் 9.10

வரையறுத்தத் தொகையில் சூத்திரப்படி

$$R = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{b-a}{n} \sum_{r=1}^{n} f(a + r\,\Delta x)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{4}{n} \sum_{r=1}^{n} f\left(2 + r\left(\frac{4}{n}\right)\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{12}{n} \sum_{r=1}^{n} \left(2+\frac{4r}{n}\right) \;;\; \left[\because f(x) = 3x, f\left(2+r\frac{4}{n}\right)=3\left[2+r\left(\frac{4}{n}\right)\right]\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{12}{n}\left[\sum_{r=1}^{n} 2 + \frac{4}{n}\sum_{r=1}^{n} r\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{12}{n}\left[2n + \frac{4}{n}\frac{(n)\,(n+1)}{2}\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{12}{n}\,[2n + 2(n+1)]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \; 12\left[2 + 2\,\frac{(n+1)}{n}\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \; 12\left[2 + 2\left(1 + \frac{1}{n}\right)\right]$$

$= 12\,[2 + 2\,(1 + 0)]$ $\qquad$ $n \to \infty$ எனில் $\frac{1}{n} \to 0$ ஆகும்.

$= 12 \times 4$

R = 48 சதுர அலகுகள் … (ii)

(3) வகையிடல் எதிர்மறை முறை

$$R = \int_a^b f(x)\,dx = \int_2^6 3x\,dx = 3\int_2^6 x\,dx = 3\left[\frac{x^2}{2}\right]_2^6$$

$$= 3\left[\frac{6^2 - 2^2}{2}\right] = 3\left[\frac{36-4}{2}\right] = 3 \times \frac{32}{2}$$

R = 48 சதுர அலகுகள் … (iii)

(i), (ii) மற்றும் (iii)-லிருந்து R-ன் மதிப்பை

$$\boxed{R = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{b-a}{n} \sum f(a + r\,\Delta x) = \int_a^b f(x)\,dx}$$

எல்லை மதிப்பை அடைந்தால் சரிபார்க்கலாம்

எ.கா. 9.132 – 9.134:

கீழே கொடுக்கப்பட்ட வரையறுத்த தொகையினை கூட்டுத்தொகையின் எல்லையாகக் காண்க.

(132) $\int_1^2 (2x+5)\,dx$ (133) $\int_1^3 x^2\,dx$ (134) $\int_2^5 (3x^2+4)\,dx$

(132) $\int_1^2 (2x+5)\,dx$

$f(x) = 2x + 5$ மற்றும் $[a, b] = [1, 2]$ என்க.

$$\Delta x = \frac{b-a}{n} = \frac{2-1}{n} = \frac{1}{n}$$

$$\therefore \Delta x = \frac{1}{n}$$

$$f(x) = 2x + 5$$

$$\therefore f(a + r\,\Delta x) = f\left(1 + r\ \frac{1}{n}\right) = 2\left(1 + \frac{r}{n}\right) + 5$$

மூடிய இடைவெளி [1, 2]ஐ n எண்ணிக்கையில் சம நுண் இடைவெளிகளாகப் பிரிப்போம்.

சூத்திரத்தின்படி

$$\int_a^b f(x)\,dx = \underset{\Delta x \to 0}{\text{Lt}}\ \Delta x \sum_{r=1}^{n} f(a + r\,\Delta x)$$

$$\int_1^2 (2x + 5) = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{r=1}^{n} \left(2\left(1 + \frac{r}{n}\right) + 5\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{1}{n} \sum_{r=1}^{n} \left(7 + \frac{2}{n} r\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{r=1}^{n} 7 + \frac{2}{n} \sum_{r=1}^{n} r\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{1}{n}\left[7n + \frac{2}{n} \cdot \frac{n(n+1)}{2}\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \left[7 + \frac{n+1}{n}\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \left[7 + \left(1 + \frac{1}{n}\right)\right]$$

$= (7 + 1)$ $\qquad$ $n \to \infty$ எனில் $1/n \to 0$ ஆகும்.

$\therefore \int_1^2 (2x + 5) = 8$ சதுர அலகுகள்.

சரிபார்த்தல் : $\int_1^2 (2x + 5)\,dx = \left[2\left(\frac{x^2}{2}\right) + 5x\right]_1^2$

$$= (2^2 - 1^2) + 5(2 - 1) = (4 - 1) + (5 \times 1)$$

$\int_1^2 (2x + 5)\,dx = 8$ சதுர அலகுகள்

(133) $\int_1^3 x^2\, dx$

$f(x) = x^2$, $[a, b] = [1, 3]$ என்க.

மூடிய இடைவெளி [1, 3]ஐ n-சம நுண் இடைவெளிகளாகப் பிரிக்க.

$$\Delta x = \frac{3-1}{n} = \frac{2}{n}$$

$$\therefore \Delta x = \frac{2}{n}$$

$$f(x) = x^2$$

$$\therefore f(a + r\,\Delta x) = f\left(1 + r\,\frac{2}{n}\right)$$

$$= \left(1 + r\,\frac{2}{n}\right)^2$$

$$f(a + r\,\Delta x) = \left(1 + \frac{4}{n}r + \frac{4}{n^2}r^2\right)$$

Fig. 9.11

சூத்திரத்தின்படி

$$\int_a^b f(x)\, dx = \underset{\Delta x \to 0}{\text{Lt}}\ \Delta x \sum_{r=1}^{n} f(a + r\,\Delta x)$$

$$\int_1^3 x^2\, dx = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{2}{n} \sum_{r=1}^{n} \left(1 + \frac{4}{n}r + \frac{4}{n^2}r^2\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{2}{n}\left[\sum 1 + \frac{4}{n}\sum r + \frac{4}{n^2}\sum r^2\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{2}{n}\left[n + \frac{4}{n}\cdot\frac{n(n+1)}{2} + \frac{4}{n^2}\,\frac{(n)\,(n+1)\,(2n+1)}{6}\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ 2\left[1 + \frac{2(n+1)}{n} + \frac{2}{3}\left(\frac{n+1}{n}\right)\cdot\left(\frac{2n+1}{n}\right)\right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ 2\left[1 + 2\left(1 + \frac{1}{n}\right) + \frac{2}{3}\left(1 + \frac{1}{n}\right)\left(2 + \frac{1}{n}\right)\right]$$

$$= 2\left[1 + 2 + \frac{2}{3}(1)\,(2)\right] \text{ as } \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \to \frac{1}{n} \to 0$$

$$= 2\left[3 + \frac{4}{3}\right]$$

$$\therefore \int_1^3 x^2\, dx = \frac{26}{3}$$ சதுர அலகுகள்

(134) $\int_2^5 (3x^2 + 4)\, dx$

$f(x) = 3x^2 + 4$ மற்றும் $[a, b] = [2, 5]$ என்க.

மூடிய இடைவெளி [2, 5]ஐ n சம அகலம் கொண்ட நுண்வெளிகளாகப் பிரிக்க

$$\Delta x = \frac{5-2}{n}$$

$$\therefore \Delta x = \frac{3}{n}$$

$$f(x) = 3x^2 + 4$$

$$\therefore f(a + r\,\Delta x) = f\left(2 + r\,.\,\frac{3}{n}\right)$$

$$= 3\left(2 + \frac{3r}{n}\right)^2 + 4$$

படம் 9.12

சூத்திரத்தின்படி

$$\int_a^b f(x)\, dx = \underset{\Delta x \to 0}{\text{Lt}}\ \Delta x \sum_{r=1}^{n} f(a + r\,\Delta x)$$

$$\int_2^5 (3x^2 + 4)\, dx = \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{3}{n} \sum_{r=1}^{n} \left(3\left(2 + \frac{3r}{n}\right)^2 + 4\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{3}{n} \sum_{r=1}^{n} \left(3\left(4 + \frac{12}{n} r + \frac{9}{n^2} r^2\right) + 4\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}}\ \frac{3}{n} \sum_{r=1}^{n} \left(12 + \frac{36}{n} r + \frac{27}{n^2} r^2 + 4\right)$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{3}{n} \sum_{r=1}^{n} \left[16 + \frac{36}{n}(r) + \frac{27}{n^2}(r^2) \right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{3}{n} \left[\sum 16 + \frac{36}{n} \sum r + \frac{27}{n^2} \sum r^2 \right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} \frac{3}{n} \left[16n + \frac{36}{n} \frac{(n)(n+1)}{2} + \frac{27}{n^2} \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} 3 \left[16 + 18 \frac{(n+1)}{n} + \frac{9}{2} \left(\frac{n+1}{n} \right) \left(\frac{2n+1}{n} \right) \right]$$

$$= \underset{n \to \infty}{\text{Lt}} 3 \left[16 + 18 \left(1 + \frac{1}{n} \right) + \frac{9}{2} \left(1 + \frac{1}{n} \right) \left(2 + \frac{1}{n} \right) \right]$$

$$= 3 \left[16 + (18 \times 1) + \frac{9}{2}(1)(2) \right] = 3\,[43]$$

$$\int_2^5 (3x^2 + 4)\ dx = 129$$ சதுர அலகுகள்

10. நிகழ்தகவு

(PROBABILITY)

"The theory of probability is nothing more than good sense confirmed by calculation"

– Pierre Laplace

10.1 அறிமுகம்

நிகழ்தகவு, வாய்ப்பு, ஊகித்தல் போன்றவை அனைவருக்கும் நன்கு அறிமுகமான சொற்களாகும். பல நேரங்களில் நாம் கீழ்க்காணும் வாக்கியங்களைச் சொல்லி (அ) சொல்லக் கேட்டிருக்கிறோம்.

"இம்முறை இந்திய கிரிக்கெட் அணி உலகக் கோப்பையை வெல்வதற்குப் பிரகாசமான ***வாய்ப்பு*** *உள்ளது"*

"வருகின்ற பொதுத் தேர்வில் நம்பள்ளி மாணவ மாணவியர்கள் மாநில அளவில் அதிக மதிப்பெண் பெற்றுத் தேர்ச்சி பெற ***சாத்தியங்கள்*** *உள்ளது."*

*"****அநேகமாக*** *இன்று மழை பெய்யலாம்."*

மேலுள்ள வாக்கியங்களில் கூறப்பட்ட 'வாய்ப்பு', 'சாத்தியங்கள்' மற்றும் 'அநேகமாக' போன்ற சொற்றொடர்கள், அந்நிகழ்ச்சிகளின் நிச்சயமற்றத் தன்மையினை உணர்த்துகின்றன. அன்றாட வாழ்வில் நாம் எடுக்கும் பல முடிவுகள் நிச்சயமற்ற தன்மையினால் பதிக்கப்படுகின்றன.

*இந்நிச்சயமற்றத் தன்மையினை மதிப்பிட கணிதத்தில் உள்ள ஒரு பிரிவே '****நிகழ்தகவியல்****' ஆகும். நிகழ் தகவினை பற்றி அறிந்து கொள்ளுமுன் அவற்றில் பயன்படுத்தப்படும் சில முக்கியச் சொற்களை அறிந்து கொள்வோம்.*

சோதனை **(Experiment) :** *ஒரு செயல்பாடு வரையறுக்கப்பட்ட முடிவுகளைக் கொண்டிருக்குமேயானால், அச்செயல்பாட்டினை சோதனை என அழைக்கிறோம்.*

நிர்ணயிக்கப்பட்ட சோதனை **(Deterministic experiment) :** *ஒரே மாதிரியான சூழ்நிலைகளில், ஒரு சோதனையின் முடிவுகளை முன்கூட்டியே உறுதியாகக் கணிக்க முடியுமாயின், அது நிர்ணயிக்கப்பட்ட சோதனையாகும்.*

சமவாய்ப்பு சோதனை **(Random experiment) :** *ஒரு சோதனையில் கிடைக்கக்கூடிய எல்லாவித சாத்தியக்கூறுகளை (முடிவுகளை) அறிந்தும், சோதனைக்கு முன்பே முடிவினைத் தீர்மானிக்க முடியாதவாறு வாய்ப்புகள் உள்ள சோதனையே சமவாய்ப்புச் சோதனையாகும்.*

***எடுத்துக்காட்டு* :** (i) *சீரான நாணயத்தைச் சுண்டி விடுதல்* (ii) *பகடையை உருட்டி விடுதல்*

மேலுள்ள இரண்டு சோதனைகளில் எல்லாவித நிகழ்வுகள் (முடிவுகளும்) அறிந்தும், என்ன நிகழும் என்பதை முன்கூட்டியே திட்டவட்டமாக கூற இயலாது. எனவே இச்சோதனைகள் சமவாய்ப்புச் சோதனைகளாகும்.

ஒரு சாதாரண (*அல்லது அடிப்படை*) ***நிகழ்ச்சி* (Simple event)** : *ஒரு சமவாய்ப்புச் சோதனையில் கிடைக்கக்கூடிய அடிப்படை நிகழ்வுகளை (முடிவுகளை) மேலும் பிரிக்க இயலாது எனில் அது ஒரு சாதாரண அல்லது அடிப்படை நிகழ்ச்சியாகும்.*

கூறுவெளி* (Sample space):** *சமவாய்ப்பு சோதனையின் எல்லா நிகழ்வுகளையும் கொண்ட கணமானது* ***கூறுவெளி *எனப்படும்.*

நிகழ்ச்சி* (Event) :** *கூறுவெளியின் வெற்றற்ற ஒவ்வொரு உட்கணமும் ஒரு நிகழ்ச்சியாகும். கூறுவெளி* S *ஆனது உறுதியான (அல்லது) நிச்சயம் நிகழக்கூடிய* (sure event) *நிகழ்ச்சி எனப்படும்.* Sல் *உள்ள வெற்றுக் கணமானது* ***இயலா நிகழ்ச்சி (impossible event) *எனப்படும்.*

எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு ஒழுங்கான பகடையை ஒருமுறை உருட்டி விடுகையில் கிடைக்கக்கூடிய கூறுவெளியானது

S = {1, 2, 3, 4, 5, 6}

{1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {6} *என்பவை சாதாரண அல்லது அடிப்படை நிகழ்ச்சிகளாகும்.*

{1}, {2, 3}, {1, 3, 5}, {2, 4, 5, 6} *என்பவை சில நிகழ்ச்சிகளாகும்.*

***ஒன்றையொன்று விலக்கும் நிகழ்ச்சிகள்* (Mutually exclusive events) :**

ஒரு சமவாய்ப்பு சோதனையில் இரண்டு அல்லது இரண்டிற்கு மேற்பட்ட நிகழ்ச்சிகளில் பொதுவான அடிப்படை நிகழ்ச்சிகள் ஏதும் இல்லையெனில், அத்தகைய நிகழ்ச்சிகளை ஒன்றையொன்று விலக்கும் நிகழ்ச்சிகள் என்பர்.

எடுத்துக்காட்டு : *ஒரு பகடையை உருட்டும் போது* {1,2,3} *மற்றும்* {4,5,6} *ஆகிய இரு நிகழ்ச்சிகளும் ஒன்றையொன்று விலக்கும் நிகழ்ச்சிகளாகும்.*

***யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகள் [பூரண நிகழ்ச்சிகள்]* (Exhaustive events) :**

ஒரு சோதனையில் நிகழும் எந்த ஒரு நிகழ்ச்சியும், கொடுக்கப்பட்டுள்ள நிகழ்ச்சிகளின் தொகுப்புக்குள் அடங்குமேயானால் அந்நிகழ்ச்சிகளின் தொகுப்பு யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகள் எனப்படும்.

எடுத்துக்காட்டு :

{1, 2, 3}, {2, 3, 5}, {5, 6} *மற்றும்* {4, 5} *என்ற நிகழ்ச்சிகள் ஒரு பகடையை உருட்டுவதனால் கிடைக்கும் நிகழ்ச்சிகளுக்கு 'யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாகும்'*

***சமவாய்ப்பு நிகழ்ச்சிகள்* (Equally likely events) :**

ஒரு நிகழ்ச்சி கணத்திலுள்ள நிகழ்ச்சிகள் ஒன்றைக் காட்டிலும் மற்றொன்று நிகழும் வாய்ப்பு அதிகமில்லாமல், சமவாய்ப்புகள் பெற்றிருப்பின் இந்நிகழ்ச்சிகள் சமவாய்ப்பு நிகழ்ச்சிகள் எனப்படும்.

எடுத்துக்காட்டு : *ஒரு சீரான நாணயத்தைச் சுண்டினால் கிடைக்கும் சமவாய்ப்புடைய நிகழ்ச்சிகள்* {தலை (H)} *மற்றும்* {பூ (T)}.

எடுத்துக்காட்டு :

முயற்சி	சமவாய்ப்புச் சோதனை	முடிவுகளின் மொத்த எண்ணிக்கை	கூறுவெளி
(1)	சீரான நாணயத்தை சுண்டுதல்	$2^1 = 2$	{H,T}
(2)	சீரான 2 நாணயங்களை சுண்டுதல்	$2^2 = 4$	{HH, HT, TH, TT}
(3)	சீரான 3 நாணயங்களைச் சுண்டுதல்	$2^3 = 8$	{HHH, HHT, HTH, THH, HTT, THT, TTH, TTT}
(4)	ஒரு சீரான பகடையை உருட்டுதல்	$6^1 = 6$	{1, 2, 3, 4, 5, 6}
(5)	இரு சீரான பகடைகளை உருட்டுதல்	$6^2 = 36$	{(1,1), (1,2), (1,3), (1,4), (1,5), (1,6), (2,1), (2,2), (2,3), (2,4), (2,5), (2,6), (3,1), (3,2), (3,3), (3,4), (3,5), (3,6), (4,1), (4,2), (4,3), (4,4), (4,5), (4,6), (5,1), (5,2), (5,3), (5,4), (5,5), (5,6), (6,1), (6,2), (6,3), (6,4), (6,5), (6,6)}
(6)	52 சீட்டுகளைக் கொண்ட ஆட்ட சீட்டுக் கட்டிலிருந்து ஒன்றை உருவுதல்	$52^1 = 52$	Heart ♥A 2 3 4 5 6 7 8 9 10 J Q K சிவப்பு நிறம் Diamond ♦ A 2 3 4 5 6 7 8 9 10 J Q K சிவப்பு நிறம் Spade ♠ A 2 3 4 5 6 7 8 9 10 J Q K கருப்பு நிறம் Club ♣ A 2 3 4 5 6 7 8 9 10 J Q K கருப்பு நிறம்

குறியீடுகள் :

A மற்றும் B ஏதேனும் இரு நிகழ்ச்சிகள் எனில்

(i) $A \cup B$ என்பது A அல்லது B அல்லது இரண்டுமே நிகழ்வதற்கான நிகழ்ச்சியைக் குறிக்கும்.

(ii) $A \cap B$ என்பது Aவும் Bயும் ஒரே நேரத்தில் நிகழ்வதைக் குறிக்கும்.

(iii) $\bar{A}$ அல்லது A' அல்லது A^c என்பது Aவின் நிகழாமையைக் குறிக்கும்.

(iv) $(A \cap \bar{B})$ என்பது A மட்டும் நிகழ்வதை குறிக்கும் நிகழ்ச்சி.

எடுத்துக்காட்டாக, ஒரு சீரான பகடையை உருட்டும்போது அதன் கூறுவெளி $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$

$A = \{1, 2\}$, $B = \{2, 3\}$, $C = \{3, 4\}$, $D = \{5, 6\}$, $E = \{2, 4, 6\}$ என்பன S-ன் சில நிகழ்ச்சிகள் என்க.

(1) A, B, C மற்றும் D நிகழ்ச்சிகள் சமவாய்ப்புள்ள நிகழ்ச்சிகளாகும். (ஆனால் E அல்ல).

(2) A, C மற்றும் D ஒன்றையொன்று விலக்கும் நிகழ்ச்சிகளாகும். ஏனெனில்

$A \cap C = C \cap D = A \cap D = \phi$.

(3) Bயும் Cயும் ஒன்றையொன்று விலக்கா நிகழ்ச்சிகள். ஏனெனில் $B \cap C = \{3\} \neq \phi$.

(4) A, C மற்றும் D என்ற நிகழ்ச்சிகளின் தொகுப்பு யாமளாவியவை. ஏனெனில் $A \cup C \cup D = S$

(5) A, B மற்றும் C நிகழ்ச்சிகளின் தொகுப்பு யாமளாவியை அல்ல. ஏனெனில் {5, 6} என்ற நிகழ்ச்சி A, B மற்றும் Cயின் சேர்ப்புக் கணத்தில் இல்லை. (i.e. $A \cup B \cup C \neq S$).

10.2 நிகழ்தகவின் வரையறை (Classical definition of probability) :

ஒரு சோதனையில் யாவுமளாவிய, ஒன்றையொன்று விலக்கிய, சமவாய்ப்புள்ள முடிவுகள் $\boldsymbol{n}$ எண்ணிக்கையிலும் அவற்றில் $\boldsymbol{m}$ எண்ணிக்கையுள்ள முடிவுகள் A விற்கு சாதகமாகவும் இருப்பின் Aயினுடைய நிகழ்தகவு $\frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{n}}$ ஆகும்.

அதாவது $P(A) = \frac{\boldsymbol{m}}{\boldsymbol{n}}$

இதனையே பின்வருமாறும் கூறலாம்.

ஒரு சமவாய்ப்பு சோதனையின் கூறுவெளி S எனவும் அதன் ஏதேனும் ஒரு நிகழ்ச்சி A எனவும் கொள்க. S மற்றும் A-லுள்ள உறுப்புகளின் எண்ணிக்கை முறையே $n(S)$ மற்றும் $n(A)$ எனில் A-ன் நிகழ்தகவு

$$P(A) = \frac{n(A)}{n(S)} = \frac{\text{Aவிற்கு சாதகமான நிலைகளின் எண்ணிக்கை}}{\text{Sல் உள்ள யாவுமளாவிய நிலைகளின் எண்ணிக்கை}}$$

***நிகழ்தகவின் அடிப்படைக் கொள்கைகள்* (Axioms of probability) :**

S என்பது ஒருசமவாய்ப்புச் சோதனையின் முடிவுற்ற கூறுவெளி. A என்பது Sன் யாதேனும் ஒரு நிகழ்ச்சி. P(A) என்பது Aவின் நிகழ்தகவு எனில் கீழ்க்கண்ட அடிப்படை கொள்கைகளை நிறைவு செய்யும்.

(1) $O \le P(A) \le 1$
(2) $P(S) = 1$
(3) A *மற்றும்* B *ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள் எனில்* $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$

***குறிப்பு* :**

$A_1, A_2 \ldots\ldots A_n$ என்பன ஒன்றையொன்று விலக்கும் 'n' நிகழ்ச்சிகள் எனில்

$$P(A_1 \cup A_2 \cup \ldots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \ldots + P(A_n)$$

எ.கா. 10.1:

A, B மற்றும் C என்ற ஒன்றையொன்று விலக்கிய மூன்று நிகழ்ச்சிகளை மட்டுமே கொண்டுள்ள ஒரு சோதனையின் நிகழ்ச்சிகளின் நிகழ்தகவுகள் பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இவை சாத்தியமானவையா என ஆராய்க.

(i) $P(A) = \frac{1}{3}$, $P(B) = \frac{1}{3}$, $P(C) = \frac{1}{3}$

(ii) $P(A) = \frac{1}{4}$, $P(B) = \frac{3}{4}$, $P(C) = \frac{1}{4}$

(iii) $P(A) = 0.5$, $P(B) = 0.6$, $P(C) = -0.1$

(iv) $P(A) = 0.23$, $P(B) = 0.67$, $P(C) = 0.1$

(v) $P(A) = 0.51$, $P(B) = 0.29$, $P(C) = 0.1$

***தீர்வு* :**

(i) P(A), P(B) மற்றும் P(C)-ன் மதிப்புகள் யாவும் [0, 1] என்ற மூடிய இடைவெளிக்குள் அமைந்துள்ளன. மேலும், இவற்றின் கூட்டுத்தொகை

$$P(A) + P(B) + P(C) = \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} = 1$$

கொடுக்கப்பட்டுள்ள நிகழ்தகவுகள் சாத்தியமானவையே

(ii) $O \le P(A), P(B), P(C) \le 1$ என கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால் இவற்றின் கூட்டுத்தொகை

$$P(A) + P(B) + P(C) = \frac{1}{4} + \frac{3}{4} + \frac{1}{4} = \frac{5}{4} > 1$$

எனவே கொடுக்கப்பட்டுள்ள நிகழ்தகவுகள் சாத்தியமானவை அல்ல.

(iii) $P(C) = -0.1$ ஒரு குறை எண்ணாயிருப்பதால் இது சாத்தியமானதல்ல.

(iv) சாத்தியமானது. ஏனெனில் $0 \le P(A), P(B), P(C) \le 1$ மேலும் இவற்றின் கூட்டுத்தொகை $P(A) + P(B) + P(C) = 0.23 + 0.67 + 0.1 = 1$

(v) $0 \le P(A), P(B), P(C) \le 1$ இருந்தாலும், இவற்றின் கூட்டுத்தொகை

$P(A) + P(B) + P(C) = 0.51 + 0.29 + 0.1 = 0.9 \neq 1.$

எனவே இது சாத்தியமல்ல.

குறிப்பு :

மேற்கூறிய எடுத்துக்காட்டுகளில் ஒவ்வொரு சோதனைக்கும் சரியான மூன்று நிகழ்ச்சிகள் மட்டுமே உள்ளன. எனவே அவையாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாகும். அதாவது அவைகளின் சேர்ப்பு கூறுவெளி கணமாகும். எனவேதான் இவைகளின் நிகழ்தகவுகளின் கூட்டுத்தொகை 1க்கு சமமாக இருத்தல் வேண்டும்.

எ.கா. 10.2: இரண்டு நாணயங்கள் ஒரே சமயத்தில் ஒருமுறை சுண்டப்படுகின்றன.

(i) சரியாக ஒரு தலை (ii) குறைந்தது ஒருதலையாவது

(iii) அதிகபட்சமாக ஒரு தலை கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

தீர்வு :

கூறுவெளி $S = \{HH, HT, TH, TT\}$, $n(S) = 4$

A என்பது சரியாக ஒருதலையைப் பெறக்கூடிய நிகழ்ச்சி என்க. B என்பது குறைந்தது ஒருதலையாவது பெறக்கூடிய நிகழ்ச்சி என்க. C என்பது அதிகபட்சமாக ஒருதலையைப் பெறக்கூடிய நிகழ்ச்சி என்க.

$$\therefore A = \{HT, TH\}, \quad n(A) = 2$$
$$B = \{HT, TH, HH\}, \quad n(B) = 3$$
$$C = \{HT, TH, TT\}, \quad n(C) = 3$$

(i) $P(A) = \frac{n(A)}{n(S)} = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$ (ii) $P(B) = \frac{n(B)}{n(S)} = \frac{3}{4}$ (iii) $P(C) = \frac{n(C)}{n(S)} = \frac{3}{4}$

எ.கா. 10.3: ஒரு சோடிப் பகடைகளை உருட்டி விடும்போது அவற்றின் கூட்டுத்தொகை (i) 7 (ii) 7 அல்லது 11 (iii) 11 அல்லது 12 கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

தீர்வு :

கூறுவெளி $S = \{(1,1), (1,2) \ldots (6,6)\}$

நிகழக்கூடிய மொத்த அடிப்படை நிகழ்ச்சிகள் $= 6^2 = 36 = n(S)$

A, B, மாற்று C ஆனது முறையே கூட்டுத்தொகை 7, 11 மற்றும் 12 கிடைப்பதற்கான நிகழ்ச்சிகள் என்க.

$\therefore$ A = $\{(1,6), (2,5), (3,4), (4,3), (5,2),(6,1)\}$, $n(A) = 6$.

B = $\{(5,6), (6,5)\}$, n(B) = 2

C = $\{(6, 6)\}$, $n(C) = 1$

(i) P(கூட்டுத்தொகை7) = $P(A) = \frac{n(A)}{n(S)} = \frac{6}{36} = \frac{1}{6}$

(ii)P (7 அல்லது 11)= P(A or B) = $P(A \cup B)$

$= P(A) + P(B)$

($\because$ Aயும் Bயும் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள் i.e. $A \cap B = \phi$)

$= \frac{6}{36} + \frac{2}{36} = \frac{8}{36} = \frac{2}{9}$

P(7 or 11) = $\frac{2}{9}$

(iii) P (11 or 12) = P(B or C) = $P(B \cup C)$

$= P(B) + P(C)$

($\because$ B, C ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள்)

$= \frac{2}{36} + \frac{1}{36} = \frac{3}{36} = \frac{1}{12}$

P(11 அல்லது 12)= $\frac{1}{12}$

எ.கா. 10.4: *மூன்று வெவ்வேறு நபர்களுக்கு மூன்று கடிதங்கள் எழுதப்பட்டு மூன்று உறைகளில் அவர்களுக்கான விலாசமும் எழுதப்பட்டுள்ளன. முகவரியைப் பார்க்காமலே கடிதங்களை உறையிலிடும்போது* (i) *எல்லா கடிதங்களும் அவற்றிற்குரிய சரியான உறையிலிட* (ii) *எல்லா கடிதங்களுமே தவறாக உறையிலிட நிகழ்தகவுகள் காண்க.*

தீர்வு :

A, B *மற்றும்* C *என்பவை உறைகளைக் குறிக்கும் என்க.* 1, 2 *மற்றும்* 3 *ஆனது முறையே* A, B *மற்றும்* C*க்கான கடிதங்களைக் குறிக்கும் என்க.*

கடிதங்களை உறைகளில் இடுவதற்கான எல்லா சாத்தியக்கூறுகளும் பின்வருமாறு :

சாத்தியக்கூறுகள்

		c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
	A	1	1	2	2	3	3
உறைகள்	B	2	3	1	3	1	2
	C	3	2	3	1	2	1

X என்பது எல்லா மூன்று கடிதங்களும் அவற்றிற்குரிய சரியான உறையிலிடுவதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.

Y என்பது மூன்று கடிதங்களுமே தவறாக உறையிலிடுவதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.

$S = \{c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6\}$, $n(S) = 6$

$X = \{c_1\}$, $n(X) = 1$ $\quad Y = \{c_4, c_5\}$, $n(Y) = 2$

$$\therefore P(X) = \frac{1}{6}$$

$$P(Y) = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$$

எ.கா. 10.5: ஒரு கிரிக்கெட் சங்கத்தில் மொத்தம் 15 உறுப்பினர்கள் உள்ளனர். அவர்களில் 5 பேர் மட்டுமே பந்து வீசும் திறம் படைத்தவர்கள். இவர்களுள் 11பேர் கொண்ட ஒரு குழுவில் குறைந்தது 3 பந்து வீச்சாளர்களாவது இடம்பெறுவதற்கான நிகழ்தகவு காண்க.

தீர்வு :

A, B மற்றும் C என்ற நிகழ்ச்சிகள் அமைவதற்கான வழிகள் பின்வருமாறு :

நிகழ்ச்சிகள்	11 உறுப்பினர்களின் சேர்வு		சேர்வு அமைவதற்கான வழிகளின் எண்ணிக்கை		தேர்வு செய்யும் விதங்களின் மொத்த எண்ணிக்கை
	5 பந்து வீச்சாளர்கள்	மற்ற 10 பேர்	5 பந்து வீச்சாளர்கள்	மற்ற 10 பேர்	
A	3	8	$5c_3$	$10c_8$	$5c_3 \times 10c_8$
B	4	7	$5c_4$	$10c_7$	$5c_4 \times 10c_7$
C	5	6	$5c_5$	$10c_6$	$5c_5 \times 10c_6$

யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளின் மொத்த எண்ணிக்கை $\Big\} = \Big\{$ 15 உறுப்பினர்களிலிருந்து 11 விளையாட்டு வீரர்களின் சேர்வு

$$n(S) = {}^{15}C_{11}$$

P (குறைந்தது 3 பந்து வீச்சாளர்களாவது) = P[A அல்லது B அல்லது C]

$$= P[A \cup B \cup C]$$

$$= P(A) + P(B) + P(C)$$

($\because$ நிகழ்ச்சிகள் A, B, C ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள்)

$$= \frac{5C_3 \times 10C_8}{15C_{11}} + \frac{5C_4 \times 10C_7}{15C_{11}} + \frac{5C_5 \times 10C_6}{15C_{11}}$$

$$= \frac{5C_2 \times 10C_2}{15C_4} + \frac{5C_1 \times 10C_3}{15C_4} + \frac{5C_0 \times 10C_4}{15C_4} \quad (\because nCr = nC_{n-r})$$

$$= \frac{450}{1365} + \frac{600}{1365} + \frac{210}{1365} = \frac{1260}{1365}$$

P (குறைந்தது 3 பந்து வீச்சாளர்களாவது) $= \frac{12}{13}$

பயிற்சி 10.1

(1) ஒன்றையொன்று விலக்கிய A, B, C மற்றும் D என்ற நான்கு நிகழ்ச்சிகளை மட்டுமே கொண்ட ஒரு சோதனையின் நிகழ்ச்சிகளின் நிகழ்தகவு பின்வருமாறு

(i) P(A) = 0.37, P(B) = 0.17, P(C) = 0.14, P(D) = 0.32

(ii) P(A) = 0.30, P(B) = 0.28, P(C) = 0.26, P(D) = 0.18

(iii) P(A) = 0.32, P(B) = 0.28, P(C) = – 0.06, P(D) = 0.46

(iv) P(A) = 1/2, P(B) = 1/4, P(C) = 1/8, P(D) = 1/16

(v) P(A) = 1/3, P(B) = 1/6, P(C) = 2/9, P(D) = 5/18

மேற்கூறியவற்றில் உள்ள நிகழ்தகவுகள் சாத்தியமானவையா எனத் தீர்மானிக்கவும்.

(2) இரண்டு பகடைக் காய்களை ஒருமுறை உருட்டி விடும்போது அவற்றின் கூட்டுத்தொகை (i) 5க்கும் குறைவாக (ii) 10க்கு மேற்பட்டதாக (iii) 9 அல்லது 11 கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகள் காண்க.

(3) மூன்று நாணயங்கள் ஒருமுறை சுண்டப்படகின்றன. (i) சரியாக இரண்டு தலைகள் (ii) குறைந்தது இரண்டு தலைகள் (iii) அதிகபட்சமாக இரண்டு தலைகள் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகள் காண்க.

(4) 52 சீட்டுக்களை கொண்ட ஒரு கட்டிலிலிருந்து ஒரு சீட்டு உருவப்படுகிறது. அச்சீட்டு

(i) காலாட்படை வீரன் (jack) (ii) 5 அல்லது அதற்கும் குறைவான எண்

(iii) அரசி (Queen) அல்லது 7 கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகள் காண்க.

(5) ஒரு பையில் 5 வெள்ளைநிறப் பந்துகளும், 7 கருப்பு நிறப் பந்துகளும் உள்ளன. பையிலிருந்து 3 பந்துகளை சமவாய்ப்பு முறையில் எடுக்கப்பட்டால் (i) மூன்றுமே வெள்ளைநிறப் பந்துகள் (ii) ஒன்று வெள்ளைப் பந்து, இரண்டு கருப்புநிறப் பந்துகள் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

(6) ஒரு பெட்டியில் 10 மின் விளக்குகள் உள்ளன. அவற்றுள் இரண்டு சேதமடைந்துள்ளன. சமவாய்ப்பு முறையில் 5 மின் விளக்குகள் எடுக்கப்பட்டால், அவற்றுள் எதுவுமே சேதமடையாது இருப்பதற்கான நிகழ்தகவு என்ன?

(7) ஒரு பெட்டியில் 4 மாம்பழங்களும், 3 ஆப்பிள் பழங்களும் உள்ளன. சமவாய்ப்பு முறையில் இரண்டு பழங்கள் எடுக்கப்பட்டால் (i) ஒரு மாம்பழமும் ஒரு ஆப்பிள் பழமும் (ii) இரண்டும் ஒரே வகையைச் சார்ந்ததாகவும் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

(8) ஒரு பள்ளியில் மிகச்சிறந்த 10 மாணவ மாணவிகளில் 6 பேர் மாணவிகள், 4 பேர் மாணவர்கள். சமவாய்ப்பு முறையில் 4 பேர் கொண்ட குழு ஒன்று அறிவுப் போட்டிக்காகத் தேர்வு செய்யப்படுகிறது. குழுவில் குறைந்தது 2 மாணவிகளாவது இடம் பெறுவதற்கான நிகழ்தகவினைக் காண்க.

(9) (i) ஒரு சாதாரண வருடத்தில் (ii) ஒரு லீப் வருடத்தில் 53 ஞாயிற்றுக்கிழமைகள் வருவதற்கான நிகழ்தகவுகள் காண்க.

(10) முதல் 50 மிகை முழுக்களிலிருந்து ஒரு எண் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. அது ஒரு பகா எண் அல்லது 4-இன் மடங்காக இருக்க நிகழ்தகவு யாது?

10.3 நிகழ்தகவின் சில அடிப்படைத் தேற்றங்கள்

நிகழ்தகவியலில் உள்ள எல்லாத் தேற்றங்களும் நேரடியாகவோ அல்லது மறைமகமாகவோ, நிகழ்தகவின் அடிப்படைக் கொள்கைகளைப் பயன்படுத்தியே தருவிக்கப்படுகின்றன.

நிகழ்தகவின் சில முக்கியத் தேற்றங்களை இங்கு காண்போம்.

***தேற்றம்* 10.1:** நடக்கவியலா நிகழ்ச்சியின் நிகழ்தகவு பூச்சியம்.

அதாவது $\boxed{P(\phi) = 0}$

***நிரூபணம்* :**

நடக்கவியலா நிகழ்ச்சி ϕல், Sஎன்ற கூறுவெளியில் உள்ள எந்த ஒரு உறுப்பும் இருக்காது.

$$\therefore S \cup \phi = S$$

$$P(S \cup \phi) = P(S)$$

$$P(S) + P(\phi) = P(S)$$

($\because$ Sயும் ϕயும் ஒன்றையொன்று விலக்கும் நிகழ்ச்சிகள்)

$$\therefore P(\phi) = 0$$

***தேற்றம்* 10.2:**

$\bar{A}$ என்பது Aயின் நிரப்பியானால் $\boxed{P(\bar{A}) = 1 - P(A)}$

நிரூபணம் :

S என்பது கூறுவெளி என்க.

$$A \cup \bar{A} = S$$

$$P(A \cup \bar{A}) = P(S)$$

$$P(A) + P(\bar{A}) = 1$$

($\because$ Aவும் $\bar{A}$ ம் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்வுகள். மேலும் P(S) = 1)

$$\therefore P(\bar{A}) = 1 - P(A)$$

Fig. 10. 1

***தேற்றம்* 10.3:** A, Bஎன்பன ஏதேனும் இரு நிகழ்ச்சிகள். $\bar{B}$ என்பது Bன் நிரப்பியெனில்

$$\boxed{P(A \cap \bar{B}) = P(A) - P(A \cap B)}$$

நிரூபணம் :

Aஎன்பது $(A \cap \bar{B})$ மற்றும் $(A \cap B)$ ஆகிய ஒன்றையொன்று விலக்கிய இரு நிகழ்ச்சிகளின் சேர்க்கையாகும். (படம் 10.2ஐ காண்க)

i.e. $A = (A \cap \bar{B}) \cup (A \cap B)$

$\therefore P(A) = P[(A \cap \bar{B}) \cup (A \cap B)]$

Fig. 10. 2

($\because (A \cap \bar{B})$ மற்றும் $(A \cap B)$ ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள்)

$$P(A) = P(A \cap \bar{B}) + P(A \cap B)$$

மாற்றியமைக்க $\quad P(A \cap \bar{B}) = P(A) - P(A \cap B)$

இதே போல் $\quad P(\bar{A} \cap B) = P(B) - P(A \cap B)$ என நிறுவலாம்

தேற்றம்* 10.4: *நிகழ்தகவின் கூட்டல் தேற்றம்

(Addition theorem on Probability) :

A, B என்பன ஏதேனும் இரு நிகழ்ச்சிகள் எனில்,

$$\boxed{P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)}$$

நிரூபணம் :

$A \cup B = (A \cap \bar{B}) \cup B$

(*படம்*10.3*ஐ பார்க்க*)

படம் 10. 3

$P(A \cup B) = P[(A \cap \bar{B}) \cup B]$

($\because$ $A \cap \bar{B}$ *யும்* B*யும் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள்*)

$= P(A \cap \bar{B}) + P(B)$

$= [P(A) - P(A \cap B)] + P(B)$ (*தேற்றம்* 3*ன் படி*)

$\therefore P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

குறிப்பு :

மேலுள்ள நிகழ்தகவு கூட்டல் தேற்றத்தின் மூன்று நிகழ்ச்சிகளுக்கான விரிவாக்கம். A, B *மற்றும்* C *ஏதேனும் மூன்று நிகழ்ச்சிகளில் எனில்*

$$P(A \cup B \cup C) = \{P(A)+P(B)+P(C)\} - \{P(A \cap B)+P(B \cap C)+P(C \cap A)\} + P(A \cap B \cap C)$$

எ.கா. 10.6:

$P(A) = 0.35$, $P(B) = 0.73$ *மற்றும்* $P(A \cap B) = 0.14$ *எனில் பின்வருவனவற்றின் மதிப்புகளைக் காண்க.*

(i) $P(A \cup B)$ (ii) $P(\bar{A} \cap B)$ (iii) $P(A \cap \bar{B})$ (iv) $P(\bar{A} \cup \bar{B})$ (v) $P(\overline{A \cup B})$

தீர்வு :

(i) $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$

$= 0.35 + 0.73 - 0.14 = 0.94$

$P(A \cup B) = 0.94$

(ii) $P(\bar{A} \cap B) = P(B) - P(A \cap B)$

$= 0.73 - 0.14 = 0.59$

$P(\bar{A} \cap B) = 0.59$

(iii) $P(A \cap \bar{B}) = P(A) - P(A \cap B)$

$= 0.35 - 0.14 = 0.21$

$P(A \cap \bar{B}) = 0.21$

(iv) $P(\bar{A} \cup \bar{B}) = P(\overline{A \cap B}) = 1 - P(A \cap B) = 1 - 0.14$

$P(\bar{A} \cup \bar{B}) = 0.86$

(v) $P(\overline{A \cup B}) = 1 - P(A \cup B) = 1 - 0.94 = 0.06$ (by (1))

$P(\overline{A \cup B}) = 0.06$

எ.கா. 10.7: *நன்கு கலைக்கப்பட்ட 52 சீட்டுக்களைக் கொண்ட ஒரு சீட்டுக் கட்டிலிருந்து ஒரு சீட்டு உருவப்படுகிறது. அச்சீட்டானது (i) அரசன் அல்லது அரசி (ii) அரசன் அல்லது ஸ்பேட் (iii) அரசன் அல்லது கருப்புச் சீட்டு கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.*

தீர்வு :

கூறுவெளியிலுள்ள புள்ளிகளின் எண்ணிக்கை = 52

i.e. $n(S) = 52$

A-*அரசனைத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கான நிகழ்ச்சி*;

B-*அரசியைத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கான நிகழ்ச்சி*

C-*ஸ்பேட் சீட்டைத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கான நிகழ்ச்சி*

D-*கருப்புநிறச் சீட்டைத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.*

$\therefore n(A) = 4, \quad n(B) = 4, \quad n(C) = 13, \quad n(D) = 26$

மேலும் $n(A \cap C) = 1, \quad n(A \cap D) = 2$

(i) P [*அரசன் அல்லது அரசி*] = P[A *அல்லது* B] = $P(A \cup B)$

$= P(A) + P(B)$

($\therefore$ A, B *ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள்* i.e. $A \cap B = \phi$)

$$= \frac{n(A)}{n(S)} + \frac{n(B)}{n(S)}$$

$$= \frac{4}{52} + \frac{4}{52} = \frac{2}{13}$$

(ii)P[*அரசன் அல்லது ஸ்பேட்*] = P(A *அல்லது* C) = $P(A \cup C)$

$= P(A) + P(C) - P(A \cap C)$

($\therefore$ A*யும்* C*யும் ஒன்றையொன்று விலக்கா நிகழ்ச்சி*)

$$= \frac{4}{52} + \frac{13}{52} - \frac{1}{52} = \frac{16}{52}$$

$$= \frac{4}{13}$$

(iii)P[அரசன் அல்லது கருப்புநிறச் சீட்டு] = P(A அல்லது D) = $P(A \cup D)$

$= P(A) + P(D) - P(A \cap D)$

($\because$ Aயும் Dயும் ஒன்றையொன்று விலக்கா நிகழ்ச்சிகள்)

$= \frac{4}{52} + \frac{26}{52} - \frac{2}{52} = \frac{28}{52}$

$= \frac{7}{13}$

எ.கா. 10.8: *ஒரு மாணவிக்கு IITல் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு 0.16, அரசு மருத்துவக் கல்லூரியில் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு 0.24, இரண்டிலும் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு 0.11 எனில் அவருக்கு (i) இரண்டில் குறைந்தது ஓரிடத்திலாவது இடம் கிடைப்பதற்கான (ii) இரண்டில் ஒன்றில் மட்டுமே இடம் கிடைப்பதற்கான*

நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

தீர்வு :

I *என்பது IITல் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.* M *என்பது அரசு மருத்துவக் கல்லூரியில் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.*

$\therefore P(I) = 0.16, P(M) = 0.24$ *மற்றும்* $P(I \cap M) = 0.11$

(i) P(*குறைந்தது ஓரிடத்திலாவது இடம் கிடைக்க*)

$= P(I \text{ or } M) = P(I \cup M)$

$= P(I) + P(M) - P(I \cap M)$

$= 0.16 + 0.24 - 0.11$

$= 0.29$

(ii) P(*ஒன்றில் மட்டுமே இடம் கிடைக்க*) = P[I அல்லது M].

$= P[(I \cap \bar{M}) \cup (\bar{I} \cap M)]$

$= P(I \cap \bar{M}) + P(\bar{I} \cap M)$

$= \{P(I) - P(I \cap M)\} + \{P(M) - P(I \cap M)\}$

$= \{0.16 - 0.11\} + \{0.24 - 0.11\}$

$= 0.05 + 0.13$

$= 0.18$

படம் 10. 4

பயிற்சி 10.2

(1) ஒரு சமவாய்ப்புச் சோதனையில் $P(A) = 0.36$, $P(A$ அல்லது $B) = 0.90$ மற்றும் $P(A$வும் Bயும்$) = 0.25$ எனில் (i) $P(B)$, (ii) $P(\bar{A} \cap \bar{B})$ ஆகியவற்றைக் காண்க.

(2) $P(A) = 0.28$, $P(B) = 0.44$ மற்றும் இவ்விரு நிகழ்ச்சிகள் Aயும் Bயும் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள் எனில்

(i) $P(\bar{A})$ (ii) $P(A \cup B)$ (iii) $(A \cap \bar{B})$ iv) $P(\bar{A} \cap \bar{B})$ ஆகியவற்றைக் காண்க.

(3) $P(A) = 0.5$, $P(B) = 0.6$ மற்றும் $P(A \cap B) = 0.24$. எனில்

(i) $P(A \cup B)$ (ii) $P(\bar{A} \cap B)$ (iii) $P(A \cap \bar{B})$

(iv) $P(\bar{A} \cup \bar{B})$ (v) $P(\bar{A} \cap \bar{B})$ ஆகியவற்றினைக் காண்க.

(4) ஒரு பகடை இருமுறை உருட்டப்படகிறது. "முதல் முறை வீசுவதில் 4 விழுவது" நிகழ்ச்சி A எனவும், "இரண்டாவது முறை வீசுவதில் 4 விழுவது" B எனவும் கொண்டால் $P(A \cup B)$ஐ காண்க.

(5) A என்ற நிகழ்ச்சியின் நிகழ்தகவு 0.5. B என்ற நிகழ்ச்சியின் நிகழ்தகவு 0.3. Aயும் Bயும் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகளெனில் Aவும் அல்லாமல் Bயும் அல்லாமல் இருக்கக்கூடிய நிகழ்ச்சியின் நிகழ்தகவு யாது?

(6) 52 சீட்டுகள் உள்ள ஒரு சீட்டுக் கட்டிலிருந்து சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு சீட்டு உருவப்படுகிறது. அந்தச் சீட்டு (i) அரசி அல்லது க்ளப் (ii) அரசி அல்லது கருப்புச் சீட்டு கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

(7) புதிதாக ஒரு கப்பல் கட்டப்பட்டுள்ளது. அக்கப்பலின் அமைபிற்காக அதற்கு விருது கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு 0.25, நேர்த்தியான முறையில் மூலப்பொருட்களைப் பயன்படுத்தியதற்காக அதற்கு விருது கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு 0.35, மேற்கண்ட இரு விருதுகளையும் பெறுவதற்கான நிகழ்தகவு 0.15 எனில்

(i) குறைந்தது ஒரு விருதாவது கிடைப்பதற்கு

(ii) ஒரே ஒரு விருது மட்டும் கிடைப்பதற்கு நிகழ் தகவுகள் யாவை?

10.4 சார்புநிலை நிகழ் தகவு (Conditional probability) :

சார்புநிலை நிகழ்தகவின் கருத்தாக்கத்தினை அறிந்துக் கொள்ள முதலில் ஒரு எடுத்துக்காட்டினைக் காண்போம்.

ஒரு சீரான பகடை உருட்டப்படுவதாகக் கொள்வோம். அதன் கூறுவெளி S = {1, 2, 3, 4, 5, 6}.

இப்போது நாம் இரு வினாக்களை எழுப்புவோம்.

Q 1: பகடையில் 4-ஐ விடக் குறைவான இரட்டைப்படை எண் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

Q2 : பகடையில் இரட்டைப்படையெண் விழுந்திருப்பின் அது 4ஐ விடக் குறைவானதாக கிடைக்க நிகழ்தகவு யாது?

***நிலை* 1:**

4ஐ விடக் குறைவான இரட்டைப்படை எண்கள் கிடைப்பதற்கான நிகழ்ச்சி {2} ஆகும்.

$$\therefore P_1 = \frac{n(\{2\})}{n(\{1, 2, 3, 4, 5, 6\})} = \frac{1}{6}$$

***நிலை* 2:**

இங்கு முதலில் கூறுவெளி Sஐ இரட்டைப்படை எண்களை மட்டுமே கொண்ட ஒரு உபகணத்திற்கு கட்டுப்படுத்துகிறோம். அதாவது{2, 4, 6} என்ற உபகணத்திற்கு கட்டுப்டுத்தகிறோம். பிறகு 4ஐ விடக் குறைவான இரட்டைப்படை எண் கிடைப்பதற்கான நிகழ்ச்சி {2}க்கு நிகழ்தகவு காண்கிறோம்.

$$\therefore P_2 = \frac{n(\{2\})}{n(\{2, 4, 6\})} = \frac{1}{3}$$

மேற்கண்ட இரண்டு நிலைகளிலும் நிகழக்கூடிய நிகழ்ச்சிகள் ஒன்றாக இருந்தாலும், அவற்றின் யாவுமளாவிய விளைவினைகள் வெவ்வேறாக இருக்கின்றன.

நிலை இரண்டில், கூறுவெளியை ஒரு குறிப்பிட்ட நிபந்தனைக்கு உட்படுத்தி பிறகு நிகழ்தகவினைக் கண்டறிகிறோம். இத்தகைய நிகழ்தகவானது சார்பு நிலை நிகழ்தகவு எனப்படும்.

***வரையறை [சார்புநிலை நிகழ்தகவு]* : (Conditional probability)** :

நிகழ்ச்சி A ஏற்கனவே நிகழ்ந்துள்ள நிலையில் Aன் நிபந்தனையில் Bயின் சார்புநிலை நிகழ்தகவு P (B/A) எனக் குறிக்கப்படின்,

$$\boxed{\mathbf{P(B/A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)}}} \quad P(A) \neq 0$$

இதே போல்

$$\boxed{\mathbf{P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}}} \quad P(B) \neq 0$$ என வரையறுக்கலாம்.

எ.கா. 10.9: P(A) = 0.4 P(B) = 0.5 $P(A \cap B) = 0.25$ எனில்

(i) $P(A/B)$ (ii) $P(B/A)$ (iii) $P(\bar{A}/B)$

(iv) $P(B/\bar{A})$ (v) $P(A/\bar{B})$ (vi) $P(\bar{B}/A)$ *ஐக் காண்க.*

தீர்வு :

(i) $P(A/B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{0.25}{0.50} = 0.5$

(ii) $P(B/A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{0.25}{0.40} = 0.625$

(iii) $P(\bar{A}/B) = \frac{P(\bar{A} \cap B)}{P(B)} = \frac{P(B) - P(A \cap B)}{P(B)} = \frac{0.5 - 0.25}{0.5} = 0.5$

(iv) $P(B/\bar{A}) = \frac{P(B \cap \bar{A})}{P(\bar{A})} = \frac{P(B) - P(A \cap B)}{1 - P(A)} = \frac{0.5 - 0.25}{1 - 0.4} = 0.4167$

(v) $P(A/\bar{B}) = \frac{P(A \cap \bar{B})}{P(\bar{B})} = \frac{P(A) - P(A \cap B)}{1 - P(B)} = \frac{0.4 - 0.25}{1 - 0.5} = 0.3$

(vi) $P(\bar{B}/A) = \frac{P(A \cap \bar{B})}{P(A)} = \frac{P(A) - P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{0.4 - 0.25}{0.4} = 0.375$

தேற்றம்* 10.6 : *நிகழ்தகவின் பெருக்கல் தேற்றம்

(Multiplication theorem on probability) :

உடனிகழ்வுகளாக ஏற்படும் A, B *என்னும் இரு நிகழ்ச்சிகளின் நிகழ்தகவு*

$$\boxed{\begin{array}{c} \mathbf{P(A \cap B) = P(A) \,.\, P\,(B/A)} \\ \text{அல்லது} \quad \mathbf{P(A \cap B) = P(B) \,.\, P(A/B)} \end{array}}$$

குறிப்பு : *சார்புநிலை நிகழ்தகவினை மாற்றி எழுத நிகழ்தகவின் பெருக்கல் தேற்றம் கிடைக்கிறது.*

***சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள்* (Independent events) :**

நிகழ்ச்சிகளில் ஏதேனும் ஒரு நிகழ்ச்சி நடைபெறுவதும் அல்லது நடைபெறாததுமான நிகழ்வு மற்ற நிகழ்ச்சிகளின் நடைபெறும் அல்லது நடைபெறாமைக்கான நிகழ்தகவினை பாதிக்காது எனில் இந்நிகழ்ச்சிகளை சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் என கூறுவர்.

வரையறை : $\boxed{\mathbf{P(A \cap B) = P(A) \,.\, P(B)}}$ *எனில்* A, B *என்ற இரு நிகழ்ச்சிகளும் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்.*

இந்த வரையறை

$$P(A/B) = P(A), \quad P(B/A) = P(B)$$

குறிப்பு : $P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \ldots\ldots A_n) = P(A_1).\ P(A_2) \ldots (A_n)$ எனில் $A_1, A_2 \ldots\ldots A_n$ என்பவை ஒன்றுக்கொன்று சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்

கிளைத் தேற்றம் 1: A மற்றும் B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் என்றால்

A மற்றும் $\bar{B}$ ஆகியவையும் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளேயாகும்.

நிரூபணம் :

A மற்றும் B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாதலால்

$$P(A \cap B) = P(A) . (PB) \qquad \ldots (1)$$

A யும் $\bar{B}$ ம் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் என நிறுவ,

$$P(A \cap \bar{B}) = P(A) . P(\bar{B})$$ என நிறுவ வேண்டும்.

நாம் அறிந்தபடி

$$\begin{aligned} P(A \cap \bar{B}) &= P(A) - P(A \cap B) \\ &= P(A) - P(A) . P(B) \quad \text{(by (1))} \\ &= P(A)\,[1 - P(B)] \end{aligned}$$

$$P(A \cap \bar{B}) = P(A) . P(\bar{B})$$

$\therefore$ Aயும் $\bar{B}$ ம் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்.

இதேபோல் பின்வரும் கிளைத்தேற்றத்தையும் நிரூபிக்கலாம்.

கிளைத்தேற்றம் 2: Aமற்றும் B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில்

$\bar{A}$ மற்றும் $\bar{B}$ ஆகியவையும் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்.

குறிப்பு : $A_1, A_2 \ldots A_n$ ஆகியவை ஒன்றுக்கொன்று சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில், $\bar{A}_1, \bar{A}_2, \ldots \bar{A}_n$ ஆகியவையும் ஒன்றுக்கொன்று சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்.

எ.கா. 10.10: 52 சீட்டுகள் கொண்ட ஒரு சீட்டுக்கட்டிலிருந்து இரண்டு சீட்டுகள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக உருவப்படுகிறது. இரண்டுமே அரசனாகக் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவினை பின்வரும் நிபந்தனைகளின்படி காண்க.

(i) முதலில் உருவிய சீட்டு மீண்டும் வைக்கப்படுகிறது

(ii) முதலில் உருவிய சீட்டு கட்டில் மீண்டும் வைக்கப்படவில்லை.

தீர்வு :

A என்பது முதல்முறை எடுக்கப்படும் போது அரசனாக கிடைக்கப்பெறும் நிகழ்ச்சி என்க.

B என்பது இரண்டாம் முறை எடுக்கப்படும்போது அரசனாக கிடைக்கப்பெறும் நிகழ்ச்சி என்க.

***நிலை* i**: சீட்டு மீண்டும் வைக்கப்படுகிறது

$$n(A) = 4 \quad (\text{அரசன்})$$

$$n(B) = 4 \quad (\text{அரசன்})$$

$$\text{மற்றும்} \quad n(S) = 52 \quad (\text{மொத்தம்})$$

நிகழ்ச்சி Aயானது Bயின் நிகழ்தகவினை பாதிக்காது. ஆதலால் Aவும் Bவும் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்.

$$P(A \cap B) = P(A) \,.\, P(B)$$

$$= \frac{4}{52} \times \frac{4}{52}$$

$$P(A \cap B) = \frac{1}{169}$$

***நிலை* ii:** சீட்டு மீண்டும் வைக்கப்படவில்லை

முதல்முறை எடுக்கும்போது மொத்தம் 52 சீட்டுகளும் அதில் 4 அரசன் சீட்டுகளும் இருக்கும். முதல் சீட்டை மீண்டும் வைக்காமல் இரண்டாம் முறை எடுக்கும் போது மொத்தம் 51 சீட்டுகளில் 3 அரசன் சீட்டுகள் இருக்கும். எனவே முதலில் நடந்த நிகழ்ச்சி Aவானது, பின் நடக்கும் நிகழ்ச்சி Bயின் நிகழ்தகவினைப் பாதிக்கிறது. ஆதலால் A,B நிகழ்ச்சிகள் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் அல்ல. அவை ஒன்றுக்கொன்று சார்ந்த நிகழ்ச்சிகளாகும்.

$$\therefore P(A \cap B) = P(A) \,.\, P(B/A)$$

இங்கு, $P(A) = \frac{4}{52}$; $P(B/A) = \frac{3}{51}$

$$P(A \cap B) = P(A) \,.\, P(B/A) = \frac{4}{52} \cdot \frac{3}{51}$$

$$P(A \cap B) = \frac{1}{221}$$

எ.கா. 10.11: ஒரு நாணயம் இருமுறை சுண்டிவிடப்படுகிறது. E = முதல்முறை சுண்டும்போது தலை விழுதல், F = இரண்டாம் முறை சுண்டும் போது தலை விழுதல் என வரையறுக்கப்பட்டால் பின்வரும் நிகழ்தகவினைக் காண்க.

(i) $P(E \cap F)$ (ii) $P(E \cup F)$ (iii) $P(E/F)$

(iv) $P(\bar{E}/F)$ (v) E மற்றும் F சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளா?

தீர்வு : கூறுவெளி

$$S = \{(H,H), (H, T), (T, H), (T, T)\}$$

மற்றும் $E = \{(H, H), (H\ T)\}$

$$F = \{(H, H), (T, H)\}$$

$$\therefore E \cap F = \{(H, H)\}$$

(i) $$P(E \cap F) = \frac{n(E \cap F)}{n(S)} = \frac{1}{4}$$

(ii) $$P(E \cup F) = P(E) + P(F) - P(E \cap F)$$

$$= \frac{2}{4} + \frac{2}{4} - \frac{1}{4} = \frac{3}{4}$$

$$P(E \cup F) = \frac{3}{4}$$

(iii) $$P(E/F) = \frac{P(E \cap F)}{P(F)} = \frac{1/4}{2/4} = \frac{1}{2}$$

(iv) $$P(\bar{E}/F) = \frac{P(\bar{E} \cap F)}{P(F)} = \frac{P(F) - P(E \cap F)}{P(F)}$$

$$= \frac{2/4 - 1/4}{2/4} = \frac{1}{2}$$

$$P(\bar{E}/F) = \frac{1}{2}$$

(v) $$P(E) = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}, \quad P(F) = \frac{2}{4} = \frac{1}{2}$$

$$P(E \cap F) = \frac{1}{4}$$

$$\therefore P(E)\,P(F) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

$P(E \cap F) = P(E) \,.\, P(F)$ ஆதலால்

E மற்றும் F சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்,

மேற்கண்ட எடுத்துக்காட்டில் E மற்றும் F ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகளல்ல. ஆனால் அவை சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்.

முக்கிய குறிப்பு :

சார்பிலா தன்மை நிகழ்தகவின் பண்புகளைக் கொண்டது. ஆனால் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள் கணங்களின் பண்புகளைக் கொண்டது. ஆகையால் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளை அவற்றின் நிகழ்தகவுகளின் மூலமும், ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகளை அவற்றின் கணங்களாகக் கொண்டும் கண்டறியலாம்.

***தேற்றம* 10.7:** A *மற்றும்* B *என்ற இரு நிகழ்ச்சிகளானவை* $P(A) \neq 0$, $P(B) \neq 0$ *என இருப்பின்*

(i) A *மற்றும்* B *ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள் எனில் அவை சார்பில நிகழ்ச்சிகளாக இருக்க இயலாது.*

(ii) A *மற்றும்* B *சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில் அவை ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகளாக இருக்க இயலாது. (நிரூபணம் தேவையில்லை)*

எ.கா. 10.12: $P(A) = 0.5$, $P(A \cup B) = 0.8$ *மற்றும்* A, B *சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில்* P(B)*ஐக் காண்க.*

தீர்வு :

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$$

$$P(A \cup B) = p(A)+P(B)-P(A).P(B)$$

($\because$ A *மற்றும்* B *சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள்*)

i.e. $$0.8 = 0.5 + P(B) - (0.5)\,P(B)$$

$$0.8 - 0.5 = (1 - 0.5)\,P(B)$$

$$\therefore P(B) = \frac{0.3}{0.5} = 0.6$$

$$P(B) = 0.6$$

எ.கா. 10.13: X, Y *மற்றும்* Z *என்ற மூன்று மாணவர்களிடம் ஒரு கணக்கு தீர்வு காணக் கொடுக்கப்படுகிறது. அவர்கள் அதை தீர்ப்பதற்கான நிகழ்தகவு முறையே* $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}$ *மற்றும்* $\frac{2}{5}$ *எனில், அந்த கணக்கினை தீர்க்கப்படுவதற்கான நிகழ்தகவு யாது?*

தீர்வு :

X, Y *மற்றும்* Z *என்ற மாணவர்கள் கணக்கின் தீர்வினைக் காண்பதற்கான நிகழ்ச்சிகளை முறையே* A, B *மற்றும்* C *என்க.*

$$\therefore\ P(A) = \frac{1}{2}\ ;\ P(\bar{A}) = 1 - P(A) = 1 - \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

$$P(B) = \frac{1}{3} \;;\; P(\bar{B}) = 1 - P(B) = 1 - \frac{1}{3} = \frac{2}{3}$$

$$P(C) = \frac{2}{5} \;;\; P(\bar{C}) = 1 - P(C) = 1 - \frac{2}{5} = \frac{3}{5}$$

P[கணக்கு தீர்க்கப்பட்டது] = P[குறைந்தது ஒருவராவது கணக்கினை தீர்வு காண்பது]

$$= P(A \cup B \cup C) = 1 - P(\overline{A \cup B \cup C})$$

$$= 1 - P(\bar{A} \cap \bar{B} \cap \bar{C})$$ (டீமார்கன் விதிப்படி)

$$= 1 - P(\bar{A}) \,.\, P(\bar{B}) \,.\, P(\bar{C})$$

($\because$ A,B,C சார்பிலா நிகழ்வுகள். எனவே $\bar{A}$,$\bar{B}$, $\bar{C}$ சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகும்)

$$= 1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{3}{5} = 1 - \frac{1}{5}$$

P[கணக்கு தீர்க்கப்பட்டது] = $\frac{4}{5}$

எ.கா. 10.14 : X என்பவர் 95% நிலைகளில் உண்மையே பேசுபவர். Y என்பவர் 90% நிலைகளில் உண்மையே பேசுபவர் எனில் ஒரே கருத்தை இருவரும் கூறுகையில் ஒருவருக்கொருவர் முரண்பட்ட கருத்தினை தெரிவிப்பதற்கான நிலைகளின் சதவீதம் யாது?

தீர்வு : A என்பது X உண்மையை பேசும் நிகழ்ச்சி என்க. B என்பது Y உண்மை பேசும் நிகழ்ச்சி என்க.

C என்பது ஒருவருக்கொருவர் முரண்பட்ட கருத்தினை கூறும் நிகழ்ச்சி என்க.

$$P(A) = 0.95 \quad \therefore P(\bar{A}) = 1 - P(A) = 0.05$$

$$P(B) = 0.90 \quad \therefore P(\bar{B}) = 1 - P(B) = 0.10$$

$\therefore$ C = (A உண்மை பேச மற்றும் B உண்மை பேசாதிருப்பது அல்லது B உண்மை பேச மற்றும் A உண்மை பேசாதிருப்பது)

$$C = [(A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)]$$

$$\therefore P(C) = P[(A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)]$$

படம் 10. 5

$= P(A \cap \bar{B}) + P(\bar{A} \cap B)$

($\because \bar{A} \cap B$ மற்றும் $A \cap \bar{B}$ ஒன்றுக்கொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள்.)

$= P(A) . P(\bar{B}) + P(\bar{A}) . P(B)$ ($\because$ A, $\bar{B}$ சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள். மேலும் $\bar{A}$, B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள்)

$= (0.95) \times (0.10) + (0.05)(0.90)$

$= 0.095 + 0.045$

$= 0.1400$

P(C) =14%

பயிற்சி 10.3

(1) சார்பிலா மற்றும் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகளை வரையறுக்க. இரண்டு நிகழ்ச்சிகள் ஒரே சமயத்தில் ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகளாகவும் சார்பிலா நிகழ்ச்சிகளாகவும் இருக்க இயலுமா?

(2) A மற்றும் B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில் $\bar{A}$ மற்றும் $\bar{B}$ சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் என நிரூபிக்க.

(3) P(A) = 0.4, P(B) = 0.7 மற்றும் P(B / A) = 0.5 எனில் P(A / B) மற்றும் $P(A \cup B)$ ஆகியவற்றைக் காண்க.

(4) P(A) = 2/5, P(B) =3/4 மற்றும் $A \cup B$ = (கூறுவெளி) எனில், P(A / B)ஐ காண்க.

(5) $P(A \cup B) = 0.6$, P(A) = 0.2 மற்றும் A, B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில் P(B)-ஐக் காண்க.

(6) $P(A \cup B) = 5/6$, $P(A \cap B) = 1/3$ மற்றும் $P(\bar{B}) = 1/2$ எனில் A மற்றும் B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனக் காட்டுக.

(7) P(A) = 0.25, P(B) = 0.48 மற்றும் A, B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் எனில்

find (i) $P(A \cap B)$ (ii) P(B / A) (iii) $P(\bar{A} \cap \bar{B})$ காண்க.

(8) P(A) = 0.50, P(B) = 0.40 மேலும் $P(A \cap B) = 0.20$ எனில் கீழ்க்காண்பவைகளைச் சரிபார்க்க.

(i) P(A / B) = P(A), (ii) $P(A / \bar{B}) = P(A)$

(iii) P(B / A) = P(B) (iv) $P(B / \bar{A}) = P(B)$

(9) $P(A) = 0.3$, $P(B) = 0.6$ மேலும் $P(A \cap B) = 0.25$

(i) $P(A \cup B)$ (ii) $P(A/B)$ (iii) $P(B/\bar{A})$ (iv) $P(\bar{A}/B)$ (v) $P(\bar{A}/\bar{B})$ஐக் காண்க.

(10) $P(A) = 0.45$ மற்றும் $P(A \cup B) = 0.75$ எனில் கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு P(B)-ன் மதிப்பினைக் காண்க. (i) A மற்றும் B ஒன்றையொன்று விலக்கிய நிகழ்ச்சிகள் (ii) A மற்றும் B சார்பிலா நிகழ்ச்சிகள் (iii) $P(A / B) = 0.5$ (iv) $P(B / A) = 0.5$

(11) 52 சீட்டுகள் கொண்ட சீட்டுக் கட்டிலிருந்து இரண்டு சீட்டுகள் ஒன்றன்பின் ஒன்றாக உருவப்படுகிறது. பின்வரும் நிலைகளில், இரண்டு சீட்டுகளுமே காலாட்படை வீரர்களாக (jacks) கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகள் காண்க. (i) இரண்டாம் சீட்டு உருவும் முன்னரே முதல் சீட்டு மீண்டும் கட்டிலேயே வைக்கப்படுகிறது. (ii) முதல் சீட்டு கட்டில் வைக்கப்படாமல் இரண்டாம் சீட்டு உருவப்படுகிறது.

(12) 52 சீட்டுகள் கொண்ட ஒரு கட்டிலிருந்து ஒரு சீட்டு உருவப்படுகிறது. கீழ்க்காண்பனவற்றிற்கு நிகழ்தகவுகள் காண்க.

(i) சிவப்பு அரசனாக இருப்பது (ii) சிவப்பு ஏஸ் (Ace)ஆகவோ அல்லது கருப்பு ராணியாகவோ இருப்பது.

(13) ஒரு பையில் 5 வெள்ளைநிறப் பந்துகளும் 3 கருப்பு நிறப் பந்துகளும் உள்ளன. மற்றொரு பையில் 4 வெள்ளைப் பந்துகளும் 6 கருப்புநிறப் பந்தகளும் உள்ளன. ஒவ்வொரு பையிலிருந்தும் ஒரு பந்து எடுக்கப்படகிறது எனில் (i) இரண்டும் வெள்ளைநிறப் பந்துகள் (ii) இரண்டும் கருப்புநிறப் பந்துகள் (iii) ஒரு வெள்ளை மற்றும் ஒரு கருப்பு பந்து கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகள் காண்க.

(14) ஒரு கணவரும் மனைவியும் ஒரே பதவிக்குரிய இரண்டு காலியான இடங்களுக்குத் தேர்வு செய்ய நேர்முகத் தேர்விற்கு அழைக்கப்படுகின்றனர். கணவர் தேர்வு செய்யப்படுவதற்கான நிகழ்தகவு 1/6, மனைவி தேர்வு செய்யப்படுவதற்கான நிகழ்தகவு 1/5 எனில்

(i) இருவருமே தேர்வு செய்யப்படுவதற்கு (ii) இருவரில் ஒருவர் மட்டுமே தேர்வு செய்யப்படுவதற்கு (iii) இருவருமே தேர்வு செய்யப்படாததற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

(15) கணிதவியலில் ஒரு வினாவானது மூன்று மாணவர்களிடம் தீர்வு காண்பதற்காகக் கொடுக்கப்படுகிறது. அவர்கள் தனித்தனியே தீர்ப்பதற்கான நிகழ்தகவு 1/2, 1/3 மற்றும் 1/4 (i) அந்த வினா தீர்வு கொண்டிருப்பதற்கான நிகழ் தகவு யாது? (ii) சரியாக ஒருவர் மட்டுமே அந்த வினாவிற்குத் தீர்வு காண்பதற்கான நிகழ் தகவு யாது?

(16) சம வாய்ப்பு முறையில் ஒரு வருடம் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. அது (i) 53 ஞாயிறுகளைக் கொண்டதாக இருப்பதன் நிகழ் தகவு யாது? (ii) 53 ஞாயிறுகளைக் கொண்ட ஒரு லீப் வருடமாக கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

(17) ஒரு மாணவருக்கு IITஇல் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு 60%, அவருக்கு அண்ணா பல்கலைக் கழகத்தில் இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ் தகவு 75% எனில் (i) இரண்டில் சரியாக ஒன்றில் மட்டும் இடம் கிடைப்பதற்கான (ii) குறைந்தது ஒன்றிலாவது இடம் கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவுகளைக் காண்க.

(18) ஒரு இலக்கை குறிபார்த்து சுடும்போது 5ல் 4 முறை Aவும், 4ல் 3முறை B-யும், 3ல் 2 முறை Cயும் சரியாக இலக்கைச் சுடுகின்றனர். அந்த இலக்கை சரியாக இருவர் மட்டுமே சுடுவதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

(19) ஒரு வகுப்பில் 2/3 பங்கு மாணவர்களும், மீதம் மாணவியர்களும் உள்ளனர். ஒரு மாணவி முதல் வகுப்பில் தேர்ச்சிப் பெற நிகழ்தகவு 0.75, மாணவர் முதல் வகுப்பில் தேர்ச்சிப் பெற நிகழ்தகவு 0.70. சமவாய்ப்பு முறையில் ஒருவர் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டால் அவர் முதல் வகுப்பில் தேர்ச்சி பெற்றவருக்கான நிகழ்தகவு யாது?

(20) 80% நிலைகளில் A உண்மையை பேசுகிறார். 75% நிலைகளில் B உண்மையை பேசுகிறார் எனில், ஒரே கருத்தை கூறுகையில், ஒருவருக்கொருவர் முரண்பட்ட கருத்தை கூறுவதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

10.5 ஒரு நிகழ்ச்சியின் கூட்டு நிகழ்தகவு
(Total probability of an event):

$A_1, A_2 \ldots A_n$ என்பன ஒன்றை ஒன்று விளக்கிய யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகள் மற்றும் B என்பது கூறுவெளியில் உள்ள ஏதேனும் ஒரு நிகழ்ச்சி எனில்

$$\mathbf{P(B) = P(A_1) \cdot P(B/A_1) + P(A_2) \cdot P(B/A_2) \ldots + P(A_n)\, P(B/A_n)}$$

P(B) என்பது நிகழ்ச்சி Bன் கூட்டு நிகழ் தகவு ஆகும்.

படம் 10.7

எ.கா. 10.15: ஒரு ஜாடியில் 10 வெள்ளை மற்றும் 5 கருப்பு பந்துகள் உள்ளன. மற்றொரு ஜாடியில் 3 வெள்ளை மற்றும் 7 கருப்பு பந்துகள்

உள்ளன. சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு ஜாடி தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டு அதிலிருந்து இரண்டு பந்துகள் எடுக்கப்படுகின்றன. இரு பந்துகளும் வெள்ளை நிறப் பந்துகளாக இருப்பதற்கான நிகழ்தகவு காண்க.

***தீர்வு* :**

A_1 என்பது ஜாடி-Iஐ தேர்ந்தெடுக்கும் நிகழ்ச்சி என்க. A_2 என்பது ஜாடி-IIஐ தேர்ந்தெடுக்கும் நிகழ்ச்சி என்க. B என்பது இரண்டு வெள்ளைப் பந்துகளைத் தேர்ந்தெடுக்கும் நிகழ்ச்சி என்க.

படம் 10.8

இங்கு நிகழ்ச்சி B-ன் கூட்டு நிகழ்தகவினைக் காண வேண்டும். i.e. P(B). A_1 மற்றும் A_2 என்பன ஒன்றையொன்று விலக்கிய, யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகள் என்பது தெளிவாக தெரிகிறது.

$$P(B) = P(A_1) \cdot P(B/A_1) + P(A_2) \cdot P(B/A_2) \quad \ldots (1)$$

$$P(A_1) = \frac{1}{2} \; ; \; P(B/A_1) = \frac{10C_2}{15C_2}$$

$$P(A_2) = \frac{1}{2} \; ; \; P(B/A_2) = \frac{3C_2}{10C_2}$$

	வெள்ளை	கருப்பு	Total
ஜாடி I	10	5	(15)
ஜாடி II	3	7	(10)

படம் 10.9

(1)ல் பிரதியிட,

$$P(B) = P(A_1) \cdot P(B/A_1) + P(A_2) \cdot P(B/A_2)$$

$$= \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{10C_2}{15C_2}\right) + \left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{3C_2}{10C_2}\right) = \frac{1}{2}\left[\frac{3}{7} + \frac{1}{15}\right]$$

$$P(B) = \frac{26}{105}$$

எ.கா. 10.16: ஒரு தொழிற்சாலையில் I மற்றும் II என்ற இருவகை இயந்திரங்கள் உள்ளன. தொழிற்சாலையின் உற்பத்தியில் 30% இயந்திரம்-Iன் மூலமும் 70% இயந்திரம்-IIன் மூலமும் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. மேலும் இயந்திரம்-Iன் மூலம் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பொருட்களில் 3% குறைபாடுள்ளதாகவும், இயந்திரம்-IIன் மூலம் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பொருட்களில் 4% குறைபாடுள்ளதாகவும் இருக்கிறது. உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பொருட்களிலிருந்து, சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு பொருள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. அப்பொருள் குறைபாடுடன் இருப்பதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

தீர்வு :

A_1 *என்பது இயந்திரம்-Iன் உற்பத்தி பொருள்களின் நிகழ்ச்சி என்க.* A_2 *என்பது இயந்திரம்-IIன் உற்பத்தி பொருள்களின் நிகழ்ச்சி என்க.* B *என்பது குறைபாடுள்ள ஒரு பொருளைத் தேர்ந்தெடுப்பதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.*

$$\therefore P(A_1) = \frac{30}{100} \; ; \; P(B/A_1) = \frac{3}{100}$$

$$P(A_2) = \frac{70}{100} \; ; \; P(B/A_2) = \frac{4}{100}$$

படம் 10.10

இங்கு B*-ன் கூட்டு நிகழ்தகவினையே வினாவாக கேட்கப்பட்டுள்ளது.*

A_1 *மற்றும்* A_2 *என்பன ஒன்றை ஒன்று விலக்கிய, மேலும் யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாகும். ஆதலால்*

$$P(B) = P(A_1)\,P(B/A_1) + P(A_2)\,P(B/A_2)$$

$$= \left(\frac{30}{100}\right)\left(\frac{3}{100}\right) + \left(\frac{70}{100}\right) \cdot \left(\frac{4}{100}\right)$$

$$= \frac{90 + 280}{10000}$$

$$P(B) = 0.0370$$

***தேற்றம* 10.8: *பேயிஸ்-ன் தேற்றம* (Bayes' Theorem) :**

$A_1, A_2, \ldots A_n$ *என்ற ஒன்றையொன்று விலக்கிய மற்றும் யாமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாகவும் மேலும* $P(A_i) > 0$ $(i = 1, 2 \ldots n)$ *எனில்* $P(B) > 0$ *இருக்கும்படி* B *என்ற எந்த ஒரு நிகழ்ச்சிக்கும்*

Fig. 10.11

$$\boxed{P(A_i/B) = \frac{P(A_i)\,P(B/A_i)}{P(A_1)\,P(B/A_1) + P(A_2)\,P(B/A_2) + \ldots + P(A_n)\,P(B/A_n)}}$$

(*நிரூபணம் தேவையில்லை*)

இந்த சூத்திரமானது $P(A_i/B)$*க்கும்* $P(B/A_i)$*க்கும் உள்ள தொடர்பினை கொடுக்கிறது.*

எ.கா. 10.17: *ஒரு தொழிற்சாலையில் I மற்றும் II என்ற இரு இயந்திரங்கள் உள்ளன. அவைகள் முறையே 30% மற்றும் 70% பொருட்களை உற்பத்தி செய்கின்றன. இவற்றுள் இயந்திரம்-I உற்பத்தி செய்ததில் 3%மும், இயந்திரம்-II உற்பத்தி செய்ததில் 4%மும் குறைபாடுள்ளதாக இருக்கிறது. உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பொருள்களிலிருந்து, சமவாய்ப்பு முறையில் தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட ஒரு பொருள் குறைபாடுள்ளதாக இருப்பின், அப்பொருள் இயந்தி II உற்பத்தி செய்ததற்கான நிகழ்தகவு யாது?* (மேலுள்ள எடுத்துக்காட்டு 10.16ல் கொடுக்கப்பட்ட வினாவுடன் ஒப்பிட்டுப் பார்க்கவும்).

தீர்வு :

A_1 *மற்றும்* A_2 *முறையே இயந்திரங்கள்-I மற்றும் II மூலம் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட பொருள்களின் நிகழ்ச்சி என்க.*

B *என்பது குறைபாடுள்ள ஒரு பொருளை தேர்ந்தெடுப்பதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.*

$$\therefore P(A_1) = \frac{30}{100} \quad ; P(B/A_1) = \frac{3}{100}$$

$$P(A_2) = \frac{70}{100} \quad ; P(B/A_2) = \frac{4}{100}$$

இப்போது நாம் சார்புநிலை நிகழ் தகவு $P(A_2/B)$ *யினை கண்டறிதல் வேண்டும்.*

படம் 10.12

A_1 *மற்றும்* A_2 *ஆகிய இரு நிகழ்ச்சிகள் ஒன்றையொன்று விலக்கிய மேலும் யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாதலால், பேயிஸ்-ன்* (Bayes') *தேற்றப்படி*

$$P(A_2/B) = \frac{P(A_2) \cdot P(B/A_2)}{P(A_1) \cdot P(B/A_1) + P(A_2) \cdot P(B/A_2)}$$

$$= \frac{\left(\frac{70}{100}\right) \times \left(\frac{4}{100}\right)}{\left(\frac{30}{100}\right)\left(\frac{3}{100}\right) + \left(\frac{70}{100}\right)\left(\frac{4}{100}\right)} = \frac{0.0280}{0.0370} = \frac{28}{37}$$

$$P(A_2/B) = \frac{28}{37}$$

எ.கா. 10.18: *ஒரு அலுவலகத்தில் X, Y மற்றும் Z ஆகியோர் அலுவலகத்தின் தலைமையதிகாரியாக பொறுப்பேற்பதற்கான வாய்ப்புகள் முறையே 4 : 2 : 3 என்ற விகிதத்தில் அமைந்துள்ளன. அவர்கள் தலைமை அதிகாரிகளாக பொறுப்பேற்பின் போனஸ் திட்டத்தை* (bonus scheme) *அமுல்படுத்துவதற்கான நிகழ்தகவுகள் முறையே 0.3, 0.5 மற்றும் 0.4.*

அலுவலகத்தில் போனஸ் திட்டம் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டிருப்பின் Z தலைமையதிகாரியாக நியமனம் செய்யப்படவதற்கான நிகழ்தகவினைக் காண்க.

தீர்வு :

A_1, A_2 மற்றும் A_3 என்பவை முறையே X, Y மற்றும் Z ஆகியோர் தலைமையதிகாரியாக நியமனம் பெறுவதற்கான நிகழ்ச்சிகள் என்க. B என்பது போனஸ் திட்டத்தை அமுல்படுத்துவதற்கான நிகழ்ச்சி என்க.

படம் 10.13

$$\therefore\ P(A_1) = \frac{4}{9}\ ;\ P(B/A_1) = 0.3$$

$$P(A_2) = \frac{2}{9}\ ;\ P(B/A_2) = 0.5$$

$$P(A_3) = \frac{3}{9}\ ;\ P(B/A_3) = 0.4$$

நாம் சார்புநிலை நிகழ் தகவு $P(A_3/B)$ யினை காண வேண்டும்.

A_1, A_2 மற்றும் A_3 நிகழ்ச்சிகள் ஒன்றையொன்று விலக்கிய, யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாதலால் பேயிஸ்-ன் தேற்றத்தின்படி

$$P(A_3/B) = \frac{P(A_3) \cdot P(B/A_3)}{P(A_1) \cdot P(B/A_1) + P(A_2) \cdot P(B/A_2) + P(A_3) \cdot P(B/A_3)}$$

$$= \frac{\left(\frac{3}{9}\right)(0.4)}{\left(\frac{4}{9}\right)(0.3) + \left(\frac{2}{9}\right)(0.5) + \left(\frac{3}{9}\right)(0.4)} = \frac{12}{34}$$

$$P(A_3/B) = \frac{6}{17}$$

எ.கா. 10.19: X, Y மற்றும் Z என்ற மூன்று வாடகைக்கார் நிறுவனத்திடமிருந்து, ஆலோசனை தரும் ஒரு நிறுவனம் கார்களை வாடகைக்கு வாங்குகிறது. 20% கார்களைXயிடமிருந்தும், 30% Yயிடம் இருந்தும் 50% Zயிடம் இருந்தும் வாடகைக்கு அமர்த்துகிறது. இவற்றுள் 90%, 80% மற்றும் 95% கார்கள் முறையே X, Y மற்றும் Z இடம் நல்ல நிலையில் இயங்கும் கார்களாகும், எனில் (1) ஆலோசனை நிறுவனம் ஒரு நல்ல நிலையில் இயங்கும் ஒரு காரை வாடகைக்கு பெறுவதற்கான நிகழ் தகவு யாது? (ii) வாடகைக்கு அமர்த்தப்பட்ட கார் நல்ல நிலையில் இயங்கும் கார் எனில் அந்த கார் Yயிடமிருந்து பெறப்பட்டதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

தீர்வு :

X, Y மற்றும் Z என்ற நிறுவனங்களிடம் இருந்து முறையே வாடகைக்கு கார்களை அமர்த்தும் நிகழ்ச்சிகளை A, B மற்றும் C என்க. வாடகைக்கு அமர்த்தப்பட்ட கார் நல்ல நிலையில் இருப்பதற்கான நிகழ்ச்சியினை G என்க.

படம் 10.14

$$\therefore P(A_1) = 0.20 \; ; P(G/A_1) = 0.90$$
$$P(A_2) = 0.30 \; ; P(G/A_2) = 0.80$$
$$P(A_3) = 0.50 \; ; P(G/A_3) = 0.95$$

(i) நாம் முதலில் Gயின் கூட்டு நிகழ்தகவினை காண வேண்டும். i.e. P(G)

A_1, A_2 மற்றும் A_3 ஒன்றையொன்று விலக்கிய, யாவுமளாவிய நிகழ்ச்சிகளாதலால்

$$P(G) = P(A_1) . P(G/A_1) + P(A_2) . P(G/A_2) + P(A_3) . P(G/A_3)$$
$$= (0.2)(0.90) + (0.3)(0.80) + (0.5)(0.95)$$
$$= 0.180 + 0.240 + 0.475$$
$$P(G) = 0.895$$

(ii) இங்கு நாம் $P(A_2/G)$ஐ காண வேண்டும்.

பேயிஸ்-ன் சூத்திரப்படி,

$$P(A_2/G) = \frac{P(A_2) . P(G/A_2)}{P(A_1) . P(G/A_1) + P(A_2) . P(G/A_2) + P(A_3) . P(G/A_3)}$$
$$= \frac{(0.3)(0.80)}{(0.895)} \qquad (P(G) = 0.895)$$
$$= \frac{0.240}{0.895}$$
$$P(A_2/G) = 0.268 \text{ (தோராயமாக)}$$

பயிற்சி 10.4

(1) A என்னும் பையில் 5 வெள்ளை, 6 கருப்பு பந்துகளும், B என்னும் பையில் 4 வெள்ளை மற்றும் 5 கருப்பு பந்துகளும் உள்ளன. சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு பையை தேர்ந்தெடுத்து அதிலிருந்து ஒரு பந்து எடுக்கப்படுகிறது. அது வெள்ளை நிறப்பந்தாக இருப்பதற்கான நிகழ்த்தகவைக் காண்க.

(2) ஒரு தொழிற்சாலையில் இயந்திரம்-I மற்றம் II என்ற இரு இயந்திரங்கள் உள்ளன. தொழிற்சாலையின் மொத்த உற்பத்தியில் 25% இயந்திரம்-Iம் மற்றும் 75% இயந்திரம்-IIம் உற்பத்தி செய்கிறது. மேலும் இயந்திரம்-I உற்பத்தி செய்ததில் 3%மும் இயந்திரம்-II உற்பத்தி செய்ததில் 4%மும் குறைபாடுள்ளதாக இருக்கிறது. சமவாய்ப்பு முறையில் தெர்ந்தெடுக்கப்பட்ட ஒரு பொருள் குறைபாடுள்ளதாக இருப்பதற்கான நிகழ்தகவு என்ன?

(3) ஒரே மாதிரியாகத் தோற்றமளிக்கும் இரு பெட்டிகளில், முதல் பெட்டியில் 5 வெள்ளை மற்றும் 3 சிவப்புப் பந்துகளும், இரண்டாவது பெட்டியில் 4 வெள்ளை மற்றும் 6 சிவப்பு பந்துகளும் உள்ளன. சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு பெட்டியைத் தேர்ந்தெடுத்து, அதிலிருந்து ஒரு பந்து எடுக்கப்படுகிறது. (i) அது வெள்ளைநிறப் பந்தாக இருப்பதற்கான நிகழ் தகவு யாது? (ii) எடுக்கப்பட்ட பந்து வெள்ளை நிறமாக இருப்பின், அது முதல் பெட்டியிலிருந்து கிடைப்பதற்கான நிகழ் தகவு யாது?

(4) ஒரு தொழிற்சாலை உற்பத்தி செய்யும் மொத்த பொருட்களில் 45% இயந்திரம்-Iம் 55% இயந்திரம்-IIம் உற்பத்தி செய்கிறது. இயந்திரம்-I உற்பத்தி செய்யும் பொருள்களில் 10%மும் இயந்திரம்-II உற்பத்தி செய்யும் பொருள்களில் 5%மும் குறைபாடுள்ளதாக இருக்கிறது. ஒரு நாளைய உற்பத்தியிலிருந்து சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு பொருள் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது.

(i) அது குறைபாடு உள்ள பொருளாக கிடைப்பதற்கான நிகழ்தகவு யாது? (ii) அது குறைபாடு உள்ள பொருளாக இருப்பின், இயந்திரம்-II உற்பத்தி செய்வதற்கான நிகழ் தகவு யாது?

(5) மூன்று ஜாடிகளில் சிவப்பு மற்றும் வெள்ளை வில்லைகள் கீழ்க்கண்டவாறு உள்ளது.

		சிவப்பு	வெள்ளை
ஜாடி I	:	6	4
ஜாடி II	:	3	5
ஜாடி III	:	4	6

சமவாய்ப்பு முறையில் ஒரு ஜாடி தேர்ந்தெடுக்கப்பட்டு அதிலிருந்து ஒரு வில்லை எடுக்கப்படுகிறது.

(i) அது வெள்ளைநிறம் கொண்ட வில்லையாக இருப்பதற்கான நிகழ்தகவு யாது?

(ii) அந்த வில்லை வெள்ளைநிறம் கொண்டதாக இருப்பின், ஜாடி II-லிருந்து எடுக்கப்பட்டதற்கான நிகழ் தகவு யாது?

குறிக்கோள் வினாக்கள்

ஏற்புடைய விடையினை எடுத்தெழுதுக.

(1) சரியான கூற்று எது?

(1) மெய்யெண்களின் கணம் ஒரு மூடிய கணம்

(2) குறையில்லா எண்களின் கணத்தினை $(0, \infty)$ எனக் குறிப்பிடலாம்.

(3) $[3, 7]$ என்ற கணம் 3 மற்றும் 7க்கு இடையே உள்ள இயல் எண்களின் கணம்

(4) $(2, 3)$ என்ற கணம் $[2, 3]$-ன் உட்கணம்

(2) சரியான கூற்றுகள் எவை?

(i) ஒரு தொடர்பானது சார்பாகவும் இருக்கும்.

(ii) ஒரு சார்பு, தொடர்பாகவும் இருக்கும்.

(iii) தொடர்பு இல்லாத சார்பினை வரையறுக்க இயலும்

(iv) சார்பு இல்லாது தொடர்பினை வரையறுக்க இயலும்

(1) (ii), (iii), (iv) (2) (ii), (iii) (3) (iii), (iv) (4) அனைத்தும்

(3) மேற்கோர்த்தல் சார்பு எது?

(1) $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$; $f(x) = x^2$ (2) $f : \mathrm{R} \to [1,\infty)$; $f(x) = x^2 + 1$

(3) $f : \mathrm{R} \to \{1, -1\}$; $f(x) = \frac{|x|}{x}$ (4) $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$; $f(x) = -x^2$

(4) ஒன்றுக்கு ஒன்று இல்லாத சார்பு எது?

(1) $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$; $f(x) = x + 1$ (2) $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$; $f(x) = x^2 + 1$

(3) $f : \mathrm{R} \to \{1, -1\}$; $f(x) = x - 1$ (4) $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}$; $f(x) = -x$

(5) $f : \mathrm{R} \to \mathrm{R}^+$; $f(x) = x^2$ என வரையறுத்தால் f^{-1}

(1) மேற்கோர்த்தல் அல்ல

(2) ஒன்றுக்கு ஒன்று அல்ல

(3) மேற்கோர்த்தல் மற்றும் ஒன்றுக்கு ஒன்று அல்ல

(4) சார்பு அல்ல

(6) சரியான கூற்றுகள் எவை?

(i) ஒரு மாறிலிச் சார்பு, பல்லுறுப்புக் கோவையாகும்

(ii) ஒரு பல்லுறுப்புக் கோவை, ஒரு இருபடிச் சார்பாகும்

(iii) ஒவ்வொரு ஒருபடிச் சார்புக்கும் நேர்மாறு சார்பு உண்டு

(iv) ஒரு மாறிலிச் சார்பு ஒன்றுக்கு ஒன்றாக இருக்க அதன் சார்பகம் ஒற்றை உறுப்புக் கணமாக இருத்தல் வேண்டும்

(1) (i), (iii) (2) (i), (iii), (iv) (3) (ii), (iii) (4) (i), (iii)

(7) சரியான கூற்றுகள் எவை?

(i) வட்டச் சார்புகளின் சார்பகம் R ஆகும்.

(ii) tan சார்பின் வீச்சகம் R ஆகும்.

(iii) cos சார்பின் வீச்சகம் sin சார்பின் வீச்சகமும் ஒன்றாகும்

(iv) Cot சார்பின் சார்பகம் $R - \{k\pi\}$ ஆகும்

(1) அனைத்தும் (2) (i), (iii) (3) (ii), (iii), (iv) (4) (iii), (iv)

(8) சரியான கூற்றுகள் எவை?

(i) *fog* என்ற சார்புகளின் இணைப்பும் *fg* என்ற சார்புகளின் பெருக்கலும் சமமானது.

(ii) *fog* என்ற சார்புகளின் இணைத்தலில், *g*-ன் துணைச் சார்பகம், *f*-ன் சார்பகமாக இருக்கும்.

(iii) *fog* மற்றும் *gof* கிடைக்க ஏதுவானால் *fog* = *gof* ஆகும்

(iv) *f*, *g* என்ற சார்புகள் ஒரே சார்பகத்தையும் துணைச் சார்பகத்தையும் கொண்டிருக்குமானால் *fg* = *gf* ஆகும்.

(1) அனைத்தும் (2) (ii), (iii), (iv) (3) (iii), (iv) (4) (ii), (iv)

(9) $\lim_{x \to -6} (-6)$

(1) 6 (2) – 6 (3) 36 (4) – 36

(10) $\lim_{x \to -1} (x)$

(1) – 1 (2) 1 (3) 0 (4) 0.1

(11) $f(x) = -x + 3$ என்ற சார்பின் $x \to 1$-ன் இடப்பக்க எல்லை

(1) 2 (2) 3 (3) 4 (4) – 4

(12) $f(x) = |x|$ எனில் Rf(0) =

(1) x (2) 0 (3) $-x$ (4) 1

(13) $\lim_{x \to 1} \frac{x^{1/3} - 1}{x - 1}$

(1) $\frac{2}{3}$ (2) $-\frac{2}{3}$ (3) $\frac{1}{3}$ (4) $-\frac{1}{3}$

(14) $\lim_{x \to 0} \frac{\sin 5x}{x}$

(1) 5 (2) $\frac{1}{5}$ (3) 0 (4) 1

(15) $\lim_{x \to 0} x \cot x$

(1) 0 (2) – 1 (3) ∞ (4) 1

(16) $\lim_{x \to 0} \frac{2^x - 3^x}{x}$

(1) $\log\left(\frac{3}{2}\right)$ (2) $\log\left(\frac{2}{3}\right)$ (3) $\log 2$ (4) $\log 3$

(17) $\lim_{x \to 1} \frac{e^x - e}{x - 1}$

(1) 1 (2) 0 (3) ∞ (4) e

(18) $\lim_{x \to \infty} \left(1 - \frac{1}{x}\right)^x$

(1) e (2) $-e$ (3) $\frac{1}{e}$ (4) 0

(19) $f(x) = |x|$ என்ற சார்பு

(1) $x = 0$-ல் தொடர்ச்சியானது

(2) $x = 0$-ல் தொடர்ச்சியற்றது

(3) $x = 0$-ல் வலப்பக்கமாக தொடர்ச்சியற்றது

(4) $x = 0$-ல் இடப்பக்கமாக தொடர்ச்சியற்றது

(20) $f(x) = \begin{cases} \frac{\sin(x-2)}{x-2}, & x \neq 2 \\ 0, & x = 2 \end{cases}$ என்ற சார்பு எப்புள்ளியில் தொடர்ச்சியற்றது.

(1) $x = 0$ (2) $x = -1$ (3) $x = -2$ (4) $x = 2$

(21) $f(x) = \frac{x^2 + 1}{x^2 - 3x + 2}$ என்ற சார்பு R-ல் எந்த புள்ளியைத் தவிர மற்றப் புள்ளிகளுக்குத் தொடர்ச்சியானது?

(1) $x = 1$ (2) $x = 2$ (3) $x = 1, 2$ (4) $x = -1, -2$

(22) $f(x) = \lfloor x \rfloor$ என்ற மீப்பெரு முழு எண் சார்பு எனில்

(1) $f(x)$ எல்லா குறை, மிகை முழு எண்களுக்கும் தொடர்ச்சியானது

(2) $f(x)$ எல்லா குறை, மிகை முழு எண்களுக்கும் தொடர்ச்சியற்றது

(3) $x = 0$ என்பது மட்டுமே தொடர்ச்சியற்ற புள்ளி

(4) $x = 1$ மட்டுமே தொடர்ச்சி உள்ள புள்ளி

(23) $y = \tan x$ என்ற சார்பு எப்புள்ளியில் தொடர்ச்சியானது?

(1) $x = 0$ (2) $x = \frac{\pi}{2}$ (3) $x = \frac{3\pi}{2}$ (4) $x = -\frac{\pi}{2}$

(24) $f(x) = |x| + |x - 1|$ என்ற சார்பு

(1) $x = 0$ என்ற புள்ளியில் மட்டுமே தொடர்ச்சியானது

(2) $x = 1$ என்ற புள்ளியில் மட்டுமே தொடர்ச்சியானது

(3) $x = 0, x = 1$ என்ற புள்ளிகளில் தொடர்ச்சியானது

(4) $x = 0, 1$ என்ற புள்ளிகளில் தொடர்ச்சியற்றது

(25) $f(x) = \begin{cases} kx^2 & x \le 2 \\ 3 & x > 2 \end{cases}$ என்ற சார்பு $x = 2$ என்ற புள்ளியில் தொடர்ச்சியானதாக இருப்பின், R-ன் மதிப்பு

(1) $\frac{3}{4}$ (2) $\frac{4}{3}$ (3) 1 (4) 0

(26) $f(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x \le 0 \\ x & \text{if } x > 0 \end{cases}$ எனில் $Rf'(0)$-ன் மதிப்பு

(1) 1 (2) 0 (3) – 1 (4) 2

(27) $f(x) = |x - \alpha|$ எனில் $Lf'(\alpha)$-ன் மதிப்பு

(1) α (2) $-\alpha$ (3) – 1 (4) 1

(28) $f(x) = \begin{cases} 2, & x \le 1 \\ x, & x > 1 \end{cases}$ என்ற சார்புக்கு எப்புள்ளியில் வகைக்கெழு இல்லை.

(1) $x = 0$ (2) $x = -1$ (3) $x = 1$ (4) $x = -2$

(29) $f(x) = x^2 |x|$ என்ற சார்புக்கு $x = 0$-ல் வகைக்கெழு

(1) 0 (2) – 1 (3) – 2 (4) 1

(30) $\int \sin^2 x \, dx =$

(1) $\frac{\sin^3 x}{3} + c$ (2) $-\frac{\cos^2 x}{2} + c$

(3) $\frac{1}{2}\left[x - \frac{\sin 2x}{2}\right] + c$ (4) $\frac{1}{2}[1 + \sin 2x] + c$

(31) $\int \sin 7x \cos 5x \, dx =$

(1) $\frac{1}{35} \cos 7x \sin 5x + c$ (2) $-\frac{1}{2}\left[\frac{\cos 12x}{12} + \frac{\cos 2x}{2}\right] + c$

(3) $-\frac{1}{2}\left[\frac{\cos 6x}{6} + \cos x\right] + c$ (4) $\frac{1}{2}\left[\frac{\cos 12x}{12} + \frac{\cos 2x}{2}\right] + c$

(32) $\int \frac{e^x}{e^x + 1} \, dx =$

(1) $\frac{1}{2} x + c$ (2) $\frac{1}{2}\left(\frac{e^x}{1 + e^x}\right)^2 + c$ (3) $\log(e^x + 1) + c$ (4) $x + e^x + c$

(33) $\int \frac{1}{e^x}\, dx =$

(1) $\log e^x + c$ (2) $-\frac{1}{e^x} + c$ (3) $\frac{1}{e^x} + c$ (4) $x + c$

(34) $\int \log x\, dx =$

(1) $\frac{1}{x} + c$ (2) $\frac{(\log x)^2}{2} + c$ (3) $x \log x + x + c$ (4) $x \log x - x + c$

(35) $\int \frac{x}{1 + x^2}\, dx =$

(1) $\tan^{-1}x + c$ (2) $\frac{1}{2} \log (1 + x^2) + c$ (3) $\log (1 + x^2) + c$ (4) $\log x + c$

(36) $\int \tan x\, dx =$

(1) $\log \cos x + c$ (2) $\log \sec x + c$ (3) $\sec^2 x + c$ (4) $\frac{\tan^2 x}{2} + c$

(37) $\int \frac{1}{\sqrt{3 + 4x}}\, dx =$

(1) $\frac{1}{2} \sqrt{3 + 4x} + c$ (2) $\frac{1}{4} \log \sqrt{3 + 4x} + c$

(3) $2\sqrt{3 + 4x} + c$ (4) $-\frac{1}{2} \sqrt{3 + 4x} + c$

(38) $\int \left(\frac{x - 1}{x + 1}\right) dx =$

(1) $\frac{1}{2} \left(\frac{x - 1}{x + 1}\right)^2 + c$ (2) $x - 2 \log (x + 1) + c$

(3) $\frac{(x - 1)^2}{2} \log (x + 1) + c$ (4) $x + 2 \log (x + 1) + c$

(39) $\int \operatorname{cosec} x\, dx =$

(1) $\log \tan \frac{x}{2} + c$ (2) $-\log (\operatorname{cosec} x + \cot x) + c$

(3) $\log (\operatorname{cosec} x - \cot x) + c$ (4) மேற்கூறிய அனைத்தும்

(40) மூன்று பகடைகள் உருட்டப்படும்பொழுது. சோதனையின் விளைவுகளின் எண்ணிக்கை

(1) 2^3 (2) 3^6 (3) 6^3 (4) 3^2

(41) மூன்று நாணயங்கள் சுண்டப்படுகின்றன. குறைந்தபட்சம் 2 தலைகள் கிடைக்க நிகழ்தகவு

(1) $\frac{3}{8}$ (2) $\frac{7}{8}$ (3) $\frac{1}{8}$ (4) $\frac{1}{2}$

(42) $P(A) = 0.35$, $P(B) = 0.73$ மற்றும் $P(A \cap B) = 0.14$ எனில் $P(\bar{A} \cup \bar{B}) =$

(1) 0.94 (2) 0.06 (3) 0.86 (4) 0.14

(43) $P(A) = 0.16$, $P(B) = 0.24$ மற்றும் $P(A \cap B) = 0.11$ என இருக்குமாறு A , B என்ற நிகழ்ச்சிகள் உள்ளன. இரு நிகழ்ச்சிகளில் ஒன்றே ஒன்று நடக்க நிகழ்தகவு

(1) 0.29 (2) 0.71 (3) 0.82 (4) 0.18

(44) A மற்றும் B இரண்டும் சாரா நிகழ்ச்சிகள் எனில் $P(A/B) =$

(1) $P(A)$ (2) $P(A \cap B)$ (3) $P(A) = P(B)$ (4) $\frac{P(A)}{P(B)}$

(45) $P(A) \neq 0$ மற்றும் $P(B) \neq 0$ எனுமாறு A, B இரு நிகழ்ச்சிகளாகும். Aயும் Bயும் ஒன்றையொன்று விலக்கும் நிகழ்ச்சிகள் எனில்

(1) $P(A \cap B) = P(A)\, P(B)$ (2) $P(A \cap B) \neq P(A) \,.\, P(B)$

(3) $P(A/B) = P(A)$ (4) $P(B/A) = P(A)$

(46) X , Y என்பவர்கள் முறையே 95, 80 சதவீதத்தில் உண்மை பேசுவார்களாயின் இரண்டு பேரும் ஒருவருக்கொருவர் மாற்றி பேசக்கூடிய சதவீத அளவு

(1) 14% (2) 86% (3) 23% (4) 85.5%

(47) A, B மற்றும் C என்ற 3 மாணவர்களுக்கு ஒரு கணக்கு கொடுக்கப்படுகிறது. அவர்கள் தீர்ப்பதற்கான நிகழ்தகவுகள் முறையே $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$ மற்றும் $\frac{1}{4}$ எனில் கணக்கைத் தீர்ப்பதற்கான நிகழ்தகவு

(1) $\frac{4}{5}$ (2) $\frac{3}{10}$ (3) $\frac{7}{10}$ (4) $\frac{1}{30}$

(48) $P(A) = 0.50$, $P(B) = 0.40$ மற்றும் $P(A \cap B) = 0.20$ எனில் $P(A/\bar{B}) =$

(1) 0.50 (2) 0.40

(3) 0.70 (4) 0.10

(49) ஒரு பையில் 10 வெள்ளைப் பந்துகளும் 10 கறுப்புப் பந்துகளும் உள்ளன. மற்றொரு பையில் 5 வெள்ளைப் பந்துகளும் 10 கறுப்புப் பந்துகளும் உள்ளன. ஒரு பையை தேர்ந்தெடுத்து பின்னர் அதிலிருந்து ஒரு பந்து எடுக்கப்படுகிறது. அது வெள்ளைப் பந்தாக இருக்க நிகழ்தகவு

(1) $\frac{5}{11}$ (2) $\frac{5}{12}$ (3) $\frac{3}{7}$ (4) $\frac{4}{7}$

விடைகள்

பயிற்சி 7.1

(1) (i) $x^2 + 1$ (ii) $(x + 1)^2$ (iii) $x + 2$ (iv) x^4 (v) 10 (vi) 16

(2) (i) $x^2 + x + 1$ (ii) $\frac{x+1}{x^2}$ for $x \neq 0$ (iii) $x^3 + x^2$ (iv) $1+x-x^2$ (v) $x^3 + x^2$

(3) $f^{-1}(x) = \frac{x-2}{3}$

(4) (i) $x \in [-3, 3]$ (ii) $x \in (-\infty, -3) \cup (6, \infty)$

(iii) $x \in (-\infty, -2) \cup (2, \infty)$ (iv) $x \in (-4, 3)$

(v) $x \in (-\infty, -3] \cup [4, \infty)$ (vi) தீர்வு இல்லை

(vii) $x \in (0, 1)$ (viii) $x \in (-\infty, 0) \cup (1/3, \infty)$

(ix) $x \in (-\infty, -1/3) \cup (2/3, \infty)$

பயிற்சி 8.1

(1) 4 (2) 0 (3) $2x$ (4) m (5) $\frac{2\sqrt{2}}{3}$

(6) $\frac{q}{p}$ (7) $\frac{\sqrt[m]{a}}{ma}$ (8) $\frac{2}{3}$ (9) $\frac{1}{2}$ (10) $\frac{1}{9}$

(11) $2 \cos a$ (12) α (13) e (14) ஆம் ; $\lim_{x \to 3} f(x) = 27$

(15) $n = 4$ (16) 1 (18) -1 ; 1 ; $\lim_{x \to 0} \frac{|x|}{x}$ கிடைக்காது

(19) $\log_e\left(\frac{a}{b}\right)$; $\log_e\left(\frac{5}{6}\right)$

பயிற்சி 8.2

(1) $x = 2$-ல் தொடர்ச்சியானது (2) $x = 0$-ல் தொடர்ச்சியானது

(3) $x = 1$-ல் தொடர்ச்சிற்றது (4) $x = 0$-ல் தொடர்ச்சிற்றது

(5) $a = 3$; $b = -8$ (7) $x = 1$, $x = 2$-ல் தொடர்ச்சியானது

பயிற்சி 8.3

(2) இல்லை ; $Lf'(0) = -1$; $Rf'(0) = 1$

(3) R-ல் f தொடர்ச்சியானது ; $x = 0$, $x = 1$-ல் வகைக்கெழு இல்லாதது

(4) (i) $x = 1$-ல் வகைக்கெழு இல்லாதது

(ii) $x = 2$-ல் வகைக்கெழு இல்லாதது ;

ஆனால் $x = 4$-ல் வகைக்கெழு உண்டு.

(5) $Lf'(0) = -1$; $Rf'(0) = 1$

பயிற்சி 8.4

(1) $3x^2 - 12x + 7$ (2) $3x^2 - 8$; $f'(2) = 4$; $f'(10) = 292$ (3) $a = 1$; $b = 7$

(4) (i) $7x^6 + e^x$ (ii) $\frac{\log_7 e}{x}$ (iii) $3\cos x - 4\sin x - e^x$ (iv) $e^x + 3\sec^2 x + \frac{6}{x}$

(v) $\frac{\log_{10} e}{x} + 2\sec x \tan x$ (vi) $\frac{-3}{2x^2\sqrt{x}} + 7\sec^2 x$

(vii) $3\left(1 + x^2 - \frac{1}{x^2} - \frac{1}{x^4}\right)$ (viii) $\left(4x - 6 - \frac{12}{x^2}\right)$

பயிற்சி 8.5

(1) $e^x(\cos x - \sin x)$ (2) $\frac{\sqrt[n]{x}}{2x}\left(1 + \frac{\log x}{n}\right)$

(3) $6\log_{10} e\left(\frac{\sin x}{x} + \cos x \log_e x\right)$

(4) $(7x^6 - 36x^5 + 35x^4 + 12x^3 + 24x^2 - 14x - 4)$

(5) $b(2\cos 2x - \cos x) + 2a\sin x$ (6) $-\operatorname{cosec} x(\cot^2 x + \operatorname{cosec}^2 x)$

(7) $\sin 2x$ (8) $-\sin 2x$ (9) $12x(3x^2 + 1)$ (10) $2(12x^2 + 12x - 1)$

(11) $6\tan^2 x + 20\cot^2 x + 26$

(12) $xe^x[x\cos x + x\sin x + 2\sin x]$ (13) $\frac{e^x}{\sqrt{x}}\left(1 + x\log x + \frac{\log x}{2}\right)$

பயிற்சி 8.6

(1) $-\frac{10}{x^3}$ (2) $\frac{22}{(4x+5)^2}$ (3) $\frac{6x^7 - 28x^6 + 4^7}{(x-4)^2}$

(4) $\dfrac{e^x\left(\dfrac{1}{x} - \sin x - \cos x - \log x\right) - 2x(\cos x + \log x) + x - x^2 \sin x}{(x^2 + e^x)^2}$

(5) $\dfrac{4x(1 - 2\log x)}{(\log x + 2x^2)^2}$ (6) $\dfrac{\sin x - x \log x \cos x}{x \sin^2 x}$ (7) $\dfrac{-(2ax + b)}{(ax^2 + bx + c)^2}$

(8) $\dfrac{-2\sec^2 x}{(\tan x - 1)^2}$ (9) $\dfrac{-(x^2 + 2)}{(x \sin x - \cos x)^2}$ (10) $e^{-x}\left(\dfrac{2}{x} - 2\log x\right)$

பயிற்சி 8.7

(1) $\cot x$ (2) $\cos x\, e^{\sin x}$ (3) $\dfrac{-\operatorname{cosec}^2 x}{2\sqrt{1 + \cot x}}$ (4) $\dfrac{\sec^2(\log x)}{x}$

(5) $\dfrac{e^{bx}(a \sin(ax + b) + b \cos(ax + b))}{\cos^2(ax + b)}$ (6) $\dfrac{1}{2} \tan\left(\dfrac{\pi}{4} + \dfrac{x}{2}\right)$

(7) $(e^x + 4) \cot(e^x + 4x + 5)$ (8) $\dfrac{3}{2}\sqrt{x} \cos\left(x\sqrt{x}\right)$

(9) $\dfrac{-\sin\sqrt{x}}{2\sqrt{x}}$ (10) $\dfrac{\cos(\log x)\, e^{\sin(\log x)}}{x}$

பயிற்சி 8.8

(1) $\dfrac{-1}{\sqrt{x}(1 + x)}$ (2) $\dfrac{-2x\, e^{x^2}}{1 + e^{2x^2}}$ (3) $\dfrac{1}{x(1 + (\log x)^2)}$ (4) -2

பயிற்சி 8.9

(1) $\dfrac{\sqrt{2}x^{\sqrt{2}}}{x}$ (2) $x^{x^2 + 1}(1 + 2\log x)$ (3) $x^{\tan x}\left(\dfrac{\tan x}{x} + \sec^2 x(\log x)\right)$

(4) $\sin x^{\sin x} \cos x(1 + \log \sin x)$

(5) $(\tan^{-1} x)^{\log x}\left(\dfrac{\log x}{(1 + x^2)\tan^{-1} x} + \dfrac{\log(\tan^{-1} x)}{x}\right)$

(6) $(\log x)^{\sin^{-1}x}\left[\dfrac{\log(\log x)}{\sqrt{1-x^2}}+\dfrac{\sin^{-1}x}{x\log x}\right]$

(7) $\dfrac{(x^2+2)\left(x+\sqrt{2}\right)}{\sqrt{x+4}\,(x-7)}\left\{\dfrac{24}{x^2+2}+\dfrac{1}{x+\sqrt{2}}-\dfrac{1}{2(x+4)}-\dfrac{1}{x-7}\right\}$

(8) $(x^2+2x+1)^{\sqrt{x-1}}\left[\dfrac{2\sqrt{x-1}}{(x+1)}+\dfrac{\log(x+1)}{\sqrt{x-1}}\right]$

(9) $\dfrac{\sin x\cos(e^x)}{e^x+\log x}\left[\cot x-e^x\tan(e^x)-\dfrac{(xe^x+1)}{x(e^x+\log x)}\right]$

(10) $x^{\sin x}\left(\dfrac{\sin x}{x}+\log x\cos x\right)+(\sin x)^x(x\cot x+\log\sin x)$

பயிற்சி 8.10

(1) $\dfrac{1}{2}$ (2) 1 (3) $\dfrac{1}{2}$ (4) 1 (5) $\dfrac{1}{2(1+x^2)}$

(6) $\dfrac{2x}{1+x^4}$ (7) $\dfrac{1}{2\sqrt{x}\,(1+x)}$ (8) $\dfrac{1}{2\sqrt{1-x^2}}$ (9) $-\dfrac{1}{2}$

பயிற்சி 8.11

(1) $-\dfrac{b}{a}\cot\theta$ (2) $\dfrac{1}{t}$ (3) $\dfrac{b}{a}\sin\theta$ (4) $-\dfrac{1}{t^2}$

(5) $\tan\left(\dfrac{3\theta}{2}\right)$ (6) $\tan\theta$ (7) $\dfrac{t(2-t^3)}{1-2t^3}$

பயிற்சி 8.12

(1) $\dfrac{b^2x}{a^2y}$ (2) $\dfrac{\sin y}{1-x\cos y}$ (3) $\dfrac{x^2(x-3a^2y^3)}{y^2(3a^2x^3-y)}$ (4) $\dfrac{2+y(\sec^2x+y\sin x)}{2y\cos x-\tan x}$

(5) $\dfrac{y\,\mathrm{cosec}^2x+(1+y^2)\sec x\tan x-2x}{\cot x-2y\sec x}$

(6) $2\left(\dfrac{xy-(1+x^2)^2\tan x\sec^2 x}{(1+x^2)\,[4y\,(1+x^2)+(1+x^2)\cos y+1]}\right)$

(7) $-\dfrac{y}{x}$ (8) $\dfrac{y}{x}$ (9) $e^{x-y}\left(\dfrac{1-e^y}{e^x-1}\right)$ (10) $\dfrac{100-y}{x-100}$ (11) $\dfrac{y\,(x\log y-y)}{x\,(y\log x-x)}$

பயிற்சி 8.13

(1) $2(3x+\tan x+\tan^3 x)$ (2) $-2(1+4\cot^2 x+3\cot^4 x)$

(3) (i) (2) (ii) $2\cos x - x\sin x$ (iii) $\dfrac{2x}{(1+x^2)^2}$

(4) (i) $m^3 e^{mx}+6$ (ii) $x\sin x-3\cos x$

குறிப்பு : பயிற்சி எண் 9.1லிருந்து 9.9வரையிலான அனைத்து விடைகளுடன் 'c' என்ற மாறத்தக்க மாறிலியை (arbitrary constant) சேர்த்துக் கொள்ளவும்,

பயிற்சி 9.1

(1) (i) $\dfrac{x^{17}}{17}$ (ii) $\dfrac{2}{7}x^{7/2}$ (iii) $\dfrac{2}{9}x^{9/2}$ (iv) $\dfrac{3}{7}x^{7/3}$ (v) $\dfrac{7}{17}x^{17/7}$

(2) (i) $-\dfrac{1}{4x^4}$ (ii) $\log x$ (iii) $-\dfrac{2}{3x^{3/2}}$ (iv) $-\dfrac{3}{2x^{2/3}}$ (v) $4x^{1/4}$

(3) (I) $-\cos x$ (ii) $\sec x$ (iii) $-\operatorname{cosec} x$ (iv) $\tan x$ (v) e^x

பயிற்சி 9.2

(1) (i) $\dfrac{x^5}{5}$ (ii) $\dfrac{(x+3)^6}{6}$ (iii) $\dfrac{(3x+4)^7}{21}$ (iv) $-\dfrac{(4-3x)^8}{24}$ (v) $\dfrac{(lx+m)^9}{9l}$

(2) (i) $-\dfrac{1}{5x^5}$ (ii) $-\dfrac{1}{3(x+5)^3}$ (iii) $-\dfrac{1}{8(2x+3)^4}$

(iv) $\dfrac{1}{30(4-5x)^6}$ (v) $-\dfrac{1}{7a(ax+b)^7}$

(3) (i) $\log(x + 2)$ (ii) $\frac{1}{3}\log(3x+2)$ (iii) $-\frac{1}{4}\log(3 - 4x)$

(iv) $\frac{1}{q}\log(p + qx)$ (v) $-\frac{1}{t}\log(s - tx)$

(4) (i) $-\cos(x + 3)$ (ii) $-\frac{1}{2}\cos(2x + 4)$ (iii) $\frac{1}{4}\cos(3 - 4x)$

(iv) $\frac{1}{4}\sin(4x + 5)$ (v) $-\frac{1}{2}\sin(5 - 2x)$

(5) (i) $-\tan(2 - x)$ (ii) $-\frac{1}{2}\cot(5 + 2x)$ (iii) $\frac{1}{4}\tan(3 + 4x)$

(iv) $\frac{1}{11}\cot(7 - 11x)$ (v) $-\frac{1}{q}\tan(p - qx)$

(6) (i) $\sec(3 + x)$ (ii) $\frac{1}{3}\sec(3x + 4)$ (iii) $-\sec(4 - x)$

(iv) $-\frac{1}{3}\sec(4 - 3x)$ (v) $\frac{1}{a}\sec(ax + b)$

(7) (i) $\operatorname{cosec}(2 - x)$ (ii) $-\frac{1}{4}\operatorname{cosec}(4x + 2)$ (iii) $\frac{1}{2}\operatorname{cosec}(3 - 2x)$

(iv) $-\frac{1}{l}\operatorname{cosec}(lx + m)$ (v) $\frac{1}{t}\operatorname{cosec}(s - tx)$

(8) (i) $\frac{e^{3x}}{3}$ (ii) $e^{x + 3}$ (iii) $\frac{1}{3}e^{3x + 2}$ (iv) $-\frac{1}{4}e^{5 - 4x}$ (v) $\frac{1}{a}e^{ax + b}$

(9) (i) $\frac{1}{p}\tan(px + a)$ (ii) $\frac{1}{m}\cot(l - mx)$ (iii) $-\frac{1}{7a}(ax + b)^{-7}$

(iv) $-\frac{1}{2}\log(3 - 2x)$ (v) $-e^{-x}$

(10) (i) $-\frac{1}{4}\sec(3 - 4x)$ (ii) $-\left(\frac{1}{q}\right)\frac{1}{e^{p + qx}}$ (iii) $-\frac{1}{2}\operatorname{cosec}(2x + 3)$

(iv) $\frac{2}{3l}(lx + m)^{3/2}$ (v) $-\frac{2}{15}(4 - 5x)^{3/2}$

பயிற்சி 9.3

(1) $x^5 + \frac{3}{10}(2x+3)^5 + \frac{1}{3}(4-3x)^6$ (2) $3\log x + \frac{m}{4}\log(4x+1) + \frac{(5-2x)^6}{6}$

(3) $4x - 5\log(x+2) + \frac{3}{2}\sin 2x$ (4) $\frac{3}{7}e^{7x} - \sec(4x+3) - \frac{11}{4x^4}$

(5) $-\cot(px-q) + \frac{6}{5}(1-x)^5 - e^{3-4x}$

(6) $\log(3+4x) + \frac{(10x+3)^{10}}{100} + \frac{3}{2}\operatorname{cosec}(2x+3)$

(7) $-\frac{6}{5}\cos 5x + \frac{1}{p(m-1)(px+q)^{m-1}}$

(8) $\frac{a}{b}\tan(bx+c) + \frac{q}{m\,e^{l-mx}}$

(9) $\frac{3}{2}\log\left(3+\frac{2}{3}x\right) - \frac{2}{3}\sin\left(x-\frac{2}{3}\right) + \frac{9}{7}\left(\frac{x}{3}+4\right)^7$

(10) $-49\cos\frac{x}{7} + 32\tan\left(4-\frac{x}{4}\right) + 10\left(\frac{2x}{5}-4\right)^{5/2}$

(11) $2\frac{x^{e+1}}{e+1} + 3e^x + xe^e$ (12) $\frac{(ae)^x}{1+\log a} + \frac{a^{-x}}{\log a} + \frac{b^x}{\log b}$

பயிற்சி 9.4

(1) $\frac{8}{3}x^3 + 26x^2 - 180x$ (2) $\frac{x^7}{7} + \frac{x^4}{2} + x$

(3) $\frac{x^2}{2} + 4x - 3\log x - \frac{2}{x}$ (4) $\frac{x^4}{4} - \frac{x^3}{3} + 2\log(x+1)$

(5) $\frac{2}{5}x^{5/2} + \frac{4}{3}x^{3/2} + 2\sqrt{x}$ (6) $e^x - \frac{e^{-3x}}{3} - 2e^{-x}$

(7) $\frac{1}{2}\left(x - \frac{\sin 6x}{6}\right) + \sin 4x$

(8) $\frac{1}{4}\left(\frac{3\sin 2x}{2} + \frac{\sin 6x}{6}\right) + \frac{\cos 6x}{6}$

(9) $\tan x - \sec x$

(10) $-\operatorname{cosec} x - \cot x$

(11) $\pm(\sin x + \cos x)$

(12) $\sqrt{2}\ \sin x$

(13) $\tan x - \cot x$

(14) $x - \sin x$

(15) $-\frac{1}{2}\left(\frac{\cos 12x}{12} + \frac{\cos 2x}{2}\right)$

(16) $\frac{1}{2}\left(\frac{\sin 4x}{4} + \frac{\sin 2x}{2}\right)$

(17) $-\frac{1}{2}\left(\frac{\cos 6x}{6} + \frac{\cos 2x}{2}\right)$

(18) $\frac{1}{2}\left(\frac{\sin 8x}{8} - \frac{\sin 12x}{12}\right)$

(19) $-\frac{1}{2}\cot x$

(20) $-\left(\frac{e^{-2x}}{2} - \frac{2}{3}e^{-3x} + \frac{1}{4}e^{-4x}\right)$

(21) $2\tan x - 2\sec x - x$

(22) $-2\frac{3^{-x}}{\log 3} + \frac{2^{-x}}{3\log 2}$

(23) $\frac{(ae)^x}{1 + \log a}$

(24) $a\left[\frac{(a/c)^x}{\log a - \log c}\right] - \frac{1}{b}\left[\frac{(b/c)^x}{\log b - \log c}\right]$

(25) $\frac{x^2}{2} + 2x + \log x$

(26) $-\frac{1}{2}\left[\frac{\cos(m+n)x}{m+n} + \frac{\cos(m-n)x}{(m-n)}\right]$

(27) $\frac{1}{2}\left[\frac{\sin(p+q)x}{p+q} + \frac{\sin(p-q)x}{p-q}\right]$

(28) $-\frac{1}{2}\left[\frac{\cos 10x}{10} + \frac{\cos 20x}{40}\right]$

(29) $\frac{2}{9}\left[(x+1)^{3/2} + (x-2)^{3/2}\right]$

(30) $\frac{2}{3a(b-c)}\left[(ax+b)^{3/2} + (ax+c)^{3/2}\right]$

(31) $\frac{2}{5}(x+3)^{5/2} - \frac{4}{3}(x+3)^{3/2}$

(32) $\frac{2}{5}(x+7)^{5/2} - \frac{22}{3}(x+7)^{3/2}$

(33) $\frac{1}{5}(2x+3)^{5/2} - \frac{2}{3}(2x+3)^{3/2}$

(34) $2\log(x+3) - \log(x+2)$

(35) $\frac{5}{52}\log\left(\frac{x-2}{x+2}\right) + \frac{8}{39}\tan^{-1}\left(\frac{x}{3}\right)$

பயிற்சி 9.5

(1) $\frac{(1+x^6)^8}{48}$ (2) $\log(lx^2+mx+n)$ (3) $-\frac{2}{9(ax^2+bx+c)^9}$

(4) $\sqrt{x^2+3}$ (5) $\frac{2}{3}(x^2+3x-5)^{3/2}$ (6) $\log \sec x$

(7) $\log(\sec x+\tan x)$ (8) $-\frac{\cos^{15}x}{15}$ (9) $-\frac{\cos^5 x}{5}+\frac{2}{3}\cos^3 x-\cos x$

(10) $\frac{-1}{7}\sin^7 x+\frac{3}{5}\sin^5 x-\sin^3 x+\sin x$ (11) $\log(x+\log\sec x)$

(12) $\frac{1}{m}e^{m\tan^{-1}x}$ (13) $\frac{1}{4}(\sin^{-1}x^2)^2$ (14) $(x+\log x)^5$

(15) $-\cos(\log x)$ (16) $\log\log\sin x$ (17) $\frac{\sec^4 x}{4}$

(18) $-\sec x+\frac{\sec^3 x}{3}$ (19) $(x+a)\cos a-\sin a\log\sin(x+a)$

(20) $(x-a)\cos a+\sin a\log\cos(x-a)$ (21) $\frac{1}{b-a}\log(a\cos^2 x+b\sin^2 x)$

(22) $\log\cos\left(\frac{\pi}{4}-x\right)$ (23) $2\sqrt{\tan x}$ (24) $\frac{1}{3}(\log x)^3$

(25) $\frac{1}{4}e^{x^4}$ (26) $\frac{1}{e}\log(x^e+e^x+e^e)$ (27) $\frac{(l-x)^{18}}{18}-\frac{l(l-x)^{17}}{17}$

(28) $\frac{a}{m+1}(x-a)^{m+1}+\frac{1}{m+2}(x-a)^{m+2}$

(29) $-\frac{(2-x)^{18}}{18}+\frac{4}{17}(2-x)^{17}-\frac{1}{4}(2-x)^{16}$ (30) $-2\cos\sqrt{x}$

(31) $\frac{1}{2}\left[\frac{(2x+3)^{5/2}}{5}-\frac{(2x+3)^{3/2}}{3}\right]$ (32) $\frac{1}{2}\left[\frac{3}{5}(2x+1)^{5/2}+\frac{7}{3}(2x+1)^{3/2}\right]$

(33) $2\left[\frac{(x+1)^{7/2}}{7}-\frac{2}{5}(x+1)^{5/2}+\frac{2}{3}(x+1)^{3/2}\right]$

பயிற்சி 9.6

(1) $-xe^{-x} - e^{-x}$

(2) $x \sin x + \cos x$

(3) $-x \cot x + \log \sin x$

(4) $x \sec x - \log(\sec x + \tan x)$

(5) $x \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \log(1 + x^2)$

(6) $x \tan x + \log \cos x - \frac{x^2}{2}$

(7) $\frac{1}{2}\left[\frac{x^2}{2} + \frac{x \sin 2x}{2} + \frac{\cos 2x}{4}\right]$

(8) $\frac{1}{2}\left(\left(\frac{\sin 7x}{7} + \frac{\sin 3x}{3}\right) + \left(\frac{\cos 7x}{49} + \frac{\cos 3x}{9}\right)\right)$

(9) $2\left[\frac{1}{3} xe^{3x} - \frac{e^{3x}}{9}\right]$

(10) $\left(\frac{x^2}{2} - \frac{x}{2} + \frac{1}{4}\right) e^{2x}$

(11) $\frac{1}{3} x^2 \sin 3x + \frac{2}{9} x \cos 3x - \frac{2}{27} \sin 3x$

(12) $(\sin^{-1} x - 1)\, e^{\sin^{-1} x}$

(13) $\frac{1}{2}(x^4 - 2x^2 + 2)e^{x^2}$

(14) $3\left[x \tan^{-1} x - \frac{1}{2} \log(1 + x^2)\right]$

(15) $\frac{1}{2}\left[x^2 \sin^{-1}(x^2) + \sqrt{1 - x^4}\right]$

(16) $-\frac{1}{2} \operatorname{cosec} x \cot x + \frac{1}{2} \log \tan \frac{x}{2}$

(17) $\frac{e^{ax}}{a^2 + b^2}(a \cos bx + b \sin bx)$

(18) $\frac{e^{2x}}{13}(2 \sin 3x - 3 \cos 3x)$

(19) $\frac{e^x}{5}(\cos 2x + 2 \sin 2x)$

(20) $\frac{e^{3x}}{13}(3 \sin 2x - 2 \cos 2x)$

(21) $\frac{1}{4}[\sec 2x \tan 2x + \log(\sec 2x + \tan 2x)]$

(22) $\frac{e^{4x}}{2}\left[\frac{1}{65}(4 \sin 7x - 7 \cos 7x) - \frac{1}{25}(4 \sin 3x - 3 \cos 3x)\right]$

(23) $\frac{e^{-3x}}{4}\left[\frac{3}{10}(-3 \cos x + \sin x) + \frac{1}{6}(-\cos 3x + \sin 3x)\right]$

பயிற்சி 9.7

(1) (i) $\frac{1}{5}\tan^{-1}\left(\frac{x}{5}\right)$ (ii) $\frac{1}{4}\tan^{-1}\left(\frac{x+2}{4}\right)$ (iii) $\frac{1}{6}\tan^{-1}\left(\frac{3x+5}{2}\right)$

(iv) $\frac{2}{\sqrt{55}}\tan^{-1}\left(\frac{4x+7}{\sqrt{55}}\right)$ (v) $\frac{1}{9}\tan^{-1}\left(\frac{3x+1}{3}\right)$

(2) (i) $\frac{1}{8}\log\left(\frac{4+x}{4-x}\right)$ (ii) $\frac{1}{6}\log\left(\frac{x}{6-x}\right)$ (iii) $\frac{1}{8\sqrt{7}}\log\left(\frac{\sqrt{7}+1+4x}{\sqrt{7}-1-4x}\right)$

(iv) $\frac{1}{\sqrt{5}}\log\left(\frac{\sqrt{5}-1+2x}{\sqrt{5}+1-2x}\right)$ (v) $\frac{1}{6\sqrt{6}}\log\left(\frac{\sqrt{6}+1+3x}{\sqrt{6}-1-3x}\right)$

(3) (i) $\frac{1}{10}\log\left(\frac{x-5}{x+5}\right)$ (ii) $\frac{1}{16}\log\left(\frac{2x-3}{2x+5}\right)$ (iii) $\frac{1}{6\sqrt{7}}\log\left(\frac{3x+5-\sqrt{7}}{3x+5+\sqrt{7}}\right)$

(iv) $\frac{1}{\sqrt{21}}\log\left(\frac{2x+3-\sqrt{21}}{2x+3+\sqrt{21}}\right)$ (v) $\frac{1}{17}\log\left(\frac{3x-15}{3x+2}\right)$

(4) (i) $\log\left(x+\sqrt{x^2+1}\right)$ (ii) $\frac{1}{2}\log\left[(2x+5)+\sqrt{(2x+5)^2+4}\right]$

(iii) $\frac{1}{3}\log\left[(3x-5)+\sqrt{(3x-5)^2+6}\right]$ (iv) $\log\left[\left(x+\frac{3}{2}\right)+\sqrt{x^2+3x+10}\right]$

(v) $\log\left[\left(x+\frac{5}{2}\right)+\sqrt{x^2+5x+26}\right]$

(5) (i) $\log\left(x+\sqrt{x^2-91}\right)$ (ii) $\log\left[(x+1)+\sqrt{(x+1)^2-15}\right]$

(iii) $\frac{1}{2}\log\left[(2x+3)+\sqrt{(2x+3)^2-16}\right]$ (iv) $\log\left[(x+2)+\sqrt{x^2+4x-12}\right]$

(v) $\log\left[(x+4)+\sqrt{x^2+8x-20}\right]$

(6) (i) $\sin^{-1}\left(\frac{x}{2}\right)$ (ii) $\sin^{-1}\left(\frac{x-1}{5}\right)$ (iii) $\frac{1}{2}\sin^{-1}\left(\frac{2x+3}{\sqrt{11}}\right)$

(iv) $\sin^{-1}\left(\frac{2x-1}{\sqrt{5}}\right)$ (v) $\sin^{-1}\left(\frac{2x+1}{\sqrt{33}}\right)$

(7) (i) $-\log(x^2 + x + 1) + \frac{8}{\sqrt{3}} \tan^{-1}\left(\frac{2x+1}{\sqrt{3}}\right)$

(ii) $\frac{1}{2} \log(x^2 + 21x + 3) - \frac{27}{2\sqrt{429}} \log\left(\frac{2x + 21 - \sqrt{429}}{2x + 21 + \sqrt{429}}\right)$

(iii) $\frac{1}{2} \log(2x^2 + x + 3) - \frac{3}{\sqrt{23}} \tan^{-1}\left(\frac{4x+1}{\sqrt{23}}\right)$

(iv) $\frac{1}{2} \log(1 - x - x^2) + \frac{3}{2\sqrt{5}} \log\left(\frac{\sqrt{5} + 2x + 1}{\sqrt{5} - 2x - 1}\right)$

(v) $2\log(x^2 + 3x + 1) - \sqrt{5} \log\left(\frac{2x + 3 - \sqrt{5}}{2x + 3 + \sqrt{5}}\right)$

(8) (i) $-\frac{1}{2}\sqrt{6 + x - 2x^2} + \frac{9}{4\sqrt{2}} \sin^{-1}\left(\frac{4x-1}{7}\right)$

(ii) $-2\sqrt{10 - 7x - x^2} - 10\sin^{-1}\left(\frac{2x+7}{\sqrt{89}}\right)$

(iii) $\sqrt{3x^2 + 4x + 7}$ (iv) $\sin^{-1}x - \sqrt{1 - x^2} + c$

(v) $6\sqrt{x^2 - 9x + 20} + 34\log\left[(x - 9/2) + \sqrt{x^2 - 9x + 20}\right]$

(9) (i) $\frac{x}{2}\sqrt{1 + x^2} + \frac{1}{2}\log\left[x + \sqrt{1 + x^2}\right]$

(ii) $\frac{x+1}{2}\sqrt{(x+1)^2 + 4} + 2\log\left[(x+1) + \sqrt{(x+1)^2 + 4}\right]$

(iii) $\frac{1}{4}\left[(2x+1)\sqrt{(2x+1)^2 + 9} + 9\log\left\{(2x+1) + \sqrt{(2x+1)^2 + 9}\right\}\right]$

(iv) $\frac{2x-3}{4}\sqrt{x^2 - 3x + 10} + \frac{31}{8}\log\left[(x - 3/2) + \sqrt{x^2 - 3x + 10}\right]$

(10) (i) $\frac{x}{2}\sqrt{4-x^2} + 2\sin^{-1}\left(\frac{x}{2}\right)$ (ii) $\left(\frac{x+2}{2}\right)\sqrt{25-(x+2)^2} + \frac{25}{2}\sin^{-1}\left(\frac{x+2}{5}\right)$

(iii) $\frac{1}{6}\left[(3x+1)\sqrt{169-(3x+1)^2} + 169\sin^{-1}\left(\frac{3x+1}{13}\right)\right]$

(iv) $\frac{2x-3}{4}\sqrt{1-3x-x^2} + \frac{13}{8}\sin^{-1}\left(\frac{2x+3}{\sqrt{13}}\right)$

(v) $\frac{2x+1}{4}\sqrt{6-x-x^2} + \frac{25}{8}\sin^{-1}\left(\frac{2x+1}{5}\right)$

பயிற்சி 10.1

(1) (i) ஆம் (ii) இல்லை (iii) இல்லை, $\because$ P(C) ஒரு குறைமதிப்பாகும்

(iv) இல்லை, $\because \sum P \neq 1$ (v) ஆம்

(2) (i) $\frac{1}{6}$ (ii) $\frac{1}{12}$ (iii) $\frac{1}{6}$ (3) (i) $\frac{3}{8}$ (ii) $\frac{1}{2}$ (iii) $\frac{7}{8}$ (4) (i) $\frac{2}{13}$ (ii) $\frac{4}{13}$ (iii) $\frac{2}{13}$

(5) (i) $\frac{1}{22}$ (ii) $\frac{21}{44}$ (6) $\frac{2}{9}$ (7) (i) $\frac{4}{7}$ (ii) $\frac{3}{7}$ (8) $\frac{37}{42}$ (9) (i) $\frac{1}{7}$ (ii) $\frac{2}{7}$ (10) $\frac{27}{50}$

பயிற்சி 10.2

(1) (i) 0.79 (ii) 0.10 (2) (i) 0.72 (ii) 0.72 (iii) 0.28 (iv) 0.28

(3) (i) 0.86 (ii) 0.36 (iii) 0.26 (iv) 0.76 (v) 0.14 (4) $\frac{11}{36}$ (5) 0.2

(6) (i) $\frac{4}{13}$ (ii) $\frac{7}{13}$ (7) (i) 0.45 (ii) 0.30

பயிற்சி 10.3

(1) இயலாது (3) (i) $\frac{9}{10}$ (ii) $\frac{2}{7}$ (4) $\frac{1}{5}$ (5) 0.5

(7) (i) 0.12 (ii) 0.48 (iii) 0.39

(9) (i) $\frac{13}{20}$ (ii) $\frac{5}{12}$ (iii) $\frac{1}{2}$ (iv) $\frac{7}{12}$ (v) $\frac{7}{8}$

(10) (i) $\frac{3}{10}$ (ii) $\frac{6}{11}$ (iii) 0.6 (iv) 0.525

(11) (i) $\frac{1}{169}$ (ii) $\frac{1}{221}$ (12) (i) $\frac{1}{26}$ (ii) $\frac{1}{13}$

(13) (i) $\frac{1}{4}$ (ii) $\frac{9}{40}$ (iii) $\frac{21}{40}$

(14) (i) $\frac{1}{30}$ (ii) $\frac{3}{10}$ (iii) $\frac{2}{3}$

(15) (i) $\frac{3}{4}$ (ii) $\frac{11}{24}$

(16) (i) $\frac{5}{28}$ (ii) $\frac{1}{14}$

(17) (i) 0.45 (ii) 0.9

(18) $\frac{13}{30}$ (19) $\frac{43}{60}$ (20) $\frac{7}{20}$

பயிற்சி 10.4

(1) $\frac{89}{198}$ (2) $\frac{3}{80}$ (3) (i) $\frac{41}{80}$ (ii) $\frac{25}{41}$

(4) (i) $\frac{29}{400}$ (ii) $\frac{11}{29}$ (5) (i) $\frac{13}{24}$ (ii) $\frac{5}{13}$

குறிக்கோள் வினாக்கள் - விடைகள்

(1) 4	(2) 1	(3) 2	(4) 2	(5) 4	(6) 2
(7) 3	(8) 4	(9) 2	(10) 1	(11) 1	(12) 2
(13) 3	(14) 1	(15) 4	(16) 2	(17) 4	(18) 3
(19) 1	(20) 4	(21) 3	(22) 2	(23) 1	(24) 3
(25) 1	(26) 1	(27) 3	(28) 3	(29) 1	(30) 3
(31) 2	(32) 3	(33) 2	(34) 4	(35) 2	(36) 2
(37) 1	(38) 2	(39) 4	(40) 3	(41) 4	(42) 3
(43) 4	(44) 1	(45) 2	(46) 3	(47) 3	(48) 1
(49) 2					

உயிர்வேதியியல்

மேல்நிலை – இரண்டாம் ஆண்டு

தமிழ்நாடு அரசு
இலவசப் பாடநூல் வழங்கும்
திட்டத்தின்கீழ் வெளியிடப்பட்டது
(விற்பனைக்கு அன்று)

தீண்டாமை ஒரு பாவச்செயல்
தீண்டாமை ஒரு பெருங்குற்றம்
தீண்டாமை மனிதத் தன்மையற்ற செயல்

தமிழ்நாடு பாடநூல் மற்றும்
கல்வியியல் பணிகள் கழகம்
கல்லூரிச் சாலை, சென்னை – 600 006.

© தமிழ்நாடு அரசு
முதல் பதிப்பு– 2005
மறுபதிப்பு – 2017

குழுத்தலைவர் மற்றும் நூலாசிரியர்

முனைவர். த. சக்திசேகரன்
பேராசிரியர், உயிர்வேதியியல் துறை
சென்னைப் பல்கலைக்கழகம், தரமணி வளாகம், சென்னை – 113.

மேலாய்வாளர்கள்

முனைவர் பா. சமுத்திரம்
துணை பேராசிரியர் (ஓய்வு)
உயிர்வேதியியல் துறை
அரசினர் மருத்துவக் கல்லூரி
சென்னை – 103.

முனைவர் செ.சீ. சியாமளா தேவி
பேராசிரியர் மற்றும் துறைத்தலைவர் (ஓய்வு)
உயிர்வேதியியல் துறை
சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்
கிண்டி வளாகம், சென்னை – 025.

முனைவர் ப. வரலட்சுமி
பேராசிரியர் மற்றும் துறைத்தலைவர்
உயிர்வேதியியல் துறை, சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்,
தரமணி வளாகம், சென்னை – 113.

நூலாசிரியர்கள்

முனைவர். ஆ. கீதா
இணை பேராசிரியர்
உயிர் வேதியியல் துறை
பாரதி மகளிர் கல்லூரி
சென்னை – 108.

திரு. ப.நா. வெங்கடேசன்
முதுகலை ஆசிரியர்
அரசினர் மேனிலைப் பள்ளி
பரதராமி
வேலூர் மாவட்டம் – 632 603.

முனைவர் ரெ. ஷீலா தேவி
விரிவுரையாளர்
உடற்கூறுவியல் துறை.
சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்
தரமணி வளாகம், சென்னை– 113.

முனைவர் சொ. சுப்ரமணியன்
விரிவுரையாளர்
உயிர்வேதியியல் துறை
சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்
கிண்டி வளாகம், சென்னை – 025.

முனைவர் பெ. கலைச்செல்வி
விரிவுரையாளர், உயிர் வேதியியல் துறை, சென்னைப் பல்கலைக்கழகம்
தரமணி வளாகம், சென்னை – 113.

விலை :

பாடங்கள் தயாரிப்பு : தமிழ்நாடு அரசுக்காக பள்ளிக் கல்வி இயக்ககம், தமிழ்நாடு.

இந்நூல் 60 ஜி எஸ் எம் தாளில் அச்சிடப்பட்டுள்ளது.

ஆப்செட் முறையில் அச்சிட்டோர்

பொருளடக்கம்

		பக்கம்
1.	செல் சவ்வு	1
2.	செரித்தல்	20
3.	கார்போஹைட்ரேட்களின் வளர்சிதை மாற்றம்	32
4.	புரதங்களின் வளர்சிதை மாற்றம்	57
5.	லிப்பிடுகளின் வளர்சிதை மாற்றம்	80
6.	நியூக்ளிக் அமிலங்களின் வளர்சிதை மாற்றம்	96
7.	வளர்சிதை மாற்றங்களின் மரபுவழி கோளாறுகள்	113
8.	உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம்	123
9.	நொதி வினைவேகவியல்	141
10.	நோய் எதிர்ப்புச் சக்தி	154
	செய்முறை	182

பாடம் – 1
செல் சவ்வு

முன்னுரை

ஓர் உயிருள்ள செல்லின் வெளிப்புற எல்லையைச் செல் சவ்வு அல்லது பிளாஸ்மா சவ்வு (Plasma membrane) என்கிறோம். 'செல் சவ்வு' என்னும் சொல்லை C.J.நகேலி மற்றும் C.கிராமர் ஆகியோர் 1855 ஆம் ஆண்டு உருவாக்கினர். செல்சவ்வு தவிர, செல்லின் நுண்ணுறுப்புகள் ஒவ்வொன்றும் சவ்வால் சூழப்பட்டுள்ளன. செல்சவ்வு செல்லின் சைட்டோபிளாசத்தை வரையறுப்பதோடன்றி, கடத்தல் (Transport), தகவல் தொடர்பு (Signal transduction) மற்றும் நரம்புத்தூண்டல் (Neurotransmission) போன்ற முக்கியப் பணிகளையும் செய்கிறது.

1.1 வேதி உட்பொருட்கள்

செல் சவ்வின் வேதியியல் கூறுகளை ஆய்வதற்கு இரத்தச் சிவப்பணுக்கள் பயன்படுகின்றன. ஏனெனில், இவை நுண்ணுறுப்புகள் அற்றவை. இதனால், இச்செல் சவ்வை மற்ற நுண்ணுறுப்பு சவ்வுகளின் கலப்படமின்றிப் பிரித்தெடுக்கலாம். இரத்தச் சிவப்பணுக்களின் சைட்டோபிளாசமற்ற சவ்வுகளை, 'கூடுகள்' (Ghosts) என்றழைக்கிறோம்.

செல் சவ்வு நான்கு முக்கிய வேதிப்பொருட்களால் ஆனவை. அவை (i) லிப்பிடுகள் (28 – 79%) (ii) புரதங்கள் (20 – 70%) (iii) ஒலிகோசாக்கரைடுகள் (1 – 5%) மற்றும் (iv) நீர் (20%).

1.1.1 லிப்பிடுகள்

எவ்வகை திசுக்களிலிருந்து செல் சவ்வுகளைப் பிரித்தெடுக்கிறோமோ, அதற்கேற்றவாறு அதன் வேதிப் பொருட்களும் மாறுபடுகின்றன. உதாரணமாக, மையலின் உறைகள் (myelin sheath) ஏறக்குறைய 80% லிப்பிடுகளால் ஆனவை. ஆனால் கல்லீரலின் செல் சவ்வில் 28% மட்டுமே லிப்பிடுகளாகும்.

செல்சவ்வில், பாஸ்போலிப்பிடுகள், கொலஸ்ட்ரால், கிளிசரோ பாஸ்போலிப்பிடுகள் போன்ற முக்கிய லிப்பிடுகள் உள்ளன. பாஸ்போடிடைல் கோலின், பாஸ்போடிடைல் எத்தனாலமின், பாஸ்போடிடைல் சிரைன், மற்றும் பாஸ்போடிடைல் இனோசிடால் போன்ற முக்கிய பாஸ்போலிப்பிடுகள் செல்சவ்வில் உள்ளன.

பாஸ்போலிப்பிடுகள்

செல்சவ்வு லிப்பிடுகள் நீர் விரும்பும் மற்றும் நீர்வெறுக்கும் (amphipathic) தன்மையுடையவை. அவற்றின் தலைப்பகுதி நீர் விரும்பும் தன்மையும், வால் பகுதி நீர்வெறுக்கும் தன்மையும் கொண்டவை. செல்சவ்வுகளை நீர் விரும்பும் சூழலுக்கு உட்படுத்தும் போது, அவை நீர்வெறுக்கும் உட்பகுதியைக் கொண்ட இரட்டை லிப்பிடு அடுக்குகளாக அமைகின்றன.

1.1.2 புரதங்கள்

செல்சவ்விலுள்ள புரதங்கள், அதன் அனைத்து முக்கியப் பணிகளையும் செய்கின்றன. எவ்வகை செல் என்பதைப் பொருத்து, அதன் சவ்வில் 20 – 70% புரதங்கள் உள்ளன. செல்சவ்வு புரதங்களை உள் அமை புரதங்கள் மற்றும் புற அமை புரதங்கள் என இருவகையாகப் பிரிக்கலாம்.

உள் அமை புரதங்கள் (Intergral or Intrinsic Proteins)

சில புரதங்கள் செல் சவ்வில் ஆழமாகப் பதிந்துள்ளன. இவற்றை செல்சவ்வைச் சேதப்படுத்தாமல் பிரித்தெடுக்க இயலாது. அவ்வாறு பிரிக்க இயலாப் புரதங்களை உள் அமை புரதங்கள் என்கிறோம். உள் அமை புரதங்கள் இருவகைப்படுகின்றன. அவை (அ) செல்சவ்வு குறுக்கு புரதங்கள் (Transmembrane Proteins) – இவ்வகை புரதங்கள் செல்சவ்வினை ஊடுருவிச் செல்கின்றன. அதனால் இவற்றிற்குச் செல்சவ்வின் இருபுறங்களிலும் டொமெய்ன்கள் (Domains) உள்ளன. செல் மேற்பரப்பமைவாங்கிகள் இவ்வகையைச் சார்ந்தவை. (ஆ) லிப்பிடுகளுடன் இணைந்த புரதங்கள் (Lipid anchored proteins) – இவ்வகை புரதங்கள் சைட்டோபிளாசத்திலோ அல்லது செல்லுக்கு வெளியிலோ அமைந்துள்ளன. அவை தங்கள் அமினோ தொகுதியுடன் பிணைக்கப்பட்ட லிப்பிடுகளின் மூலமாக செல்சவ்வோடு இணைந்து காணப்படுகின்றன.

செல் சவ்வு குறுக்குப் புரதங்கள் இருவகைப்படும். செல் சவ்வை ஒரே ஒரு முறை மட்டும் ஊடுருவிச் செல்லும் புரதங்களை ஒருமுறை ஊடுருவும் புரங்கள் (Single pass Transmembrane proteins) என்றும் பலமுறை ஊடுருவிச் செல்லும் புரதங்களைப் பலமுறை ஊடுருவும் புரதங்கள் (Multipass Transmembrane Proteins) என்றும் அழைக்கிறோம்.

படம் 1.1 ஒருமுறை ஊடுருவும் புரதங்கள்

படம் 1.2 பலமுறை ஊடுருவும் புரதங்கள்

புற அமை புரதங்கள் (Peripheral proteins)

செல் சவ்வின் வெளிப்புறம் அல்லது உட்புறம் மட்டுமே அமைந்துள்ள புரதங்கள் புற அமை புரதங்கள் ஆகும். இவற்றை செல் சவ்விலிருந்து எளிதாகப் பிரித்தெடுக்கலாம். (எ.கா) இரத்தச் சிவப்பணுக்களில் உள்ள ஸ்பெக்டிரின் (Spectrin) என்னும் புரதம்.

1.2 செல்சவ்வு மாதிரிகள்

1.2.1 ஓரடுக்கு அமைப்பு (Monolayer model)

ஓவர்டன் என்பவரே செல்சவ்வு அமைப்புகளை ஆய்வதில் முன்னோடியாவார். நீர்வெறுக்கும் வேதிப்பொருட்கள் செல்சவ்வு வழியாக எளிதில் கடத்தப்படுவதால், செல்சவ்வு ஒரு மெல்லிய லிப்பிடு படலத்தால் ஆனது என அறிவித்தார்.

1.2.2 லிப்பிடு ஈரடுக்கு அமைப்பு (Lipid bilayer model)

இரத்தச் சிவப்பணுக்களின் செல்சவ்விலுள்ள லிப்பிடுகளின் அளவு, அதன் மேற்பரப்பளவிற்கு இருமடங்காக உள்ளது. இந்த ஆராய்ச்சி முடிவின் அடிப்படையில் கார்டன் மற்றும் கிரன்டல், செல்சவ்வுகள் இரட்டை லிப்பிடு அடுக்குகளால் ஆனவை என அறிவித்தனர் (படம் 1.3).

படம் 1.3 லிப்பிடு ஈரடுக்கு அமைப்பு

1.2.3 ஒருமை செல்சவ்வு அமைப்பு (Unit membrane model)

இவ்வமைப்பு டேவ்சன் மற்றும் டேனியல் என்போரால் அமைக்கப்பட்டு, பின்னர் இராபர்ட்சன் என்பவரால் செம்மைப்படுத்தப்பட்டது. இயற்கையான செல்சவ்வுகளின் மேற்பரப்பு இழுவிசை லிப்பிடுகளால் மட்டுமே ஆன செயற்கை செல்சவ்வுகளின் மேற்பரப்பு இழுவிசையை விடக் குறைவாக உள்ளது. இதனால் செல்சவ்வுகளின் புரதங்களும் உள்ளன என்பது தெளிவாகிறது. இதன் அடிப்படையில் டேவ்சன் மற்றும் டேனியல் இரட்டை லிப்பிடு அடுக்குகளின் மீது புரதங்கள் பரவியுள்ளன என அறிவித்தனர்.

எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கி வழியாக செல்சவ்வுகளைப் பார்க்கும்போது, அவை மூன்று அடுக்குகள் உடையதாகக் காணப்படுகின்றன. இந்த ஆராய்ச்சி முடிவுகளிலிருந்து இராபர்ட்சன் ஒருமை செல் சவ்வு அமைப்பை உருவாக்கினார். இவ்வமைப்பின் படி செல் சவ்வில் இரு புரத அடுக்குகளும், ஒரு லிப்பிடு இரட்டை அடுக்கும் உள்ளன. அதாவது, இரு புரத அடுக்குகளுக்கு இடையில் (Sandwich) லிப்பிடு இரட்டை அடுக்கு அமைந்திருக்கும் (படம் 1.4)

படம் 1.4 ஒருமை செல் சவ்வு அமைப்பு

1.2.4 நீர்ம மொசைக் அமைப்பு (Fluid Mosaic Model)

இது உலகளவில் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட ஒரு மாதிரியாகும். இம்மாதிரியை, பல அறிவியல் ஆய்வுகளின் அடிப்படையில் S.J. சிங்கர் மற்றும் G.L. நிக்கல்சன் ஆகியோர் 1972 ஆம் ஆண்டில் உருவாக்கினர். (படம் 1.5)

நீர்மமொசைக் அமைப்பின் முக்கிய கோட்பாடுகள் :

1. இரட்டை அடுக்கில் லிப்பிடுகளும், புரதங்களும் மொசைக் அமைப்பில் காணப்படுகின்றன.
2. பாஸ்போலிப்பிடுகளாகிய நீர்ம அடித்தளத்தில் சில புரதங்கள் உள்அமை புரதங்களாகவும், சில புரதங்கள் புறஅமை புரதங்களாகவும் அமைந்துள்ளன.
3. லிப்பிடுகள் மற்றும் புரதங்கள் செல்சவ்வில் நகரும் தன்மை கொண்டவை.

படம் 1.5 நீர்ம மொசைக் அமைப்பு

4. அவற்றால் இடவலமாக நகரவும், சுழலவும் முடியும். ஆனால் ஓரடுக்கிலிருந்து மற்றோர் அடுக்குக்கு நகர முடியாது.
5. செல்சவ்வு சீர்மையற்ற தன்மையுடையது. வெளிப்புற அடுக்கிலும், உட்புற அடுக்கிலும் வேதிப்பொருட்களின் அளவு மாறுபடுகிறது.

1.3 செல்சவ்வு கடத்தல் (Membrane Transport)

செல்சவ்வு கடத்தல், அதன் இன்றியமையாத பணிகளுள் ஒன்றாகும். செல் உயிரோட்டத்துடன் இருக்க செல்சவ்வு கடத்தல் முக்கியமானதாகும். நீர்வெறுக்கும்

மூலக்கூறுகளும் சிறிய நீர் விரும்பும் மூலக்கூறுகளும் செல் சவ்வை எளிதாகக் கடக்கின்றன. ஆனால் மின்சுமையற்ற நீர் விரும்பும் பெரிய மூலக்கூறுகள் மற்றும் மின்சுமையுள்ள மூலக்கூறுகளால் செல்சவ்வைப் புரங்களின் உதவியின்றிக் கடக்க இயலாது.

ஒரு பொருளைக் கடத்துவதற்கு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறதா இல்லையா என்பதையும், அதன் செறிவையும் பொருத்து கடத்தல் செயல்மிகு கடத்தல் மற்றும் செயலற்ற கடத்தல் என இருவகைப்படும்.

1.3.1 செயலற்ற கடத்தல் (Passive Transport)

செயலற்ற கடத்தலில் பொருட்கள் அதிகச் செறிவிலிருந்து குறைந்த செறிவிற்கு எந்த ஒரு புரதத்தின் உதவியுமின்றிக் கடத்தப்படுகின்றன. இவ்வகை கடத்தல் சவ்வின் இருபக்கமும் கடத்தப்படும் பொருளின் செறிவு சமநிலை அடையும் வரை தொடர்கிறது. ஆக்ஸிஜன், கார்பன்–டை–ஆக்சைடு மற்றும் யூரியா போன்றவை இம்முறையில் கடத்தப்படுகின்றன.

1.3.2 புரத வழிக்கடத்தல் (Facilitated Diffusion)

கடத்தப்படும் பொருளின் செறிவு அதிகமாக இருந்தாலும் குளுக்கோஸ் போன்ற நீர் விரும்பிகளால் செல்சவ்வை எளிதில் கடக்க இயலாது. அத்தகைய பொருட்களைக் கடத்துவதற்குப் புரதங்கள் தேவைப்படுகின்றன. இக்கடத்தல் புரதவழிக்கடத்தல் என்றழைக்கப்படுகிறது.

புரதவழிக் கடத்தலில் ஈடுபடும் புரதங்கள் கடத்தல் புரதங்கள் (Carrier Proteins) என்றழைக்கப்படுகின்றன. அனைத்து செல்சவ்வுகளும் கடத்தல் புரதங்களைக் கொண்டுள்ளன.

கடத்தல் புரதங்களின் சில முக்கிய பண்புகள்

1. இவை கரைபொருளை அதிகச் செறிவிலிருந்து குறைந்த செறிவிற்குக் கடத்துகின்றன.
2. செறிவு சமநிலை அடைவதைத் துரிதப்படுத்துகின்றன.
3. இக்கடத்தலுக்கு ஆற்றல் தேவையில்லை.
4. இவை பெரிதும் தெரிவுத் தன்மையுடையவை.

இரத்த சிவப்பணுக்களிலுள்ள குளுக்கோஸ் கடத்தி மற்றும் எதிர்மின் அயனி கடத்தி போன்றவை புரதவழிக் கடத்தலுக்கு எடுத்துக்காட்டுகளாகும்.

கடத்தல் புரதங்கள் மூன்று வகைப்படும்.

1. ஒரு பொருள் கடத்திகள் (Uniporters) : இவை பொருட்களைச் செல்சவ்வின் ஒரு பக்கத்திலிருந்து மற்றோர் பக்கத்திற்குக் கடத்தும் தன்மை கொண்டவை.
2. ஒரு திசைக் கடத்திகள் (Symporters) : இவை இரு வேறு மூலக்கூறுகளை ஒரே திசையில் கடத்தும் தன்மை கொண்டவை.
3. எதிர் திசைக் கடத்திகள் (Antiporters) : இவை இரு வேறு மூலக்கூறுகளை எதிரெதிர் திசைகளில் கடத்தும் தன்மை கொண்டவை.

ஒரு பொருள் கடத்தி ஒருதிசைக் கடத்தி எதிர் திசைக் கடத்தி

1.3.3 செயல்மிகு கடத்தல் (Active Transport)

செல்கள் குறைந்த செறிவிலிருந்து அதிக செறிவிற்குப் பொருட்களைக் கடத்தும் பணியையும் மேற்கொள்கின்றன. இச்செயல் வெப்ப இயக்கவியலுக்கு எதிரான செயலாகும். எனவே, இச்செயலுக்கு ஆற்றல் தேவை. தேவையான ஆற்றலை ATP நீராற்பகுப்பின் மூலம் பெறுகின்றன. செயல்மிகு கடத்தலிலும் கடத்தல் புரதங்கள் ஈடுபடுகின்றன. அப்புரதங்கள் பம்புகள் (Pumps) என்றழைக்கப்படுகின்றன. செல்லின் சைட்டோபிளாசத்தின் K^+ செறிவை அதிகமாகவும் Na^+ செறிவைக் குறைவாகவும் வைத்துக்கொள்ள உதவும். Na^+,K^+-ஏடிபியேஸ்கள் இதற்கு ஒரு எடுத்துக்காட்டாகும்.

1.3.4 எண்டோசைட்டோசிஸ் (Endocytosis)

பெரிய அளவிலான உணவுப் பொருட்கள் மற்றும் வேற்றுப் பொருட்கள் செல்லினுள் விழுங்கப்படும். செயல் எண்டோசைட்டோசிஸ் எனப்படும். செல்லினுள் விழுங்கப்படும் பொருட்களின் தன்மைக்கேற்ப, எண்டோசைட்டோசிஸ் இருவகைப்படும். பினோசைட்டோசிஸ் (Pinocytosis) அல்லது செல்குடித்தல் நிகழ்வில் திரவப் பொருட்கள் விழுங்கப்படுகின்றன. பெரிய திடப்பொருட்கள் செல்சவ்வின் மூலமாக செல்லுக்குள் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டால், அது பேகோசைட்டோசிஸ் (Phagocytosis) என்றழைக்கப்படுகிறது.

எண்டோசைட்டோசிஸ் செயலின் போது செல் சவ்வானது குழிந்து, செல்லின் வெளிப்புறத்திலுள்ள திரவத்தை உள்ளிழுத்துச் சிறிய குமிழிகளாக மாறி, செல் சவ்விலிருந்து பிரிந்து செல்லுக்குள் நுழைகின்றன. இவை பினோசோம்கள் அல்லது போகோசோம்கள் என்றழைக்கப்படுகின்றன. இவை லைசோசோம்களுடன் இணைந்து, தங்கள் உட்பொருட்களைச் செல் சைட்டோபிளாசத்தில் விடுவிக்கின்றன.

செல்களால் சுரக்கப்படும் பொருட்கள், செல் சவ்விலிருந்து வெளியேற்றப்படும் நிகழ்வு எக்சோசைட்டாசிஸ் என்றழைக்கப்படுகிறது. இந்நிகழ்வின் போது சுரப்புப் பொருட்களை உள்ளடக்கிய குமிழிகள் செல்சவ்வுடன் இணைந்து, அதன் உட்பொருட்களைச் செல்லிலிருந்து வெளியேற்றுகின்றன. உதாரணமாக, கணையச் செல்கள் தங்கள் நொதிகளை எக்சோசைடாசிஸ் மூலமே சுரக்கின்றன.

அட்டவணை 1

புரதவழிக் கடத்தல் மற்றும் செயல்மிகு கடத்தலுக்கிடையே

உள்ள ஒற்றுமைகளும் வேற்றுமைகளும்

வ.எண்.	புரத வழிக்கடத்தல்	செயல்மிகு கடத்தல்
1.	இவ்வகை கடத்தலுக்குப் புரதம் இன்றியமையாதது. அவற்றைக் கடத்தல் புரதங்கள் என்றழைக்கிறோம்.	இவ்வகை கடத்தலுக்கும் புரதம் இன்றியமையாதது. அவை பம்புகள் என்றழைக்கப்படுகின்றன.
2.	பெரிதும் தெரிவுத் தன்மையுடையது	பெரிதும் தெரிவுத் தன்மையுடையது
3.	நிறைவுறும் தன்மையுடையது	நிறைவுறும் தன்மையுடையது
4.	போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்களால் தடுக்கப்படும் இயல்புடையது	போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்களால் தடுக்கப்படும் இயல்புடையது.
5.	கரைபொருட்கள் அதிகச் செறிவிலிருந்து குறைந்த செறிவிற்குக் கடத்தப்படும்.	கரைபொருட்கள் குறைந்த செறிவிலிருந்து அதிகச் செறிவிற்குக் கடத்தப்படும்
6.	ஆற்றல் தேவையில்லை	ஆற்றல் தேவை.

1.4 பாகுநிலை (Viscosity)

ஒரு சோதனைக் குழாயில் தண்ணீரையும் மற்றொன்றில் விளக்கெண்ணையையும் எடுத்து ஒரே சமயத்தில் சாய்த்தால், விளக்கெண்ணெய் மெதுவாகவும் தண்ணீர் வேகமாவும் விழும். இதற்கு ஒரு திரவ அடுக்குக்கும், மற்றோர் திரவ அடுக்குக்கும் இடையே உள்ள உராய்வு விசையே காரணமாகும். ஒரு திரவத்தில் உள்ள வெவ்வேறு அடுக்குகள் வெவ்வேறு வேகத்தில் நகரும். அவ்வாறு நகரும் போது ஏற்படும் உராய்வு, திரவ ஓட்டத்திற்கு உட்தடையாக அமைகிறது. இதனையே பாகுநிலை என்கிறோம். ஒவ்வொரு திரவமும் அதற்குரிய பாகுநிலை உடையதாக விளங்குகிறது. ஓர் அலகு பரப்பளவு உடைய ஒரு திரவ அடுக்குக்கும், அதிலிருந்து 1 செ.மீ. தொலைவிலுள்ள மற்றோர் திரவ அடுக்குக்கும் இடையே 1 செ.மீ. / விநாடி என்ற சீரான வேகத்தில் திரவம் விழுவதற்குத் தேவையான விசையை பாகுநிலை குணகம் (Viscosity co-efficieint) என்கிறோம். இதனை டைன்ஸ் என்னும் அலகினால் அளவிடுகிறோம்.

பாகுநிலையை பாய்ஸ் (Poise) மற்றும் மில்லிபாய்ஸ் (Millipoise) ஆகிய அளவைகளால் அளக்கிறோம்.

1.4.1 பாகுநிலையைப் பாதிக்கும் காரணிகள்

1. அடர்த்தி : பாகுநிலையும், அடர்த்தியும் ஒன்றோடு ஒன்று நேர்விகிதத்தில் தொடர்புடையவை. இவை இரண்டும் ஸ்டோக்ஸ் விதியால் இணைக்கப்படுகின்றன. ‘r’ என்ற ஆரம் கொண்ட ஒரு சிறிய கோளத்தை, ‘ρ’ (rho) என்ற அடர்த்தி கொண்ட ஒரு திரவத்தில், ‘g’ என்ற புவியீர்ப்பு விசையை மீறி ‘u’ என்ற திசைவேகத்தில் நேராக விழச் செய்தால், பாகுநிலையும், அடர்த்தியும் இத்தகைய தொடர்புடையதாக அமைகின்றன.

$$\eta = \frac{2r^2 g(\rho - \rho')}{9u}$$

2. வெப்பநிலை : வெப்பநிலையும் பாகுநிலையும் எதிர்விகிதத்தில் தொடர்புடையவை. வெப்பநிலை அதிகரிக்கும் போது, திரவத்தின் பாகுநிலை குறைகிறது.

3. கரைபொருள் : தூய கரைப்பானின் பாகுநிலையை விட கரைசலின் பாகுநிலை அதிகமாகும். கரைபொருள் கரைப்பானின் பாகுநிலையை உயரச் செய்கிறது. (எ.கா). தூய நீரை விட புரதக் கரைசலின் பாகுநிலை அதிகமாகும். கரைபொருளின் அளவையும் உருவ அமைப்பையும் பொருத்தே பாகுநிலை அமையும்.

1.4.2 உயிரியல் பயன்பாடுகள்

1. கார்போஹைட்ரேட் மற்றும் புரதக் கரைசல்கள் அதிக பாகுநிலை கொண்டவை.
2. இரத்தத்தின் பிளாஸ்மா (Plasma) சாதாரணமாக 15–20 மில்லிபாய்ஸ் பாகுநிலையுடையதாகும். இதில் ஏற்படும் மாறுபாடுகள் நோயுற்ற நிலையைக் குறிக்கும். பிளாஸ்மாவின் பாகுநிலை மேக்ரோகுளோபுலினீமியா (Macroglobulinemia) மற்றும் இதய நோய் (Congestive Heart Failure) ஆகிய நோய்களில் அதிகரித்துக் காணப்படும்.
3. இரத்தத்தின் பாகுநிலை சுமார் 30–40 மில்லிபாய்ஸ் ஆகும். இரத்தத்தில் உள்ள சிவப்பணுக்களே அதன் பாகுநிலையை நிர்ணயிக்கின்றன. இரத்த சோகை நோயில் இரத்தத்தின் பாகுநிலை குறைந்து காணப்படும்.
4. இரத்தத்தின் பாகுநிலை அதன் சீரான ஓட்டத்திற்கு உதவுகிறது.
5. சினோவியல் திரவத்தில் உள்ள மியூகோபாலிசாக்கரைடின் பாகுநிலையின் காரணமாக சினோவியல் திரவம் உயவுத்தன்மையைப் பெற்றுள்ளது.

1.5 பரப்பு இழுவிசை (Surface Tension)

ஒரு திரவத்தின் உள்ளே உள்ள ஒரு மூலக்கூறு (a), மற்ற மூலக்கூறுகளால் சமமான விசையால் எல்லாப் பக்கங்களிலிருந்தும் இழுக்கப்படுகிறது. ஆவிநிலையில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை, திரவத்திலுள்ள மூலக்கூறுகளை விட குறைவாகவே உள்ளதால், திரவத்தின் மேற்பரப்பில் உள்ள ஒரு மூலக்கூறானது (b) திரவத்தில் உள்ள மற்ற மூலக்கூறுகளால், மூலக்கூறுகளிடைப்பட்ட கவர்ச்சி விசை காரணமாக, அதிகமாக உள்ளிழுக்கப்படுகிறது. (படம் 1.6) இவ்வாறு அதிகமாக உள்ளிழுக்கப்படும் விசையே பரப்பு இழுவிசையாகும். மேற்பரப்பிலுள்ள மூலக்கூறுகளை திரவத்திற்குள் உள்நோக்கி இழுக்க மேற்பரப்பிற்கு செங்குத்தாக தரப்படும் விசையே பரப்பு இழுவிசை (γ) எனலாம்.

படம் 1.6 மேற்பரப்பில் உள்ள மூலக்கூறு எதிர்நோக்கும் சமமற்ற கவர்ச்சி

1.5.1 பரப்பு இழுவிசையைப் பாதிக்கும் காரணிகள்

1. அடர்த்தி : திரவம் (ρ) மற்றும் அதன் ஆவியின் (ρ') அடர்த்தியையும், பரப்பு இழுவிசையையும் மெக்லாட் சமன்பாடு (Mc Loeds equation) கீழ்க்கண்டவாறு இணைக்கின்றது.

$$\Upsilon \propto (\rho-\rho')^2$$

2. வெப்பநிலை : வெப்பநிலையும், பரப்பு இழுவிசையும், எதிர்விகிதத்தில் தொடர்புடையவை. அதாவது திரவத்தின் வெப்பநிலையை உயர்த்தும் போது, அதன் பரப்பு இழுவிசை குறைவடைகிறது. நிலைமாறு வெப்பநிலையில், பரப்பு இழுவிசை பூஜ்யமாகிறது.

3. கரைபொருள் : கரைப்பானுக்குள் செல்லும் கரைபொருள், கரைப்பானின் பரப்பிழுவிசையை அதிகரிக்கும். ஆனால், திரவத்தின் மேற்பரப்பின் மீது செறியும் பொருட்கள், திரவத்தின் பரப்பிழுவிசையைக் குறைக்கும்.

1.5.2 உயிரியல் பயன்பாடுகள்

1. கொழுப்புகளைப் பால்மமாக்குதல் (Emulsification of Fats) :
   பித்த உப்புகள் டியோடினத்திலுள்ள கொழுப்புத்துகள்களின் பரப்பிழுவிசையைக் குறைத்து, அவை செரிப்பதற்கும், உறிஞ்சப்படுவதற்கும் ஏதுவாக மாற்றுகின்றன.

2. பிளாஸ்மாவின் பரப்பிழுவிசை : பிளாஸ்மாவின் பரப்பு இழுவிசை 70 டைன்கள் / செ.மீ. ஆகும். இது நீரின் பரப்பு இழுவிசையை விடச் சற்றே குறைவானதாகும்.

3. ஹேவின் பித்த உப்புகளைக் கண்டறியும் சோதனை (Hays test for bile salts) பரப்பு இழுவிசைக் கோட்பாடு சிறுநீரில் பித்த உப்புகளைக் கண்டறிவதற்குப் பெரிதும் உதவுகிறது. நன்கு பொடி செய்யப்பட்ட கந்தகத் துகள்களைப் பித்த உப்புகள் செறிந்த சிறுநீரில் (மஞ்சள் காமாலை) தூவினால், பித்த உப்புகளின் பரப்பிழுவிசை குறைக்கும் தன்மையினால் அவை மூழ்கிவிடும். ஆனால் நோயற்ற மனிதர்களின் சிறுநீரில் கந்தகத் துகள்கள் மிதக்கும்.

4. டைபால்மிடாயில் லெசிதீன் (Dipalmitoyl lecithin) என்ற பரப்பு இழுவிசை குறைக்கும் பொருள் நுரையீரலின் ஆல்வியோலைகளால் சுரக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் பரப்பு இழுவிசை குறைக்கும் தன்மையினால், நுரையீரல் ஆல்வியோலைகள் மூச்சை வெளியிடும் போது குலையாமல் பாதுகாக்கப்படுகின்றன. சில வளர்ச்சியுறாத சிசுக்களில் (preterm infants), டைபால்மிடாயில் லைசீதினின் அளவு குறைந்து காணப்படுவதால், சுவாசக் குறைபாடுகள் (respiratory disorders) ஏற்படுகின்றன.

1.6 சவ்வூடு பரவல் (Osmosis)

ஒரு பகுதி கடத்தும் தன்மையுடைய சவ்வால் (Semipermeable) தண்ணீரையும், புரதக் கரைசலையும் பிரித்து வைத்தால், தண்ணீர், புரதக்கரைசல் பகுதிக்கு ஊடுருவிச் செல்லும். இவ்வாறு கரைப்பான்கள் ஊடுருவதையே சவ்வூடு பரவல் என்கிறோம். குறைந்த செறிவுள்ள ஒரு பகுதியிலிருந்து, அதிகச் செறிவுள்ள ஒரு பகுதிக்கு நீர் கசிவதையே சவ்வூடு பரவல் எனலாம். சவ்வூடு பரவல் ஒரு பொருண்மை சார் பண்பாகும். அதாவது, கரைசலிலுள்ள கரைபொருளின் மூலக்கூறுகள் அல்லது அயனிகளின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்ததே ஆகும். ஒரு மோல் கரைபொருளில் உள்ள சவ்வூடு பரவல் தன்மை உடைய மூலக்கூறுகள் அல்லது அயனிகளின் எண்ணிக்கை ஆஸ்மால் அலகு (Osmol Units) என வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு மோல் அயனியாகாத கரைபொருள் ஒரு ஆஸ்மாலுக்குச் சமமாகும்.

ஆஸ்மொலாரிட்டி என்பது ஒரு லிட்டர் கரைசலில் உள்ள கரைபொருளின் அளவை ஆஸ்மாலில் குறிப்பிடுவதாகும். ஆஸ்மொலாலிட்டி என்பது ஒரு கிலோகிராம் கரைப்பானில் உள்ள கரைபொருளின் அளவை ஆஸ்மாலில் குறிப்பிடுவதாகும்.

ஒரே சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் கொண்ட கரைசல்கள் ஐசோ–ஆஸ்மாடிக் (Iso-osmotic) கரைசல்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. வெவ்வேறு சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் உள்ள இரு கரைசல்களை ஒப்பிடும் போது, அதிக சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் கொண்ட கரைசலை ஹைப்பர் ஆஸ்மாடிக் கரைசல் (hyperosmotic solution) எனவும், குறைந்த சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் கொண்ட கரைசலை ஹைப்போ ஆஸ்மாடிக் கரைசல் (hypoosmotic solution) எனவும் அழைக்கிறோம்.

செல்சவ்வு பகுதி ஊடுருவும் தன்மையுடையதாக இருப்பதால் அது சில கரைபொருட்களை மட்டுமே கடத்துகிறது. கடத்த இயலா கரைபொருட்களால் ஏற்படும் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் டானிசிட்டி (Tonicity) என்று அழைக்கப்படுகிறது. டானிசிட்டி ஒரு முக்கியத்துவம் வாய்ந்த உடற்செயலியல் கூறாகும்.

சமமான டானிசிட்டி கொண்ட கரைசல்களை ஐசோடானிக் கரைசல்கள் (Isotonic solutions) என அழைக்கிறோம். அதிக டானிசிட்டி உள்ள கரைசலை ஹைப்பர்டானிக் கரைசல் எனவும், குறைவான டானிசிட்டி உள்ள கரைசலை ஹைப்போடானிக் கரைசல் எனவும் அழைக்கிறோம்.

1.6.1 உயிரியல் முக்கியத்துவம்

1. சிவப்பணு உடைதல் (Hemolysis) மற்றும் சுருங்குதல் (Crenation) :

சரிவிகித உப்புக்கரைசல் அல்லது ஐசோடானிக் உப்புக் கரைசல் என்பது 0.9% NaCl ஆகும். இரத்த சிவப்பணுக்களை 0.3% NaCl கரைசலில் விரவச் செய்தால், நீர் செல்லுக்குள் சென்று, செல் உடைந்து, அதன் உட்பொருட்களை வெளியேற்றுகிறது. இவ்வாறு இரத்த சிவப்பணுக்கள் ஹைப்போடானிக் NaCl கரைசலில் உடைதலைச் 'சிவப்பணு உடைதல்' என அழைக்கிறோம். அவ்வாறு உடைந்தவுடன் கிடைக்கப்பெறும் சிவப்பணுக்களின் செல்சவ்வுகளைக் கூடுகள் (Ghosts) என்றழைக்கிறோம். அதற்கு மாறாக, இச்செல்களை 1.5% NaCl சரைசலில் விரவினால் இச்செல்லில் உள்ள நீர் வெளியேறி செல் சுருங்கிவிடும். இதனையே செல் சுருங்குதல் (Crenation) என்றழைக்கிறோம்.

2. சிவப்பணுக்களின் உடையும் தன்மையைக் கொண்டு செய்யப்படும் சோதனை (Erythrocyte Fragility Test) சவ்வூடு பரவலின் அடிப்படையில் செய்யப்படுவதாகும். செல்சவ்வின் ஒருங்கிணைப்பைப் பொருத்தே, செல்கள் ஹைப்போடோனிக் கரைசல்களைத் தாங்கி நிற்கும். சிக்கில் செல் இரத்தசோகை (Sickle Cell Anemia) மற்றும் வைட்டமின் E குறைபாடுள்ள சிவப்பணுக்களின் செல்சவ்வு உடையும் தன்மையுடன் இருக்கும்.

3. இரத்த சிவப்பணுக்களின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம், அதன் சோடியம், பொட்டாசியம், குளோரைடு ஆகிய தனிமங்கள் மற்றும் புரதத்தின் அளவைப் பொருத்ததேயாகும். இவற்றுள் புரதங்களால் ஏற்படும் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் உயிரியல் முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகும். ஏனெனில் செல்சவ்வு கூழ்மங்களைக் கடத்துவதில்லை.

4. சவ்வூடு பரவலின் மூலமாக சிறுகுடலிலிருந்து தண்ணீர் உறிஞ்சப்படுகிறது. சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமே சிறுநீரகத்தில் சிறுநீர் உருவாவதற்கும் காரணமாகிறது. நீரழுத்தத்திற்கும்

சவ்வூடு பரவல் அழுத்தத்திற்குமிடையே உள்ள அழுத்த வேறுபாடே இரத்தநாளத்தின் தமனி முனையில் தண்ணீரை வடிகட்ட உதவுகிறது. அதுவே, சிரைகளின் முனையில் தண்ணீர் உறிஞ்சப்படுவதற்கும் வழிவகுக்கிறது.

தமனிகளின் முனையில் நீரழுத்தம் 22mm Hg ஆகவும், சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் 15mm Hg ஆகவும் இருக்கிறது. இவற்றால் ஏற்படும் 7mm Hg அழுத்த வேறுபாடு தமனிகளிலிருந்து நீரை வெளியேற்ற உதவுகிறது. சிரைகளின் முனையில் நீரழுத்தம் 15mm Hg ஆகவும், சவ்வூடு பரவல் அழுத்தம் 7mm Hg ஆகவும் இருக்கிறது. இதனால் உருவாகும் 15 – 7 = 8mm Hg அழுத்த வேறுபாடு, நீர் இரத்த நாளங்களுக்குள் மீண்டும் உறிஞ்சப்படுவதற்கு உதவுகிறது. இதனையே ஸ்டார்லிங் கோட்பாடு (Starling hypothesis) என்கிறோம்.

5. சிறுநீரகங்கள் நீரை வெளியேற்றுவதைச் சீர் செய்வதற்கு இரத்த பிளாஸ்மாவிலுள்ள புரதங்களின் சவ்வூடு பரவல் அழுத்தமும் ஒரு காரணியாகும். நீரழிவு நோயாளியின் சிறுநீரிலுள்ள குளுக்கோஸ், நீரைத் தக்க வைத்துக் கொள்வதால் அவர்கள் அதிக சிறுநீர் கழிக்கின்றனர்.

6. டோனான் சவ்வு சமநிலை (Donnan Membrane Equilibrium)

ஒரு பகுதி ஊடுருவும், அதாவது, தண்ணீரையும், படிகங்களையும் கடத்தும், ஆனால் கூழ்மங்களைக் கடத்தாத சவ்வால் பிரிக்கப்பட்ட இரு அறைகளில், ஒன்றில், ‘a’ மோல்கள் கொண்ட உப்புக்கரைசலையும் (NaCl), மற்றொன்றில், ‘b’ மோல்கள் கொண்ட NaR என்ற கரைசலையும் எடுத்துக் கொண்டோமானால்,

(A)		(B)		
a	Na^+	Na^+	b	
a	Cl^-	R^-	b	1

இதில் ‘R’ என்ற எதிர்மின் அயனி கடத்தப்படாத அயனியாகும்.

NaCl ‘A’ அறையிலிருந்து ‘B’ அறைக்குக் கடத்தப்படும். இந்த அமைப்பானது சமநிலை அடையும் வரை இது தொடரும். சமநிலையில் ‘x’ மோல்கள் NaCl ‘A’ விலிருந்து ‘B’ க்கு கடத்தப்பட்டதாகக் கருதினால், சமநிலையில் இரு அறைகளிலும் அயனிகளின் செறிவு கீழ்கண்டவாறு இருக்கும்.

(A)		(B)		
a-x	Na^+	Na^+	b + x	
a-x	Cl^-	R^-	b	2
		Cl^-	x	

சமநிலையில் ஓர் அறையிலிருந்து, மற்றோர் அறைக்குச் செல்லும் அயனிகளின் எண்ணிக்கை சமமாக இருக்கும். அவ்வாறு சமமாக இருக்க வேண்டுமெனில், தொடர்புடைய இரு அயனிகளின் பெருக்குத்தொகையும், இருபுறங்களிலும் சமமாக இருக்க வேண்டும். இதன்படி $[Na^+]$ மற்றும் $[Cl^-]$ அயனிகளின் செறிவு இரு அறைகளிலும் சமநிலையில் சமமாக இருக்கும்.

$$(a-x)(a-x) = (b+x)x$$

$$(a-x)^2 = bx + x^2$$

$$a^2 - 2ax + x^2 = bx + x^2$$

$$a^2 - 2ax = bx$$

$$a^2 = bx + 2ax$$

$$a^2 = (b + 2a)x$$

$$x = \frac{a^2}{(b + 2a)}$$

'a' என்பதற்கு **2** ஐயும், 'b' என்பதற்கு **1** ஐயும் பதிலீடு செய்தால்,

$$x = \frac{2^2}{1 + (2 \times 2)}$$

$$= \frac{4}{5}$$

$$= 0.8$$

	(A)			(B)
2 - 0.8 = 1.2	Na^+		Na^+	1 + 0.8
2 - 0.8 = 1.2	Cl^-		R^-	1
			Cl^-	0.8
2.4				**3.6**

இதிலிருந்து,

1. கடத்தப்படாத அயனி உள்ள அறையில் (B), கரைபொருட்களின் செறிவு அதிகமாக இருக்கும்.

2. கடத்தப்படாத அயனி எதிர்மின் அயனியாக இருந்தால் (R^-), நேர்மின் அயனியின் செறிவு (Na^+) இப்பகுதியில் அதிகமாக இருக்கும் என அறியலாம்.

உயிரியல் அமைப்புகளில் கடத்தப்படாத புரதங்களினால் டோனான் சவ்வு சமநிலை உருவாகும். இது செல்லின் இயக்கத்திற்கு உறுதுணையாக அமைகிறது.

கடத்தப்படாத அயனி எதிர்மின் அயனியாக இருந்து, கடத்தப்படும் அயனிகளுள் ஒன்று H^+ ஆக இருந்தால், pHல் மாற்றம் ஏற்படும். மின்பகுளி சமமற்ற நிலையில் புரதங்கள் விரிவடைவது டோனான் சவ்வூடு பரவல் விளைவு என அழைக்கப்படுகிறது.

1.7 தாங்கல் கரைசல்கள்

சிறிதளவு காரம் அல்லது அமிலம் சேர்க்கப்பட்ட பின்னரும், ஒரு கரைசலின் pH மதிப்பு மாறாமலிருந்தால் அக்கரைசல் தாங்கல் கரைசல் என்றழைக்கப்படுகிறது. ஒரு வீரியம் குறைந்த அமிலமும், அதன் உப்பும் அல்லது ஒரு வீரியம் குறைந்த காரமும், அதன் உப்பும் தாங்கல் கரைசல்களாகச் செயல்படுகின்றன. ஒரு கரைசலின் (H^+) அயனிச் செறிவின் எதிர்க்குறியீடு மடக்கையை pH என்று அழைக்கிறோம். தாங்கல் சரைசல்களின் pHஐ ஹென்டர்சன் – ஹாசல்பக் சமன்பாடு (Henderson - Haselbach equation) மூலம் நிர்ணயிக்கலாம். ஹென்டர்சன் – ஹாசல்பக் சமன்பாட்டைக் கீழ்க்கண்டவாறு தருவிக்கலாம்.

ஒரு வீரியம் குறைந்த அமிலம் கீழ்க்கண்டவாறு அயனியாகிறது எனக் கருதுவோம்.

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

சமநிலையில், அதன் பிரிகை மாறிலி,

$$Ka = \frac{[H^+]\,[A^-]}{[HA]}$$

சமன்பாட்டை மாற்றியமைத்தால்

$$Ka\,[HA] = [H^+]\,[A^-]$$

$$[H^+] = \frac{Ka[HA]}{[A^-]}$$

இருபுறமும் மடக்கை எடுத்தால்

$$\log[H^+] = \log Ka + \log\frac{[HA]}{[A^-]}$$

–1 ஆல் பெருக்கினால்

$$-\log[H^+] = -\log Ka - \log\frac{[HA]}{[A^-]}$$

$$pH = pKa + \log\frac{[A^-]}{[HA]}$$

இரத்தத்தின் pH 7.4 ஆகும். அது எப்பொழுதும் மாறாமல் இருக்க வேண்டும். இரத்தத்தின் pH 7.5 ஐ விட அதிகரிக்கும் போது அல்கலோசிஸ் (Alkalosis) ஏற்படுகிறது. pH 7.8 ஐ விட அதிகமானால் மரணம் ஏற்படும். இரத்தத்தின் pH 7.3 ஐ விடக் குறைந்தால் அசிடோசிஸ் (Acidosis) ஏற்படும். pH 7.0 ஐ விடக் குறையுமானால் உயிர் வாழ்விற்கு ஏற்றதாக இருக்காது. வளர்சிதை மாற்றத்தாலும், நாம் உட்கொள்ளும் உணவாலும் நம் உடலில் அதிக அளவிலான அமிலங்களும் காரங்களும் உற்பத்தியாகின்றன. அவற்றை, நம் உடலிலிருந்து

இரத்தத்தின் வழியாக, pHல் எந்த மாற்றமுமின்றிச் சிறுநீரில் வெளியேற்ற வேண்டும். இப்பணி இரத்தத்திலுள்ள பல்வேறு தாங்கல் கரைசல்களால் திறம்படச் செயல்படுத்தப்படுகிறது. அதுமட்டுமின்றிச் சிறுநீரகத்தின் மூலம் ஒழுங்கமைத்தல் மற்றும் சுவாசத்தின் மூலம் ஒழுங்கமைத்தல் ஆகிய இரு செயல்பாடுகளாலும் சீரமைக்கப்படுகிறது.

தொகுதிகள் எல்லாம் அமிலங்களாகும். பகுதிகள் எல்லாம் உப்புகளாகும்.

பிளாஸ்மாவில் பாஸ்பேட் மற்றும் கரிம அமிலங்கள் குறைவாகவே உள்ளதால், pH சீரமைப்பில் அவை பங்கேற்பதில்லை.

இரத்தத்திலுள்ள முக்கிய தாங்கல் கரைசல்கள்

அட்டவணை – 2

பிளாஸ்மா	இரத்த சிவப்பணுக்கள்
$\frac{H_2CO_3}{BHCO_3}$	$\frac{H_2CO_3}{BHCO_3}$
$\frac{\text{H. புரதம்}}{\text{B. புரதம்}}$	$\frac{H.Hb}{B.Hb}$
$\frac{BH_2PO_4}{B_2HPO_4}$	$\frac{H.Hb\ O_2}{B.Hb\ O_2}$
$\frac{\text{H. கரிம அமிலம்}}{\text{B. கரிம அமிலம்}}$	$\frac{BH_2PO_4}{B_2HPO_4}$
	$\frac{\text{H. கரிம அமிலம்}}{\text{B. கரிம அமிலம்}}$

பிளாஸ்மாவில் உள்ள முக்கிய தாங்கல் கரைசல் பைகார்பனேட் தாங்கல் கரைசல் ஆகும். கார்போனிக் அமிலத்தின் பிரிகை மாறிலி (pKa) 6.1 ஆகும். இதை ஹென்டர்சன் – ஹாசல்பக் சமன்பாட்டில் பதிலீடு செய்தால்,

$$7.4 = 6.1 + \log \frac{BHCO_3}{H_2CO_3}$$

$$7.4 - 6.1 = \log \frac{BHCO_3}{H_2CO_3}$$

$$1.3 = \log \frac{BHCO_3}{H_2CO_3}$$

1.3 இன் எதிர்மடக்கை 20 ஆகும்.

$$\frac{BHCO_3}{H_2CO_3} = \frac{20}{1}$$

எனவே, ஹென்டர்சன் – ஹாசல்பர்க் சமன்பாட்டின் மூலம் pHஐ சீராக வைத்துக் கொள்ள கார்பனேட் மற்றும் கார்போனிக் அமிலத்தின் விகிதம் 20 : 1 ஆக இருக்க வேண்டும். வளர்சிதை மாற்றம் மூலமாக உருவாகும் CO_2 , ஹீமோகுளோபின்(Hb)அமைப்பின் வழியாக சீரமைக்கப்படுகிறது.

ஹீமோகுளோபினின் தாங்கல் செயல்

ஹீமோகுளோபினின் தாங்கல் சக்திக்கு, அதன் ஹிஸ்டிடின் அலகுகளிலுள்ள இமிடசோல் தொகுதிகளே காரணமாகும். ஹீமோகுளோபின் ஆக்சிஜனேற்றத்தைப் பொருத்தே அதன் பிரிகை வீதம் அமைகிறது. ஹீமோகுளோபின் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையும் போது அது அதிக அமிலத்தன்மை உடையதாகிறது. அதனால், அது பிரிகை அடைந்து காணப்படுகிறது. ஆக்சிஜனோடு இணையாத போது ஒடுங்கிய நிலையில் காணப்படுகிறது.

திசுக்களில் ஆக்சிஜனின் பகுதி அழுத்தம் (pO_2) குறையும் போது, ஆக்சிஹீமோகுளோபின் பிரிகை அடைந்து, ஆக்சிஜனை திசுக்களுக்கு அளிக்கிறது. அதற்கு மாறாக, திசுக்களிலுள்ள CO_2, நீரோடு இணைந்து, கார்போனிக் அமிலமாக மாறி, H^+ மற்றும் HCO_3^- ஆக பிரிகையடைகிறது. ஆக்சிஜனற்ற ஒடுக்கமடைந்த ஹீமோகுளோபின், H^+ அயனியுடன் இணைந்து HHb ஆக மாறுவதால் pHல் அதிக மாறுபாடு ஏற்படுவதில்லை.

இரத்தம் நுரையீரலை அடைந்தவுடன், நுரையீரலில் ஆக்சிஜனின் பகுதி அழுத்தம் அதிகமாக உள்ளதால், Hbஆக்சிஜனேற்றம் அடைகிறது. முன்னர் குறிப்பிட்டது போல், ஆக்சிஹீமோகுளோபின் H^+ அயனியுடன் குறைவான ஈர்ப்பே உடையதால் அது H^+ ஐ விடுவிக்கிறது. விடுவிக்கப்பட்ட H^+, HCO_3^- உடன் இணைந்து H_2CO_3 ஆக மாறி H_2O மற்றும் CO_2 ஆக பிரிகிறது (படம் 1.7).

படம் 1.7. ஹீமோகுளோபினின் தாங்கல் செயல்

இரத்தத்தின் 80% தாங்கல் செயல் இரத்தச் சிவப்பணுக்களால் நடைபெறுகிறது என்று கண்டறிந்துள்ளனர். ஆனால் இத்தாங்கல் செயலால் உருவான HCO_3^- பிளாஸ்மாவின் மூலமே கடத்தப்படுகிறது. இரத்தச் சிவப்பணுக்களில் உருவான HCO_3^- ஐ பிளாஸ்மாவிற்கு வெளியேற்றுவதற்கு Cl^- அயனி தேவைப்படுகிறது. இந்நிகழ்வை ஹாம்பர்கர் குளோரைடு–பைகார்பனேட் மாற்றம் (Hamberger's Chloride Bicarbonate Shifts) என்கிறோம் (படம் 1.8).

படம் 1.8 ஹாம்பர்கர் குளோரைட் – பைகார்பனேட் மாற்றம்.

திசுக்களிலிருந்து வெளியாகும் CO_2 பிளாஸ்மா வழியாக இரத்தச் சிவப்பணுக்களைச் சென்று அடைகிறது. அங்கு, கார்போனிக் அன்ஹைட்ரேஸ் (carbonic Anhydrase) என்னும் நொதியால் நீருடன் இணைக்கப்பட்டுக் கார்போனிக் அமிலமாக மாறுகிறது. இதே நொதி, கார்போனிக் அமிலத்தை CO_2 மற்றும் நீராகவும் மாற்றுகிறது. கார்போனிக் அமிலம் பிரிகையால் உருவான பைகார்பனேட் பிளாஸ்மாவிலுள்ள குளோரைடு அயனிக்கு பரிமாற்றம் செய்யப்படுகிறது. இவ்வாறு இரத்த சிவப்பணுக்களில் நுழையும் குளோரைடு, நடுநிலையான KCl ஆக மாற்றப்படுகிறது. பிளாஸ்மாவிற்குள் நுழையும் பைகார்பனேட் சோடியம் அயனியுடன் இணைந்து சோடியம் பைகார்பனேட்டாக மாறி பிளாஸ்மாவில் கடத்தப்படுகிறது.

சுவாசத்தின் மூலம் ஒழுங்கமைத்தல் (Regulation by Respiratory Mechanism)

மூளையிலுள்ள சுவாச மையத்தில் கார்பன் – டை– ஆக்ஸைடின் பகுதி அழுத்தம் உணரப்படுவதால், சுவாசத்தின் மூலம் ஒழுங்கமைத்தல் செயல்பாடு அமில – கார சமன்பாட்டைச் சீர்செய்வதில் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது.

இரத்தத்தில் CO_2 ன் பகுதி அழுத்தம் உயரும் போது வேகமாக மூச்சு விடுகிறோம் (Hyperventilation). இதனால், அதிகமாக CO_2 வெளியேற்றப்படுகிறது. இச்செயல் pH மற்றும் pCO_2 இயல்பு நிலைக்குத் திரும்பும் வரை தொடர்கிறது. மாறாக, pCO_2 குறையும் போது, மந்தமான சுவாசம் (Hypoventilation) ஏற்பட்டு, CO_2 தக்க வைத்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

சிறுநீரகத்தின் மூலம் ஒழுங்கமைத்தல் (Regulation by Renal Mechanism)

எளிதில் ஆவியாகும் CO_2 போன்ற அமிலங்களை மட்டுமே நுரையீரல்களால் வெளியேற்ற முடியும். ஆனால் லாக்டிக் அமிலம் மற்றும் பைரூவிக் அமிலம் போன்ற கரிம அமிலங்களை அவற்றால் வெளியேற்ற முடியாது. இத்தகைய அமிலங்கள் பைகார்பனேட் அமைப்பின் தாங்கல்

செயலால் நடுநிலையாக்கப்படுகின்றன. இந்நிகழ்வின் போது, இரத்தத்தின் காரக்கிடங்கான (alkali reserve) HCO_3^- இழப்பு ஏற்படுகிறது. நுரையீரல்களால் கார்போனிக் அமிலங்களை வெளியேற்ற முடியுமே தவிர, பைகார்பனேட் அளவைத் தக்க வைத்துக் கொள்ள முடியாது. இதைச் சிறுநீரகங்கள் செயல்படுத்துவதால், அமில–கார சமநிலையைப் பாதுகாக்கும் இறுதியான பணி சிறுநீரகங்களுடையதாகும். அசிடீமியா நிலையில் அதிகமாக உள்ள H+ அயனிகளை வெளியேற்றி, பைகார்பனேட் வெளியேற்றத்தைக் குறைத்து pH ஐ இயல்பு நிலைக்குக் கொண்டு வர வேண்டும். இதைச் செயல்படுத்துவதற்கு, சிறுநீரகங்கள் அதிக அமிலத் தன்மை கொண்ட சிறுநீரை (pH 4.5) வெளியேற்றுகின்றன. மாறாக, அல்கலீமியா நிலையில், சிறுநீரகங்கள், இரத்தத்தில் அதிகமாக உள்ள பைகார்பனேட்டைக் காரத்தன்மை (pH 8.2) கொண்ட சிறுநீராக வெளியேற்றுகின்றன. கீழ்க்கண்ட மூன்று முக்கிய செயல்பாடுகளால் சிறுநீரகங்கள் இரத்தத்தின் pH ஐ இயல்பு நிலையில் தக்க வைத்துக் கொள்கின்றன.

1. பைகார்பனேட் திரும்ப உறிஞ்சுதல் (Reabsorption of bi-carbonate)
2. பாஸ்பேட் தாங்கல் செயல் (Buffering by phosphate)
3. அமோனியம் அயனிகள் உற்பத்தி செய்தல் (Formation of ammonium ions)

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு.

1. செல் சவ்வு என்னும் வார்த்தையை உருவாக்கியவர்

   அ. C.J. நாகேலி மற்றும் கிராமர்

   ஆ. சிங்கர் மற்றும் நிக்கல்சன்

   இ. இராபர்ட்சன்

   ஈ. கார்டர் மற்றும் கிரன்டல்

2. இவ்வகை கடத்தலுக்குப் புரதங்கள் தேவைப்படுகின்றன.

   அ. புரதவழிக் கடத்தல்

   ஆ. செயலற்ற கடத்தல்

   இ. இரண்டும்

   ஈ. எதுவும் இல்லை

3. இரத்தத்தின் pH

   அ. pH 7.4 ஆ. pH 6.1 இ. pH 1.3 ஈ. pH 4.7

4. இரத்தச் சிவப்பணுக்களில் உள்ள முக்கிய தாங்கல் அமைப்பு

அ. பாஸ்பேட் தாங்கல் ஆ. ஹீமோகுளோபின் தாங்கல்

இ. கார்பனேட் தாங்கல் ஈ. அசிடேட் தாங்கல்

5. பாகுநிலையின் அலகு

அ. ஆஸ்மால் ஆ. பாய்ஸ் இ. டைன் ஈ. நியூட்டன்

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக,

1. சமமான சவ்வூடுபரவல் அழுத்தம் உள்ள இரு கரைசல்களை _____ என அழைக்கின்றோம்.

2. செல் சவ்வில் ஆழமாகப் பதிந்திருக்கும் புரதங்கள் _____ என அழைக்கப்படுகின்றன.

3. சைட்டோபிளாசம் இல்லாத இரத்தச் சிவப்பணுக்களின் செல்சவ்வுகள் _____ என அழைக்கப்படுகின்றன.

4. சினோவியல் திரவத்தின் உயவுத் தன்மைக்கு அதிலுள்ள _____ காரணமாகும்.

5. எளிதில் ஆவியாகாத அமிலங்கள் _____ அமைப்பின்படி தாங்கல் செய்யப்படுகின்றன.

III. சரியா ? தவறா ?

1. கார்போஹைட்ரேட்கள் செல்சவ்வின் முக்கிய வேதிப்பொருளாகும்.

2. புரதவழிக் கடத்தலுக்கு ஆற்றல் தேவை.

3. இரத்தசோகை நோயில் இரத்தத்தின் பாகுநிலை உயர்ந்திருக்கும்.

4. ஹீமோகுளோபின் தாங்கல் செயல், அதன் லைசின் அலகுகளால் தான் ஏற்படுகிறது.

5. இரத்தச் சிவப்பணுக்களை ஹைப்போடானிக் கரைசலில் விரவினால், செல்சுருங்குதல் நடைபெறும்.

IV. பொருத்துக.

1.	சிவப்பணுக்களின் உடையும் தன்மை கொண்டு செய்யப்படும் சோதனை	–	பரப்பு இழுவிசை
2.	ஹேயின் சோதனை	–	டைபால்மிட்டாயில் லெசிதீன்
3.	பரப்பு இழுவிசை குறைக்கும் தன்மை	–	சவ்வூடு பரவல்
4.	ஒருமை செல் சவ்வு அமைப்பு	–	நிக்கல்சன்
5.	நீர்ம மொசைக் அமைப்பு	–	இராபர்ட்சன்

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி.

1. புற அமை புரதங்களுக்கு ஓர் உதாரணம் தருக.
2. இரத்தத்தின் பாகுநிலை என்ன ?
3. செல்லுக்குள் திரவம் எவ்வாறு உறிஞ்சப்படுகிறது ?
4. குளோரைட்–பை–கார்பனேட் அயனிகளைப் பரிமாற்றம் செய்யும் புரதத்தைப் பெயரிடுக.
5. 'R' என்னும் கடத்தப்படாத எதிர்மின் அயனி உள்ள பகுதியில் செறியும் அயனி எது ?

VI. கீழ்கண்டவற்றிற்கு விடையளி

1. செல்சவ்வு புரதங்கள் பற்றிக் குறிப்பு வரைக.
2. பல்வேறு செல்சவ்வு அமைப்புகள் பற்றி விவரி.
3. பரப்பு இழுவிசை மற்றும் பாகுநிலையின் உயிரியல் பயன்பாடுகளைப் பட்டியலிடுக.
4. இரத்தத்தின் pHல் எந்த மாற்றமுமின்றி எவ்வாறு CO_2 கடத்தப்படுகிறது ?
5. டோனான் செல்சவ்வு சமநிலை பற்றிக் குறிப்பு வரைக.

பாடம் – 2
செரித்தல்

முன்னுரை

நாம் உண்ணும் உணவை உடலில் உறிஞ்சப்படுவதற்கேற்ற ஒரு நிலைக்கு மாற்றம் செய்யும் நிகழ்வையே செரித்தல் என்கிறோம். நம் உடல் உணவைப் பகுத்து, அதை ஆற்றலுக்காகவும், பராமரிப்புக்காகவும், வளர்ச்சிக்காகவும் பயன்படுத்துவதைப் பற்றிச் செரித்தல் விளக்குகிறது. செரித்தல் வாயில் தொடங்கி, இரைப்பை மற்றும் சிறுகுடலில் தொடர்ந்து, பெருங்குடலில் முடிவடைகிறது. கல்லீரல் மற்றும் கணையம் அவற்றின் நொதிகளாலும், அவற்றால் சுரக்கப்படும் நீராலும் இச்செயலை எளிதாக்குகின்றன. செரித்தலின் மூலமாக கார்போஹைட்ரேட்கள் குளுக்கோஸாகவும், புரதங்கள் அமினோ அமிலங்களாகவும், கொழுப்புகள் கிளிசரால் மற்றும் கொழுப்பு அமிலங்களாகவும் பகுக்கப்படுகின்றன.

2.1 கார்போஹைட்ரேட்கள்

நம் உணவில் ஸ்டார்ச், கிளைக்கோஜன், சுக்ரோஸ், லாக்டோஸ், மால்டோஸ் ஆகிய முக்கிய கார்போஹைட்ரேட்கள் உள்ளன. இவை மட்டுமின்றி மிகக் குறைந்த அளவில் பிரக்டோசும், பென்டோசும் உள்ளன.

2.1.1 வாயில் செரித்தல் (Digestion in mouth)

பால் மற்றும் பழச்சாறு போன்ற திரவ உணவுகள் வாயில் நீண்ட நேரம் தங்குவதில்லை. அதனால் அவை வாயில் எந்த மாற்றமும் அடைவதில்லை. ஆனால் ஸ்டார்ச் மற்றும் கிளைகோஜன் அடங்கிய திட உணவுகள் உமிழ்நீருடன் கலந்து பற்களால் நன்கு அரைக்கப்படுகின்றன. உமிழ்நீரில் α1–4 பிணைப்பைப் பகுக்கும் டயலின் (Ptyalin) என்னும் α அமைலேஸ் நொதி உள்ளது. அது ஸ்டார்ச் மற்றும் கிளைக்கோஜனை, குளுக்கோஸ் என்னும் ஒற்றைச் சாக்கரைடாகவும், மால்டோஸ் என்னும் இரட்டைச்சாக்கரைடாகவும், மால்டோட்ரையோஸ் என்னும் ட்ரைசாக்கரைடாகவும் பகுக்கிறது. கிளைக்கோஜன் மற்றும் ஸ்டார்ச் மூலக்கூறுகளில் உள்ள கொள்ளிடத்தடை காரணமாக, அவற்றின் உள்ளே உள்ள சில α1–4 பிணைப்புகளை டயலினால் பகுக்க முடியாது. இதன் விளைவாக லிமிட் டெக்ஸ்டிரின் (Limit dextrin) உருவாகிறது.

உமிழ்நீர் அமைலேஸின் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 6 – 7 ஆகும். டயலின் நன்கு செயல்பட குளோரைடு அயனிகள் தேவைப்படுகின்றன.

கிளைக்கோஜன், ஸ்டார்ச் ⟶ குளுக்கோஸ், மால்டோஸ், மால்டோ ட்ரையோஸ், லிமிட் டெக்ஸ்டிரின்.

கிளைக்கோஜன் லிமிட் டெக்ஸ்டிரின்

உணவு டயலினுடன் இரைப்பையை அடைந்தவுடன், அங்கு நிலவும் அமில pHல் டயலின் செயலிழக்கிறது. இரைப்பையில் கார்போஹைட்ரேட்கள் செரிப்பதற்கு எந்த ஒரு நொதியும் இல்லை. அதனால், அங்கு பாலிசாக்கரைடுகள் எந்த மாற்றமும் அடைவதில்லை. ஆனால், உணவிலுள்ள சுக்ரோஸ் மட்டும், இரைப்பையின் HCl ஆல் நீராற்பகுக்கப்பட்டு சமமோலார் அளவிலான குளுகோஸாகவும், பிரக்டோஸாகவும் மாற்றப்படுகிறது.

2.1.2 டியோடினத்தல் செரித்தல் (Digestion in Duodenum)

உணவுக்கவளம் டியோடினத்தை அடைந்தவுடன் கணைய நீருடன் கலக்கப்படுகின்றது. கணைய நீரில் உள்ள α – அமைலேஸின் செயல் டயலினின் செயலை ஒத்ததே ஆகும். ஆனால், கீழ்க்கண்ட காரணங்களால் அது டயலினை விட வலிமை வாய்ந்ததாகும்.

(i) இது சமைக்கப்படாத ஸ்டார்ச் மீதும் செயல்படுகிறது.

(ii) இது டயலினால் பகுக்க முடியாத α 1–4 பிணைப்புகளையும் நீராற் பகுக்கிறது.

கணைய அமைலேஸின் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 6.9–7.1 ஆகும். இதன் செயல்பாட்டிற்கும் குளோரைடு அயனிகள் தேவைப்படுகின்றன.

2.1.3 சிறுகுடலில் செரித்தல் (Digestion in small intestine)

கார்போஹைட்ரேட்டுகளை முற்றிலுமாக ஒற்றைச் சாக்கரைடுகளாக நீராற் பகுக்க ஐந்து நொதிகள் சிறுகுடலில் உள்ளன.

(அ) சிறுகுடல் அமைலேஸ் : இது பாலிசாக்கரைடுகள் மற்றும் ஒலிகோசாக்கரைடுகளின் முனையில் உள்ள α 1–4 பிணைப்புகளை நீராற்பகுத்து குளுக்கோஸ் மூலக்கூறுகளை விடுவிக்கிறது.

(ஆ) லாக்டேஸ் : இது ஒரு β – கேலக்டோசிடேஸ் நொதி ஆகும். இது லாக்டோஸ் மூலக்கூறுகளை சமமோலார் அளவிலான குளுக்கோஸ் மற்றும் கேலக்டோஸாக நீராற்பகுக்கிறது. இதன் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 5.4–6.0 ஆகும்.

$$\text{லாக்டோஸ} \xrightarrow{\text{லாக்டேஸ்}} \text{குளுக்கோஸ} + \text{கேலக்டோஸ்}$$

(இ) மால்டேஸ் : இது ஒரு குளுக்கோசிடேஸ் நொதி ஆகும். இது மால்டோசில் உள்ள α1–4 பிணைப்புகளை உடைத்து, குளுக்கோஸ் மூலக்கூறுகளாகப் பகுக்கிறது. சிறுகுடல் எபிதீலியல் செல்களில் ஐந்து விதமான மால்டேஸ்கள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இவற்றின் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 5.8 – 6.2 ஆகும்.

$$\text{மால்டோஸ்} \xrightarrow{\text{மால்டேஸ்}} \text{குளுக்கோஸ்} + \text{குளுக்கோஸ்}$$

(ஈ) சுக்ரேஸ் : இது சுக்ரோஸ் மூலக்கூறுகளில் உள்ள β1–2 பிணைப்புகளின் மீது செயல்பட்டு சமமோலார் அளவிலான குளுக்கோஸ் மற்றும் பிரக்டோஸ் மூலக்கூறுகளைத் தருகிறது.

$$\text{சுக்ரோஸ்} \xrightarrow{\text{சுக்ரேஸ்}} \text{குளுக்கோஸ்} + \text{பிரக்டோஸ்}$$

உ) ஐசோமால்டேஸ் : இது லிமிட் டெக்ஸ்டிரினின் α1–6 பிணைப்புகளை நீராற்பகுத்து மால்டோஸ் மற்றும் குளுக்கோஸைத் தருகிறது.

நம் உணவு மண்டலத்தில் β1–4 பிணைப்புகளின் மீது செயல்படும் நொதி இல்லாததால் செல்லுலோஸைச் செரிக்க முடியாது.

2.1.4 கார்போஹைட்ரேட்களை உறிஞ்சுதல் (Absorption of Carbohydrates)

ஒற்றைச் சாக்கரைடுகளை மட்டுமே சிறுகுடல் மியூகோசாவால் உறிஞ்ச முடியும். ஒரு சில இரட்டைச்சாக்கரைடுகள் பினோசைட்டோசிஸ் (Pinocytosis) முறையில் உறிஞ்சப்பட்டு இரட்டைச் சாக்கரிடேஸ்கள் என்ற நொதியினால் ஒற்றைச் சாக்கரைடுகளாகப் பகுக்கப்படுகின்றன. ஒற்றைச் சாக்கரைடுகளின் உறிஞ்சுதல் கீழ்கண்ட வரிசையில் நடைபெறும்.

கேலக்டோஸ் > குளுக்கோஸ் > பிரக்டோஸ் > மேனோஸ் > சைலோஸ் > அராபினோஸ்.

உறிஞ்சுதலின் இயங்கமைப்பு (Mechanism of absorption)

(அ) சாதாரணக் கடத்தல் (Simple diffusion) : சிறுகுடலில் குளுக்கோசின் செறிவு அதிகமாக இருக்கும் போது, இவ்வகை கடத்தல் மூலம் குளுக்கோஸ் சவ்வைக் கடக்கிறது.

(ஆ) செயல்மிகு கடத்தல் (Active Transport) : செயல்மிகு கடத்தலின் மூலமாக குளுக்கோஸ் உறிஞ்சுதல் துரிதப்படுத்தப்படுகிறது (படம் 2.1). குளுக்கோஸ் உறிஞ்சுதல் ஒரு இரண்டாம் நிலை செயல்மிகு கடத்தல் ஆகும். ஏனெனில் இந்நிகழ்வில் ATP மறைமுகமாக நீராற் பகுக்கப்படுகிறது.

1. ஒரு மூலக்கூறு குளுக்கோசும் ஒரு சோடியம் அயனியும் கடத்தல் புரதத்தோடு இணைகிறது.
2. சோடியம் அயனியும் குளுக்கோசும் இணைந்தவுடன் கடத்தல் புரதத்தில் உருமாற்றம் ஏற்படுகிறது.

படம் 2.1 குளுக்கோஸ் உறிஞ்சுதலின் அமைப்பு

3. இந்த உருமாற்றத்தினால் சோடியம் அயனியும் குளுக்கோசும் சிறுகுடல் செல்களுக்குள் செலுத்தப்படுகின்றன.

4. இதன் பின்னர் சோடியம் அயனிகள் சிறுகுடல் செல்லிலிருந்து வெளியேற்றப்படுகின்றன. இச்செயலுக்குத் தேவையான ஆற்றல் ATP நீராற்பகுத்தலின் மூலம் பெறப்படுகிறது.

இறுதியாக, குளுக்கோஸ் மூலக்கூறுகள் மட்டுமே செல்களில் உறிஞ்சப்படுகின்றன.

2.1.5 உறிஞ்சுதலைப் பாதிக்கும் காரணிகள் (Factors afffecting rate of absorption)

1. சிறுகுடல் உட்சுவர் பாதிப்படையும் போது உறிஞ்சுதல் குறைகிறது.

2. தைராய்டு ஹார்மோன், அட்ரினல் கார்டெக்ஸ் ஹார்மோன் மற்றும் பிட்யூட்டரி ஹார்மோன்கள் கார்போஹைட்ரேட்கள் உறிஞ்சுதலை அதிகப்படுத்துகின்றன.

3. குளுக்கோஸ் உறிஞ்சுதலை இன்சுலின் பாதிப்பதில்லை.

4. பிரிமிடின் மற்றும் பேன்டோதெனிக் அமிலக் குறைபாடுகள் உறிஞ்சுதலைக் குறைக்கின்றன.

5. லாக்டோஸ் ஒவ்வாமை போன்று பரம்பரை நொதி குறைபாடுகளில் உறிஞ்சுதல் குறைகிறது.

2.2 புரதங்கள்

புரதங்கள், தாவர மற்றும் மாமிச உணவுப் பொருட்களில் அடங்கியுள்ளன. பால், பால் பொருட்கள், மாமிசம், மீன், கல்லீரல், முட்டை போன்ற மாமிச உணவுகளில் புரதங்கள் அதிகமான அளவில் உள்ளன. தானியங்கள், பருப்பு வகைகள், பட்டாணி, அவரை மற்றும் கொட்டைகள் போன்ற தாவர உணவுப் பொருட்களில் புரதங்கள் செறிந்துள்ளன.

2.2.1 வாயில் செரித்தல் (Digestion in mouth)

புரதத்தைச் செரிக்க எந்த ஒரு நொதியும் வாயில் இல்லை.

2.2.2 இரைப்பையில் செரித்தல் (Digestion in stomach)

HCl

இரைப்பை மியூக்கோசாவால் சுரக்கப்படும் HCl, புரதத்தின் ஈரிணைய அமைப்பைச் சிதைத்து, நொதிகளின் பணியை எளிதாக்குகிறது.

பெப்சின், ரெனின், காஸ்ட்ரிசின் மற்றும் ஜெலாடினேஸ் போன்ற புரதங்களைப் பகுக்கும் நொதிகள் இரைப்பை நீரில் உள்ளன.

பெப்சின்

இது இரைப்பை நீரிலுள்ள ஒரு வலிமை வாய்ந்த புரதங்களைப் பகுக்கும் நொதியாகும். இது பெப்சினோஜன் என்றழைக்கப்படும் சைமோஜன் உருவில் சுரக்கப்படுகிறது. பெப்சினோஜனின் மூலக்கூறு எடை 42,500 டால்டன் ஆகும். இரைப்பை அமிலம் செயலற்ற பெப்சினோஜனை செயல்திறன் கொண்ட பெப்சினாக மாற்றுகிறது. சிறிதளவு பெப்சின் தோன்றியவுடன், அது தன்தூண்டல் முறையில் (autocatalysis) எஞ்சிய பெப்சினோஜனை பெப்சினாக மாற்றுகிறது.

பெப்சினின் மூலக்கூறு எடை 34,500 டால்டன்களாகும். பெப்சின் ஒரு என்டோபெப்டிடேஸ் (endopeptidase) ஆகும். என்டோபெப்டிடேஸ் என்னும் நொதி புரதங்களின் உள்ளமைந்த பெப்டைடு பிணைப்புகளின் மீது செயல்படுகிறது.

பெப்சின் புரதங்கள் மீது செயல்பட்டு, அவற்றைக் குறைந்த மூலக்கூறு எடை கொண்ட புரோடியோசுகள் மற்றும் பெப்டோன்களாக மாற்றுகிறது.

புரதங்கள் ⟶ புரோடியோசுகள் + பெப்டோன்கள்

இது ஒரு அகன்ற தெரிவுத்தன்மை கொண்ட நொதியாகும். அரோமேட்டிக் மற்றும் நீர்வெறுக்கும் அமினோ அமிலங்களின் கார்பாக்சில் முனை அல்லது எதிர்மின் சுமை கொண்ட அமினோ அமிலங்களின் அமினோ முனை கொண்ட பெப்டைடு பிணைப்புகளின் மீது செயல்படுகிறது. இது பாலிலுள்ள கரையும் தன்மை கொண்ட கேசினை நீராற்பகுக்குகிறது.

பகுக்கப்பட்ட கேசின் கால்சியத்துடன் இணைந்து கரையாத் தன்மை கொண்ட பாராகேசினேட்டாக மாறுகிறது.

பெப்சின் செயல்திறனுக்கு உகந்த pH 1.6 – 2.5 ஆகும்.

ரெனின்

பச்சிளம் குழந்தைகளில் மட்டுமே ரெனின் காணப்படுகிறது. இது இரைப்பை மியூக்கோசாவால் செயலற்ற புரோரெனினாக சுரக்கப்படுகிறது. இதுவும் பாலிலுள்ள கேசினை கரையாத்தன்மை கொண்ட கால்சியம் பாராகேசினேட்டாக மாற்றுகிறது.

2.2.3 டியோடினத்தில் செரித்தல் (Digestion in duodenum)

புரதங்களைப் பகுக்கும் முக்கிய நொதிகளான டிரிப்சின், கைமோடிரிப்சின், கார்பாக்ஸி பெப்டிடேஸ், இலாஸ்டேஸ் மற்றும் கொலாஜினேஸ் போன்ற நொதிகள் கணைய நீரில் உள்ளன.

டிரிப்சின்

டிரிப்சின் என்னும் புரதத்தைப் பகுக்கும் நொதி டிரிப்சினோஜன் என்னும் செயலற்ற சைமோஜன் உருவில் சுரக்கப்படுகிறது. இது என்டிரோகைனேசாலும், கால்சியத்தின் முன்னிலையில் தன்தூண்டல் முறையாலும் செயல்திறன் கொண்ட டிரிப்சினாக மாற்றப்படுகிறது.

இது ஒரு என்டோபெப்டிடேஸ் ஆகும். இது நேர்மின் சுமை கொண்ட அமினோ அமிலங்களான லைசின், ஆர்ஜினைன் போன்றவற்றின் கார்பாக்சில் தொகுதிகளைக் கொண்ட பெப்டைடு பிணைப்புகளைப் பகுக்கும் தெரிவுத்தன்மை கொண்டதாகும். பாலிபெப்டைடுகள், புரோட்டியோசுகள், பெப்டோன்கள் டை மற்றும் ட்ரைபெப்டைடுகள் போன்றவை இதன் செயல்பாட்டின் வினைவிளை பொருட்களாக அமைகின்றன. புரோலினால் ஆக்கப்பட்ட பெப்டைடு பிணைப்புகளை இந்த நொதியால் பகுக்க முடியாது.

இந்நொதி புரோஇலாஸ்டேஸை, இலாஸ்டேசாகவும் கைமோடிரிப்சினோஜனை கைமோடிரிப்சினாகவும், ஃபைப்ரினோஜனை ஃபைப்ரினாகவும் மாற்றுகிறது. இந்த நொதியின் செயல்திறனுக்கு உகந்த pH 8–9 ஆகும்.

கைமோடிரிப்சின்

இது ஒரு என்டோபெப்டிடேஸ் ஆகும். இந்நொதியும் கைமோடிரிப்சினோஜன் என்னும் செயலற்ற உருவில் சுரக்கப்படுகிறது. டிரிப்சினாலும், தன்தூண்டல் முறையாலும் செயல்திறன் கொண்ட கைமோடிரிப்சினாக மாற்றப்படுகிறது. இது டிரிப்டோபேன், தைரோசின் மற்றும் பினைல் அலனைன் போன்ற அரோமேடிக் அமினோ அமிலங்களைக் கார்பாக்ஸில் முனையாகக் கொண்ட பெப்டைடு பிணைப்புகளை நீராற் பகுக்கிறது.

இந்த நொதியின் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 7 – 8 ஆகும்.

கார்பாக்ஸி பெப்டிடேஸ்கள்

கார்பாக்ஸி பெப்டிடேஸ் “A” மற்றும் “B” ஆகிய இருவகை கார்பாக்ஸி பெப்டிடேஸ்கள் உள்ளன. இரு நொதிகளும் எக்ஸோபெப்டிடேஸ்கள் (exopeptidase) ஆகும். கார்பாக்ஸி பெப்டிடேஸ் “A” அரோமேடிக் அமினோ அமிலம் கொண்ட கார்பாக்ஸில் தொகுதி முனைக்கும், கார்பாக்ஸி பெப்டிடேஸ் “B” நேர்மின்சுமை கொண்ட அமினா அமிலங்களைக் கொண்ட கார்பாக்ஸில் தொகுதி முனைக்கும் தெரிவுத் தன்மை உடையவை.

இந்த இரு நொதிகளின் செயல்பாட்டிற்கும் உகந்த pH 7– 8 ஆகும்.

2.2.4 சிறுகுடலில் செரித்தல் (Digestion in small intestine)

என்டிரோகைனேஸ், அமினோ பெப்டிடேஸ், புரோலிடேஸ், டை மற்றும் ட்ரை பெப்டிடேஸ்கள் ஆகிய புரதங்களைப் பகுக்கும் நொதிகள் சிறுகுடலில் உள்ளன. என்டிரோகைனேஸ் என்னும் நொதி கால்சியத்தின் உதவியுடன் டிரிப்சினைத் தூண்டுகிறது. அமினோ பெப்டிடேஸ்கள், பெப்டைடுகளின் அமினோ முனையிலிருந்து ஒவ்வொரு அமினோ அமிலமாகப் பகுக்கும் திறனுடையவை. ஆனால், இவற்றால் புரோலினை அமினோ முனையாகக் கொண்ட பெப்டைடு பிணைப்புகளையும், டைபெப்டைடுகளையும் பகுக்க முடியாது. புரோலிடேஸ்கள் புரோலினால் உருவான பெப்டைடு பிணைப்புகளை நீராற் பகுக்கின்றன.

மேற்கண்ட அனைத்து நொதிகளின் கூட்டு முயற்சியால் புரதங்கள் டை மற்றும் ட்ரைபெப்டைடுகளாகப் பகுக்கப்படுகின்றன. குடலின் மியூக்கோசா செல்கள் மற்றும் உறிஞ்சும் திறன் கொண்ட செல்களில் (absorptive cells) உள்ள டை மற்றும் ட்ரைபெப்டிடேஸ்கள் அமினோ அமிலங்களாகப் பகுக்கின்றன.

ட்ரைபெப்டைடுகள் $\xrightarrow{\text{ட்ரைபெப்டிடேஸ்கள்}}$ டைபெப்டைடுகள்

டைபெப்டைடுகள் $\xrightarrow{\text{டைபெப்டிடேஸ்கள்}}$ அமினோ அமிலங்கள்

2.2.5 அமினோ அமிலங்களை உறிஞ்சுதல் (Absorption of amino acids)

உறிஞ்சப்படும் அமினோ அமிலங்களும் சிறிய பெப்டைடுகளும் போர்டல் சுற்றோட்டத்தின் வழியாக கல்லீரலை அடைகின்றன. இயற்கையாக உள்ள L – அமினோ அமிலங்கள் செயல்மிகு கடத்தல் முறையிலும், D– அமினோ அமிலங்கள் சாதாரண கடத்தல் முறையிலும் உறிஞ்சப்படுகின்றன. அமினோ அமிலங்களை உறிஞ்சுவதற்கும் கார்போஹைட்ரேட்களை உறிஞ்சப் பயன்படுவது போல கடத்தல் புரதமும், சோடியம் அயனிகளும் தேவை.

அமினோ அமிலம் குளுட்டத்தயான் சுழற்சி (Glutathione cycle) மூலம் உறிஞ்சப்படுகின்றன. குளுட்டத்தயான் சுழற்சியின் வெவ்வேறு படிகளாவன :

அ. அமினோ அமிலங்கள் குளுட்டத்தயானோடு இணைந்து γ – குளுட்டமைல் அமினோ அமிலமாகவும் சிஸ்டினைல் கிளைசினாகவும் மாறுகிறது.

ஆ. γ – குளுட்டமைல் அமினோ அமிலம் கடத்தப்பட்டு, நீராற்பகுக்கப்பட்டு, ஆக்சோபுரோலின் மற்றும் L அமினோ அமிலமாக மாற்றப்பட்டு உறிஞ்சப்படுகிறது.

இ. சிஸ்டினைல் கிளைசின், சிஸ்டீன் மற்றும் கிளைசினாகப் பகுக்கப்படுகிறது.

ஈ. ஆக்சோ புரோலின் மீண்டும் குளுட்டாமேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

உ. குளுட்டாமேட், சிஸ்டீன் மற்றும் கிளைசின் மூன்றும் இணைந்து மீண்டும் குளுட்டாத்தயான் ஆகிறது.

2.2.6 உறிஞ்சுதலைப் பாதிக்கும் காரணிகள் (Factors affecting absorption)

1. டைநைட்ரோ பீனால் மற்றும் சயனைடு போன்றவை அமினோ அமிலங்கள் உறிஞ்சப்படுவதைக் குறைக்கின்றன.

2. உறிஞ்சுதலின் போது ஒரு அமினோ அமிலம் மற்றொரு அமினோ அமிலத்தோடு போட்டியிடுகிறது. அதனால் அதிகச் செறிவுள்ள அமினோ அமிலம், மற்ற அமினோ அமிலங்களின் உறிஞ்சுதலைக் குறைக்கிறது.

3. குளுட்டத்தயான் சுழற்சி மூலம் அமினோ அமிலங்கள் உறிஞ்சப்படுவதற்குக் குளுட்டத்தயான் தேவைப்படுகிறது.

2.3 லிப்பிடுகள் செரித்தல் (Digestion of Lipids)

செரித்தலில் ஈடுபடும் அனைத்து நொதிகளும் நீரில் கரையும் தன்மை கொண்டவை. அதனால் நீர்வெறுக்கும் கொழுப்புகளைச் செரிப்பதில் சிக்கல் ஏற்படுகிறது. இச்சிக்கல் கொழுப்பைப் பால்மமாக்கல் (Emulsification of fats) என்னும் செயலால் தீர்க்கப்படுகிறது. அதாவது, பெரிய கொழுப்புத்துகள்கள், சிறுசிறு துகள்களாக உடைக்கப்படுகின்றன. இதன்மூலம் நொதிகள் செயல்படுவதற்கு அதிகப் பரப்பளவு கிடைக்கிறது. இதனால் கொழுப்புக்கும் கொழுப்பைப் பகுக்கும் நொதியான லைப்பேசுக்கும் இடையேயான தொடர்பு அதிகரிக்கிறது.

கொழுப்புகள் மாமிச மற்றும் தாவர உணவுகளில் உள்ளன. பால், பால்பொருட்கள், வெண்ணெய், நெய், மாமிசம், முட்டை மற்றும் மீன் ஆகியவை கொழுப்புகள் நிறைந்த மாமிச உணவுகளாகும். தாவர உணவுகளில், சமையல் எண்ணெயில் கொழுப்புகள் உள்ளன. நிறைவுறா கொழுப்புகள் தாவர உணவுகளில் அதிகமாக உள்ளதால் தாவரக் கொழுப்புகள், மாமிசக் கொழுப்புகளை விடச் சிறந்தவை.

2.3.1 வாயில் செரித்தல் (Digestion in mouth)

சமீபத்தில் வாயில் ஒரு லிங்குவல் லைப்பேஸ் (Lingual lipase) கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இதன் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH 4 – 5 ஆகும். இது இரைப்பையில் உணவின் மீது செயல்படுகிறது. பாலினைச் செரிப்பதற்கு இந்த லிங்குவல் லைப்பேஸ் சிறந்த நொதியாகும்.

2.3.2 இரைப்பையில் செரித்தல் (Digestion in stomach)

இரைப்பை லைப்பேசால் ட்ரைகிளிசரைடுகளின் மீது சிறிதளவே செயல்பட முடியும். ஏனெனில்,

1. இரைப்பையில் கொழுப்பு பால்மமாக்கப்படுவதில்லை.
2. இரைப்பையிலுள்ள நொதிகளின் அளவு மிகக் குறைவானதாகும்.
3. இந்த நொதியின் செயல்திறனுக்கு உகந்த pH 7 – 8 ஆகும்.

நிறைவுத் தன்மை (Satiety value)

கொழுப்புகள் என்டிரோகேஸ்டிரோன் என்னும் ஹார்மோனின் மூலமாக இரைப்பையின் அசைவுகளைக் கட்டுப்படுத்துவதால் உணவு இரைப்பையிலிருந்து சிறுகுடலுக்குத் தாமதமாகச் செல்கிறது. இதனையே, கொழுப்புகளினால் ஏற்படும் நிறைவுத் தன்மை என்கின்றோம்.

2.3.3 டியோடினம் மற்றும் சிறுகுடலில் செரித்தல் (Digestion in duodenum and small intestine)

டியோடினம் மற்றும் சிறுகுடலில், கணைய நீரிலுள்ள பித்த உப்புகளால் கொழுப்புகள் பால்மமாக்கப்படுவதால் கொழுப்புகளின் செரிமானம் அதிக அளவில் நடைபெறுகிறது.

கணைய லைப்பேஸை ஸ்டீப்சின் (Steapsin) என்கிறோம். இது உணவிலுள்ள ட்ரைகிளிசரைடுகள் மீது செயல்படுகிறது. இதன் செயல்பாட்டிற்கு உகந்த pH காரப்பகுதியில் உள்ளது. ட்ரைகிளிசரைடுகள் மீது லைப்பேஸ் கீழ்க்கண்டவாறு செயல்படுகிறது.

அ. இறுதியிலுள்ள γ–கொழுப்பு அமிலத்தை நீக்கி, டிரை கிளிசரைடுகளை (Triglycerides) α, β டைகிளிசரைடுகளாக (Diglycerides) மாற்றுகிறது.

ஆ. α, β டைகிளிசரைடுகளில் உள்ள α கொழுப்பு அமிலத்தை நீக்கி, β மோனோகிளிசரைடுகளாக மாற்றுகிறது.

இ. β மோனோகிளிசரைடுகள் மீது லைப்பேசுகள் செயல்பட இயலாததால், அவை α மோனோகிளிசரைடுகளாக மாற்றப்படுகின்றன.

ஈ. α மோனோகிளிசரைடுகளை முழுவதுமாக நீராற்பகுத்து கிளிசரால் மற்றும் கொழுப்பு அமிலமாக மாற்றுகிறது.

கணைய நீரிலுள்ள மற்ற நொதிகள் பாஸ்போலைப்பேஸ்கள் ஆகும். பாஸ்போலிப்பிடுகளைக் கிளிசரால், கொழுப்பு அமிலம், பாஸ்பாரிக் அமிலம் மற்றும் காரமாக மாற்ற நான்கு வித பாஸ்போலைப்பேஸ்கள் உள்ளன. அவை, பாஸ்போலைப்பேஸ் A_1, A_2, C மற்றும் D ஆகும். கீழ்க்கண்டவாறு பாஸ்போலைப்பேஸ்கள் செயல்படுகின்றன.

கொலஸ்டிரால் எஸ்டரேஸின் செயலானது.

கொலஸ்டிரால் எஸ்டர் $\xrightarrow{\text{கொலஸ்டிரால் எஸ்டரேஸ்}}$ கொலஸ்டிரால் + கொழுப்பு அமிலம்

2.3.4 கொழுப்புகளை உறிஞ்சுதல் (Absorption of fats)

1. கொழுப்பு அமிலங்கள் சிறுகுடல் சுவரிலுள்ள உறிஞ்சும் திறன் கொண்ட செல்களால் சாதாரண கடத்தல் முறையில் உறிஞ்சப்படுகிறன்றன. கொழுப்பு அமிலங்கள், செல்லுக்குள் நுழைந்தவுடன், டிரைகிளிசரைடுகளாக மாற்றப்படுவதால் மேற்கூறிய பணி துரிதப்படுத்தப்படுகிறது.

2. கிளிசரால் மற்றும் சிறு சங்கிலித் தொடர் கொழுப்பு அமிலங்களின் ஒரு பகுதி உறிஞ்சப்பட்டு போர்டல் சுற்றோட்டம் வழியாகக் கல்லீரலுக்கு எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது.

3. கிளிசரால் மற்றும் கொழுப்பு அமிலங்கள் சிறுகுடல் எபிதீலியல் செல்களில் ட்ரைகிளிசரைடுகளாக மாற்றப்படுகின்றன. அவை லாக்டியல்களில் நீர் விரும்பும் பாஸ்போலிப்பிடுகள், கொலஸ்ட்ரால், கொலஸ்ட்ரால் எஸ்டர் மற்றும் அப்போபுரதம் அப்போ 'B' ஆகியவற்றால் ஒரு மெல்லிய படலமாகச் சூழப்படுகின்றன. இவ்வாறு ஒரு நீர் விரும்பும் தன்மைக்கு உருப்பெற்றவுடன், அவை நிணநீர் சுற்றோட்டத்திற்குள் நுழைந்து, இறுதியாக தொராசிக் நாளம் வழியாக சிஸ்டமிக் சுற்றோட்டத்தைச் சென்றடைகின்றன.

2.3.5 உறிஞ்சுதலைப் பாதிக்கும் காரணிகள் (Factors affecting absorption)

1. குறைந்த சங்கிலித் தொடர் கொழுப்பு அமிலங்கள், அதிக சங்கிலித் தொடர் கொழுப்பு அமிலங்களை விட வேகமாக உறிஞ்சப்படுகின்றன. இவை அதிகச் சங்கிலித் தொடர் கொழுப்பு அமிலங்கள் உறிஞ்சுதலையும் அதிகப்படுத்துகின்றன.

2. ஸ்டிக்மாஸ்டீரால் (Stigmasterol), சைடோஸ்டீரால் (Sitosterol) போன்ற தாவர ஸ்டீரால்கள் (Plant Sterols) கொலஸ்ட்ரால் உறிஞ்சுதலைத் தடுக்கின்றன.

3. பித்த உப்புகள் கொழுப்புகள் செரிப்பதற்கு ஏதுவாகச் செயல்படுகின்றன. மஞ்சள்காமாலை நோயில் பித்தநீர் சுரப்பின்மையால், செரிக்கும் தன்மை குறைகிறது.

4. நிறைவுறா கொழுப்பு அமிலம் மற்றும் பித்த உப்புகளும் கொழுப்புகள் உறிஞ்சப்படுவதற்கு உதவுகின்றன.

2.4 நியூக்ளிக் அமிலங்கள் செரித்தல் (Digestion of Nucleic acids)

2.4.1 வாய் மற்றும் இரைப்பையில் செரித்தல் (Digestion in mouth and stomach)

நியூக்ளிக் அமிலங்களைச் செரிக்க எந்த ஒரு நொதியும் வாயில் இல்லை.

இரைப்பையின் அமிலத்தன்மை நியூக்ளியோ புரதங்களை (Nucleoproteins) உருக்குலைக்கின்றன. புரதங்களைப் பகுக்கும் நொதிகள் அவற்றை நியூக்ளிக் அமிலம் மற்றும் புரதமாகப் பகுக்கின்றன.

2.4.2 டியோடினத்தில் செரித்தல் (Digestion in duodenum)

கணைய நீரில் ரிபோநியூக்ளியேஸ் (Ribonuclease) மற்றும் டிஆக்ஸி ரிபோநியூக்ளியேஸ் (Deoxy ribonuclease) ஆகிய இரு நொதிகள் உள்ளன. அவை நியூக்ளிக் அமிலங்களை மோனோ நியூக்ளியோடைடுகளாகப் பகுக்கின்றன.

நொதிகள் செயல்படும் இடத்தைக் கொண்டு நியூக்ளியேஸ்களை என்டோநியூக்ளியேஸ்கள் மற்றும் எக்ஸோநியூக்ளியேஸ்கள் என இருவகைப்படுத்தலாம். என்டோநியூக்ளியேஸ்கள் மூலக்கூறுகளின் உள்ளமைந்த பிணைப்புகளையும், எக்ஸோநியூக்ளியேஸ்கள் முனைகளில் அமைந்த பிணைப்புகளையும் பகுக்கின்றன.

சிறுகுடல் நீரில் நியூக்ளிக் அமிலங்களைச் செரிக்கும் இரு நொதிகள் உள்ளன.

அ. நியூக்ளியோடிடேஸ்கள் நியூக்ளியோடைடுகளை நியூக்ளியோசைடுகள் மற்றும் பாஸ்பாரிக் அமிலமாகவும் நீராற் பகுக்கின்றன.

ஆ. நியூக்ளியோசிடேஸ்கள் நியூக்ளியோசைடுகளைச் சர்க்கரைகளாகவும் காரங்களாகவும் பகுக்கின்றன.

2.4.3 இரைப்பை குடல் ஹார்மோன்கள் (Gastro Intestrial Hormones)

நம் உணவு மண்டலத்தில் மூன்று முக்கிய இரைப்பை குடல் ஹார்மோன்கள் சுரக்கப்படுகின்றன. இவை இரைப்பை மற்றும் சிறுகுடலில் உள்ள மியூகோசல் சுரப்பு செல்களால் சுரக்கப்படும் பாலிபெப்டைடுகள் ஆகும்.

கேஸ்டிரின் (Gastrin) இரைப்பையின் பைலாரிக் பகுதியிலுள்ள மியுகோசல் செல்களால் சுரக்கப்படுகிறது. இது கேஸ்டிரிக் அமிலம் சுரப்பதை ஊக்குவிக்கின்றது. இரு கேஸ்டிரின்கள் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. கேஸ்டிரின் I ல் 17 அமினோ அமிலங்களும், கேஸ்டிரின் II ல் 14 அமினோ அமிலங்களும் உள்ளன. வயது, வேகல் தூண்டல் (Vagal stimulation), அசிடைல் கோலின் (Acetyl choline) கிளைசின் என்ற அமினோ அமிலம் மற்றும் புரதங்கள் அதிகமாக உள்ள உணவுப் பொருட்களால் கேஸ்டிரின் சுரப்பு அதிகப்படுத்தப்படுகிறது. கேஸ்டிரினின் முனையிலுள்ள நான்கு அமினோ அமிலங்கள் அதன் செயல்பாட்டிற்கு இன்றியமையாதவையாகும்.

செக்ரிடின் (Secretin) 27 அமினோ அமிலங்கள் கொண்ட பாலிபெப்டைடு ஆகும். அவற்றின் நான்கு அமினோ அமிலங்கள் குளுக்கோகானை ஒத்துள்ளன. இது டியோடினல் மியூகோசாவால் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. இதன் சுரப்பு HCl ஆல் தூண்டப்படுகிறது. இது மின்பகுளிகள் மற்றும் திரவப் பகுதி செறிந்த கணைய நீரைச் சுரக்கச் செய்கிறது. கல்லீரலிருந்து பித்த நீர் சுரப்பை அதிகரிக்கச் செய்யும் காரணிகளுள் இதுவும் ஒன்றாகும். இது குளுக்கோகானைப் போல் செயல்பட்டு, இதயத்திலிருந்து வெளிப்படும் குருதியளவையும் (Cardiac output) லிப்போலைசிஸையும் (lipolysis) அதிகரிக்கிறது.

கோலிசிஸ்டோகைனின் (Cholecystokinin) மற்றும் பான்கிரியோசைமின் (Pancreozymin) ஆகிய ஹார்மோன்கள் கணையநீர் சுரத்தலைத் தூண்டுகின்றன. மேலும் பான்கிரியோசைமின் கணையத்திலிருந்து இன்சுலின் மற்றும் குளுக்கோகான் சுரப்பதையும் தூண்டுகிறது. குளுக்கோசை சிரைக்குள் செலுத்துவதைவிட வாய் வழியாக உட்கொள்ளும் போது இன்சுலின் சுரப்பு அதிகரிப்பதற்குப் பான்கிரியோசைமினின் இச்செயலே காரணமாகும். பான்கிரியோசைமினில் உள்ள 33 அமினோ அமிலங்களில் அதன் 'C' முனையில் உள்ள எட்டு அமினோ அமிலங்கள் மட்டுமே செயல்திறன் வாய்ந்தவை.

கோலிசிஸ்டோகைனின் பித்தப்பையைச் சுருங்கச் செய்து பித்தநீரை டியோடினத்திற்குள் வெளியேற்றுகிறது. பித்தநீர் வெளியேற்றத்தை செக்ரிடின் மற்றும் பித்த உப்புகளும் தூண்டுகின்றன.

மற்ற இரைப்பை குடல் ஹார்மோன்கள் (Other gut hormones)

ஹெப்பட்டோகிரினின் (Hepatocrinin) பித்த உப்புகள் குறைந்த பித்தநீர் சுரப்பதைத் தூண்டுகிறது. மொட்டிலின் (Motilin) இரைப்பை அசைவை அதிகரிக்கிறது. என்டிரோகேஸ்டிரோன் (enterogastrone) மற்றும் கேஸ்டிரிக் இன்கிபிட்டரி பாலிபெப்டைடு (gastric inhibitory polypeptide) ஆகிய ஹார்மோன்கள் இரைப்பை அசைவையும், அமிலச் சுரப்பையும் தடுக்கின்றன. சிறுகுடல் மியூக்கோசாவிலிருந்து நொதிகள் சுரப்பதை என்டிரோகிரினின் (enterocrinin) தூண்டுகிறது. கணையத்திலிருந்து கைமோடிரிப்சின் சுரப்பதைக் கைமோடெனின் (Chymodenin) தூண்டுகிறது.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு

1. கணையத்தால் சுரக்கப்படாத நொதி

   அ. டிரிப்சின் ஆ. அமைலேஸ்

   இ. சுக்ரேஸ் ஈ. கைமோடிரிப்சின்

2. இதனைச் செரிக்க இரைப்பையில் நொதி உண்டு.

   அ. புரதங்கள் ஆ. தனிமங்கள்

   இ. வைட்டமின்கள் ஈ. எதுவும் இல்லை

3. பெப்சின் இதனால் செயல்திறன் கொண்டதாக மாற்றப்படுகிறது.

   அ. தன்தூண்டல் முறையால்

   ஆ. ரெனின்

   இ. HCl

   ஈ. HCl மற்றும் தன்தூண்டல் முறையால்

4. நிறைவுத் தன்மை அதிகமுள்ள உணவு

   அ. கார்போஹைட்ரேட்கள் ஆ. புரதங்கள்

   இ. கொழுப்புகள் ஈ. வைட்டமின்கள்

5. D அமினோ அமிலங்கள் இம்முறையில் உறிஞ்சப்படுகின்றன.

   அ. சாதாரண கடத்தல் ஆ. செயல்மிகு கடத்தல்

   இ. இரண்டின் வழியாக ஈ. எதுவும் இல்லை

6. குளுக்கோசைக் கடத்துவதற்கு இந்த அயனி தேவை.

   அ. Na^+ ஆ. K^+ இ. Mg^{2+} ஈ. Ca^{2+}

7. கீழ்க்கண்டவற்றுள் எது கணையத்தால் சுரக்கப்படாத நொதி

   அ. டிரிப்சின் ஆ. கைமோடிரிப்சின்

   இ. பெப்சின் ஈ. இலாஸ்டேஸ்கள்

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக

1. கணையத்தால் சுரக்கப்படும் லைப்பேஸ் _____ என அழைக்கப்படுகிறது.
2. கோலிசிஸ்டோகைனின் மற்றும் _____ ஹார்மோன்கள் கணைய நீர் சுரத்தலைத் தூண்டுகின்றன.
3. _____ அல்லது சயனைடு அமினோ அமிலங்கள் உறிஞ்சப்படுவதைத் தடுக்கின்றன.
4. செக்ரிடின் என்னும் பாலிபெப்டைடில் _____ அமினோ அமிலங்கள் உள்ளன
5. நியூக்ளிக் அமிலங்களைச் செரிக்கும் நொதிகள் _____ ல் உள்ளன.

IIII. சரியா ? தவறா ?

1. லாக்டேஸ் என்னும் நொதி கணைய நீரில் உள்ளது.
2. குளோரைடு அயனிகள் அமைலேஸ் செயல்பாட்டிற்குத் தேவைப்படுகின்றன.
3. அமினோ அமிலக் கடத்தல் புரதங்களால் அமினோ அமிலங்கள் உறிஞ்சப்படுகின்றன.
4. சிறுகுடல் மியூகோசல் செல்களால் டைபெப்டைடுகளை உறிஞ்ச முடியாது.
5. கேஸ்டிரின் என்னும் நொதி புரதத்தைப் பகுக்கிறது.
6. வயிற்றில் நிலவும் அமிலத்தன்மை கொண்ட pH ஆல் கொழுப்புகள் பகுக்கப்படுகின்றன.

IV. பொருத்துக

1.	பித்த உப்புகள்	–	என்டோபெப்டிடேஸ்
2.	கைமோடிரிப்சின்	–	எக்சோ பெப்டிடேஸ்
3.	கார்பாக்சி பெப்டிடேஸ் A	–	இரைப்பை குடல் ஹார்மோன்
4.	லைசோலெசிதின்	–	பால்மமாக்குதல்
5.	செக்ரிடின்	–	பாஸ்போலைப்பேஸ் ‘A_2’

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி

1. அமினோ அமிலங்களை உறிஞ்ச உதவும் டிரைபெப்டைடு எது ?
2. மால்டோஸ் எவ்வாறு குளுக்கோசாக மாற்றப்படுகிறது. ?
3. வயிற்றில் உள்ள புரதங்களைச் செரிக்கும் நொதிகள் எவை ?
4. நியூக்ளியோ புரதங்கள் மீது HCl ன் செயல்பாடு என்ன ?
5. கார்போஹைட்ரேட்கள் உறிஞ்சப்படுவதைப் பாதிக்கும் ஹார்மோன்கள் எவை ?
6. ஸ்டார்ச்சிலுள்ள கிளைகளைப் பகுக்கும் நொதியின் பெயர் என்ன ?
7. மனிதர்களால் ஏன் செல்லுலோசைச் செரிக்க முடியாது ?
8. ஏதேனும் இரண்டு இரைப்பை குடல் ஹார்மோன்களைக் குறிப்பிடுக.

VI. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விடையளி

1. புரதங்களின் செரித்தல் பற்றி ஒரு குறிப்பு வரைக.
2. இரைப்பை குடல் ஹார்மோன்கள் பற்றிச் சிறுகுறிப்பு வரைக.
3. கார்போஹைட்ரேட்கள் மற்றும் கொழுப்புகள் உறிஞ்சப்படுவதைப் பாதிக்கும் காரணிகளை விவரி.
4. கொழுப்பு எவ்வாறு செரிக்கப்படுகிறது ?
5. நம் உணவில் உள்ள கார்போஹைட்ரேட்கள் எவ்வாறு உறிஞ்சப்படுகின்றன ?

பாடம் – 3

கார்போஹைட்ரேட்களின் வளர்சிதை மாற்றம்

முன்னுரை

நம் உடலில் இரத்தம் மற்றும் உடல் திரவங்களில் உள்ள சர்க்கரைகளில் பெரும்பான்மையானது குளுக்கோஸ் ஆகும். உணவில் உள்ள கார்போஹைட்ரேட்டுகளான ஸ்டார்ச், சுக்ரோஸ் மற்றும் லாக்டோஸ் போன்றவை செரிக்கப்பட்டு அவற்றின் ஒற்றை சாக்கரைடுகளாக அதாவது குளுக்கோஸ், ஃப்ரக்டோஸ் மற்றும் கேலக்டோஸாக மாற்றப்பட்டு இரத்தத்திற்கு எடுத்துச் செல்லப்படுகிறது. உயிரியல் மூலக்கூறுகள் தொகுத்தல் (Anabolism) மற்றும் சிதைவடைதல் (Catabolism) செயல்களை உயிர்வேதியியல்படி வளர்சிதை மாற்றம் என அழைக்கப்படுகிறது.

தொகுத்தல் + சிதைவடைதல் = வளர்சிதை மாற்றம்
(Synthesis) (Degradation) (Metabolism)

குளுக்கோஸ் உடலில் காணப்படும் கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் முக்கியமானதாக உள்ளதாலும், உணவில் இருந்து எளிதில் உறிஞ்சப்படுவதாலும் அதன் வளர்சிதை மாற்றம் மற்றும் குளுக்கோஸ் பெறுதிகளின் வளர்சிதை மாற்றம் பற்றி படிப்பது தேவை. ஒற்றை சாக்கரைடுகளான கேலக்டோஸ் மற்றும் ஃப்ரக்டோஸ் போன்றவைகள் கல்லீரலில் குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது. அனைத்து ஒற்றை சாக்கரைடுகளும் சிறுகுடலில் முழுமையாக உறிஞ்சப்படுகின்றன.

இரத்தத்தில் சுழற்சியில் உள்ள குளுக்கோஸ் மற்றும் திசு திரவங்களில் உள்ள குளுகோஸ், உடல் செல்களால் ஆற்றலை உருவாக்குவதற்கு எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன. பொதுவாக உடலுக்கு தேவையான ஆற்றலில் பாதிக்கு மேல் கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றம் வழங்குகிறது. உண்மையில் மூளையின் செயலுக்கு கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றம் ஆற்றல் மூலமாக உள்ளது. இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸ் அளவு மிகவும் குறையும்போது மூளை செயலிழக்கிறது.

3.1 கார்போஹைட்ரேட் – ஆற்றல் மூலம்

வளர்சிதை மாற்றத்தில் கார்போஹைட்ரேட்டின் முக்கிய செயல், எரிபொருளாக செயல்படுவது மேலும் ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்து மற்ற வளர்சிதை மாற்றத்திற்கு ஆற்றலை அளிப்பதாகும். கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றத்தில் தோன்றும் வழி பொருட்கள் பல உயிர்த்தொகுப்பு வினைகளில் பயன்படுகிறது. இதன் காரணமாக கார்போஹைட்ரேட்டுகள் குளுக்கோஸாக உடல் செல்களால் பயன்படுத்தப்படுகிறது. உணவில் உள்ள பெரும்பான்மையான குளுக்கோஸ் கல்லீரலில் கிளைக்கோஜனாக சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. குளுக்கோஸ் முக்கியமாக இரண்டு வழிமுறைகளில் அதன் பாஸ்பாரிலேற்றம் பெற்ற வழிபொருட்களாக செல்களால் சிதைக்கப்படுகிறது.

1. கிளைக்காலைசிஸ் (Glycolysis)
2. ட்ரைகார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி (Tricarboxylic Acid Cycle)

3.2 கிளைக்காலைசிஸ்

குளுக்கோஸ் பைருவேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைவது கிளைக்காலைசிஸ் என அழைக்கப்படுகிறது. இது முதலில் எம்ப்டென்–மேயர்ஹாப் மற்றும் பர்னாஸ் (Embden-Meyerhof & Parnas) என்பவர்களால் விவரிக்கப்பட்டது. எனவே இது எம்ப்டென் மேயர்ஹாப் வழிமுறை என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

கிளைக்காலைசிஸ் அனைத்து திசுக்களிலும் நடைபெறுகின்றது. இரத்த சிவப்பணுக்கள் மற்றும் நரம்பு திசுவிற்கு தேவையான ஆற்றல் முக்கியமாக குளுக்கோஸிலிருந்து பெறப்படுகிறது. இந்த வழிமுறை காற்றுள்ள சூழலிலும் (ஆக்சிஜன் உள்ள நிலை) மற்றும் காற்றில்லாத சூழலிலும் (ஆக்ஸிஜனற்ற நிலை) நடைபெறுகின்றது. கிளைக்காலைசிஸ் செல்லின் சைட்டோபிளாச பகுதியில் நடைபெறுகிறது.

3.2.1 கிளைக்காலைசிஸ் வழிமுறையின் வினைகள்

கிளைக்காலைசிஸ் வழிமுறையில் குளுக்கோஸ் பைருவேட்டாக சிதைவடையும் தொடர்ச்சியான வினைகள் கீழ் விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. கிளைக்காலைசிஸில் நடைபெறும் வினைகள் நான்கு நிலைகளாக பிரிக்கப்படுகிறது.

நிலை - I

இது ஒரு உருவாக்கும் நிலைமை (Preparatory Phase). குளுக்கோஸ் மூலக்கூறு சிதைவடைவதற்கு முன், சீரமையுள்ள ஃப்ரக்டோஸ் 1,6 டை பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது. இரண்டு பாஸ்பேட்தொகுதிகள் ATP யில் இருந்து வழங்கப்படுகிறது.

1. செல்களால் குளுக்கோஸ் எடுத்துக் கொள்ளப்படுதல் அதன் பாஸ்பாரிலேற்றம்

கல்லீரல் செல்களில் குளுக்கோஸ் எளிதில் ஊடுறுவுகிறது. குடல் மியூகஸ் மற்றும் சிறுநீரக நாளங்களில் "செயல் இடப்பெயர்வு" (Active Transport) மூலம் செல்களுக்குள் செல்கிறது. மற்ற செல்கள் இன்சுலின் உதவியால் குளுக்கோஸை எடுத்துக் கொள்கிறது. குளுக்கோஸ், குளுக்கோகைனேஸ் என்ற நொதியினால் குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது. இது ஒரு மீளாவினையாகும்.

குளுக்கோஸ் —(குளுக்கோகைனேஸ், Mg^{2+}, ATP → ADP)→ குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட்

2. குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் ஃப்ரக்டோஸ் 6–பாஸ்பேட்டாக மாற்றமடைதல்

பாஸ்போ குளுக்கோ ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியினால் குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் ஃப்ரக்டோஸ் 6–பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் ⇌ ஃப்ரக்டோஸ் 6–பாஸ்பேட் (பாஸ்போ குளுக்கோ ஐசோமெரேஸ்)

படம் 3.1 கிளைக்காலைசிஸ்

3. ஃப்ரக்டோஸ் 6–பாஸ்பேட் ஃப்ரக்டோஸ் 1,6– டைபாஸ்பேட்டாக மாற்றமடைதல்

பாஸ்போ ஃப்ரக்டோ கைனேஸ் என்ற நொதியினால் மீளா முறையில் ஃப்ரக்டோஸ் 6–பாஸ்பேட்டின் முதல் கார்பனில் ஒரு பாஸ்பேட் தொகுதி ஏற்றம் செய்யப்பட்டு ஃப்ரக்டோஸ் 1, 6 – டைபாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

நிலை – II

1. ஃப்ரக்டோஸ் 1,6–டைபாஸ்பேட் பிளவடைதல்

ஆல்டலேஸ் என்ற நொதியினால் ஃப்ரக்டோஸ் 1,6–டைபாஸ்பேட் பிளவடைய செய்யப்பட்டு இரண்டு மூலக்கூறுகள் ட்ரையோஸ் பாஸ்பேட்டுகளாக்கப்படுகிறது. ஒன்று கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட். இது ஒரு ஆல்டோ ட்ரையோஸ் ஆகும். மற்றொன்று டைஹைட்ராக்ஸி அசிட்டோன் பாஸ்பேட், இது ஒரு கீட்டோ ட்ரையோஸ் ஆகும். இவ்வினை ஒரு மீள் வினையாகும். இங்கு ஆற்றல் செலவிடப்படுதலோ அல்லது (ATP) ஆற்றல் உருவாவதோ இல்லை.

2. ட்ரையோஸ் பாஸ்பேட்டுகளுக்கிடையே மாற்றம்

உருவான இரு ட்ரையோஸ் பாஸ்பேட்டுகளும் ஒன்று மற்றொன்றாக மாற்றமடைகிறது.

நிலை - III

இது ஆற்றலை வழங்கும் நிலையாகும். இந்த வினைகளில் ஆல்டிஹைடு தொகுதி அமிலமாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடையும் போது அதிகளவு ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது.

1. கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட் 1, 3 பிஸ்பாஸ்போ கிளிசெரட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைதல்

கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட் 1, 3 பிஸ்பாஸ்போ கிளிசெரட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்ற மடைவதால் கிளைக்காலைசிஸ் தொடர்கிறது. இந்த வினை கிளிசரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியினால் நடைபெறுகிறது.

2. 1,3 பிஸ்பாஸ்போ கிளிசெரட் 3–பாஸ்போ கிளிசெரேட்டாக மாற்றமடைதல்

இந்த வினை பாஸ்போ கிளிசெரேட் கைனேஸ் என்ற நொதியினால் நடைபெறுகிறது. 1,3 பிஸ்பாஸ்போ கிளிசெரேட் மூலக்கூறில் முதல் கார்பனில் உள்ள பாஸ்பேட் தொகுதி அதிக ஆற்றல் கொண்டது. இது ADP க்கு மாற்றப்பட்டு ATP உருவாகிறது.

நிலை - IV

இங்கு பாஸ்பேட் தொகுதி 3–பாஸ்போ கிளிசெரேட்டில் இருந்து திரும்பப் பெறப்படுகிறது. சென்ற நிலையில் உருவான இரண்டு 3–பாஸ்போகிளிசெரேட் மூலக்கூறுகள் இரு பாஸ்பேட் தொகுதிகளை பெற்றுள்ளன. அவை இரண்டு ATPயில் இருந்து பெறப்பட்டவை ஆகும்.

1. 3–பாஸ்போகிளிசெரேட் 2–பாஸ்போகிளிசெரேட்டாக மாற்றமடைதல்

பாஸ்போகிளிசெரேட் மியூட்டேஸ் என்ற நொதியினால் சென்ற வினையில் உருவான 3–பாஸ்போகிளிசெரேட் 2–பாஸ்போகிளிசெரேட்டாக மாற்றமடைகிறது.

2. 2–பாஸ்போகிளிசெரேட் பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட்டாக மாற்றமடைதல்

ஈனாலேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் 2–பாஸ்போகிளிசெரேட் பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட்டாக மாற்றமடைகிறது. ஈனலேஸ் நொதியின் செயலுக்கு Mg^{2+} or Mn^{2+} அயனிகள் தேவைப்படுகிறது.

3. பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட் பைருவேட்டாக மாற்றமடைதல்

பைருவேட் கைனேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட் பைருவேட்டாக மாற்றமடைகிறது. அதிக ஆற்றல் கொண்ட பாஸ்பேட் தொகுதியானது பாஸ்போ

ஈனால் பைருவேட்டிலிருந்து நேரடியாக ADP மாற்றப்பட்டு ATP உருவாகிறது. இது ஒரு மீளா வினையாகும்.

3.2.2 கிளைக்காலைசிஸ் தொகுப்பு (Summary of glycolysis)

கிளைக்காலைசிஸின் போது NAD^+, NADHஆக ஒடுக்கமடைகிறது, அதே நேரத்தில் கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட், 1,3–பிஸ்பாஸ்போகிளிசெரேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைகிறது. NAD^+ மீண்டும் கிடைக்க NADH கண்டிப்பாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைய வேண்டும் ஆக்ஸிஜன் இல்லாத சூழ்நிலையில் பைருவிக் அமிலம் லாக்டிக் அமிலமாக மாற்றப்படும்போது இது நடைபெறுகிறது. ஆக்ஸிஜன் உள்ள சூழ்நிலையில் NADH, NAD^+ ஆக சுவாச சங்கிலி நொதிகளின் (Respiratory Chain Enzymes) மூலம் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைகிறது.

3.2.3 ஒரு மூலக்கூறு குளுக்கோஸ் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையும்போது கிடைக்கும் ஆற்றல்

கிளைக்காலைசிஸில் ATP மூலக்கூறுகள் கீழ்க்கண்ட வினைகளில் பயன்படுத்தப் படுகிறது மற்றும் உருவாக்கப்படுகிறது.

அட்டவணை 3.1

வினைகள்	ATP பயன்படுத்தப்படுதல்	ATP உருவாதல்
நிலை – I 1. குளுக்கோகைனேஸ் (பாஸ்பாரிலேற்றத்திற்காக) 2. பாஸ்போஃப்ராக்டோகைனேஸ் (பாஸ்பாரிலேற்றத்திற்காக)	1 1	
நிலை–II 3. கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் (இரு NADH மூலக்கூறுகள் சுவாச சங்கிலியில் ஆக்ஸிஜனேற்றம்). 4. பாஸ்போ கிளிசெரேட் கைனேஸ் (வினைபடு பொருளின் அளவில் பாஸ்பாரிலேற்றம்) (Substrate Level Phosphorylation)		6 2
நிலை–IV 5. பைருவேட் கைனேஸ் (வினை பொருளின் அளவில் பாஸ்பாரிலேற்றம்)		2
மொத்தம்	2	10
நிகர வரவு = 10–2 = 8 ATP		

ஆக்ஸிஜன் இல்லாத நிலைமை (Anaerobic Phase)

ஆக்ஸிஜன் இல்லாத நிலைமையில், கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் நிலையில் கிடைக்கும் NADH மீண்டும் NAD^+ ஆக சுவாச சங்கிலியில் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையாது. ஆனால் செல்கள் குறித்த அளவு மட்டுமே இந்த துணை நொதியை கொண்டுள்ளது. எனவே கிளைக்காலைசிஸ் தொடர்ந்து நடைபெற NADH கண்டிப்பாக மீண்டும் NAD^+ ஆக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைய வேண்டும். இது பைருவிக் அமிலம் லாக்டிக் அமிலமாக மாற்றப்படுவதன் மூலம் நிகழ்கிறது (ATP உருவாகாமல்).

இங்கு கிளிசெரால்டிஹைடு 3–பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் செயல்படும் வினையில் ATP உருவாக்கப்படுவதில்லை.

ஆக்ஸிஜன் இல்லாத நிலைமையில் ஒரு மூலக்கூறு குளுக்கோஸ் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைவதால் 4–2=2ATP மூலக்கூறுகள் உருவாக்கப்படுகின்றன.

3.3 ட்ரை கார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி (Tricarboxylic Acid Cycle) (TCA cycle)

காற்றுள்ள நிலைமையில் நடைபெறும் கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்ற சுழற்சி மற்றும் காற்றில்லாத நிலைமையில் பைருவேட்டில் இருந்து தொடரும் சுழற்சிக்கு சிட்ரிக் அமில சுழற்சி அல்லது ட்ரைகார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி என்று பெயர். இந்த சுழற்சியில் கிடைக்கும் முதல் சேர்மம் சிட்ரிக் அமிலமாகும். எனவே தான் இது சிட்ரிக் அமில சுழற்சி எனப்படுகிறது. H.A கிரேப் என்ற ஆங்கில உயிர் வேதியியல் அறிஞர் இதை கண்டறிந்ததால் இது கிரெப் சுழற்சி என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

காற்றுள்ள நிலைமையில் பைருவேட் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் ஈடுபடுவதற்கு முன்னதாக ஆக்ஸிஜனேற்ற முறையில் கார்பாக்ஸில் நீக்கம் செய்யப்பட்டு அசிடைல் துணை நொதி A வாக அசிடைல் துணை நொதி A, அசிடைல் CoA எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. (கிளர்வுற்ற அசிடேட் –Active acetate) மாற்றப்படுகிறது. இவ்வினை மைட்டோகாண்டிரியாவின் மேட்ரிக்ஸ் பகுதியில் நடைபெறுகிறது. மேலும் கிளைக்காலைசிஸ் மற்றும் TCA சுழற்சியை இணைக்கிறது.

PDH - பைருவேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ்

மேற்கண்டவினை பைருவேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற கூட்டு நொதியின் (Multienzyme complex) செயலால் நடைபெறுகிறது.

3.3.1 சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் வினைகள்

சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் எட்டு படிகள் உள்ளன. வினைகள் பின்வருமாறு :

படம் 3.2 கிரெப் சுழற்சி

1. சிட்ரேட் உருவாதல்

அசிடைல் துணை நொதி A அல்லது அசிடைல் CoA மற்றும் ஆக்ஸாலோ அசிடேட்டும் குறுக்கமடைந்து சிட்ரேட்டை தருகிறது. இதுவே சுழற்சியின் முதல் வினையாகும். மேலும் இவ்வினை சிட்ரேட் சிந்தேஸ் என்ற நொதியினால் நடைபெறுகிறது. இது ஒரு மீளா வினையாகும்.

2. ஐசோசிட்ரேட் உருவாதல் (சிஸ் அகோனிடேட் வழியாக)

அகோனிடேஸ் என்ற நொதியினால் மீள் முறையில் சிட்ரேட் சிஸ்அகோனிடேட் மூலமாக ஐசோசிட்ரேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

3. ஐசோசிட்ரேட் α–கீட்டோகுளுட்டரேட் மற்றும் CO_2 வாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைதல்

ஐசோசிட்ரேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி ஐசோசிட்ரேட்டை ஆக்ஸினேற்ற முறையில் கார்பாக்ஸில் தொகுதி நீக்கம் செய்து α–கீட்டோ குளுட்டரேட்டாக மாற்றுகிறது.

4. α–கீட்டோ குளுட்டரேட் சக்சினைல் CoA மற்றும் CO_2 வாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைதல்

α–கீட்டோ குளுட்டரேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற கூட்டு நொதியின் செயலால் α–கீட்டோ குளுட்டரேட் ஆக்ஸிஜனேற்ற கார்பாக்ஸில் நீக்க வினையால் சக்சினைல் CoA மற்றும் CO_2 வாக மாற்றப்படுகிறது. இது ஒரு மீளாவினையாகும்.

5. சக்சினைல் CoA சக்சினேட்டாக மாற்றமடைதல்

மேற்கண்ட படியில் கிடைத்த விளை பொருள் சக்சினைல் CoA சக்சினேட்டாக மாற்றப்பட்டு சுழற்சி தொடரப்படுகிறது. இந்த படியில் GTP உருவாகிறது. (வினைப் பொருள் அளவில் பாஸ்பாரிலேற்றம் – substrate level phosphorylation)

சக்சினைல் CoA சிந்தடேஸ் அல்லது தயோகைனேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் இந்த மீள்வினை நடைபெறுகிறது.

6. சக்சினேட் ப்யூமரேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைதல்

சக்சினைல் CoAல் இருந்து கிடைத்த சக்சினேட், சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியால் ப்யூமரேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகிறது.

7. ப்யூமரேட் நீரேற்றமடைந்து மாலேட்டாக மாற்றமடைதல்

ப்யூமரேஸ் என்ற நொதியினால் மீள் முறையில் ப்யூமரேட் நீரேற்றமடைந்து மாலேட்டாக மாற்றமடைகிறது.

8. மாலேட் ஆக்ஸாலோ அசிடேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைதல்

NAD இணைந்துள்ள மாலேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியினால் மாலேட் ஆக்ஸலோ அசிடேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகிறது. இதுவே சுழற்சியின் கடைசி வினையாகும்.

3.3.2 TCA சுழற்சியில் இருந்து கிடைக்கும் ஆற்றல்

ஒரு மூலக்கூறு NADH எலக்ட்ரான் நகர்வு சங்கிலியின் மூலம் (Electron transport chain) ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைந்தால் மூன்று மூலக்கூறுகள் ATP உருவாகிறது. ஒரு மூலக்கூறு $FADH_2$ மேற்கண்ட முறையில் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைந்தால் இரண்டு மூலக்கூறுகள் ATP உருவாகிறது.

கிளைக்காலைசிஸ் செயலில் ஒரு மூலக்கூறு குளுக்கோஸ் இரண்டு மூலக்கூறுகள் பைருவேட்டை தருகிறது. எனவே சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் உள்ள அனைத்து இடைநிலை பொருட்களும் இரண்டு மூலக்கூறுகளாக உள்ளன.

அட்டவணை 3.2

வினைகள்	உருவான ATP க்களின் எண்ணிக்கை
1. 2 ஐசோசிட்ரேட் ⟶ 2α – கீட்டோகுளுட்டரேட் (2 NADH + $2H^+$)(2x3)	6
2. 2 α – கீட்டோகுளுட்டரேட் ⟶ 2 சக்சினைல் CoA (2 NADH + $2H^+$) (2x3)	6
3. 2 சக்சினைல் CoA ⟶ 2 சக்சினேட் (2 GTP = 2ATP)	2
4. 2 சக்சினேட் ⟶ 2 ப்யூமரேட் (2 $FADH_2$) (2x2)	4
5. 2 மாலேட் ⟶ 2 ஆக்ஸாலோ அசிட்டேட் (2 NADH + $2H^+$) (2x3)	6
உருவான மொத்த ATP க்களின் எண்ணிக்கை	24

3.4 HMP ஷன்ட் வழிமுறை (Hexose Mono Phosphate Shunt Pathway)

பொதுவான விலங்கு திசுக்கள் குளுக்கோஸை CO_2 மற்றும் நீராக ஆக்ஸிஜனேற்றம் செய்தல், ATP யின் மூலமாக ஆற்றல் வெளியிடுதல் போன்ற செயல்கள் கிளைக்காலைசிஸ் மற்றும் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியின் மூலமாக நடைபெற்றாலும் கூட, பல மாற்று வழிமுறைகளும் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. இவற்றில் ஹெக்ஸோஸ் மோனோ பாஸ்பேட் ஷன்ட் வழிமுறை (Hexose Mono Phosphate Shunt Pathway) மிகவும் முக்கியமானதாகும். இது செல்லின் சைட்டோபிளாச பகுதியில் நடைபெறுகிறது.

கிளைக்காலைசிஸ் மற்றும் கிரெப் சுழற்சி இவை முதன்மையாக ATP உருவாக்குவதில் தான் முக்கியமாக செயல்படுகிறது. ஆனால் HMP –ஷன்ட் வழிமுறை வேறுவிதமான வளர்சிதை மாற்ற ஆற்றலை (ஒடுக்க ஆற்றலை – Reducing Power) உருவாக்குகிறது. உடலுக்கு ஆற்றலை வழங்கும் மூலக்கூறுகளில் (Fuel molecules) இருந்து எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் ATP உருவாக்கத்திற்கு இல்லாமல் உயிர்தொகுப்புச் (Bio-synthesis) செயல்களுக்கு பயன்படுகிறது. HMP – ஷன்ட் வழிமுறையில் உருவாகும் ஒடுக்க ஆற்றல் (மூலக்கூறு) NADPH ஆகும். (NADPH ஒடுக்கப்பட்ட நிக்கோடினமைடு அடினைன் டை நியூக்ளியோடைடு பாஸ்பேட்).

NADH எலக்ட்ரான் நகர்வு சங்கலியில் ஆக்ஸிஜனேற்றம் செய்யப்பட்டு ATP உருவாகிறது. ஆனால் NADPH ஒடுக்க உயிர் தொகுப்பு செயல்களுக்கு எலக்ட்ரான் மற்றும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களை வழங்கும் மூலக்கூறாக செயல்படுகிறது. உதாரணமாக கொழுப்பு அமிலங்கள் மற்றும் ஸ்டீராய்டுகள் உயிர் தொகுப்புகள். இதுவே NADH மற்றும் NADPH இவற்றிற்கிடையே உள்ள முக்கிய அடிப்படை வேறுபாடாகும்.

படம் 3.3 ஹெக்ஸோஸ் மோனோ பாஸ்பேட் வழிமுறையின் ஆக்ஸிஜனேற்ற வினைகள்

குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியால் குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட்டில் இருந்து ஹைட்ரஜன் நீக்கப்பட்டு 6–பாஸ்போ குளுக்கனோ δ–லாக்டோனாக மாற்றப்படுகிறது. இதுவே HMP ஷன்ட் வழிமுறையின் முதல் வினையாகும்.

படி – 1

குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் $NADP^+$ முன்னிலையில் குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியால் 6–பாஸ்போ குளுக்கனோ δ–லாக்டோனாக மாற்றப்படுகிறது. முதல் NADPH மூலக்கூறு இந்தப்படியில் உருவாகிறது.

படி – 2

6– பாஸ்போ குளுக்கனோ δ – லாக்டோன் நிலைப்புத் தன்மையற்றது. எனவே எஸ்டர் பிணைப்பு நீராற் பகுப்பிற்கு உட்பட்டு 6–பாஸ்போ குளுக்கனேட்டாக மாற்றமடைகிறது. இவ்வினை லாக்டோனேஸ் என்ற நொதியால் நடைபெறுகிறது.

6 – பாஸ்போ குளுக்கனோ δ– லாக்டோன் 6 – பாஸ்போ குளுக்கனேட்

படி – 3

6– பாஸ்போ குளுக்கனேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் 6 – பாஸ்போ குளுக்கனேட் மேலும் ஹைட்ரஜன் நீக்கம் மற்றும் கார்பாக்ஸிஸ் நீக்கம் போன்ற வினைகளுக்கு உட்பட்டு D–ரிபுலோஸ் பென்டோஸ் என்ற கீட்டோ பென்டோஸாக மாற்றமடைகிறது. இந்த வினையில் இரண்டாவது NADPH மூலக்கூறு உருவாகிறது.

6 – பாஸ்போ குளுக்கனேட் 6 – பாஸ்போ குளுக்கனேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் D – ரிபுலோஸ் 5 – பாஸ்பேட்

படி – 4

பாஸ்போ பென்டோஸ் ஐசோமெரேஸ் என்ற நொதியானது D – ரிபுலோஸ் 5– பாஸ்பேட்டை அதன் ஆல்டோஸ் மாற்றான D– ரிபோஸ் 5– பாஸ்பேட்டாக மாற்றுகிறது.

D – ரிபுலோஸ் 5 – பாஸ்பேட் D – ரிபோஸ் 5 – பாஸ்பேட்

சில திசுக்களில் ஹெக்ஸோஸ் மோனோ பாஸ்பேட் ஷன்ட் வழிமுறை இந்த படியுடன் முடிவடைகிறது. மொத்த வினை,

குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட் ரிபோஸ் 5 – பாஸ்பேட்

\+ \+

$2NADP^+ + H_2O \longrightarrow CO_2 + 2NADPH + 2H^+$

வினையின் இறுதியில் கிடைக்கும் NADPH, உயிர் தொகுப்பு வினைகளில் ஒடுக்கியாக செயல்படுகிறது. ரிபோஸ் 5– பாஸ்பேட், நியூக்ளியோசைடு தொகுத்ததில் முதன்மை பொருளாக (Precursor) செயல்படுகிறது.

3.5 கிளைக்கோஜன் (Glycogen)

தாவரங்களில் ஸ்டார்ச் சேமித்து வைக்கப்படுவதைப் போல விலங்குகளில் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் கிளைக்கோஜனாக சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. இது முக்கியமாக கல்லீரலில் நடைபெறுகிறது.

3.5.1 கிளைக்கோஜன் உயிர் தொகுப்பு (Glycogen biosynthesis)

குளுக்கோஸிலிருந்து கிளைக்கோஜன் தொகுக்கப்படுதல் கிளைக்கோஜெனிஸிஸ் (Glycogenesis) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இது உடலின் அனைத்து திசுக்களிலும் நடைபெறுகிறது ஆனால் கல்லீரல் மற்றும் தசை போன்றவை முக்கிய பகுதிகளாகும். குறிப்பிட்ட அளவு கிளைக்கோஜன் சிறுநீரகத்திலும் தொகுக்கப்படுகிறது.

எடுத்துக் கொள்ளப்படும் அதிக அளவு குளுக்கோஸை உடலில் சேமித்து வைக்கவும் தேவையின் போது பயன்படுத்தவும் கிளைக்கோஜெனிஸிஸ் ஒரு இன்றியமையாத செயலாகும். கிளைக்கோஜெனிஸிஸ் இல்லாவிட்டால் உணவு உட்கொண்ட பின் உடனடியாக உடல் திசுக்களில் அதிக அளவு குளுக்கோஸ் இருக்கும். பட்டினி நேரங்களில் குளுக்கோஸ் அளவு குறைவாகவே இருக்கும். கிளைக்கோஜெனிஸிஸ் செயலில் நடைபெறும் வினைகள் பின்வருமாறு.

படி – 1

கிளைக்காலைசிஸில் நடைபெறும் முதற்வினை போன்றே குளுக்கோஸ், குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட்டாக பாஸ்பாரிலேற்றம் செய்யப்படுகிறது. இவ்வினை ATP முன்னிலையில் தசையில் ஹெக்ஸோகைனேஸ் என்ற நொதியாலும் கல்லீரலில் குளுக்கோகைனஸ் என்ற நொதியாலும் நடைபெறுகிறது.

குளுக்கோஸ் — குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட்

படி – 2

பாஸ்போ குளுக்கோ மியூட்டேஸ் என்ற நொதியினால் குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்பேட் மீள் முறையில் குளுக்கோஸ் 1–பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது. இவ்வினைக்கு Mg^{2+} மற்றும் சிறிதளவு குளுக்கோஸ் 1, 6–டைபாஸ்பேட் துணை நொதியாக தேவைப்படுகிறது.

குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட் — குளுக்கோஸ் 1 – பாஸ்பேட்

படி – 3

யுரிடின் டை பாஸ்பேட் குளுக்கோஸ் பைரோபாஸ்பாரிலேஸ் என்ற நொதியின் முன்னிலையில் யுரிடின் ட்ரை பாஸ்பேட் (UTP) நீராற்பகுப்படைவதால் கிடைக்கும் ஆற்றலால் குளுக்கோஸ் 1–பாஸ்பேட் கிளர்வுறபடுத்தப்படுகிறது. இவ்வினை தான் கிளைக்கோஜன் உயிர் தொகுத்தலில் மிகவும் முக்கியமானவினையாகும்.

படி - 4

UDP – குளுக்கோஸ் உடனடியாக குளுக்கோஸ் மூலக்கூறை வழங்கும் சேர்மமாகும். கிளைக்கோஜன் சிந்தேஸ் என்ற நொதி, குளுக்கோஸ் மூலக்கூறை UDP – குளுக்கோஸில் இருந்து ஒடுக்கப்படாத முனையை கொண்டுள்ள கிளை கிளைக்கோஜன் சங்கிலிக்கு மாற்றமடைவதை ஊக்குவிக்கிறது.

படி – 5

கிளைக்கோஜன் சங்கிலி 8 குளுக்கோஸ் மூலக்கூறுக்கும் அதிகமான மூலக்கூறுகளை கொண்டுள்ளதாக உள்ளபோது இரண்டாம் நொதியான கிளையை உண்டாக்கும் நொதி (Branching Enzyme) அமைலோ 1–4ல் இருந்து 1–6 ட்ரான்ஸ் கிளைக்கோ அசைலேஸ் கிளைக்கோஜன் மீது செயல்பட்டு 1, 4 கிளைக்கோஜன் சங்கிலி இணைப்பை உருவாக்க உதவி செய்கிறது. இது அருகில் உள்ள α 1–6 இணைப்பை போன்றதே ஆகும். இவ்வாறு இணைப்பு புள்ளி (Branching Point) கிளைக்கோஜனில் தோன்றுகிறது. உருவான கிளைக்கோஜன் கல்லீரல், தசை மற்றும் திசுக்களில் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது.

3.5.2 கிளைக்கோஜன் சிதைவடைதல் (Glcogenolysis)

இரத்தத்தில் உள்ள சர்க்கரையின் அளவு குறையும் போது (ஹைப்போகிளைசீமியா – HyPoglycemia), திசுக்களில் சேமித்து வைக்கப்பட்டுள்ள கிளைக்கோஜன் குறிப்பாக

கல்லீரல் மற்றும் தசைகளில் சேமித்து வைக்கப்பட்டுள்ள கிளைக்கோஜன் உடைக்கப்பட்டு குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது. இந்த செயல் கிளைக்கோஜீனோலைஸிஸ் (Glycogenolysis) அல்லது கிளைக்கோஜன் சிதைவடைதல் எனப்படுகிறது.

படம் 3.4 கிளைக்கோ ஜீனோலைஸிஸ்

கிளைக்கோஜீனோலைஸிஸ் கீழ்கண்ட படிகளில் நடைபெறுகிறது

படி – 1

கிளைக்கோஜன் சிதைவடைதலின் முதல் படியில் இரண்டு நொதிகள் தனித்தனியே செயல்படுகிறது.

முதல் நொதி, கிளைக்கோஜன் பாஸ்பாரிலேஸ் கனிம பாஸ்பேட்டுடன் இணைந்து கிளைக்கோஜனில் உள்ள α 1 – 4 இணைப்பின் மீது செயல்பட்டு குளுக்கோஸ் 1 – பாஸ்பேட் மற்றும் ஒரு மூலக்கூறு குளுக்கோஸ் குறைவாக கொண்டுள்ள கிளைக்கோஜனை தருகிறது. கிளைக்கோஜன் பாஸ்பாரிலேஸ் α 1–6 இணைப்பின் மீது செயல்பட முடியாது. இது மற்றொரு நொதியான α 1–6 குளுக்கோஸிடேஸ் (கிளை நீக்கும் நொதி – Debranching enzyme) கிளைக்கோஜனில் உள்ள α 1–6 இணைப்பு மீது செயல்படுகிறது. இதனால் கிளைக்கோஜன் α 1–4 இணைப்பு அதிக அளவில் கிளைக்கோஜன் பாஸ்பாரிலேஸ் நொதிக்கு கிடைக்கிறது.

கிளைக்கோஜன் பாஸ்பாரிலேஸ் மற்றும் கிளை நீக்கும் நொதி ஆகிய இரண்டு நொதிகளின் ஒருங்கமைந்த செயல்களால் கிளைக்கோஜன், குளுக்கோஸ் 1 – பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

படி - 2

பாஸ்போகுளுக்கோ மியூட்டேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் குளுக்கோஸ் 1 – பாஸ்பேட் மீள் முறையில் குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

குளுக்கோஸ் 1 – பாஸ்பேட் குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட்

படி -3

குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்படேஸ் நொதியின் செயலால் கல்லீரல் மற்றும் சிறுநீரகத்தில் குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட், குளுக்கோஸாகவும் கனிம பாஸ்பேட்டாகவும் மாற்றப்படுகிறது.

குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட் குளுக்கோஸ்

குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்படேஸ், பாஸ்பேட் தொகுதியை குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட்டில் இருந்து நீக்குகிறது. இதனால் தனித்த குளுக்கோஸ் செல்களில் இருந்து வெளி செல் திரவத்திற்கு (இரத்தத்திற்கு) வருகிறது. இவ்வினை தசைகளில் நடைபெறுவதில்லை. காரணம் குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்படேஸ் தசைகளில் காணப்படுவதில்லை.

3.5.3 குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் (Gluconeogenesis)

கார்போஹைட்ரேட் அற்ற சேர்மங்களில் இருந்து குளுக்கோஸ் தொகுக்கப்படுதல் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் என்று அழைக்கப்படுகிறது. கல்லீரல் பகுதியில் தான் முக்கியமாக குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் நடைபெறுகிறது. இது பொதுவாக உணவில் உள்ள கார்போஹைட்ரேட் அளவு உடலின் தேவைக்கு குறைவாக உள்ள போதும், புரத சத்து மிகுந்த உணவை அதிகமாக எடுத்துக் கொள்ளும் போதும், பட்டினி காலங்களில் உடலில் உள்ள புரதங்கள் சிதைவடைந்து அமினோ அமிலங்களாக மாற்றப்படும் போதும் நடைபெறுகிறது.

3.5.3.1 குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் மற்றும் கிளைக்காலைசிஸ் (Gluconeogenesis and Glycolysis)

குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் மற்றும் கிளைக்காலைசிஸ் இரண்டும் எதிரான வளர்சிதை மாற்ற வழிமுறைகள் ஆகும். இவை பல நொதிகளை தமக்குள் பங்கிட்டுக் கொள்கின்றன. கிளைக்காலைசிஸ் போது குளுக்கோஸ் பைருவேட்டாக மாற்றமடைகிறது. ஆனால் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் போது பைருவேட் குளுக்கோஸாக மாற்றமடைகிறது. இருப்பினும் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் கிளைக்காலைசிஸிற்கு சரியான எதிரான செயலல்ல.

கிளைக்காலைசிஸில் மூன்று இன்றியமையாத மீளா வினைகள் உள்ளன. அவை

1. குளுக்கோஸ் + ATP —(குளுக்கோ கைனேஸ்)→ குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட் + ADP

2. ஃப்ரக்டோஸ் 6 பாஸ்பேட் + ATP —(பாஸ்போ ஃப்ரக்டோ கைனேஸ்)→ ப்ரக்டோஸ் 1, 6 – டைபாஸ்பேட் + ADP

3. பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட் + ADP —(பைருவேட் கைனேஸ்)→ பைருவேட் + ATP

குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் போது இந்த மூன்று வினைகளும் கீழ்கண்ட புதிய வினைகளால் பதிலீடு செய்யப்பட்டு குளுக்கோஸ் தொகுக்கப்படுகிறது.

படம் 3.5 குளுக்கோ நியோஜெனிஸிஸ் மற்றும் கிளைக்காலைசிஸ்

3.5.3.2 குளுக்கோநியோஜெனிசிஸ் வினைகள்

1. பாஸ்போஈனால் பைருவேட் உருவாதல் பைருவேட் கார்பாஸிலேற்றம் செய்யப்படும் வினையுடன் ATP செலவிடப்பட்டு தொடங்குகிறது.

உருவாகும் ஆக்ஸாலோ அசிடேட் GTP யால் பாஸ்பாரிலேற்றம் செய்தல் மேலும் கார்பாக்ஸில் நீக்கம் செய்யப்பட்டு பாஸ்போஈனால் பைருவேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

2. ஃப்ரக்டோஸ் 1,6 – டை பாஸ்படேஸ் நொதியால் ஃபரக்டோஸ் 1,6 – டை பாஸ்பேட் நீராற் பகுக்கப்பட்டு ஃப்ரக்டோஸ் 6 பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

3. குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்பேட், குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்படேஸ் என்ற நொதியால் நீராற் பகுக்கப்பட்டு குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது.

3.5.3.3 அமினோ அமிலங்களின் குளுக்கோ நியோஜெனிஸிஸ் (Gluconeogenesis of amino acids)

குளுக்கோஸாக மாற்றமடையும் அமினோ அமிலங்கள் குளுக்கோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் (Glucogenic amino acids) எனப்படுகின்றன. பெரும்பாலான குளுக்கோ

ஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் அமினோ தொகுதி நீக்கம் அல்லது அமினோ தொகுதி மாற்றம் ஆகிய வினைகளின் மூலம் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியில் ஈடுபடும் இடைநிலை சேர்மங்களாக மாற்றப்படுகின்றன.

3.5.3.4 புரோப்பியனேட்டின் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் (Gluconeogenesis of Pro Pionate)

அசைப்போடும் உயிரினங்களில் புரப்பியானிக் அமிலம் கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் முக்கிய மூலமாகும். புரப்பியனேட் சக்சினைல் CoA ஆக மாற்றப்பட்டு சிட்ரிக் அமிலம் சுழற்சியின் வழியே குளுக்கோநியோஜெனிக் வழிமுறையில் ஈடுபடுகிறது.

3.5.3.5 கிளிசெராலின் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் (Gluconeogenesis of glycerol)

பட்டினி நேரங்களில் கிளிசெராலும் குளுக்கோ–நியோஜெனிக் வழிமுறையில் ஈடுபடுகிறது. அடிப்போஸ் திசுக்களில் உள்ள ட்ரைகிளிசெரைடுகள் நீராற்பகுப்பிற்கு உட்படும் போது கிளிசெரால் வெளியிடப்படுகிறது. கிளிசெரால் வளர்சிதை மாற்றம் அடிப்போஸ் திசுக்களில் நடைபெறுவதில்லை. ஏனெனில் கிளிசெராலை பாஸ்பாரிலேற்றம் செய்யத் தேவையான நொதி கிளிசெரால் கைனேஸ் அங்கு இல்லை. மாறாக கிளிசெரால் கல்லீரலுக்கு எடுத்துச் செல்லப்பட்டு அங்கு கிளிசெரால் கைனேஸ் நொதியால் கிளிசெரால் 3 – பாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படுகிறது.

$$\text{கிளிசெரால} + ATP \xrightarrow[\text{கைனேஸ்}]{\text{கிளிசெரால்}} \text{கிளிசெரால் 3 – பாஸ்பேட்} + ADP$$

இங்கு NAD^+ மற்றும் கிளிசெரால் 3 – பாஸ்பேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் முன்னிலையில், கிளிசெரால் 3 – பாஸ்பேட், டைஹைட்ராக்ஸி அசிட்டோன் பாஸ்பேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகிறது.

$$\text{கிளிசெரால் 3 – பாஸ்பேட்} + NAD^+ \xrightarrow[\text{டிஹைட்ரோஜினேஸ்}]{\text{கிளிசெரால் 3 – பாஸ்பேட்}} \text{டைஹைட்ராக்ஸி அசிட்டோன் பாஸ்பேட்} + NADH + H^+$$

இந்த வழிமுறை கிளைக்காலைசிஸின் ட்ரையோஸ் பாஸ்பேட் நிலையை இணைக்கிறது. உருவான டைஹைட்ராக்ஸி அசிட்டோன் பாஸ்பேட் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் வழிமுறையில் ஈடுபட்டு குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது. கல்லீரல் மற்றும் சிறுநீரகம் மேற்கண்ட நொதிகளை பயன்படுத்தி கிளிசெராலை குளுக்கோஸாக மாற்றும் திறனை பெற்றுள்ளன.

3.5.3.6 லாக்டிக் அமிலத்தின் குளுக்கோ நியோஜெனிஸிஸ் (Cori cycle)

கார்போஹைட்ரேட்டுகள் வளர்சிதை மாற்றம் கல்லீரல் மற்றும் தசையில் சிறப்பு வாய்ந்த முறையில் நடைபெறுகிறது. அதாவது கார்போஹைட்ரேட்டுகள் கல்லீரல் மற்றும் தசை பகுதிகளில் மாற்றமடைவது கோரி சுழற்சி (Cori cycle) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

இந்த சுழற்சியில் கல்லீரலில் உள்ள கிளைக்கோஜன் தசை கிளைக்கோஜனாகவும் தசைகளில் உள்ள கிளைக்கோஜன் கல்லீரல் கிளைக்கோஜனாகவும் மாற்றப்படலாம். இச்சுழற்சியில் உருவாக்கப்படும் பொருள் லாக்டேட் ஆகும். லாக்டேட் சதைப் பகுதியில் உருவாக்கப்படுகிறது.

அதிக அளவு உடல் வேலை செய்யும் போது, தீவிர உடற்பயிற்சி செய்யும் போதும் சதைகளில் உள்ள ஆக்ஸிஜன் தேவையான அளவு இல்லை. ஆனால் தசை அதிக பட்சமாக நீண்ட நேரம் சுருக்கத்திற்கு (Muscle contraction) உட்பட வேண்டும். அதனால் சதையில் சேமித்து வைக்கப்பட்டுள்ள கிளைக்கோஜன் கிளைக்கோஜீனோலைஸிஸ் மூலம் லாக்டேட்டாக மாற்றப்படுகிறது. மேலும் காற்றில்லாத நிலைமையில் நடைபெறும் கிளைக்காலைசிஸ் மூலம் உருவாகும் லாக்டேட் சதையில் திரளப்படுகிறது (Accumulation) தசை திசுக்களில் குளுக்கோஸ் 6 – பாஸ்படேஸ் என்ற நொதி காணப்படாததால் லாக்டிக் அமிலத்தில் இருந்து குளுக்கோஸ் தொகுக்கப்படுவதில்லை. இச்செயல் கல்லீரலில் மட்டுமே லாக்டிக் அமிலம் குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது.

லாக்டேட் தசைப் பகுதியிலிருந்து வெளியேற்றப்பட்டு இரத்தத்தின் மூலம் கல்லீரலை சென்றடைகிறது. கல்லீரலில் லாக்டேட் பைருவேட்டாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் செய்யப்படுகிறது. பின் பைருவேட் குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் செயலில் ஈடுபடுவதால் முடிவில் குளுக்கோஸ் மீண்டும் தொகுக்கப்படுகிறது. கிளைக்கோஜன், குளுக்கோஜினோலைசிஸ் மூலம் குளுக்கோஸாக மாற்றப்படலாம். மேலும் இரத்தத்தின் மூலம் மீண்டும் சுழற்சியில் தசைகளுக்கு விடுவிக்கப்படலாம். குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் செயலால், குளுக்கோஸ் மீண்டும் தசை கிளைக்கோஜனாக மாற்றப்படுவதன் மூலம் கோரி சுழற்சி முடிவடைகிறது.

படம் 3.6 கோரி சுழற்சி

3.6 நீரிழிவு நோய் (Diabetes Mellitus)

நீரிழிவு நோய் கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் வளர்சிதை மாற்றத்தில் ஏற்படும் குறைபாட்டால் உருவாகும் முக்கிய நோயாகும். இருப்பினும் கொழுப்பு மற்றும் புரதம் இவற்றின் வளர்சிதை மாற்றங்களும் பாதிக்கப்படுகின்றன. டையபெடீஸ் (Diabetes) என்றால் அதிகளவு

சிறுநீரை வெளியேற்றுதல், மெல்லிடஸ் (Mellitus) என்றால் இனிப்பு என்றும் பொருள்படும். எனவே டையபெடிஸ் மெல்லிடஸ் என்ற வார்த்தைக்கு குளுக்கோஸை கொண்டுள்ள சிறுநீர் அதிகளவு வெளியேற்றப்படுதல் என்று பொருள்படும்.

இன்சுலின் சுரத்தல் அல்லது அதன் செயலில் ஏற்படும் குறைப்பாட்டால் நீரிழிவு நோய் உண்டாகிறது. இன்சுலின் நாளமில்லா சுரப்பிகளால் சுரக்கப்படும் ஒரு ஹார்மோனாகும். கணையத்தில் உள்ள β செல்களில் லாங்கர்ஹான் திட்டுக்களால் இன்சுலின் சுரக்கப்படுகிறது. குளுக்கோஸ் வளர்சிதை மாற்றத்தில் ஏற்படும் அசாரணத்தன்மை நீரிழிவு நோயை அல்லது நோய் உண்டாவதற்கான நிலையை காட்டும் தன்மையாக உள்ளது. உண்மையில் இன்சுலின் கட்டுப்பாடு செயலில் உள்ள குறைபாட்டால் நீரிழிவு நோய், நோய்களின் தொகுப்பாகும்.

இரண்டு முக்கிய வகையான நீரிழிவு நோய்கள் உள்ளன.

1. வகை – I அல்லது இன்சுலினை பொருத்த நீரிழிவு நோய்

இந்த நோய் இளம் வயதில் வரும் பின் விரைவாக தீவிரமடையும்.

2. வகை – II அல்லது இன்சுலின் பொருத்தமையாத நீரிழிவு நோய்

இந்நோய் மெதுவாக உருவாகும். மிதமானது. மேலும் அடிக்கடி கண்காணிக்க முடியாமல் செல்லும்.

முதல் வகை நோய்க்கு இன்சுலின் தெரபி (Insulin therapy), வாழ்முழுவதும் உட்கொள்ளும் குளுக்கோஸ் மற்றும் எடுத்துக்கொள்ளும் இன்சுலின் அளவு இவற்றிற்கிடையேயான சதவிகித கட்டுப்பாடு தேவை. கீழ்க்கண்ட அறிகுறிகளின் மூலம் இன்சுலின் உருவாக்கத்தில் உள்ள குறைபாட்டை அறியலாம்.

1. இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸ் பிளாஸ்மா சவ்வின் வழியே ஊடுருவி செல்லுக்குள் செல்லும் தன்மை குறைவதால் இரத்தத்தில் குளுக்கோஸ் அளவு அதிகரிக்கிறது. இந்த நிலை ஹைபர்கிளைசீமியா (HyPerglycemia) என அழைக்கப்படுகிறது. குளுக்கோஸ் அளவு 500 மிகி / 100 மிலி இரத்தம் வரை அதிகரிக்கிறது.

2. பாலியூரியா (Polyuria)

அதிகளவு சிறுநீர் உடலிலிருந்து வெளியேறுதல் என்பது இதன் பொருளாகும். இது அதிகளவு குளுக்கோஸை சிறுநீரில் வெளியேற்றுவது (குளுக்கேஸுரியா) ஆகும்.

3. பாலிடிப்ஸியா (Polydipsia)

தாகம் அதிகமாக ஏற்படுவதால் அதிகளவு நீர் உட்கொள்ளப்படுகிறது. இந்நிலைக்கு பாலிடிப்ஸியா என்று அழைக்கப்படுகிறது. எடுத்துக் கொண்ட அதிகளவு நீரை வெளியேற்றுதல் பாலியூரியா மூலம் நடைபெறுகிறது.

4. பாலிபேஜியா (PolyPhagia)

இந்நிலையில் அதிகமான பசியால் அதிகளவு உணவு உட்கொள்ளப்படுகிறது. வளர்ச்சி தடைபடுவதை நிவர்த்தி செய்ய இது மேற்கொள்ளப்படுகிறது. நீரிழிவு நோயால் மிகுதியான பசி ஏற்படுவதால் அதிகளவு உணவு உட்கொள்ளப்பட்டாலும் உடல் எடை குறைந்து உடல் நலிவுறுகிறது.

5. ஆற்றல் உருவாக்கத்திற்கு குளுக்கோஸ் கிடைக்காததால் அடிப்போஸ் திசுவில் உள்ள கொழுப்பு அதிகளவு நகர்வு பெற்று வளர்சிதை மாற்றத்திற்கு உட்படுகிறது. ஆனால்

வளர்சிதைமாற்றம் முழுமையாக நடைபெறாததால் முடிவில் அதிகளவு கொழுப்பு வளர்சிதை மாற்ற இடைநிலை பொருட்கள் உருவாக்கப்படுகின்றன. அவை கீட்டோன் உடலங்கள் (Ketone bodies) என அழைக்கப்படுகின்றன. உதாரணம் அசிட்டோ அசிடேட் மற்றும் β– ஹைட்ராக்ஸி பியூட்டரேட் இந்த நிலை கீட்டோஸிஸ் (Ketosis) என அழைக்கப்படுகிறது. கீட்டோன் உடலங்கள் தீவிர அசிடோஸிஸை (Acidosis) உருவாக்குகிறது. இறுதியில் கோமா (Coma) உடல் செயலற்ற நிலையை உண்டாக்குகிறது.

6. லிப்பிடுகள் இரத்த குழாய் சுவர்களில் படிவதால் 'அதிரோஸ்கெலிரோசிஸ்' (Atherosclerosis) என்ற நோய் உண்டாகிறது.

இரத்தம் மற்றும் சிறுநீரின் உயிர் வேதியியல் அளவீடுகள் நீரிழிவு நோய்க்கு சிகிச்சை அளிக்க இன்றியமையாதது. இது துல்லியமாக குளுக்கோஸ் தாங்கும் சோதனை (GTT) மூலம் நிகழ்த்தப்படுகிறது.

3.6.1 குளுக்கோஸ் தாங்கும் சோதனை (Glucose Tolerance Test)

இரவில் உணவு உட்கொள்ளாமல் மறுநாள் நோயாளிக்கு சோதனை அளவாக 100 கி குளுக்கோஸ் ஒரு டம்ளர் நீரில் கரைக்கப்பட்டு வழங்கப்படுகிறது. குளுக்கோஸ் கொடுப்பதற்கு முன்பும் கொடுத்த பின்பும் 30 நிமிட நேர இடைவெளியில் இரத்தத்தின் குளுக்கோஸ் அளவு அளவிடப்படுகிறது. சாதாரணமானவர் உடலில் குளுக்கோஸ் உடனே இரத்ததிற்கு உறிஞ்சப்பட்டு 80 முதல் 120 மி.கி / 100 மி.லி இரத்தம் அளவிற்கு உயரும் அதன்பின் உயராது. சிறுநீரில் குளுக்கோஸ் இல்லாமலும் அல்லது சிறிதளவு காணப்படும். நீரிழிவு நோய் உள்ளவர்களில் உடலில் மிக குறைந்த அளவே குளுக்கோஸ் உறிஞ்சப்படுகிறது. இதனால் இரத்தத்தில் குளுக்கோஸ் அளவு மிகவும் அதிகரித்துக் கொண்டே செல்கிறது. சிறுநீரகத்தின் செயல் அளவு (Threshold) (180 மி.கி/ 100 மி.லி) விட அதிகரிக்கிறது. இதனால் அவர்களின் சிறுநீரில் குளுக்கோஸ் காணப்படுகிறது.

பயிற்சிகள்

I. கீழ்கண்ட நான்கு விடைகளுள் சரியான விடையை தேர்ந்தெடு.

1. இரத்த சர்க்கரை என்பது

அ. சுக்ரோஸ் ஆ. லாக்டோஸ்

இ. குளுக்கோஸ் ஈ. ஃப்ரக்டோஸ்

2. கிளைக்காலைசிஸ் இங்கு நடைபெறுகிறது

அ. மைட்டோகாண்டிரியா ஆ. சைட்டோபிளாசம்

இ. உட்கரு ஈ. ரிபோசோம்

3. கிளைக்காலைசிஸில் எத்தனை மூலக்கூறுகள் ATP உருவாக்கப்படுகிறது.

அ. 2 ஆ. 10

இ. 6 ஈ. 8

4. எந்த நொதி கிளைக்காலைசிஸ் மற்றும் TCA சுழற்சியை இணைக்கிறது

அ. குளுக்கோகைனேஸ் ஆ. PFK

இ. LDH ஈ. பைருவேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ்

5. வினைப்படு பொருளின் அளவில் பாஸ்பாரிலேற்றம் செய்தலில் கீழ்கண்டவற்றுள் எந்நொதி ஈடுபடுகிறது.

அ. சிட்ரேட் சிந்தேஸ் ஆ. ஐசோசிட்ரேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ்

இ. சக்சினைல் CoA சிந்தடேஸ் ஈ. ப்யூமரேஸ்

6. கிளைக்காலைசிஸில் எத்தனை மீளா படிகள் உள்ளன ?

அ. 2 ஆ. 4

இ. 3 ஈ. 5

7. கிளைக்காலைசிஸில் இறுதிப் பொருளாக உள்ளது ?

அ. பைருவேட் ஆ. சிட்ரேட்

இ. அசிடைல் CoA ஈ. லாக்டேட்

8. HMP ஷன்ட் வழிமுறையில் உருவாக்கப்படும் முக்கியமான ஒடுக்கும் ஆற்றல்

அ. NADH ஆ. NADPH

இ. FAD ஈ. $FADH_2$

9. பைருவேட்டை ஆக்ஸலோ அசிட்டேட்டாக மாற்றுவது

அ. பைருவேட் கார்பாக்ஸிலேஸ் ஆ. பைருவேட் கைனேஸ்

இ. PFK ஈ. பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட் கைனேஸ்

10. இங்கு லாக்டேட் குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது.

அ. தசை ஆ. கல்லீரல்

இ. சிறுநீரகம் ஈ. நுரையீரல்

11. இன்சுலினை சுரப்பது

அ. கல்லீரல் ஆ. சிறுநீரகம்

இ. கணையம் ஈ. தைராய்டு

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக

1. குளுக்கோகைனேஸ் செயலால் குளுக்கோஸ் _____ ஆக மாற்றப்படுகிறது.

2. ஈனலேஸ் நொதியால் 2, பாஸ்போ கிளிசெரேட் _____ ஆக மாற்றப்படுகிறது.

3. காற்றில்லாத நிலைமையில் ஒரு மூலக்கூறு குளுக்கோஸ் _____ மூலக்கூறுகள் ATPயை உருவாக்குகிறது.

4. ட்ரைகார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சி _____ பகுதியில் நடைபெறுகிறது.

5. _____ நியூக்ளியோசைடு தொகுத்தலில் முதல் நிலை சேர்மமாக உள்ளது.

6. கிளைக்கோஜன் உயிர் தொகுத்தல்_____எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

7. அசைபோடும் உயிரினங்களில் _____ கார்போஹைட்ரேட்களின் முக்கிய மூலமாகும்.

III. சரியா ? தவறா ?

1. 1, 3 –பிஸ்பாஸ்போகிளிசெரேட்டை, பாஸ்போகிளிசெரேட் கைனேஸ் 3, பாஸ்போகிளி செரட்டாக மாற்றுகிறது.
2. பைருவேட் கைனேஸ் மீள் முறையில் செயல்படுகிறது.
3. ட்ரைகார்பாக்ஸிலிக் அமில சுழற்சியில் 24 ATP மூலக்கூறுகள் உருவாக்கப்படுகின்றன.
4. கிளைக்கோஜன் தொகுத்தலில் UDP குளுக்கோஸ் பைரோபாஸ்பாரிலேஸ் ஈடுபடுகிறது.
5. குளுக்கோஸ் சிதைவடைதல் கிளைக்காலைசிஸ் என அழைக்கப்படுகிறது.
6. கிளைக்காலைசிஸில் இறுதிப் பொருள் பைருவேட் ஆகும்.

IV. பொருத்துக

1.	கிளைக்காலைசிஸ்	–	ரிபோஸ் 5– பாஸ்பேட்
2.	PDH	–	இன்சுலின்
3.	HMP ஷன்ட் வழிமுறை	–	சைட்டோபிளாசம்
4.	கிளை நீக்கும் நொதி	–	அசிடைல் CoA
5.	நீரிழிவு நோய்	–	கிளைக்கோ ஜீனோலைஸிஸ்
6.	TCA	–	கிளிசெரால்
7.	லிப்பிடு	–	மைட்டோகாண்டிரியா

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு சுருக்கமாக விடையளி

1. காற்றுள்ள மற்றும் காற்றில்லாத நிலைமைகள் என்றால் என்ன ?
2. TCA சுழற்சியில் NADH உருவாக்கத்தில் ஈடுபடும் நொதிகளின் பெயர்களை குறிப்பிடுக.
3. NADH மற்றும் NADPH இவற்றிற்கிடையே உள்ள வேறுபாடு யாது ?
4. கிளைக்கோஜெனிஸிஸ் என்றால் என்ன ?
5. கிளைக்காலைசிஸில் உள்ள மூன்று முக்கிய மீளா வினைகளை எழுதுக.
6. கிளைக்கோஜீனோலைஸிஸ் – விளக்குக.
7. குளுக்கோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் யாவை ?
8. பைருவேட் எவ்வாறு லாக்டேட்டாக மாற்றப்படுகிறது ?
9. GTT பற்றி குறிப்பு வரைக.

VI. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விடையளி

1. கிளைக்காலைசிஸில் நடைபெறும் வினைகள் யாவை ?
2. TCA சுழற்சியில் ஈடுபடும் படிகளை விவரி.
3. HMP ஷன்ட் வழிமுறையை விளக்குக.
4. கோரி சுழற்சி பற்றி குறிப்பு வரைக.
5. கிளைக்கோஜன் வளர்சிதை மாற்றத்தில் ஈடுபடும் படிகள் யாவை ?
6. பைருவேட் எவ்வாறு குளுக்கோஸாக மாற்றப்படுகிறது ?
7. நீரிழிவு நோய் பற்றி விளக்குக.

பாடம் – 4
புரதங்களின் வளர்சிதை மாற்றம்

முன்னுரை

செல்களில் அமினோ அமிலங்கள் சீராக ஒன்றுடன் மற்றொன்று பெப்டைடு பிணைப்பால் இணைக்கப்பட்டு உருவாவதே புரதம் ஆகும். இச்செயல் புரத உயிர்தொகுப்பு (Protein biosynthesis) எனப்படுகிறது நீள் பாலிபெப்டைடு சங்கிலியை உருவாக்குவதற்கு அமினோ அமிலங்கள் இணைக்கப்படுகின்றன. பாலிபெப்டைடு சங்கிலி புரதம் ஒன்றின் ஓரலகாகும்.

4.1 புரத உயிர் தொகுப்பு

புரத மூலக்கூறில் அமினோ அமிலங்கள் பெப்டைடு பிணைப்பால் இணைக்கப்பட்டுள்ளன. புரத உயிர் தொகுப்பு செயல் mRNAவை மொழிப்பெயர்த்தல் எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. இங்கு அமினோ அமிலங்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையில் ஒன்றுடன் ஒன்று சேர்க்கப்படுகின்றன.

புரத உயிர்தொகுத்தல் வழிமுறை கீழ்கண்ட படிகளில் நடைபெறுகிறது.

DNA $\xrightarrow{\text{படியெடுத்தல்}}$ RNA $\xrightarrow{\text{மொழிப்பெயர்த்தல்}}$ புரதம்

4.1 படியெடுத்தல் (Transcription)

DNA இழைக்கு இணையான RNA இழையை உருவாக்குவதே படியெடுத்தல் எனப்படுகிறது. இங்கு புரதம் தொகுத்தலுக்கு தேவையான RNA க்கள் DNA இழைகளிலிருந்து தொகுக்கப்படுகின்றன. RNA பாலிமெரேஸ் என்ற நொதியால் இவ்வினை நடைபெறுகிறது.

யூகேரியோட்டுகளில் மூன்று வகையான RNA பாலிமெரேஸ் நொதிகள் காணப்படுகின்றன.

நொதிகள்	உருவாக்கும் RNA
RNA பாலிமெரேஸ் I	ரிபோசோமல் RNA
RNA பாலிமெரேஸ் II	தூதுவர் RNA
RNA பாலிமெரேஸ் III	இடமாற்றம் RNA

புரோகேரியோட்டுகளில் ஒரே வகையான RNA பாலிமெரேஸ் மேற்கண்ட மூன்று வகையான RNA க்களை தொகுக்கிறது. DNA இரட்டை திருகு சுருளில் உள்ள ஒரு இழை RNA உருவாக்கத்திற்கு டெம்பிளேட் (Template) இழையாக செயல்படுகிறது. படியெடுத்தலில் உருவாகும் RNA செயல்திறனற்றது. எனவே இது செயலற்ற RNA (Pre RNA) என அழைக்கப்படுகிறது. இச்செயலற்ற RNA பல மாற்றங்களுக்கு பின் செயலுள்ள RNA வாக மாற்றப்படுகிறது. வேதிவினைகள் மற்றும் அமைப்பில் செய்யப்படும் மாற்றங்களால் இந்த செயலுள்ள RNA உருவாக்கப்படுகிறது.

4.2 மொழிப்பெயர்த்தல் (Translation)

DNA வில் உள்ள காரங்களின் வரிசைக்கேற்ப mRNA படியெடுக்கப்படுகிறது. mRNA வில் உள்ள கார வரிசைகளின் படி அமினோ அமிலங்கள் சீராக இணைக்கப்பட்டு பாலிபெப்டைடு சங்கிலி உருவாக்கப்படுகிறது. இச்செயலே மொழிப்பெயர்த்தல் எனப்படுகிறது.

மொழிப்பெயர்த்தல் கீழ்கண்ட படிகளில் நடைபெறுகின்றன.

1. அமினோ அமிலம் கிளர்வுறப்படுதல்
2. கிளர்வுற்ற அமினோ அமிலம் tRNA விற்கு மாற்றப்படுதல்
3. பாலிபெப்டைடு சங்கிலி உருவாக்கத்தின் துவக்கம்
4. பாலிபெப்டைடு சங்கிலி நீளும் செயல்
5. பாலிபெப்டைடு சங்கிலி முடியும் செயல்

4.2.1 அமினோ அமிலம் கிளர்வுறப்படுதல் (Activation of amino acid)

புரதங்களின் உருவாக்க அலகுகளான அமினோ அமிலங்கள் சைட்டோபிளாசத்தில் காணப்படுகின்றன. அமினோ அமிலங்கள் tRNA விற்கு மாற்றப்படுவதற்கு முன் கிளர்வுற செய்யப்படுகின்றன. அமினோ அசைல் சிந்தடேஸ் (E) என்ற நொதியின் உதவி கொண்டு ATP யால் அமினோ அமிலங்கள் கிளர்வுற செய்யப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு அமினோ அமிலத்தின் கிளர்வுறுதலுக்கும் ஒரு குறிப்பிட்ட அமினோ அசைல் சிந்தடேஸ் நொதி செயல்படுகிறது.

கிளர்வுற்ற அமினோ அமிலம் அமினோ அசைல் அடினைலேட் அல்லது அமினோ அசைல் AMP என அழைக்கப்படுகிறது. பைரோபாஸ்பேட் இங்கு வெளியிடப்படுகிறது.

$$\underset{\text{அமினோ அமிலம்}}{AA} + ATP \xrightarrow[\text{சிந்தடேஸ் (E)}]{\text{அமினோ அசைல்}} \underset{\text{அமினோ அசைல் AMP}}{E - AA - AMP} + PPi$$

4.2.2 கிளர்வுற்ற அமினோ அமிலம் tRNA விற்கு மாற்றப்படுதல் (Transfer of activated amino acid to tRNA)

மேற்கண்ட படியில் ஈடுபட்ட அதே நொதி இங்கு செயல்பட்டு அமினோ அமிலத்தை tRNA வின் 3' முனையில் உள்ள ரிபோஸின் OH தொகுதிக்கு மாற்றுகிறது தொகுதி மாற்றத்திற்கு அதிக ஆற்றலை கொண்டுள்ள எஸ்டர் பிணைப்பு உருவாகிறது. இந்த வினையில் AMP மற்றும் அமினோ அசைல் சிந்தடேஸ் (E) நொதி வெளியிடப்படுகின்றன.

$$E - AA - AMP + tRNA \xrightarrow[\text{tRNA சிந்தடேஸ்}]{\text{அமினோ அசைல்}} AA - tRNA + AMP + E$$

4.2.3 பாலிபெப்டைடு சங்கிலி உருவாக்கத்தின் துவக்கம் (Initiation of poly peptide chain)

முதல் அமினோ அமிலத்தை தேர்ந்தெடுத்து ரிபோசோமிற்கு மாற்றுவதன் மூலம் புரத தொகுப்பு துவங்கப்படுகிறது. இச்செயலுக்கு ரிபோசோம் துணை அலகுகள், அமினோ அசைல் tRNA கூட்டுச் சேர்மம், mRNA மற்றும் துவக்க காரணிகள் If (Initiation factors) போன்றவை தேவைப்படுகின்றன. பாலி பெப்டைடு சங்கிலி உருவாக்கத்தின் துவக்கம் கீழ்கண்ட படிகளில் நடைபெறுகிறது.

1. 30S ரிபோசோமல் துணை அலகு mRNA வின் 5' முனையில் ஒட்டிக்கொண்டு mRNA 30S கூட்டுக் சேர்மத்தை உண்டாக்குகிறது.

2. mRNAவில் உள்ள முதல் கோடான் எப்பொழுதும் AUG ஆகும். இக்கோடன் மெத்தியோனின் அமினோ அமிலத்தை குறியீடு செய்கிறது. அதனால் தொகுக்கப்படும் எல்லா பாலிபெப்டைடு சங்கிலியிலும் மெத்தியோனின் முதல் அமினோ அமிலமாக உள்ளது.

படம் 4.1. 30 S ரிபோசோமல் துணை அலகு mRNA வின் 5' முனையில் ஒட்டிக்கொள்ளுதல்

3. எதிர்கோடான் UAC யை கொண்டுள்ள (AUGக்கு இணையான) tRNA மெத்தியோனை 30S ரிபோசோம் துணை அலகிற்கு மாற்றுகிறது. மேலும் mRNA வில் உள்ள துவக்க கோடானுடன் ஒட்டிக் கொள்கிறது. tRNA மற்றும் mRNA 30S ரிபோசோம் துணை அலகு இணைந்து ஒரு கூட்டுச் சேர்மத்தை உண்டாக்குகின்றன (Preinitiation complex) அது 30S துவக்கத்திற்கு முற்பட்ட கூட்டுச் சேர்மம் எனப்படுகிறது. இச்செயலுக்கு துவக்க காரணிகள் மற்றும் GTP தேவைப்படுகின்றன.

படம் 4.2 துவக்கத்திற்கு முற்பட்ட கூட்டுச் சேர்மம் உருவாதல்

4. 30S துவக்கத்திற்கு முற்பட்ட கூட்டுச் சேர்மம் 50S ரிபோசோமல் துணை அலகுடன் இணைந்து துவக்க கூட்டு சேர்மத்தை உண்டாக்குகிறது (Initiation Complex). துவக்க கூட்டுச் சேர்மம் 70S ரிபோசோம், mRNA மற்றும் met- RNA (மெத்தியோனைன் RNA) ஆகியவற்றை பெற்றுள்ளது.

5. 70S ரிபோசோம் அமினோ அசைல் tRNA நுழைவதற்காக இரண்டு பகுதிகளை முறையே P பகுதி (பெப்டிடைல் பகுதி) மற்றும் A பகுதி (அமினோ அமில பகுதி) கொண்டுள்ளது. முதல் tRNA அதாவது met RNA 70S ரிபோசோமின் P பகுதியில் ஒட்டிக் கொள்கிறது.

படம் 4.3 துவக்க கூட்டுச் சேர்மம் உருவாதல்

4.2.4 பாலிபெப்டைடு சங்கிலி நீளும் செயல் (Elongation of poly peptide chain)

mRNA வில் உள்ள கோடான்களுக்கு ஏற்ப அமினோ அமிலங்கள் மெத்தியோனினுடன் சீராக சேர்க்கப்படுவது நீளும் செயல் எனப்படுகிறது. இது கீழ்க்கண்ட படிகளில் நடைபெறுகிறது.

1. mRNA வின் இரண்டாவது கோடான் அங்கீகரிக்கப்படுகிறது. இக்கோடானுக்கு இணையான எதிர்கோடானை கொண்டுள்ள அமினோ அசைல் tRNA, 70S ரிபோசோமின் A பகுதியில் இணைகிறது. இங்கு எதிர்கோடானில் உள்ள காரங்கள் mRNAவில் உள்ள இரண்டாவது கோடானுடன் பிணைப்பை ஏற்படுத்துகின்றன.

படம் 4.4 70S ரைபோசோமின் A பகுதியில் இரண்டாவது tRNA இணைதல்

2. P பகுதியில் உள்ள முதல் அமினோ அமிலத்தின் கார்பாக்ஸில் தொகுதிக்கும் (-COOH) A பகுதியில் உள்ள இரண்டாவது அமினோ அமிலத்தின் அமினோ தொகுதிக்கும் இடையே பெப்டைடு பிணைப்பு உண்டாகிறது. இப்பிணைப்பு இரண்டு அமினோ அமிலங்களை இணைத்து டைபெப்டைடை உருவாக்குகிறது. 50S ரைபோசோமல் துணை அலகில் உள்ள பெப்டிடைல் டிரான்ஸ்பெரேஸ் (Peptidyl Transferase) என்ற நொதியால் இப்பிணைப்பு உண்டாகிறது.

3. பெப்டைடு பிணைப்பு உருவான பிறகு tRNA டிஅசைலேஸ் என்ற நொதியால் மெத்தியோனைன் மற்றும் tRNA பிரிக்கப்படுகின்றன.

4. பிரிக்கப்பட்ட tRNA, 70S ரிபோசோமின் P–பகுதியில் இருந்து சைட்டோபிளாசத்திற்கு விடுவிக்கப்படுகிறது. இது மீண்டும் அமினோ அசைலேற்ற வினைக்கு பயன் படுத்தப்படுகிறது.

5. இப்போது ரிபோசோம் mRNA வின் மீது 5' → 3' என்ற திசையில் நகர்கிறது. அதனால் முதல் கோடான் ரிபோசோமிலிருந்து வெளிப்படுகிறது. இரண்டாவது கோடான் A பகுதியிலிருந்து P பகுதிக்கு வருகிறது. மேலும் மூன்றாவது கோடான் A பகுதியை அடைகிறது. இதைப் போலவே இரண்டாவது tRNA A பகுதியிலிருந்து P பகுதிக்கு நகர்வடைதல் போன்ற அனைத்து செயல்களும் 'டிரான்ஸ்லொகேஷன்' எனப்படுகின்றன. இச்செயல் டிரான்ஸ்லொகேஸ் என்ற நொதியால் நடைபெறுகிறது.

6. மூன்றாவது கோடான் அங்கீகரிக்கப்படுகிறது. இக்கோடானிற்கு இணையான எதிர்கோடானை கொண்டுள்ள அமினோ அசைல் tRNA 70S ரிபோசோம் பகுதிக்கு நகர்வு பெற்று A பகுதியில் இணைகிறது. எதிர்கோடான் கோடானுடன் பிணைப்பை ஏற்படுத்துகிறது. A பகுதியில் உள்ள மூன்றாவது அமினோ அமிலத்திற்கும், P பகுதியில் உள்ள டை பெப்டைடின் இரண்டாவது அமினோ அமிலத்திற்கும் இடையே பெப்டைடு பிணைப்பு உண்டாகிறது. இதன் மூலம் ட்ரைபெப்டைடு உருவாகிறது.

படம் 4.5 ரிபோசோம் 5' → 3' என்ற திசையில் நகர்வடைதல்

7. mRNA வில் உள்ள கோடான்களுக்கு ஏற்ப அமினோ அமிலங்கள் ஒன்றன் பின் ஒன்றாக சேர்க்கப்படுகின்றன. இதனால் ட்ரைபெப்டைடு பாலி பெப்டைடு சங்கிலியாக மாற்றப்படுகிறது. அமினோ அமிலங்கள் மேலும் மேலும் சேர்க்கப்படுவதால் பாலிபெப்பைடு சங்கிலி நீளமாக்கப்படுகிறது.

8. நீளமாக்கும் காரணிகள் (Elongation factors) என்ற புரத காரணிகளால் பாலிபெப்டைடு சங்கிலி நீளமாக்கப்படுதல் நடைபெறுகிறது.

4.2.5 பாலிபெப்டைடு சங்கிலி முடியும் செயல் (Termination of polypeptide chain)

பாலிபெப்டைடு சங்கிலி உருவாதல் முடிவடைதலே பாலி பெப்டைடு சங்கிலி முடியும் செயல் எனப்படுகிறது. இச்செயலால் பாலிபெப்டைடு சங்கிலி முடிவடையச் செய்யப்பட்டு வெளியிடப்படுகிறது. ரிபோசோம் mRNA வின் 3' முனையை அடையும் போது பாலிபெப்டைடு சங்கிலி உருவாதல் முடிவடைகிறது.

mRNAவின் 3' முனை நிறுத்த கோடான்கள் அல்லது முடிக்கும் (Stop or Termination) கோடான்களை பெற்றுள்ளது. அவை UAG அல்லது UAA அல்லது UGA ஆகும். பாலி பெப்டைடு சங்கிலி முடியும் செயல், முடிக்கும் புரதக்காரணிகளால் (Terminating Protein factors) நடைபெறுகிறது. முடிக்கப்பட்ட பாலிபெப்டைடு சங்கிலி ரிபோசோமிலிருந்து வெளியிடப்படுகிறது.

படம் 4.6 ரிபோசோம் நிறுத்த அல்லது முடிக்கும் கோடானை அடைதல்

பாலிபெப்டைடு சங்கிலி வெளியிடப்பட்ட பின், 70S ரிபோசோமல் அலகு 50S மற்றும் 30S ரிபோசோம் துணை அலகுகளாக பிரிகையடைகிறது. இந்த துணை அலகுகள் துவக்க கூட்டுச் சேர்மம் உருவாக்கத்திற்கு மீண்டும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

படம் 4.7 மொழிப்பெயர்த்தல் முடிவடைதல்

மொழிப்பெயர்த்தலுக்கு பின் வெளியிடப்பட்ட பாலிபெப்டைடு சங்கிலி செயல் திறனற்றது. இது செயல்திறனுள்ளதாக மாற்றப்படுகிறது. இந்த செயலில் துவக்க அமினோ அமிலமான மெத்தியேனைன் நீக்கப்படுகிறது. மெத்தயோனைனுடன் சில அமினோ அமிலங்கள் பாலிபெப்டைடு சங்கிலியின் N – முனையிலிருந்து நீக்கப்படுகின்றன. இச்செயல்கள் டிபார்மைலேஸ் (Deformylase) மற்றும் அமினோ பெப்டிடேஸ் (Amino peptidase) என்ற நொதிகளால் நடைபெறுகிறது. மேற்கூறிய அனைத்து செயல்களும் மொழி பெயர்த்தலுக்கு பின் நடைபெறும் மாற்றங்கள் (Post translational modifications) என அழைக்கப்படுகின்றன.

4.3 புரதங்களின் வளர்சிதை மாற்றம்

உட்கொள்ளப்பட்ட புரதங்கள் புரோட்டினேஸ்கள் என்ற பெப்டைடு பிணைப்பை உடைக்கும் நொதிகளால் அமினோ அமிலங்களாக மாற்றப்படுகின்றன.

4.3.1 அமினோ அமிலங்களின் பொதுவான வினைகள்

அமினோ நீக்கம், அமினோ மாற்றம் (டிரான்ஸ் அமினேஷன்) மற்றும் கார்பாக்ஸில் நீக்கம் போன்றவை அமினோ அமிலங்களின் பொதுவான வினைகள் ஆகும். அமினோ தொகுதி நீக்கம் மற்றும் அமினோ தொகுதி மாற்றம் போன்ற வினைகள் மூலம் கீட்டோ அமிலங்கள் உருவாகின்றன. இவை மேலும் மாற்றத்திற்கு உட்படுகின்றன. கீட்டோ அமிலங்கள் மற்றும் அமினோ அமிலங்களுக்கிடையே ஏற்படும் மாற்றத்தால் பல இன்றியமையாத அமினோ அமிலங்கள் தொகுக்கப்படுகின்றன. இவை புரத தொகுப்பிற்கும் முக்கியமான புரதமற்ற நைட்ரஜன் பொருட்களை தொகுப்பதற்கும் அமினோ அமிலங்களை வழங்குகின்றன. கல்லீரலில்

அமினோ அமிலங்கள் சேமித்து வைக்க முடியாததால் புரத தொகுத்தலின் போது அமினோ அமிலங்கள் இரத்தத்தில் இருந்து உறிஞ்சப்படுகின்றன.

4.3.2 அமினோ அமிலங்கள் சிதைவடைதல் (Catabolism of amino acids)

ஒவ்வொரு அமினோ அமிலமும் அதற்கே உரிய வளர்சிதை மாற்ற பாதையை பெற்றிருப்பினும், சில பொதுவான வேதி வினைகள் அனைத்து அமினோ அமிலங்களின் வளர்சிதை மாற்ற பாதைகளில் காணப்படுகின்றன. பெரும்பாலான அமினோ அமிலங்கள் அவற்றிலுள்ள நைட்ரஜன் அம்மோனியாவாக மாற்றி நீக்கப்பட்டு α–கீட்டோ அமிலங்களாக மாற்றப்படுகின்றன. உருவான அம்மோனியா உடனடியாக யூரியாவாக மாற்றப்படுகிறது அல்லது மற்ற அமினோ அமிலங்களுக்கு மாற்றப்படுகிறது.

1. ஆக்ஸிஜனேற்ற அமினோ நீக்கம் (Oxidative deamination)

அமினோ நீக்கம் என்றால் அமினோ தொகுதியை அமினோ அமிலத்திலிருந்து நீக்குவதாகும். இந்த வழிமுறையில் அமினோ அமிலங்கள் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களை இழந்து (ஹைட்ரஜன் நீக்கம்) கீட்டோ அமிலங்கள் மற்றும் அம்மோனியாவை தருகின்றன.

ஆக்ஸிஜனேற்ற அமினோ நீக்கம் ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் இணைந்தே நடைபெறுகிறது. கல்லீரல் மற்றும் சிறுநீரகம் பெற்றுள்ள தெரிவுத் தன்மைகொண்ட அமினோ அமில ஆக்ஸிஜனேற்ற நொதிகள் அல்லது குறிப்பாக டீஹைட்ரோஜினேஸ்கள் மூலம் ஆக்ஸிஜனேற்றம் நடைபெறுகிறது. ஆக்ஸிஜனேற்ற அமினோநீக்கம் இருபடிகளில் நடைபெறுகிறது.

முதல் படியில் அமினோ அமிலங்கள் ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்து (ஹைட்ரஜன் நீக்கம்) இமினோஅமிலங்களாக மாற்றப்படுகின்றன. உருவாகும் இமினோ அமிலங்கள் இரண்டாவது படியில் நீராற் பகுப்பிற்கு உட்பட்டு கீட்டோ அமிலங்களாகவும் அம்மோனியாகவும் மாற்றப்படுகின்றன.

அமினோ அமிலம் இமினோ அமிலம் கீட்டோஅமிலம்

முதல் வினை அமினோ அமில ஆக்ஸிஜனேற்றி (டிஹைட்ரோஜினேஸ்) நொதியால் நடைபெறுகிறது. துணை நொதி FAD அல்லது FMN ஹைட்ரஜனை ஏற்றுக் கொள்கிறது. அமினோ அமில ஆக்ஸிஜனேற்றிகள் தாம் செயல்படும் வினைபடு பொருள்களுக்கேற்ப (Substrate) இரு வகைப்படும்.

1. L – அமினோ அமில ஆக்ஸிஜனேற்றி இது L – அமினோ அமிலங்கள் மீது செயல்படுகிறது. (FMN துணை நொதியாக செயல்படுகிறது).
2. D – அமினோ அமில ஆக்ஸிஜனேற்றி இது D – அமினோ அமிலங்கள் மீது செயல்படுகிறது (FAD துணை நொதியாக செயல்படுகிறது).

FMN துணைநொதி கல்லீரல் மற்றும் சிறுநீரகத்தில் மட்டும் காணப்படுகிறது. ஆனால் FAD துணைநொதி அனைத்து விலங்கு திசுக்களிலும் காணப்படுகிறது. ஆக்ஸிஜனேற்ற அமினோ நீக்கம் முக்கியமாக கல்லீரலில் நடைபெறுகிறது. ஆனால் சிறுநீரகம் மற்றும் மற்ற திசுக்களும் ஈடுபடுகின்றன.

L – குளுட்டமிக் அமிலத்தின் ஆக்ஸிஜனேற்ற அமினோ நீக்கம் விதி விலக்கு. இங்கு Zn கொண்டுள்ள நொதி L – குளுட்டமிக் அமில டீ ஹைட்ரோஜினேஸ் மட்டுமல்லாமல் துணை NAD^+ நொதி அல்லது $NADP^+$ தேவைப்படுகிறது.

L–குளுட்டமிக் அமிலம் α- இமினோ குளுட்டமிக் அமிலம்

NADH, NAD^+ ஆக எலக்ட்ரான் நகர்வு சங்கிலியில் ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகிறது.

α- இமினோ குளுட்டமிக் அமிலம் α- கீட்டோ குளுட்டாரிக் அமிலம்

மேற்கண்ட வினை மீள் வினையாக இருப்பதால் அமினோ அமிலங்களின் சிதைவு (catabolism) மற்றும் உயிர் தொகுப்பு (biosynthesis) ஆகிய இரண்டு செயல்களிலும் இவ்வினை நடைபெறுகிறது.

2. அமினோ மாற்றம் (Transamination)

ஒரு அமினோ அமிலத்தின் அமினோ தொகுதியை ஒரு கீட்டோ அமிலத்திற்கு மாற்றுவதால் புதிய அமினோ அமிலம் மற்றும் கீட்டோ அமிலம் உருவாகிறது. இச்செயல் அமினோ மாற்றம் எனப்படுகிறது. வேறுவகையில் ஒரு அமினோ அமிலத்தின் அமினோ நீக்கம் ஒரு கீட்டோ அமிலத்தின் அமினோ ஏற்றத்துடன் இணைந்தது.

அமினோ மாற்ற நொதிகள் (Transaminases) அல்லது அமினோ டிரனான்ஸ்பெரேஸ்கள் என்ற நொதிகளின் செயல்களால் அமினோ மாற்ற வினை நடைபெறுகிறது. பிரிடாக்ஸால் பாஸ்பேட் (Pyridoxal phosphate) துணை நொதியாக செயல்படுகிறது. அமினோ மாற்ற வினைகளில் ஈடுபடும் இரண்டு செயல்திறன் மிக்க நொதிகள் திசுக்களில் உள்ளன. அவை

1. அஸ்பார்டேட் அமினோ டிரான்ஸ்பெரேஸ் (AST – Asparate aminotransferase). இது குளுட்டமேட் – ஆக்ஸலோ அசிடேட் அமினோ மாற்றி (GOT) எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.
2. அலனின் அமினோ டிரான்ஸ்பெரேஸ் (ALT – Alanine amino transferase) இது குளுட்டமேட் – பைருவேட் அமினோ மாற்றி (GPT) எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

1. AST

L - குளுட்டமேட் + ஆக்ஸலோ அசிட்டேட் $\xrightleftharpoons{AST}$ α- கீட்டோகுளுட்டரேட் + L- அஸ்பார்டேட்

2. ALT

இந்த நொதியின் மூலம் அமினோ தொகுதி குளுட்டமேட்டில் இருந்து பைருவேட்டிற்கு மாற்றப்படுகிறது. முடிவில் α–கீட்டோகுளுட்டாரிக் அமிலமும் அலனின் உருவாகிறது.

L - குளுட்டமேட் + பைருவேட் $\xrightleftharpoons{ALT}$ α- கீட்டோகுளுட்டரேட் + L - அலனின்

3. கார்பாக்ஸில் நீக்கம் (Decarboxylation)

அமினோ அமிலத்தின் கார்பாக்ஸில் தொகுதியில் இருந்து CO_2 நீக்கப்படுவது கார்பாக்ஸில் நீக்கம் எனப்படுகிறது. CO_2 நீக்குவதற்கு வினைவேக மாற்ற செயல்கொண்ட நொதிகளான கார்பாக்ஸில் நீக்கிகள் (டிகார்பாக்ஸிலேஸ்) மற்றும் பிரிடாக்ஸால் பாஸ்பேட் துணை நொதியும் தேவைப்படுகிறது. இந்த நொதிகள் அமினோ அமிலங்களின் மீது செயல்படும் போது அவற்றிற்கிணையான அமீன்கள் உண்டாகிறது உடன் CO_2 வெளியிடப்படுகிறது.

பல அமினோ அமில டிகார்பாக்ஸிலேஸ் நொதிகள் உடலின் பல்வேறு திசுக்களில் கல்லீரல், சிறுநீரகம், குடல், கணையம், நுரையீரல் மற்றும் மூளையில் காணப்படுகிறது. இவை அமினோ அமிலங்களை அவற்றிற்கு இணையான அமீன்களாக மாற்றுகின்றன. உதாரணமாக ஹிஸ்டிடின் அமினோ அமிலம், ஹிஸ்டிடின் டிகார்பாக்ஸிலேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் ஹிஸ்டமீனாக மாற்றப்படுகிறது.

அமினோ அமிலம் டிரிப்டோபன் டிரிப்டமீனாகவும், தைரோஸின் தைரமீனாகவும் மாற்றப்படுகின்றன. இந்த அமீன்கள் உயிர் செயல் மிக்க அமீன்கள் (Biogenic amines) எனப்படுகின்றன. இவை உடற்கூறு முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை.

4. மெத்தில் மாற்றம் (Transmethylation)

ஒரு சேர்மத்திலிருந்து மெத்தில் தொகுதி மற்றொரு சேர்மத்திற்கு மாற்றப்படுவது மெத்தில் மாற்றம் எனப்படும். இச்செயலில் ஈடுபடும் நொதிகள் மெத்தில் மாற்றிகள் (Transmethylases) எனப்படுகின்றன.

மெத்தில் தொகுதி மாற்றத்தில் பொதுவாக மெத்தியோனின் (மெத்தில் தொகுதியை கொண்டுள்ள அமினோ அமிலம்) ஈடுபடுகிறது. இந்த மெத்தில் தொகுதி மாற்றத்தின் மூலமாக பல்வேறு முக்கியமான உடலில் செயல்திறன் மிக்க சேர்மங்களான எபினெப்ரின், கிரியாடின், தையமின் மற்றும் கோலின் போன்ற சேர்மங்கள் தொகுக்கப்படுகின்றன. நச்சுத் தன்மையுள்ள சில சேர்மங்கள் இந்த மாற்றத்தின் மூலம் நச்சுத் தன்மையற்ற சேர்மங்களாக மாற்றப்படுகின்றன. உதாரணமாக நிக்கோடினிக் அமிலம் (நச்சுத்தன்மை கொண்டது) மெத்தியோனினால் நச்சுத் தன்மையற்ற மெத்தில் பெறுதியான N–மெத்தில் நிக்கோடினமைடாக மாற்றப்படுகிறது.

மெத்தியோனின் தான் முதன்மை மெத்தில் தொகுதி வழங்கியாக (Methyl group donor) உள்ளது. மெத்தியோனின் ATP யால் கிளர்வுற செய்யப்பட வேண்டும். இதற்கு கல்லீரலில் உள்ள மெத்தியோனினை கிளர்வுற செய்யும் நொதியான மெத்தியோனின் அடினோசைல் டிரான்ஸ்பெரேஸ் தேவைப்படுகிறது.

உருவான கிளர்வுற்ற மெத்தியோனின் S–அடினோசைல் மெத்தியோனின் என அழைக்கப்படுகிறது. ATP–அதன் அடினோசைன் தொகுதியை மெத்தியோனினுக்கு மாற்றுகிறது மற்றும் மூன்று மூலக்கூறுகள் பாஸ்பேட் தொகுதிகளை ஒன்றை ஆர்த்தோ பாஸ்பேட்டாகவும் (Pi) மற்ற இரண்டை பைரோபாஸ்பேட்டாகவும் (PPi) இழக்கிறது.

கிளர்வுற்ற மெத்தியோனின் + நார் எபினெப்ரின் ⟶ எபினெப்ரின்

கிளர்வுற்ற மெத்தியோனின் + நிக்கோடினமைடு ⟶ N-மெத்தில் நிக்கோடினமைடு

கிளர்வுற்ற மெத்தியோனின் + யுராசில் ⟶ தையமின்

கிளர்வுற்ற மெத்தியோனின் + குவானிடோ அசிடேட் ⟶ கிரியாடின்

(மெத்தில் தொகுதி வழங்கி) (மெத்தில் தொகுதி ஏற்பி)

கிளர்வுற்ற மெத்தியோனின் அதிக ஆற்றல் கொண்ட S–மெத்தில் பிணைப்பை பெற்றுள்ளது. அதனால் மெத்தில் தொகுதி எளிதில் இடம்பெயர்ந்து மெத்தில் தொகுதி ஏற்பிக்கு மாற்றப்படுகிறது.

5. அமினோ அமிலங்களின் கார்பன் பகுதி சிதைவடதல்(Catabolism of the carbon skeleton of amino acids)

அமினோ அமிலங்கள் அமினோ நீக்கத்திற்கு பின் கிடைக்கும் கார்பன் பகுதி α–கீட்டோ அமிலங்கள் ஆகும். இவை கீழ்க்கண்ட பாதை ஏதேனும் ஒன்றில் ஈடுபடலாம்.

i. அமினோ அமிலங்கள் தொகுத்தல்

இவை டிரான்ஸ்டி அமினேஷனுக்கு (Transdeamination) எதிராக ஒடுக்க முறையில் அமினோ ஏற்றம் செய்யப்படும் அல்லது அமினோ மாற்றவினைக்கு உட்பட்டு மீண்டும் பழைய அமினோ அமிலமாக மாற்றப்படலாம்.

ii. குளுக்கோஜெனிக் பாதை (Glucogenic pathway)

சில அமினோ அமிலங்களின் கீட்டோ அமிலங்கள் கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றத்தின் இடைநிலை பொருட்களான α–கீட்டோ குளுட்டரேட், ஆக்ஸலோ அசிடேட், பைருவேட் மற்றும் சக்சினைல் CoA அல்லது சக்சினைல் துணை நொதி Aவாகவும் மாற்றப்படுகிறது. எனவே இவை குளுக்கோஸாகவும் கிளைக்கோஜனாகவும் மாற்ற முடியும். இத்தகைய அமினோ அமிலங்கள் குளுக்கோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன.

மூன்று முக்கிய குளுக்கோஜெனிக் அமினோ அமிலங்களின் பாதை கீழேகாட்டப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு அமினோ அமிலங்களின் வழி வேறுபட்டாலும் அவை பைருவேட்டாக மாறும் நிலையில் ஒன்று சேர்கின்றன.

குளுக்கோஸ்

⇅

பைருவிக் அமிலம் ⇌ அலனின்

⇅

ஆக்ஸாலோ அசிடேட் ⇌ அஸ்பார்டிக் அமிலம்

⇅

α - கீட்டோகுளுட்டாரிக் அமிலம் ⇌ குளுட்டமிக் அமிலம்

விலங்கு புரதங்களில் 50 சதவீதத்திற்கும் மேலாக குளுக்கோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் உள்ளன. குளுக்கோஜெனிக் அமினோ அமிலங்களின் கீட்டோ அமிலங்கள் கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்ற இடைநிலை பொருட்களாக மாற்றமடைவது குளுக்கோநியோஜெனிஸிஸ் எனப்படுகிறது.

iii. கீட்டோஜெனிக் பாதை (Ketogenic pathway)

சில அமினோ அமிலங்கள் அமினோ நீக்கம் செய்யப்பட்டு கிடைக்கும் கீட்டோ அமிலங்கள் கார்போஹைட்ரேட்டுகளை விட கொழுப்புடன் நெருங்கிய தொடர்பை கொண்டுள்ளன. அவை அசிடைல் துணை நொதி A (அசிடைல் CoA) அல்லது அசிடோ அசிடைல் துணை நொதி A (கீட்டோன் உடலங்கள் – Ketone bodies) போன்ற சேர்மங்களை

உருவாக்குகின்றன. மேற்கண்ட சேர்மங்கள் கொழுப்பு அமில வளர்சிதை மாற்றத்தின் இடைநிலை பொருட்களாகும். குளுக்கோஸ் வளர்சிதை மாற்ற பொருட்கள் இல்லை. எனவே இத்தகைய அமினோ அமிலங்கள் கீட்டோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் எனப்படுகின்றன.

கீட்டோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் குறைந்தளவே காணப்படுகின்றன. இவை சிறப்பு வாய்ந்த கூட்டு பாதைகளில் ஈடுபடுகின்றன. உதாரணமாக லியூசின், ஐசோலியூசின், பினைல் அலனின் மற்றும் தைரோஸின் ஆகும். இவற்றில் லியூசின் தூய கீட்டோஜெனிக் அமினோ அமிலம் மாறாக மற்ற மூன்று அமினோ அமிலங்கள் குளுக்கோஜெனிக் மற்றும் கீட்டோஜெனிக் அமினோ அமிலங்களாக உள்ளன.

4.4 யூரியா சுழற்சி

உயிரினங்கள் அமினோ அமிலங்களின் வளர்சிதை மாற்றத்தால் உருவாகும் அதிகப்படியான நைட்ரஜனை கீழ்கண்ட மூன்று முறைகளில் ஏதேனும் ஒரு முறையில் வெளியேற்றுகிறது. நீரின் அளவு குறைவாக உள்ள இடத்தில் அம்மோனியா குறைந்த நச்சுத் தன்மை கொண்ட யூரியாவாக மாற்றப்பட்டு வெளியேற்றப்படுகிறது. இச்செயலுக்கு குறைந்தளவு நீரே போதுமானது. பெரும்பாலான முதுகெலும்புள்ளவைகள் யூரியாவை வெளியேற்றுகின்றன. பறவைகளும் பாலைவன விலங்குகள் யூரிக் அமிலத்தை வெளியேற்றுகின்றன.

யூரியா

இதன் அடிப்படையில் உயிரினங்கள் கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

உயிரினங்கள்	வெளியேற்றும் பொருட்கள்
அம்மோனோடெலிக் (ammonotelism)	அம்மோனியா
யூரோடெலிக் (urotelism)	யூரியா
யூரிகோடெலிக் (uricotelism)	யூரிக் அமிலம்

நீரின் அளவு குறையும் போது சில விலங்குகள் அம்மோனோடெலிசத்திலிருந்து யூரோடெலிசம் அல்லது யூரிகோடெலிசத்திற்கு மாற்றமடைகிறது.

யூரியா சுழற்சி நொதிகளால், யூரியா கல்லீரலில் தொகுக்கப்பட்டு பின்னர் இரத்தத்தில் கலக்கப்படுகிறது. இரத்தத்தில் இருந்து யூரியா சிறுநீரகத்தால் சிறுநீரில் வெளியேற்றப்படுகிறது.

ஹேன்ஸ் கிரெப் மற்றும் கர்ட் ஹென்ஸிலைட் (Hans Krebs and Kurt Henseleit) என்பவர்கள் தான் யூரியா சுழற்சி வினைகளை கண்டறிந்தார்கள். இந்த சுழற்சி ஆர்னிதின் என்ற அமினோ அமிலத்துடன் தொடங்குகிறது. கல்லீரல் செல்களில் மைட்டோகாண்டிரியா மற்றும் சைட்டோபிளாச பகுதிகளில் இச்சுழற்சி நடைபெறுகிது. சுழற்சியின் இறுதிபடிக்கு

தேவைப்படும் நொதி ஆர்ஜினேஸ் கல்லீரலில் மட்டும் காணப்படுகிறது. மற்ற அனைத்து திசுக்களிலும் காணப்படுவதில்லை.

படம் 4.8 யூரியா சுழற்சி

யூரியா சுழற்சி பகுதியளவு மைட்டோகாண்டிரியாவிலும் பகுதி அளவு சைட்டோபிளாசத்திலும் நடைபெறுகிறது. தெரிவுத்தன்மைக் கொண்ட அமைப்புகளால் ஆர்னிதின் மற்றும் சிட்ருலின் மைட்டோகாண்டிரியாவின் சவ்வின் வழியே நகர்த்தப்படுகிறது. யூரியா உருவாதலின் பல்வேறு வினைகள் பின்வருமாறு.

1. கார்பமைல் பாஸ்பேட் உருவாதல்

கார்பமைல் பாஸ்பேட் சிந்தடேஸ் என்ற நொதியினால் குறுக்கமடைதல் மற்றும் கிளர்வுறப்பட்டு NH_4^+ மற்றும் HCO_3^- இணைந்து கார்பமைல் பாஸ்பேட் உருவாகிறது.

$$2\,ATP + HCO_3^- + NH_3 \xrightarrow[\text{சிந்தடேஸ்}]{\text{கார்பமைல் பாஸ்பேட்}} H_2N-\underset{\underset{O}{||}}{C}-O-PO_3^{2-} + 2ADP + Pi$$

கார்பமைல் பாஸ்பேட்

2. ஆர்னிதினிலிருந்து சிட்ருலின் உருவாதல்

ஆர்னிதின் டிரான்ஸ் கார்பமைலேஸ் என்ற நொதி கார்பமைல் தொகுதியை கார்பமைல் பாஸ்பேட்டில் இருந்து ஆர்னிதினுக்கு மாற்றுவதால் சிட்ருலின் உருவாகிறது.

இவ்வினை மைட்டோகாண்டிரியாவில் நடைபெறுகிறது. சைட்டோபிளாசத்தில் உருவாகும் ஆர்னிதின் தெரிவுத் தன்மை கொண்ட நகர்வு அமைப்புகளால் (Specific transport system) மைட்டோகாண்டிரியாவிற்குள் செல்ல வேண்டும். இது போலவே சுழற்சியில் மீதமுள்ள வினைகள் சைட்டோபிளாசத்தில் நடைபெறுவதால் மைட்டோகாண்டிரியாவில் உருவாகும் சிட்ருலின் சைட்டோபிளாசத்தை வந்தடைய வேண்டும்.

3. ஆர்ஜினோசக்சினேட் உருவாதல்

சிட்ருலின் அஸ்பர்டேட்டில் உள்ள அமினோ தொகுதியுடன் குறுக்கமடைந்து ஆர்ஜினோசக்சினேட்டாக மாறுகிறது. இவ்வினைக்கு ATP, Mg^{2+} மற்றும் ஆர்ஜினோ சக்சினேட் சிந்தேஸ் நொதி தேவைப்படுகிறது.

4. ஆர்ஜினின் மற்றும் ப்யூமரேட் உருவாதல்

ஆர்ஜினோசக்சினேஸ் என்ற நொதி ஆர்ஜினினை அஸ்பர்டேட் கார்பன் பகுதியில் இருந்து வெளியேற்றுகிறது. மேலும் ப்யூமரேட் உருவாகிறது.

5. யூரியா உருவாதல்

ஆர்ஜினேஸ் நொதி ஆர்ஜினின் மீது செயல்பட்டு யூரியாவை வெளியிடுகிறது. இந்த வினையில் ஆர்னிதின் மீண்டும் உருவாகிறது. இதுவே யூரியா சுழற்சியின் ஐந்தாவது மற்றும் இறுதி வினையாகும்.

உருவான ஆர்னிதின் மைட்டோகாண்டிரியாவிற்குள் சென்று யூரியா சுழற்சியில் மீண்டும் ஈடுபடுகிறது.

4.5 நியாசின் உருவாக்கம் (Formation of Niacin)

நியாசின் என்பது பிரிடின் 3–கார்பாக்ஸிலிக் அமிலம் ஆகும். நிக்கோடினமைடு அல்லது நியாசினமைடு என்பது நிக்கோனிடினிக் அமிலத்தின் அமைடாகும்.

நிக்கோடினமைடு

நிக்கோடினமைடு நிக்கோடினில் இருந்து ஆக்ஸிஜனேற்றம் மூலம் தயாரிக்கப்படுகிறது. திசுக்களில் நியாசின், நிக்கோடினமைடு என்ற செயல் மிக்க அமைப்பில் உள்ளது. NAD^+ மற்றும் $NADP^+$ இவை நிக்கோடினமைடின் செயல்மிக்க கூறுகளாகும்.

இன்றியமையாத அமினோ அமிலமான டிரிப்டோபனில் இருந்து நியாசின் தொகுக்கப்படுகிறது. டிரிப்டோபன் அல்லது டிரிப்டோபன் அதிகளவு கொண்டுள்ள புரதத்தை உட்கொள்ளும் போது அதிக அளவு நியாசின் வளர்சிதை மாற்ற பொருட்கள் வெளியேற்றப்படுகிறது. டிரிப்டோபன் குறைந்த அளவுள்ள உணவு உட்கொள்ளும்போது உடலில் நியாசின் குறைபாடு ஏற்படுகிறது.

கல்லீரலில் டிரிப்டோபன் நியாசினாக மாறுவதை ஹயாய்ஷி மற்றும் மற்றவர்களால் கீழ்கண்டவாறு விளக்கப்பட்டது.

டிரிப்டோபன் ⟶ கைனுரைனின் ⟶ 3 – ஹைட்ராக்ஸி கைனுரைனின்
⟶ 3 – ஹைட்ராக்ஸி ஆந்தரனிலிக் அமிலம் ⟶ 2, அக்ரோலைல் 3 – அமினோ ப்யூமாரிக் அமிலம்
↓
கியூனோலிக் அமிலம்
↓
↓
நிக்கோடினிக் அமிலம் (நியாசின்)

4.6 மெலனின் உருவாக்கம் (Formation of Melanin)

சருமம் மற்றும் முடியில் உள்ள நிறமி மெலனின் ஆகும். தைரோஸினிலிருந்து டை ஹைட்ராக்ஸி பினைல் அலனின் (DOPA) மூலம் மெலனின் உருவாகிறது. இது ஒரு கூட்டு சேர்மமாகும்.

தைரோஸின் —(தைரோஸினேஸ், O_2)→ 3,4 டை ஹைட்ராக்ஸி பினைல் அலனின் (DOPA) ⟶ DOPA கியூனோன் ⟶
⟶ லியூகோடோபாகுரோம் ⟶ ⟶ ⟶ இண்டோல் 5,6 குயூனோன் ⟶ மெலனின்
(CO_2)

விலங்குகள், தாவரங்கள் மற்றும் சில பாக்டீரியாக்களில் (B. நைகர்) தைரோஸினில் இருந்து மெலனின் உருவாதல் பாலிபீனால் ஆக்ஸிடேஸ்கள் அல்லது தைரோஸினேஸ் என்ற நொதிகளின் செயலால் நடைபெறுகிறது. தைரோஸினேஸ் காப்பரைக் கொண்டுள்ள கலப்பு செயல் ஆக்ஸிஜனேற்ற நொதியாகும். இந்நொதியே மேற்கண்ட செயலுக்குரிய முக்கிய நொதியாகும்.

தைரோஸினிலிருந்து மெலனின் டோபா (DOPA) மூலமாக உருவாகும் போது, ஆர்த்தோ மற்றும் பாரா தொகுதிகளைக் கொண்டுள்ள பாலி ஹைட்ராக்ஸி பினைல் மற்றும் அமினோ பினைல் சேர்மங்கள் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைந்து நிறமுள்ள பலபடிகளாக மாறுகின்றன. மெலனின் வகை, அது உருவான சேர்மங்களில் இருந்து காணப்படுகிறது. ஆகவே நம் உடலில் டோபா – மெலனின், அட்ரினலின் – மெலனின், ஹோமோஜென்டிஸிக் அமில–மெலனின், பாராபினைலீன் டை அமீன் – மெலனின் போன்றவற்றை பெற்றிருக்கலாம்.

மெலனின் ஆக்ஸிஜனேற்ற – ஆக்ஸிஜன் ஒடுக்க அமைப்புகளை பெற்றுள்ளது. ஆக்ஸிஜனேற்ற அமைப்பு செம்பழுப்பு (Tan) நிறத்தையும் ஒடுக்க அமைப்பு கருப்பு நிறத்தையும் பெற்றுள்ளது. மெலனின் திசுக்களில் படிவாக இல்லாமல் சீரான கோளங்களாக காணப்படுகிறது. நிறமிகளை உருவாக்கும் செல்களான மெலனோசைட்டில் மெலனின் உருவாகிறது. அட்ரீனல் கார்டிகல் ஹார்மோன் குறிப்பாக பிட்யூட்டரி ஹார்மோன்கள் மெலனின் உருவாக்கத்தை தூண்டுகிறது.

4.7 தைராய்டு ஹார்மோன் உருவாக்கம் (Formation of Thyroid hormone)

தைராய்டு சுரப்பி கழுத்தின் முற்பகுதியில் காணப்படும் இரு மடிப்புகளை கொண்ட உறுப்பாகும். பொதுவாக சாதாரண பெரியவர்களுக்கு 20 – 25 கிராம் எடையை பெற்றிருக்கும். தைராக்ஸின் ஹார்மோன் தைராய்டு சுரப்பியிலிருந்து சுரக்கப்படுகிறது. தைராக்ஸின், தைராய்டு பாலிக்களில் உள்ள கூழ்மங்களில் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது. இது ஒரு வகையான கிளைகோ புரதம் ஆகும். இது தைரோகுளோபுலின் என அழைக்கப்படுகிறது.

தைரோகுளோபுலினை நீராற் பகுப்படைந்து மோனோஅயோடோ தைரோஸின், டை அயோடோ தைரோஸின், ட்ரைஅயோடோ தைரோஸின் மற்றும் தைராக்ஸின் கிடைக்கிறது. இவற்றில் ட்ரை அயோடோ தைரோஸின் தைராக்ஸினைவிட அதிக உயிரியல் செயல்திறனைப் பெற்றுள்ளது.

தைரோஸின் அமினோ அமிலத்தில் இருந்து தைராய்டு சுரப்பியால் தைராக்ஸின் சுரக்கப்படுகிறது. முதலில் கனிம அயோடைடு கரிம அயோடைடாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் ($2I \rightarrow I_2$) அடைகிறது. தைரோசிஸின் மூன்றாவது இடத்தில் அயோடினேற்றம் செய்யப்படுவதால் 3 – மோனோ அயோடோ தைரோஸின் கிடைக்கிறது. அடுத்த அயோடினேற்றம் 5 இடத்தில் செய்யப்பட்டு 3, 5 டை அயோடோ தைராஸினாக மாற்றப்படுகிறது.

3,5 டைஅயோடோ தைரோஸின்

இரண்டு மூலக்கூறுகள் டைஅயோடோதைராஸின் இணைந்து டெட்ரா அயோடோ தைரோசினை தருகிறது. இதுவே தைராக்ஸின் எனப்படுகிறது. இவ்வினையில் அலனின் வெளியிடப்படுகிறது.

தைராக்ஸின் ஹார்மோன் உருவாக்கம் தைராய்டு தூண்டுவிக்கும் ஹார்மோனால் (TSH) ஊக்குவிக்கப்படுகிறது. எதிர் தைராய்டு மருந்துகளான தயோகார்பமைடு மற்றும் அமினோ பென்சீன் போன்றவற்றால் தைராக்ஸின் சுரத்தல் தடுக்கப்படுகிறது.

தைராய்டு சுரப்பி இரத்த சுற்றோட்டத்தில் உள்ள அயோடினை எடுத்துக் கொண்டு தேவையான போது தைராக்ஸின் மற்றும் அதன் முன்னோடி சேர்மங்களை உருவாக்கும் திறனை கொண்டுள்ளது. தைராய்டு தூண்டும் ஹார்மோனின் தூண்டுதலால், தேவைக்கேற்ப தைராக்ஸின் மற்றும் அதன் அயோடினேற்றம் பெற்ற பெறுதிகள் தைரோகுளோபுலினிலிருந்து புரோட்டியோலைடிக் நொதியின் செயலால் நீராற்பகுப்பின் மூலம் பெறப்படுகிறது.

4.8 கேட்டகாலமீன்கள் உருவாக்கம் (Formation of catecholamines)

மனித உடலில் சிறுநீரகத்திற்கு மேற்பகுதியில் அட்ரீனல் சுரப்பிகள் அமைந்துள்ளன. இதன் அளவு சராசரியாக 45X26X6 மிமீ ஆகும். மேலும் ஒவ்வொன்றின் எடை சுமார் 10கி இருக்கும். அட்ரீனஸ் சுரப்பி இரண்டு பகுதிகளை கொண்டது. அவை முறையே மெடுல்லா மற்றும் கார்டெக்ஸ்.

கேட்டகாலமீன்கள் அட்ரீனல் சுரப்பியின் மெடுல்லா பகுதியில் இருந்து சுரக்கப்படுகின்றன.

எபினெப்ரின் (அட்ரீனலின்) **Epinephrine**

நார் எபினெப்ரின் (அர்டிரீனல்) **Nor epinephrine**

இந்த இரண்டு ஹார்மோன்களும் கேட்டகாலமீன் வகையை சார்ந்த கரிமச் சேர்மங்களாகும். இவை வளர்சிதை மாற்றம் மற்றும் உடற்கூறு செயல்களை கட்டுப்படுத்தும் தீவிர தன்மையை பெற்றுள்ளன. எபினெப்ரின் கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றத்தை கட்டுப்படுத்துகிறது. இது கல்லீரல் மற்றும் தசைப்பகுதியில் கிளைக்கோஜீனோலைஸிஸ், ஹைப்பர்கிளைஸிமியா, குளுக்கேஸுரியா போன்ற விளைவுகளை உண்டாக்குகிறது. இந்த ஹார்மோன் ஆக்ஸிஜன் உட்கொள்ளுதலை அதிகரிக்கிறது. தைராக்ஸின் செயலை விட இது அதிக செயல்திறன் மிக்கது. நார்எபினெப்ரின் இரத்த குழாய்களில் தடையை அதிகரிப்பதன் மூலம் இரத்த அழுத்தத்தை அதிகரிக்கிறது. கார்போஹைட்ரேட் வளர்சிதை மாற்றத்தின் மீது குறைந்த விளைவை பெற்றுள்ளது.

தைரோஸின் நார்எபிநெப்ரின் மற்றும் எபிநெப்ரினாக மாற்றப்படுகிறது.

1. ஒரு தெரிவுத் தன்மை கொண்ட நொதியால் தைரோஸின் முதலில் ஹைட்ராக்ஸிலேற்றம் செய்யப்பட்டு 3, 4 டை ஹைட்ராக்ஸி பினைல் அலனைனாக (DOPA) மாற்றப்படுகிறது. DOPA மெலனின் மற்றும் எபினெப்ரின் தொகுத்தலில் ஒரு பொதுவான இடைநிலை பொருளாக உள்ளது.

2. டீகார்பாக்ஸிலேஸ் நொதியால் பிரிடாக்ஸால் பாஸ்பேட் முன்னிலையில் DOPA கார்பாக்ஸில் நீக்கம் செய்யப்பட்டு டோபமீனாக மாற்றப்படுகிறது.

3. அடுத்து டோபமீன் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைவதால் நார் எபினெப்ரின் கிடைக்கிறது. இவ்வினை டோபமீன் ஹைட்ராக்ஸிலேஸ் என்ற நொதியால் அஸ்கார்பிக் அமிலத்தின் முன்னிலையில் நடைபெறுகிறது.

4. மெடுல்லா பகுதியில் நார் எபினைப்ரினை மெத்திலேற்றம் செய்வதால் எபினெப்ரின் கிடைக்கிறது. S–அடினோசைல் மெத்தியோனில் இருந்து மெத்தில் தொகுதி பெறப்படுகிறது.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையை தேர்ந்தெடு.

1. கீழ்கண்டவற்றில் மெத்தியோனினுக்கான கோடான்

அ) GUC ஆ) AUG இ) CGA ஈ) CGU

2. புரத தொகுத்தலுக்கு அமினோ அமிலத்தை எடுத்து செல்வது.

அ) mRNA ஆ) rRNA

இ) tRNA ஈ) mRNA மற்றும் tRNA இரண்டும்

3. இதிலிருந்து யூரியா உருவாக்கப்படுகிறது.

அ. சிட்ருலின் ஆ. ஆர்ஜினோ சக்சினேட்

இ. ஆர்ஜினின் ஈ. ஆர்னிதின்

4. கார்பமைல் பாஸ்பேட் சிந்தடேஸ் நொதியை பெற்றிருப்பது.

அ. மைட்டோகாண்டிரியா ஆ. சைட்டோபிளாசம்

இ. உட்கரு ஈ. செல் சவ்வு

5. உடலில் கீழ்க்கண்டவற்றில் எதிலிருந்து நியாசின் தொகுக்கப்படுகிறது.

அ. பினைல் அலனின் ஆ. தைரோஸின்

இ. லைசின் ஈ. டிரிப்டோபன்

6. GPT க்கு தேவைப்படும் துணை காரணி

அ. NADH ஆ. NADPH இ. பிரிடாக்ஸால் பாஸ்டேட் ஈ. FAD

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக

1. படி எடுத்தல் (Transcription) _____ நொதியால் நடைபெறுகிறது.
2. புரத தொகுப்பு _____ எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.
3. 30S மற்றும் 50S ரிபோசோம் அலகுகள் இணைவதால் கிடைப்பது _____
4. டிரான்ஸ்லொகேஷன் _____ நொதியால் நடைபெறுகிறது.
5. நிறுத்த கோடான்கள் mRNA _____ முனையில் பெற்றுள்ளது.
6. யுராசிலை டிரான்ஸ்மெத்திலேற்றம் செய்வதால் _____ கிடைக்கிறது.
7. _____ ஆல் தைராக்ஸின் தொகுத்தல் தூண்டப்படுகிறது.
8. சருமம் மற்றும் முடியில் உள்ள நிறமி _____
9. அமினோ அமிலங்களை அமினோ நீக்கம் செய்வதால் கிடைப்பது _____

III. சரியா ? தவறா ?

1. DNA வில் இருந்து RNA தொகுக்கப்படுவது படியெடுத்தல் எனப்படுகிறது.
2. mRNA எதிர்கோடானை கொண்டுள்ளது.
3. ரிபோசோம் 5' ல் இருந்து 3' முனையை நோக்கி நகருகிறது.
4. பாலி பெப்டைடு சங்கிலி நீட்டப்படுதல் நீளக்காரணிகளால் நடைபெறுகிறது.

5. ALT, GOT எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

6. பெப்டிடைல் டிரான்ஸ்பெரேஸ் நொதியை ரிபோசோம் 30S.துணை அலகு பெற்றுள்ளது.

7. லியூசின் தூய கீட்டோஜெனிக் அமினோ அமிலமாகும்.

8. எபினெப்ரின் அட்ரீனலின் எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

IV. பொருத்துக.

1.	mRNA	–	யூரியா சுழற்சி
2.	tRNA	–	தொடக்க கூட்டுச் சேர்மம்
3.	ஹிஸ்டிடின்	–	எபினெப்ரின்
4.	ஆர்னிதின்	–	செயல்மிக்க மெத்தியோனின்
5.	டோபா (DOPA)	–	எதிர்கோடான்
6.	தைராய்டு சுரப்பி	–	mRNA வின் 3` முனை
7.	மெத்தில் மாற்றம்	–	ஹிஸ்டமின்
8.	நிறுத்தக் கோடான்	–	கோடான்
9.	GTP	–	தைராக்ஸின்

V. கீழ்கண்டவற்றிற்கு சுருக்கமாக விடையளி

1. அமினோ அமிலத்தை கிளர்வுற செய்தலை விளக்குக.

2. பாலி பெப்டைடு சங்கிலி நீளப்படுதல் என்றால் என்ன ?

3. மொழிப்பெயர்த்தலுக்கு பின் மாற்றங்கள் என்றால் என்ன ?

4. சில உயிர் செயல்மிக்க அமீன்களின் பெயர்களை குறிப்பிடுக.

5. மெத்தியோனின் எவ்வாறு கிளர்வுற்ற மெத்தியோனினாக மாற்றப்படுகிறது ?

6. தைரோஸிலிருந்து மெலனின் எவ்வாறு தொகுக்கப்படுகிறது.

7. தைராக்ஸின் அமைப்பை எழுதுக.

8. கீட்டோஜெனிக் அமினோ அமிலங்கள் என்றால் என்ன ?

9. நியாசின் எவ்வாறு உருவாக்கப்படுகிறது ?

VI. கீழ்கண்டவற்றிற்கு விடையளி.

1. மொழிப்பெயர்த்தலில் ஈடுபடும் படிகள் யாவை ?

2. ஆக்ஸிஜனேற்ற அமினோ நீக்கம் பற்றி சிறு குறிப்பு வரைக.

3. டிரான்ஸ் அமினேற்ற வினைகளை விளக்குக.

4. குளுக்கோஜெனிக் மற்றும் கீட்டோஜெனிக் வழிமுறை பாதைகளை விவரி.

5. யூரியா சுழற்சி வினைகளை அமைப்புடன் எழுதுக.

6. தைராய்டு சுரப்பியில் இருந்து தைராக்ஸின் சுரக்கப்படுவதை விவரி.

7. தைரோஸினிலிருந்து எபினெப்ரின் உருவாவதை விளக்குக.

பாடம் – 5

லிப்பிடுகளின் வளர்சிதை மாற்றம்

முன்னுரை

லிப்பிடுகள் என்பன கரிமச் சேர்மங்களாகும். கொழுப்பு, எண்ணெய் மற்றும் மெழுகு போன்றவை லிப்பிடுகள் ஆகும். நீரில் கரையாத தன்மை கொண்டவை. இவை முனைப்பற்ற கரைப்பான்களான ஈதர், குளோரோபார்ம், பென்சீன் போன்றவற்றில் கரையும் தன்மை கொண்டவை. எல்லா உயிரினங்களும் லிப்பிடுகளை எளிதில் பயன்படுத்துகின்றன.

பாலூட்டிகளின் உடல் எடையில் 10–20 சதவீதம் வரை லிப்பிடுகள் உள்ளன. அதிக கலோரி மதிப்பைப் பெற்றிருப்பதால் இவை உணவில் மிகுதியாக உள்ளன. மேலும் கொழுப்பில் கரையும் வைட்டமின்கள் (A, D, E, K) மற்றும் இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலங்களாக லிப்பிடுகள் உட்கொள்ளப்படுகின்றன. லிப்பிடுகள் உடலின் எல்லா உறுப்புகளிலும் மிகுதியாக காணப்படுகின்றன. குறிப்பாக அடிப்போஸ் திசுக்களின் சைட்டோபிளாசத்தில் 90 சதவீதம் வரை உள்ளன.

லிப்பிடுகளின் உயிரியல் செயல்கள் (Biological functions of lipids)

லிப்பிடுகள், கார்போஹைட்ரேட்டுகளை போல் அல்லாமல் நீரற்ற நிலையில் திசுக்களில் சேமித்து வைக்கப்படுவதால் அவைகள் பல செயல்களை செய்கின்றன.

1. உடலில் உள்ள லிப்பிடுகள் வேதி ஆற்றலை சேமிக்கும் பொருட்களாக திகழ்கின்றன. கார்போஹைட்ரேட்டுக்களை போல் இல்லாமல் லிப்பிடுகள் நமது உடலில் அபரிமிதமான அளவில் சேமித்து வைக்கப்படுகின்றன. மேலும் லிப்பிடுகள் கார்போஹைட்ரேட்டுக்களை காட்டிலும் இருமடங்கு கலோரி மதிப்பு கொண்டவை (9.3 கலோரி / கிராம்). லிப்பிடுகளில் கார்போஹைட்ரேட்டுகளை விட அதிக அளவு ஆற்றல் சேமித்து வைக்கப்படுகிறது.

2. லிப்பிடுகள் செல் சவ்வுகளின் அமைப்பிற்கும், சவ்வூடு திறனிற்கும் முக்கிய பொருளாக திகழ்கின்றது.

3. சருமத்தின் அடிப்பகுதியில் உள்ள லிப்பிடுகள் அவற்றின் வெப்பக் கடத்தாத் தன்மையால் உள்உறுப்புகளை சுற்றுப்புற வெப்பம் மற்றும் குளிர்ச்சியில் இருந்து பாதுகாக்கின்றது.

4. கொழுப்பில் கரையும் வைட்டமின்கள் (A, D, E, K) மற்றும் இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலங்கள் உருவாக்கத்திற்கு அவை பயன்படுகின்றது. (லினோலியிக் அமிலம், லினோலினிக் அமிலம், அரகிடோனிக் அமிலம்).

5. ஸ்டீராய்டு ஹார்மோன் மற்றும் புரோஸ்டோ கிளான்டின்கள் வளர்சிதை மாற்றத்தினை ஒழுங்குப்படுத்த உதவுகின்றன.

6. மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள்சவ்வில் உள்ள லிப்பிடுகள் எலக்ட்ரான் நகர்வு சங்கிலியில் (Electron transport chain) பங்கேற்கின்றன.

7. பாலிநிறைவுறா கொழுப்பு அமிலங்கள் (PUFA – Poly Unsaturated Fatty Acids) இரத்தத்தில் உள்ள கொலஸ்டிரால் அளவை குறைக்க உதவுகின்றது.

8. ஸ்குவாலமைன் (Squalamine) என்னும் ஸ்டீராய்டு பூஞ்சை தடுப்பு மற்றும் நோய் தடுப்பு மருந்தாக பயன்படுகின்றது.

கொழுப்பு அமிலங்கள் (Fatty acids)

கொழுப்பு அமிலங்கள் லிப்பிடுகளின் அடிப்படை அலகுகளாகும் (Basic units). கொழுப்பு அமிலங்கள், கார்பாக்ஸில் தொகுதியைக் கொண்ட அலிஃபாட்டிக் ஹைட்ரோ கார்பன் சங்கிலிகளாகும். ஏறக்குறைய 200 கொழுப்பு அமிலங்கள் பல்வேறு லிப்பிடுகளில் இருந்து தனிமையாக்கப்பட்டுள்ளன. அவை ஹைட்ரோ கார்பன் சங்கிலி நீளத்தின் மூலமும், இரட்டை பிணைப்புகளின் எண்ணிக்கை மற்றும் இடம் மூலம் வேறுபடுகின்றன. மேலும் அவற்றின் அமைப்புகளின் அடிப்படையில் ஆக்ஸி, கீட்டோ, ஈப்பாக்ஸி மற்றும் வளைய அமைப்பு மூலமும் வேறுபடுகின்றன.

கொழுப்பு அமிலங்கள் இரட்டை பிணைப்பின் மூலம் இரண்டு வகையாக பிரிக்கலாம்.

1. நிறைவுற்ற கொழுப்பு அமிலங்கள்

இவை இரட்டை பிணைப்பு இல்லாத கொழுப்பு அமிலங்களாகும். இதில் உள்ள ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலி தொடரில் 12 முதல் 18 கார்பன் அணுக்கள் உள்ளன.

(எ.கா) பால்மிடிக், ஸ்டியரிக் அமிலங்கள்

$CH_3 (CH_2)_{14} COOH$ - பால்மிடிக் அமிலம் (C_{16})

$CH_3 (CH_2)_{16} COOH$ - ஸ்டியரிக் அமிலம் (C_{18})

2. நிறைவுறாக் கொழுப்பு அமிலங்கள்

இவை இரட்டை பிணைப்பை உடைய கொழுப்பு அமிலங்களாகும்.

(எ.கா). ஒலியிக் அமிலம்

லினோலியிக் அமிலம்

லினோலினியிக் அமிலம்

நிறைவுறாக் கொழுப்பு அமிலங்களில் உள்ள இரட்டை இணைப்புகளின் மூலம், பல்வேறு வகையாக இவற்றை பிரிக்கலாம். இவை தாவரங்களில் மிகுதியாக காணப்படுகின்றன.

அட்டவணை 5.1 நிறைவுறா கொழுப்பு அமிலங்கள்

கொழுப்பு அமிலத்தின் பெயர்	இரட்டை பிணைப்புகளின் எண்ணிக்கை
ஒலிக் அமிலம்	1
லினோலியிக் அமிலம்	2
லினோலினிக் அமிலம	3
அரகிடோனிக் அமிலம்	4

இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலங்கள் (Essential Fatty Acids – EFA)

இந்த கொழுப்பு அமிலங்களை இயற்கையில் நமது உடலால் தயாரிக்க இயலாது. எனவே இவற்றை உணவின் மூலமே நாம் உட்கொள்ள வேண்டும். இவை பாலி நிறைவுறா கொழுப்பு அமிலங்களாகும் (Poly unsaturated fatty acids – PUFA)

(எ.கா) : லினோலியிக் அமிலம்

லினோலினிக் அமிலம்

அரகிடோனிக் அமிலம்

இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலங்களின் வேலைகள்

இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலங்கள் செல் சவ்வின் அமைப்பிற்கும், அவற்றின் வேலைகளுக்கும், கொலஸ்டிரால் எடுத்துச் செல்லவும், லிப்போ புரதங்கள் உருவாகத்திற்கும், கல்லீரலில் கொழுப்பு தன்மை அதிகரித்தலை தடுத்தலுக்கும் தேவைப்படுகின்றன.

பற்றாக்குறை

கொழுப்பு அமிலங்களின் பற்றாக்குறையினால் பைரினோடெர்மா (Phrynoderma) அல்லது டோட்ஸ்கின் (Toad skin) என்னும் தோல் வியாதிகள் உருவாகின்றன.

5.1 கொழுப்பு அமிலங்களின் உயிர் தொகுப்பு (Biosynthesis of fatty acids)

1. கொழுப்பு அமிலங்களின் உயிர் தொகுப்பு எல்லா உயிரினத்திலும் நடைபெறும் மற்றும் பாலூட்டிகளின் அடிப்போஸ் திசு, பால் சுரப்பி மற்றும் கல்லீரலில் நடைபெறுகிறது.

2. சைட்டோபிளாசத்தில் கொழுப்பு அமிலத்தின் உயிர் தொகுப்பு இரு படிகளாக நடைபெறுகிறது.

அ. முதலில் 16 கார்பன் அணுக்கள் உள்ள ஒரு மிதமான கொழுப்பு அமிலம் உருவாகிறது. பின்னர்,

ஆ. கார்பன் சங்கிலியின் நீளம் மைக்ரோசோமில் அதிகரிக்கிறது.

3. நிறைவுற்ற கொழுப்பு அமிலங்கள் உருவாக்கத்திற்கும், நிறைவுறா கொழுப்பு அமிலங்கள் உருவாக்கத்திற்கும் அசிடைல் CoA உதவுகிறது. (கார்பன் அணுக்களின் மூலமாக செயல்படுகிறது). நாம் உணவில் உட்கொள்ளும் அதிகப்படியான குளுக்கோஸ் மற்றும் குளுகோஜினிக் அமினோ அமிலங்களில் (குளுக்கோஸாக மாறும் தன்மைக் கொண்ட அமினோ அமிலங்கள்) இருந்து அசிடைல் CoA உருவாக்கப்படுகிறது. கார்போஹைட்ரேட் மற்றும் அமினோ அமிலங்கள் ஆக்ஸிஜன் உள்ள நிலைமையில் பைருவேட்டை தருகின்றன. பைருவேட், பின்பு அசிடைல் CoA வாக மாற்றப்படுகிறது.

கொழுப்பு அமில சிந்தடேஸ் என்ற கூட்டு நொதியின் செயலால் அசிடைல் CoA வில் இருந்து கொழுப்பு அமிலங்கள் உருவாக்கப்படுகின்றன. கொழுப்பு அமில சிந்தடேஸ் நொதியின் செயலால் வெளிப்படும் விளைப் பொருட்களில் முதன்மையானது பால்மிடிக் அமிலமாகும். எனவே இந்நொதி பால்மிடேட் சிந்தடேஸ் எனவும் அழைக்கப்படுகிறது.

இதில் ஒரே மாதிரியான இரு துணை அலகுகள் உள்ளன. அவை துணை அலகு 1 மற்றும் துணை அலகு 2 என அழைக்கப்படுகின்றன. ஒவ்வொரு துணை அலகிலும் 7 நொதிகள் உள்ளன. அவை ஒவ்வொன்றும் குறிப்பிட்ட பணியை செய்கின்றன.

கொழுப்பு அமிலத்தின் உயிர் தொகுப்பிற்காக அசிடைல் CoA நகர்வடைதல்

மைட்டோகாண்டிரியாவில் பைருவேட்டிலிருந்து அசிடைல் CoA உருவாகிறது. அசிடைல் CoA வினால் மைட்டோகாண்டிரியா சவ்வை ஊடுருவ இயலாது. எனவே அசிடைல் CoA ஆக்ஸாலோ அசிடேட்டுடன் இணைந்து சிட்ரேட்டைத் தருகிறது. சிட்ரேட் மைட்டோகாண்டிரியா சவ்வில் எளிதில் ஊடுருவுறும் தன்மை கொண்டது. சிட்ரேட் சைட்டோபிளாசத்தை வந்தடைகிறது. இங்கு சிட்ரேட், ATP மற்றும் துணை நொதி A (CoA) முன்னிலையில் ATP லையேஸ் என்ற நொதியால் அசிடைல் CoA மற்றும் ஆக்ஸாலோ அசிட்டேடாக சிதைக்கப்படுகிறது.

அசிடைல் CoA மைட்டோகாண்டிரியாவிலிருந்து சைட்டோபிளாசத்தை வந்தடைதல்

அசிடைல் CoA மலோனைல் CoA வாக மாற்றம் அடைதல்

சைட்டோபிளாசத்தில் உள்ள அசிடைல் CoA, அசிடைல் CoA கார்பாக்ஸிலேஸ் என்ற நொதியின் மூலம் கார்பன்–டை–ஆக்ஸைடுடன் வினைபுரிந்து மலோனைல் CoA வாக உருமாற்றம் அடைகிறது. இம்மாற்றத்தின் பொழுது கார்பன்–டை–ஆக்ஸைடு அசிடைல் CoA உடன் இணைகிறது. இதற்கு கார்பாக்ஸிலேற்றம் என்று பெயர். இது வைட்டமின் (பயோடின்) கொண்ட நொதியாகும்.

அசிடைல் CoA கார்பாக்ஸிலேஸ் என்னும் நொதி கொழுப்பு அமிலம் உருவாக்கத்தினை ஒழுங்குபடுத்தும் ஒரு மிகமுக்கியமான நொதியாகும்.

மலோனைல் CoA பால்மிடிக் அமிலமாக மாற்றமடைதல்

மலோனைல் CoA, பால்மிடிக் அமிலமாக பல படிகளில் மாற்றப்படுகிறது. இதற்கு கொழுப்பு அமில சிந்தடேஸ் என்ற கூட்டு நொதியில் உள்ள தனித்தனி நொதிகள் ஒவ்வொரு படியிலும் செயல்படுகிறது.

படம் 5.1 பால்மிடிக் அமிலத்தின் உருவாக்கம்

அசிடைல் CoA, மலோனைல் CoAவுடன் சேர்ந்து பியூட்ரைல் ACP- யை தருகிறது. இந்த சுழற்சி ஆறுமுறை நடைபெறுகிறது. ஒவ்வொரு சுழற்சியின் போதும் இரண்டு கார்பன் அணுக்கள் (மலோனைல் CoA), பியூட்ரைல் ACP உடன் சேர்க்கப்படுகிறது. வினையின் இறுதியில் 16 கார்பன் அணுக்களை கொண்ட பால்மிடைல் CoA உருவாகிறது. தயோஎஸ்டரேஸ் என்ற நொதியின் செயலால் பால்மிடைல் CoA விலிருந்து பால்மிடிக் அமிலம் உருவாகிறது.

5.2 கொழுப்பு அமிலங்களின் ஆக்ஸிஜனேற்றம்

கொழுப்பின் செரிமான வினை சிறுகுடலில் தொடங்குகிறது. கொழுப்புகள், பித்த உப்புகளின் மூலம் மற்றும் கணையலைபேஸ்கள் மூலம் நீராற்பகுக்கப்பட்டு கொழுப்பு அமிலங்களை உருவாக்குகின்றன. கொழுப்பு அமிலங்கள் கிளிசராலுடன் (கிளைக்காலைசிஸ் மூலம் கிடைக்கும்) இணைந்து ட்ரைகிளிசரைடுகளை உருவாக்குகின்றன. இவை புரதங்களுடன் இணைந்து உருவாகும் லிப்போபுரதங்கள், இரத்த ஓட்டத்தில் கலந்து ஆக்ஸிஜனேற்றம், புதிய லிப்பிடு உருவாக்கம் மற்றும் சேமிப்பு போன்ற பணிகளைச் செய்கின்றன. வெவ்வேறு கொழுப்பு அமிலங்கள் இரத்தத்தில் தனியாகவும், ட்ரைகிளிசெரைடாகவும் காணப்படுகின்றன.

கொழுப்பு அமிலங்கள், கொழுப்பு ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் உடனடி மூலப்பொருளாக பல்வேறு திசுக்களில் (கல்லீரல், அடிப்போஸ்திசு, தசை, இதயம், சிறுநீரகம், மூளை, நுரையீரல் மற்றும் ஆண் இனப்பெருக்க உறுப்புகளில்) காணப்படுகின்றன.

5.2.1 β– ஆக்ஸிஜனேற்றம்

கொழுப்பு அமிலங்கள் ஆக்ஸிஜனேற்றமடைந்து CO_2 மற்றும் நீருடன், அதிக அளவுள்ள ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றன. ஆக்ஸிஜனேற்றம் மைட்டோகாண்டிரியாவில் நடைபெறுகிறது. ஏனெனில் ஆக்ஸிஜனேற்றத்திற்கு தேவையான நொதிகள் மைட்டோகாண்டிரியாவில் தான் உள்ளன. ஆக்ஸிஜனேற்றமடைய வேண்டிய கொழுப்பு அமிலங்களின் கார்பன் அணுவைப் பொறுத்து, ஆக்ஸிஜனேற்றம் மூன்று வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளது (α, β மற்றும் γ).

$$R - \underset{\gamma}{CH_2} - \underset{\beta}{CH_2} - \underset{\alpha}{CH_2} - COOH$$ கொழுப்பு அமிலம்

கொழுப்பு அமிலங்களில் β–ஆக்ஸிஜனேற்றம் அதிகம் நடைபெறும். அது α மற்றும் γ ஆக்ஸிஜனேற்றத்தை விட அதிக ஆற்றலைத் தருகிறது.

கொழுப்பு அமிலங்களின் β–ஆக்ஸிஜனேற்றம் பல்வேறு படிகளாக நடக்கின்றன.

1. கொழுப்பு அமிலங்களை ஊக்குவித்தல் (Activation of fatty acids)

கொழுப்பு அமிலங்கள் செயலற்ற வேதியியல் மூலக்கூறுகள். ஆகையால் β ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் துவக்கத்திற்கு அவை செயல்மிக்க மூலக்கூறுகளாக மாற்றப்பட வேண்டும். கொழுப்பு அமிலங்களை ஊக்குவித்தல், சைட்டோபிளாசத்தில், அடினைன் டிரை பாஸ்பேட் (ATP), துணை நொதி A (Coenzyme A) மற்றும் அசைல் CoA சிந்தடேஸ் ஆகியவற்றின் உதவியுடன் நடைபெறுகிறது. செயல்மிக்க கொழுப்பு அமிலங்கள், கார்னிட்டின் அசைல் டிரான்ஸ்பெரேஸ் (Carnitine Acyl Transferase) என்ற நொதியின் முன்னிலையில் கார்னிட்டின் என்ற ஊர்திபுரதத்தின் உதவியுடன் மைட்டோகாண்டிரியாவிற்குள் நுழைகிறது.

அசைல் CoA மைட்டோகாண்டிரியாவுக்குள் செல்லுதல்

அசைல் CoA (கொழுப்பு அமிலம்) ஆக்ஸினேற்றம் பல படிகளில் நடைபெறுகின்றது. இதன் மூலம் அசிடைல் CoA (C_2) மற்றும் β ஆக்ஸிஜனேற்றத்திற்குட்பட்ட கொழுப்பு அமிலத்தை விட 2 கார்பன் அணுக்கள் குறைவாக உடைய அசைல் CoA ஆகியவை பெறப்படுகினறன. அனைத்து கார்பன் அணுக்களும் அசிடைல் CoA ஆக வெளியேறும் வரை அசைல் CoA ஆக்ஸிஜனேற்றத்திற்கு உட்படுகிறது.

இந்த வினைகளுக்கு ஃபிளேவின் அடினைன் டை நியூக்ளியோடை (FAD – Flavin Adenine Dinucleotide) மற்றும் நிக்கோடினமைடு அடினைன் டை நியூக்ளியோடைடு (NAD – Nicotinamide Adenine Dinucleotide) போன்ற துணை நொதிகள் தேவைப்படுகின்றன.

படம் 5.2 கொழுப்பு அமிலத்தின் β – ஆக்ஸிஜனேற்றம்

5.3 கொலஸ்டிரால் உயிர்தொகுப்பு (Cholesterol biosynthesis)

கொலஸ்டிரால் என்பது விலங்குகளில் உள்ள ஸ்டீராலாகும். இவை தனித்த நிலையில் அல்லது கொழுப்பு அமிலங்களின் எஸ்டராக உள்ளன. கொலஸ்டிரால் மனித பித்தக்கல் படிவங்களில் இருந்து முதன்முதலாக பிரித்தெடுக்கப்பட்டது. (இது கிரேக்க சொல்லில் கோல் என்றால் பித்தம், ஸ்டீரால் என்று பொருள்படும்) கொலஸ்டிராலில் 1, 2 வளைய பெண்டனோ பெர்ஹைட்ரோ பினான்திரின் என்னும் வளைய அமைப்பு உள்ளது. கொலஸ்டிரால் தகுந்த சூழ்நிலையில் ஹார்மோன்கள், பித்த அமிலங்கள் மற்றும் வைட்டமின் D உருவாக்கத்திற்கு பயன்படுகின்றன. இருப்பினும் இதை உணவில் உட்கொள்ள வேண்டிய அவசியம் இல்லை. காரணம் செல்லில் கொலஸ்ட்ரால் அசிடைல் CoA விலிருந்து தொகுக்கப்படுகிறது.

கார்போஹைட்ரேட், அமினோ அமிலங்கள், கொழுப்பு அமிலங்கள் மற்றும் கிளிசரால் அசிடைல் CoA உருவாக்கத்திற்கு மூலங்களாகப் பயன்படுகின்றன. அசிடைல் CoA கொலஸ்ட்டிரால் உருவாக்கத்திற்கு பயன்படுகிறது. கொலஸ்டிரால் வளர்சிதை மாற்றம் கல்லீரலில் நடைபெறுகிறது. இங்கு உட்கொள்ளப்பட்ட 90 சதவீத கொலஸ்டிரால் மற்றும் அதன் எஸ்டர்கள் வளர்சிதை மாற்றத்திற்கு உட்படுகின்றன.

70 கிலோ எடையுள்ள மனிதனில் 140 கிராம் கொலஸ்டிரால் உள்ளன. 100 மிலி இரத்தத்தில், 150 முதல் 250 மிகி வரை கொலஸ்டிரால் உள்ளன. கொலஸ்டிராலின் அரை ஆயுட்காலம் 8 முதல் 12 நாட்கள் ஆகும்.

கொலஸ்டிரால் அமைப்பு

5.3.1 கொலஸ்டிரால் உயிர்தொகுப்பு

கொலஸ்டிரால் உயிர் தொகுப்பில் முக்கியமான இடைநிலை பொருட்களும் நொதிகளும் ஈடுபடுகின்றன.

1. அசிடைல் CoA உருவாக்கம்

ஒரு அசிடிக் அமில மூலக்கூறு, துணை நொதி A (coenzyme A) உடன் சேரும் பொழுது அசிடைல் CoA உருவாகிறது. இதற்கு அசிடைல் CoA சிந்தடேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது.

2. அசிடோ அசிடைல் CoA உருவாக்கம்

இரண்டு அசிடைல் CoA மூலக்கூறுகள் குறுக்கமடைந்து அசிடோஅசிடைல் CoA உருவாகிறது. இதற்கு தயோலேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது.

3. **HMG CoA உருவாக்கம்**

அசிடோ அசிடைல் CoA, ஒரு அசிடைல் CoA மூலக்கூறுடன் குறுக்கமடைந்து HMG CoA (3–ஹைட்ராக்சி, 3–மெத்தில் குளுட்டரைல் CoA) உருவாகிறது. இந்த வினையில் HMG CoA சிந்தடேஸ் என்ற நொதி பயன்படுகிறது.

4. HMG CoA, NADPH+H^+ பொருத்த ரிடக்டேஸ் (Reductase) என்ற நொதியின் செயலால் மெவலோனேட்டாக ஒடுக்கப்படுகிறது. இது கொலஸ்டிரால் உருவாக்கத்தினை கட்டுபடுத்தும் ஒரு முக்கிய நொதியாகும்.

5. மெவலோனேட், பல படிகளில் ஸ்குவாலினாக மாற்றப்படுகிறது.

6. ஸ்குவாலின், பல இடைநிலைப்பொருட்களாக மாற்றப்பட்டு இறுதியில் கொலஸ்டிராலாக மாற்றப்படுகிறது.

படம் 5.3 கொலஸ்டிரால் உயிர் தொகுப்பு

5.3.2 கொலஸ்டிராலில் இருந்து உருவாகும் முக்கியப் பொருட்கள்

நமது உடலில் கொலஸ்டிரால் உயிரியல் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஸ்டீராலகளான பித்த அமிலங்கள், பித்த உப்புக்கள் மற்றும் வைட்டமின் D யாக மாற்றப்படுகிறது.

5.3.2.1 பித்த அமிலங்களிலிருந்து பித்த உப்புக்கள் தொகுத்தல்

பித்த அமிலங்கள் முதல் நிலை மற்றும் இரண்டாம் நிலை பித்த அமிலங்கள் என இருவகைப்படும். கோலிக் அமிலம், கீனோ டிஆக்ஸிக் கோலிக் அமிலம் என்பன முதல்நிலை

பித்த அமிலங்களாகும். டிஆக்ஸிகோலிக் அமிலம் மற்றும் லித்தோகோலிக் அமிலம் என்பன இரண்டாம் நிலை பித்த அமிலங்களாகும்.

முக்கியத்துவம்

பித்தநீர் அமிலம் என்பன C_{24} உள்ள ஸ்டீராய்டுகள் ஆகும். இவை சோப்பாதல் தன்மையுடயதால் இது எமல்ஸிபிகேஷன் மற்றும் லிப்பிடுகளை குடலில் இருந்து உறிஞ்சுவதற்குப் பயன்படுகிறது.

பித்த உப்புகள்

கல்லீரலில் பெப்டைடு பிணைப்புகள் மூலம் கோலிக் அமிலம், கிளைசின் மற்றும் டாரின் (Glycine and Taurine) போன்றவற்றுடன் பிணைக்கப்பட்டு கிளைகோகோலிக் அமிலம் மற்றும் டாரோகோலிக் அமிலம் என்ற பித்த உப்புகளை கொடுக்கின்றன. இவை பித்தநீரில் உள்ள சோடியம், பொட்டாசியம் போன்றவற்றுடன் இணைந்து சோடியம் கிளைகோ கோலேட், சோடியம் டாரோகோலேட் எனும் நீரில் கரையும் தன்மை கொண்ட கார பித்த உப்புக்களாக மாற்றப்படுகின்றன.

முக்கியத்துவம்

1. பித்தநீரில் உள்ள பித்த உப்புகள் உணவு செரிமானத்திற்கு பயன்படுகின்றன.
2. இவை பரப்பு இழுவிசையைக் குறைத்து, கொழுப்புகளை எமல்சிகேஷன் (Emulsification) செய்யவும் உதவுகின்றன.
3. லிப்பேஸ் என்ற நொதியை ஊக்குவிக்கின்றன.

வைட்டமின் D

வைட்டமின் D , 7 – டிஹைட்ரோகொலஸ்டிரால் என்னும் முன்னோடி பொருளில் இருந்து சூரிய ஒளியின் துணையுடன் தோல் மற்றும் சிறுநீரகத்தில் உருவாக்கப்படுகிறது.

முக்கியத்துவம்

இது கொலஸ்டிராலின் பெறுதியாகும். கால்சியம் மற்றும் பாஸ்பேட் வளர்சிதை மாற்றத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் பாரா தைராய்டு ஹார்மோன் உருவாக்கத்திற்கு முதல்நிலைப் பொருளாக (Precursor) உள்ளது.

பாஸ்போலிப்பிடுகள்

பாஸ்பாரிக் அமிலத்தை கொண்டுள்ளதால் இவை பாஸ்போலிப்பிடுகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. இவை எல்லா தாவரம் மற்றும் விலங்கு செல்களின் சைட்டோபிளாசத்திலும், செல் சவ்வுகளிலும் காணப்படுகின்றன. செல் சவ்வுகளில் உள்ள பாஸ்போலிப்பிடுகள் செல்லின் செயல்கள் மற்றும் அவற்றின் ஊடுருவல் தன்மைக்கும் உதவுகின்றன. பாஸ்போலிப்பிடுகள் கொழுப்பு அமிலம், நைட்ரஜன் கொண்ட காரங்கள், பாஸ்பரிக் அமிலம் மற்றும் கிளிசெரால் அல்லது மற்ற ஆல்கஹால்களால் உருவாக்கப்பட்டவை. இதில் இருக்கும் ஆல்கஹாலை பொருத்து பாஸ்போலிப்பிடுகள் வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

1. கிளிசெரோபாஸ்போடைடுகள் (Glycerophosphatides)

இதில் உள்ள ஆல்கஹால் கிளிசரால் ஆகும். லெசிதின், செபாலின், பாஸ்பாடிடைல் சிரைன், பிளாஸ்மலோஜன் மற்றும் டைபாஸ்பாடிடைல் கிளிசரால் போன்றவை கிளிசெரோ பாஸ்படைடுகள் ஆகும்.

2. பாஸ்போ இனோசிடைடுகள் (Phosphoinositides)

இவை நைட்ரஜன் காரத்திற்கு பதிலாக வளைய ஹெக்ஸா ஹைட்ரிக் ஆல்கஹாலான இனோசிடாலை பெற்றுள்ளன.

3. ஸ்பிங்கோலிப்பிடுகள் (Sphingolipids)

இவ்வகைச் சேர்மங்கள் கிளிசராலுக்கு பதிலாக ஸ்பிங்கோசின் என்ற அமினோ ஆல்கஹாலைப் பெற்றுள்ளன. ஸ்பிங்கோலிப்பிடுகள் மருத்துவ ரீதியில் முக்கியமான பாஸ்போ லிப்பிடுகளாகும்.

5.4. பாஸ்போலிப்பிடுகளின் உயிர்த் தொகுப்பு (Biosynthesis phospholipids)

அனைத்து திசுக்களும் பாஸ்போலிப்பிடுகளை வெவ்வேறு வேகங்களுடன் தொகுக்கின்றன. கல்லீரலைத் தவிர, அனைத்துத் திசுக்களும் தொகுக்கும் பாஸ்போலிப்பிடுகளை தாமே பயன்படுத்திக் கொள்கின்றன. ஆனால் கல்லீரலில் தொகுக்கப்படும் பெரும்பாலான பாஸ்போலிப்பிடுகள் பிளாஸ்மாவிற்கு மாற்றப்படுகின்றன. எனவே பிளாஸ்மாவில் உள்ள பாஸ்போலிப்பிடுகள் அனைத்தும் கல்லீரலில் இருந்துப் பெறப்பட்டவையாகும். பாஸ்போலிப்பிடுகள் கிளிசெராலில் இருந்து தொகுக்கப்படுகின்றன.

படம் 5.4 பாஸ்போலிப்பிடுகளின் உயிர்தொகுப்பு

5.4.1 லெசிதின் உயிர்தொகுப்பு

லெசிதின் என்பது பாஸ்படிடைல் கோலின் ஆகும். கோலின் என்பது லெசிதினின் ஒரு கூறாகும். இது எத்தாலமீனை படிப்படியாக மெத்திலேற்றம் செய்வதால் கிடைக்கிறது. மேலும் சிரைன் என்ற அமினோ அமிலத்தை கார்பாக்ஸில் நீக்கம் செய்வதால் எத்தனாலமீன் கிடைக்கிறது. சிரைன், கார்போஹைட்ரேட் மற்றும் புரத வளர்சிதை மாற்றத்தில் இருந்தும் உருவாகிறது.

படம் 5.5 லெசிதின் உயிர்தொகுப்பு

லெசிதின் அமைப்பு

5.4.2 பாஸ்போலிப்பிடுகள் நொதிகளினால் சிதைவடைதல்

பாஸ்போலிப்பேஸ்கள் என்ற நீராற்பகுப்பு நொதிகள் பாஸ்போலிப்பிடுகளை சிதைவடைக்கின்றன. பாஸ்போ லைப்பேஸ்கள் செயல்படும் பிணைப்பின் தெரிவுத் தன்மையைப் பொருத்து நான்கு வகைகளாக முறையே A_1, A_2, C மற்றும் D என வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

5.4.3 லைசோலெசிதின் உருவாக்கம்

லெசிதின் மீது லெசிதினேஸ் என்ற நொதி செயல்படும் போது லைசோலெசிதின் உருவாகிறது. லெசிதினேஸ் என்ற நொதி பாஸ்போலைப்பேஸ் எனவும் அழைக்கப்படுகிறது. லெசிதின் மீது பாஸ்போலைப்பேஸ் A_2 செயல்படும் போது லைசோலெசிதின் மற்றும் கொழுப்பு அமிலம் உருவாகிறது.

லெசிதின்

லைசோலெசிதின்

லைசோலெசிதின் மற்றொரு வழியிலும் உருவாகலாம். இதற்கு லெசிதின் கொலஸ்டிரால் அசைல் டிரான்ஸ்பரேஸ் என்ற நொதி உதவுகிறது. இந்நொதி கல்லீரலிலும் பிளாஸ்மாவிலும் மிகுதியாக உள்ளது. இந்த நொதி கொழுப்பு அமிலத்தை லெசிதினில் இருந்து கொலஸ்டிராலுக்கு மாற்றி கொலஸ்டிரால் எஸ்டரை உருவாக்குகிறது.

லெசிதின் + கொலஸ்டிரால் —(லெசிதின் கொலஸ்டிரால் அசைல் டிரான்ஸ்பரேஸ்)→ கொலஸ்டிரால் எஸ்டர் + லைசோலெசிதின்

5.4.4 லைசோலெசிதினால் ஏற்படும் விளைவுகள்

லைசோலெசிதினேஸ் என்ற நொதி லைசோலெசிதினை, கொழுப்பு அமிலம், கிளிசெரால், பாஸ்பாரிக் அமிலம் மற்றும் கோலின் ஆக நீராற்பகுக்கிறது. பாம்பின் விஷத்தில் உள்ள

லெசிதினேஸ் நொதி லெசிதினில் உள்ள நிறைவுறாக் கொழுப்பு அமிலத்தை பிரித்து, லெசிதினை லைசோலெசிதினாக மாற்றுகிறது. லைசோலெசிதின் இரத்தத்தில் உள்ள சிவப்பணுக்களை சிதைவடையச் செய்கிறது (Hemolysis). இதுவே பாம்பு, சில தேனீக்கள் மற்றும் சிலந்திகளின் விஷத்தன்மைக்கு காரணமாகும்.

5.5 செபாலின்

லெசிதின் போன்ற உருவ அமைப்பில் செபாலினும் உள்ளது. ஆனால் இதில் கோலினிற்கு பதிலாக எத்தனாலாமீன் என்ற காரம் உள்ளது. செபாலின் பாஸ்படிடைல் எத்தனாலாமீன் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

செபாலினின்

செபாலினின் இயற்பண்புகள் லெசிதினை போன்றது ஆகும். செபாலின் உள்ள கொழுப்பு அமிலங்களை பொறுத்து வேறுபடுகிறது. பாம்பின் விஷத்தில் உள்ள லெசிதினேஸ் என்ற நொதி செபாலின்களை, லைசோசெபாலின்களாக மாற்றுகிறது. இது லெசிதின், லைசோலெசிதினாக மாறுவதை போன்று ஏற்படுகிறது.

5.6 அதிரோஸ்கிலிரோஸிஸ் (Atherosclerosis)

கொலஸ்டிரால் தொகுத்தல், நகர்வடைதல் மற்றும் சேமித்தல் போன்ற செயல்கள் பாலூட்டிகளில் பலவழி முறைகளில் கட்டுபடுத்தப்படுகிறது. இதில் ஏதேனும் ஒன்றில் குறைப்பாடு ஏற்பட்டால் அதிரோஸ்கிலிரோஸிஸ் உண்டாகிறது.

அதிரோஸ்கிலிரோஸிஸ் என்பது கொலஸ்டிரால் மற்றும் லிப்பிடுகள் இரத்தக் குழாயில் உட்புறத்தில் படிவதால் அடைப்பு ஏற்படுகிறது. இந்த அடைப்பு ஏற்படுவதால் இரத்தம், இருதயம் மற்றும் மூளைக்கு செல்வது தடைபடுகிறது. இதனால் இரத்த அழுத்தம், ஸ்ட்ரோக், மாரடைப்பு ஏற்படுகிறது. புகைபிடித்தல், உடல் பருமன் அதிகரிப்பு (Obesity) உடற்பயிற்சியின்மை, மனஉளைச்சல் (Stress) மற்றும் மிகுந்த கொழுப்பு உணவினால் எதிரோஸ்கிலிரோஸிஸ் உருவாகிறது.

அதிரோஸ்கிலிரோஸிஸ் உள்ளவர்களுக்கு VLDL – Very Low density lipoprotein (மிகவும் குறைந்த அடர்த்திக் கொண்ட லிப்போ புரதம்) LDL - Low density lipoprotein (குறைந்த அடர்த்திக் கொண்ட லிப்போ புரதம்), அளவுகள் பிளாஸ்மாவில் அதிகமாக உள்ளன. ஹைபோலிபிடெமிக் மருந்துகளின் மூலம் இரத்தத்தில் உள்ள கொலஸ்டிரால் அளவை கட்டுப்படுத்தலாம். இந்த மருந்துகளை அதிகமாக எடுத்துக் கொள்ளும் பட்சத்தில் பக்க விளைவுகளை ஏற்படுகிறது. மேலும் உணவில் கட்டுப்பாடு மற்றும் உடற்பயிற்சி செய்தலை அதிரோஸ்கிளிரோஸிஸ் உள்ளவர்கள் கடைப்பிடித்தல் அவசியமானதாகும்.

பயிற்சிகள்

1. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு.

அ. கீழ்கண்டவற்றுள் நிறைவுற்ற கொழுப்பு அமிலம் எது ?

i. ஒலியிக் அமிலம் ii. செரிபிரோனிக் அமிலம்

iii. நெர்வோனிக் அமிலம் iv. ஸ்டியரிக் அமிலம்

ஆ. கீழ்கண்டவற்றுள் இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலம் எது ?

i. லினோலிக் அமிலம் ii. லினோலினிக் அமிலம்

iii. அரகிடோனிக் அமிலம் iv. ஒலியிக் அமிலம்

இ. அசிடைல் CoA கார்பாக்ஸிலேற்ற வினையில் பயன்படும் வைட்டமின்

i. TPP ii. FAD

iii. பயோட்டின் iv. வைட்டமின் சி

ஈ. _____ கொலஸ்டிராலில் இருந்து உருவாகிறது.

i. வைட்டமின் A ii. வைட்டமின் C

iii. வைட்டமின் E iv. வைட்டமின் D

உ. லைசோலெசிதின் எதன் உதவியால் லெசிதினாக மாறுகிறது.

i. லெசிதினேஸ் A ii. லெசிதினேஸ் A_2

iii. லெசிதினேஸ் C iv. லெசிதினேஸ் D

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக.

1. இன்றியமையாத கொழுப்பு அமிலங்களின் பற்றாக்குறையால் _____ ஏற்படுகிறது.

2. β– ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையில் ஈடுபடும் கொழுப்பு அமிலத்தின் செயல்மிக்க இடைநிலை பொருள் _____

3. ஸ்பிங்கோலிப்பிடுகளில் உள்ள அமினோ ஆல்கஹால் _____

4. அராக்கிடோனிக் அமிலத்தில் உள்ள இரட்டைப் பிணைப்புகளின் எண்ணிக்கை _____

5. அதிரோஸ்கிலிரோடிக் உள்ளவர்களின் பிளாஸ்மாவில் _____ மற்றும்_____அளவு மிகுதியாக காணப்படுகிறது.

III. சரியா ? தவறா ?

1. லிப்பிடுகள் உடலில் கணக்கில் அடங்கா அளவு சேமிக்கப்படுகிறது.

2. அசைல் CoA டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்ற நொதி கொழுப்பு அமில உயிர்தொகுப்பில் ஈடுபடுகிறது.

3. செபாலின் பாஸ்படிடைல் எத்தனாலாமீன் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

4. எதிரோஸ்கிலிரோஸ்ஸில் உருவாக உடற்பருமன் அதிகரிப்பு (Obesity) ஒரு காரணமாகும்.

5. அசைல் ஊர்தி புரதம், கொழுப்பு அமிலம் சிதைவடைதலில் ஈடுபடுகிறது.

IV. பொருத்துக.

1.	லெசிதின்	–	கொலஸ்டிரால் உயிர்தொகுப்பு
2.	செபாலின்	–	பித்த உப்பு
3.	அசிடைல் CoA கார்பாக்ஸிலேஸ்	–	பாஸ்படிடைல் கோலின்
4.	கோலிக் அமிலம்	–	கொழுப்பு அமிலம் உயிர்தொகுப்பு
5.	HMG CoA ரிடக்டேஸ்	–	பாஸ்போடிடைல் எத்தனாலமீன்

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி.

1. எந்த கொழுப்பு அமிலம் இரத்தத்தில் உள்ள கொலஸ்டிரால் அளவை குறைக்கும் ?

2. எந்த ஸ்டீராய்டு பூஞ்சைகளுக்கு எதிராக செயல்படுகிறது ?

3. எந்த நொதி அசிடைல் CoA வை, மேலோனைல் CoA வாக மாற்றுகிறது ?

4. பால்மிடிக் அமிலத்தை, அசிடைல் CoA வாக மாற்ற எத்தனை β– ஆக்ஸிஜனேற்றம் தேவைப்படுகிறது.

5. பாஸ்போலிப்பிடுகளில் உள்ள வளைய ஹெக்ஸாஹைட்ரிக் ஆல்கஹால் எது ?

VI. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விடையளி

1. β–ஆக்ஸிஜனேற்றம் பற்றி விளக்குக.

2. கொலஸ்டிரால் உயிர்தொகுத்தலில் உள்ள படிகளை விவரி.

3. லிப்பிடுகளின் பயன்களை விளக்குக.

4. அத்திரோஸ்கிலிரோஸஸ் பற்றி குறிப்பு வரைக.

5. நமது உடலில் கொழுப்பு அமிலங்கள் எவ்வாறு தொகுக்கப்படுகின்றன ?

பாடம் – 6

நியூக்ளிக் அமிலங்களின் வளர்சிதை மாற்றம்

முன்னுரை

நியூக்ளிக் அமிலங்கள், வாழ்க்கை மற்றும் மரபியல் பண்புகளுக்கு அடித்தளமான வேதிப்பொருளாகும். நியூக்ளிக் அமிலம், மரபணு தகவல்களைக் கடத்த உதவுகின்றது. இதன் பெயருக்கேற்ப, அவை செல்லின் உட்கருவில் அமைந்துள்ளன. ஆனால், அவை மற்ற நுண்ணுறுப்புகளிலும் கண்டறியப்பட்டுள்ளன. புரதங்களுக்கு அமினோ அமிலங்களைப் போல நியூக்ளிக் அமிலத்திற்கு அடிப்படை அலகு நியூக்ளியோடைடுகள் ஆகும்.

நியூக்ளிக் அமிலங்கள் இரண்டு வகைப்படும்.

அவை

1. ரைபோ நியூக்ளிக் அமிலம்
2. டி. ஆக்ஸி ரைபோ நியூக்ளிக் அமிலம்

நியூக்ளிக் அமிலத்தின் பகுதிப் பொருட்கள்

பகுதிப்பொருள்	ரைபோநியூக்ளிக் அமிலம்	D – ஆக்ஸி ரைபோ நியூக்ளிக் அமிலம்
அமிலம்	பாஸ்பாரிக் அமிலம்	பாஸ்பாரிக் அமிலம்
பெண்டோஸ் சர்க்கரை	D – ரைபோஸ்	D – 2டி ஆக்ஸி ரைபோஸ்

நைட்ரஜன் காரங்கள்

1.	பியூரின்	அடினைன் குவானைன்	அடினைன் குவானைன்
2.	பிரிமிடின்	சைட்டோசின் யூராசில்	சைட்டோசின் தையமின்

பாஸ்பாரிக் அமிலம்

பாஸ்பாரிக் அமிலத்தின் மூலக்கூறு வாய்பாடு H_3PO_4. இதில் மூன்று ஒற்றை இணைதிறன் கொண்ட ஹைடிராக்சைல் தொகுதிகளும், ஒரு இரட்டை இணைதிறன் கொண்ட ஆக்ஸிஜன் அணுவும், ஐந்து இணைதிறன் கொண்ட பாஸ்பரஸ் உடன் இணைந்துள்ளன.

பாஸ்பாரிக் அமிலம்

பென்டோஸ் சர்க்கரை

முதனிலையில் நியூக்ளிக் அமிலம் 5 கார்பன் சர்க்கரையான பெண்டோஸ் சர்க்கரையின் அடிப்படை முறையில் இரண்டு வகையாக வேறுபடுத்தப்படுகிறது. ஒன்று D–2 டி ஆக்ஸிரைபோசையும் (டி ஆக்ஸிரைபோ நியூக்ளிக் அமிலம்), மற்றொன்று D-ரைபோசையும் (ரைபோ நியூக்ளிக் அமிலம்) கொண்டிருக்கும். இந்த இரண்டு சர்க்கரைகளும், நியூக்ளிக் அமிலத்தில், பியூரனோஸ் வளையம் மற்றும் β கான்பிகரேசனில் அமைந்திருக்கின்றன.

β-D- ரைபோஸ்

β-D- டி ஆக்ஸி ரைபோஸ்

நைட்ரஜன் காரங்கள்

இரண்டு வகையான நைட்ரஜன் காரங்கள் நியூக்ளிக் அமிலத்தில் உள்ளன. அவை பியூரின் மற்றும் பிரிமிடினிலிருந்து பெறப்படுகின்றன.

1. பியூரின் காரங்கள்

பியூரின் காரங்கள் அதன் தாய்ச் சேர்மமான பியூரினிலிருந்து பெறப்படுகிறது. ஆறு அணுக்களை உடைய பிரிமிடின் வளையம் 5 அணுக்களை உடைய இமிடசோலுடன் இணைந்து பியூரின் வளையத்தைத் தருகிறது. நியூக்ளிக் அமிலத்தில் அடினைன் மற்றும் குவானைன், பியூரின் மூலத்திலிருந்துப் பெறப்படுகின்றன.

பியூரின்

அடினைன்
(6 அமினோ பியூரின்)

குவானைன் (2–அமினோ 6–ஆக்ஸோபியூரின்)

ii. பிரிமிடின் காரங்கள்

பிரிமிடின் காரங்கள், அதன் தாய்ச் சேர்மமான, பல்லின வளைய பிரிமிடினிலிருந்துப் பெறப்படுகின்றன. நியூக்ளிக் அமிலத்தில், யூராசில், தையமின் மற்றும் சைட்டோசின் பிரிமிடின் மூலத்திலிருந்துப் பெறப்படுகின்றன.

பிரிமிடின்

சைட்டோசின்
(2–ஆக்ஸோ–
4 –அமினோ பிரிமிடின்)

யூராசில்
(2,4–டை ஆக்ஸோ
பிரிமிடின்)

தையமின்(2,4–டைஆக்ஸோ,
5 மெத்தில் பிரிமிடின்)

நியூக்ளிக் அமிலத்தில் உள்ள பிற காரங்கள்

DNA மற்றும் RNA வில், மேலே குறிப்பிட்ட நான்கு காரங்களைத் தவிர, பிற பொதுவாக காணப்படாத சில காரங்களும் காணப்படுகின்றன. அவை 5 மெத்தில் சைட்டோசின், N^4 அசிடைல் சைட்டோசின், N^6 மெத்தில் அடினைன், N^6N^6 டை மெத்தில் அடினைன், சுடோயூராசில் மற்றும் பல.

காரங்களின் இணைப்பு

காரங்கள் இணைப்பு, இரட்டைத் திருகுச் சுருள், DNA அமைப்பை நிர்வகிப்பது மட்டுமின்றி DNA, RNA மற்றும் புரதம் உருவாக்குதலிலும் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது.

DNA வில்

அடினைன் (A) தையமின் (T) உடனும்,

குவானைன் (G) சைட்டோசின் (C) உடனும் இணைகிறது.

RNA வில்

அடினைன் (A) யூராசில் (U) உடனும்.

குவானைன் (G) சைட்டோசின் (C) உடனும் இணைகிறது.

DNA வின் அமைப்பில் சார்காஃப் விதி (DNA மூலப்பொருட்கள்)

அடினைன் – தையமின் மூலக்கூறுகளும், குவானைன் – சைட்டோசின் மூலக்கூறுகளும், DNA வில் சமமான அளவில் இருக்கின்றன. இப்படி பியூரின், பிரிமிடின் சரிவிகிதத்தில் DNA வில் இருப்பது சார்காஃப் விதியாகும்.

நியூக்ளியோடைடுகளின் அமைப்பு

நியூக்ளியோடைடுகள், நியூக்ளிக் அமிலத்தின் அடிப்படை அலகுகளாகும். ஒவ்வொரு நியூக்ளியோடைடும்,

1. பாஸ்பேட்
2. பென்டோஸ் சர்க்கரை
3. நைட்ரஜன் காரங்கள்

ஆகிய பகுதிப் பொருட்களைக் கொண்டது.

சர்க்கரை + காரம் ⟶ நியூக்ளியோசைடு

நியூக்ளியோசைடு + பாஸ்பேட் ⟶ நியூக்ளியோடைடு

6.1 DNA உருவாக்கம் (DNA Biosynthesis)

புதிய இரட்டை திருகுச் சுருள் DNA ஏற்கெனவே இருக்கும் DNA விலிருந்து உருவாகும் செயல்முறை ரெப்ளிகேசன் எனப்படும். DNA பாலிமெரேஸ் (அ) DNA நியூக்ளியோடிடைல் டிரான்ஸ்பரேஸ் நொதியின் கண்டுபிடிப்பிற்கு பின், DNA உருவாக்கத்தின் இயங்கமைப்பு தெளிவுப்படுத்தப்பட்டது. மோனோ நியூக்ளியோடைடுகளிலிருந்து பாலி நியூக்ளியோடைடுகளை பலபடியாக்கல் வினையின் மூலம் உருவாக்கும் இந்த நொதிக்கு கீழ்க்கண்டவை தேவைப்படுகின்றன.

1. புதிய இழை உருவாக, டெம்பிளேட் (template strand) இழை உதவுகிறது. டெம்பிளேட் இழையிலுள்ள வரிசை, எந்த நியூக்ளியோடைடு இணைய வேண்டுமென்பதை நிர்ணயிக்கிறது.

2. RNA ப்ரைமருடன் (Primer) புதிய நியூக்ளியோடைடுகள் இணைக்கப்படுகின்றன.

3. நான்கு நியூக்ளியோசைடு ட்ரை பாஸ்பேட்கள் முறையே, dGTP, dATP, dTTP, மற்றும் dCTP தேவைப்படுகின்றன.

4. துணைகாரணியாக மெக்னீசியம் தேவைப்படுகிறது.

n d ATP
+
n d CTP + RNA
+
n d GTP (ப்ரைமர்)
+
n d TTP

$\xrightarrow[Mg^{2+}]{\text{DNA பாலிமெரேஸ்}}$ $\left[\begin{matrix} dAMP \\ dCMP \\ dGMP \\ dTMP \end{matrix}\right]_n$ + 4n (PPi)

படம் 6.1 பாஸ்போ டை எஸ்டர் பிணைப்பு உருவாக்கம்

இந்த வினைக்குத் தேவையான ஆற்றல், dATP, dCTP, dGTP, மற்றும் dTTP ஆகிய ட்ரை பாஸ்பேட்களின் அதிக ஆற்றல் கொண்ட பிணைப்புகளின் நீராற்பகுத்தலின் மூலம் பெறப்படுகிறது. ஒவ்வொரு காரமும் புதிய தொடருடன் இணையும் போது அதன் இறுதியிலுள்ள பைரோ பாஸ்பேட்டை (PPi) இழக்கிறது (படம் 6.1).

6.1.1 ரெப்ளிகேசன் அல்லது இரட்டிப்படைதல் (Replication)

ரெப்ளிகேசன் என்பது DNA மாதிரியிலிருந்து ஒரே தன்மையுடைய புதிய சேய் DNA உருவாகுதல் ஆகும்.

ரெப்ளிகேசனின் மாதிரிகள்

ரெப்ளிகேசனை விளக்குவதற்கு மூன்று மாதிரிகள் எடுத்துரைக்கப்பட்டுள்ளன. அவை,

1. கன்சர்வேடிவ் ரெப்ளிகேசன் (Conservative)
2. டிஸ்பர்சிர்வ் ரெப்ளிகேசன் (Dispersive)
3. செமி கன்சர்வேடிவ் ரெப்ளிகேசன் (Semi conservative)

1. கன்சர்வேடிவ் ரெப்ளிகேசன்

இந்த முறையில் பெற்றோர் DNA ஒரு சேய் செல்லுக்கும் புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட DNA மற்றொரு சேய் செல்லுக்கும் முழுவதுமாக அளிக்கப்படுகிறது (படம் 6.2).

பெற்றோர் DNA புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட DNA (சேய் DNA)

படம் 6.2 கன்சர்வேடிவ் ரிப்ளிகேசன்

2. டிஸ்பர்சிவ் ரெப்ளிகேசன்

இந்த முறையில் பெற்றோர் DNA சமமற்ற விகிதத்தில் சேய் செல்களுக்கும் பகிர்ந்தளிக்கப்படுகிறது (படம் 6.3).

படம் 6.3 டிஸ்பர்சிவ் பெரப்ளிகேசன்

3. செமி கன்சர்வேடிவ் ரெப்ளிகேசன்

இம்மாதிரியின்படி, சேய் செல்லில் ஒரு பெற்றோர் இழையும் ஒரு புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட சேய் இழையும் இருக்கும் (படம் 6.4).

படம் 6.4 செமி கன்சர்வேடிவ் ரெப்ளிகேசன்

இந்த முறையிலேயே இயல்பாக ரெப்ளிகேசன் நடைபெறுகிறது என்பதை ஆய்வின் மூலம் மெசல்சன் மற்றும் ஸ்டால் 1957 ஆம் ஆண்டில் கண்டிபிடித்தனர். ஈகோலை செல்கள் $^{15}NH_4Cl$ மீடியத்தில் (Medium) பல தலைமுறைகள் வளர்க்கப்படுகின்றன. இதனால் DNA வில் உள்ள நைட்ரஜன் அணுக்கள் ^{15}N ஆக மாற்றப்படுகின்றன. சில செல்கள் இயல்பான NH_4Cl மீடியத்தில் வளர்க்கப்படுகின்றன. பின்பு ரெப்ளிகேசனின் மூலம் உருவான சேயிலிருந்து DNA பிரித்து எடுக்கப்பட்டு அதன் அடர்த்தி (Density gradient centrifugation) டென்சிடி கிரேடியன்ட் சென்டிரிபியூகேசன் மூலம் பகுத்தறியப்படுகிறது. ரெப்ளிகேசன் கன்சர்வேடிவ் முறையில் நடைபெற்றால், ^{15}N கொண்ட ஒரு கனத்த பட்டையும் (Band) மற்றொன்று ^{14}N கொண்ட சற்று மெல்லிய பட்டையும் கிடைக்கும். ஆனால் ரெப்ளிகேசன் செமி கன்சர்வேடிவ் முறையில் நடைபெற்றால், ^{15}N மற்றும் ^{14}N இரண்டும் கொண்ட நடுத்தர அடர்த்தி உடைய ஒரே ஒரு இடைநிலை பட்டை மட்டும் கிடைக்கும்.

முதல் தலைமுறையில் கிடைக்கப்பெற்ற பட்டைகள், நடுத்தர அடர்த்தியைக் கொண்ட ஒரு இழையாக இருப்பதால், ரெப்ளிகேசன் செமி கன்சர்வேடிவ் முறையில் நடக்கிறது என்பதை உறுதிப்படுத்துகிறது.

6.1.2 ரெப்ளிகேசனின் படிநிலைகள் (Sequential process of Replication)

DNA ரெப்ளிகேசனின் தொடக்கம் (Initiation of DNA Replication)

DNA உருவாக்கம் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் தொடங்குகிறது. இது ரெப்ளிகேசன் ஆரம்பப்புள்ளி (Origin) எனப்படும்.

புரோகேரியோட்டுகளில் ஒரு ஆரம்பப் புள்ளியும், யூகேரியோட்டுகளில் பல ஆரம்பப் புள்ளிகளும் உள்ளன. இந்தப் புள்ளி A = T கார இணைப்புகளாலான சிறய தொடரைக் கொண்டது.

ரெப்ளிகேசன் குமிழிகள் (Replication Bubbles)

ரெப்ளிகேசன் ஆரம்பப்புள்ளியில் DNA வின் இரண்டு இணை இழைகளும் பிரிந்து ரெப்ளிகேசன் குமிழியை உருவாக்குகின்றன.

பெற்றோர் DNA சுற்று பிரிதல் (Unwinding of parental DNA)

ரெப்ளிகேசன் தொடங்கிய பிறகு, ஒவ்வொரு பத்து காரங்களும் சுற்று பிரிகிறது. இதுவே இரண்டு இழை பிரிதலுக்கும் ஏதுவாகின்றது.

புரோகேரியோட்டுகளில், இழைகள் பிரிவதற்கு ஹெலிகேஸ் (Helicase) என்ற நொதி உதவுகின்றது. ஒவ்வொரு கார இணைகள் பிரிவதற்கும் இரு ATP மூலக்கூறுகளின் நீராற்பகுப்பின் மூலம் பெறப்படும் ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. மற்றொரு புரதமான ஒற்றை இழையில் இணையும் புரதம் (**S**ingle **S**tand **B**inding Protein) பிரிக்கப்பட்ட இழைகளுடன் இணைந்து, அவை மறுபடியும் இணைவதை தடுக்கின்றன.

DNA பாலிமெரேஸால், ப்ரைமரின் உதவியின்றி ரெப்ளிகேசனைத் தொடங்க இயலாது. ப்ரைமர் என்பது, ப்ரைமேஸ் என்ற நொதியின் மூலம் உருவாகும் RNA வை மூலப்பொருளாகக் கொண்ட சிறிய பாலி நியூக்ளியோடைடு ஆகும்.

படம் 6.5 **DNA** ரெப்ளிகேசனின் தொடக்கம்

ஹைட்ரஜன் பிணைப்பு உடைவதன் மூலம், இரண்டு இழைகள் பிரிக்கப்படுகின்றன. இரட்டை திருகுச் சுருள் DNA, DNA பாலிமெரேஸ் என்ற நொதியின் உதவியோடு Mg^{2+} முன்னிலையில் DNA வின் ஒரு இழை டெம்பிளேடாக செயல்பட, செல் திரவத்திலிருந்து நான்கு டி ஆக்ஸி ரைபோ நியூக்ளியோசைடு ட்ரை பாஸ்பேட்டுகள் ஈர்க்கப்பட்டு, டெம்பிளேட் இழைக்கு இணையான காரங்கள், ஹைட்ரஜன் பிணைப்புகளால் பிரிந்த இழையில் சேர்க்கப்படுகின்றன. இந்த இணையான காரங்களை வரிசைப்படுத்த டெம்பிளேட் இழை உதவுகிறது.

பலபடியாக்கல் (Polymerisation)

இந்த வினையில் புதிதாகப் பிணைக்கப்படும் ஒவ்வொரு நியூக்ளியோடைடும் பைரோபாஸ்பேட்டை இழக்கிறது. இதன் விளைவாக மீதமுள்ள பாஸ்பேட் தொகுதி ஏற்கனவே உள்ள நியூக்ளியோடைடின் டி ஆக்ஸி ரைபோசின் 3' ஹைட்ராக்ஸில் தொகுதியுடன் இணைந்து, எஸ்டர் பிணைப்பை ஏற்படுத்துகிறது. இந்த இணைப்பு "பாஸ்போ டை எஸ்டர் பிணைப்பு" எனப்படும்.

பெற்றோர் இழைகள் எதிரெதிர் திசைகளில் ஓடுகின்றன. புதிய இழை உருவாகுதல், இரண்டு பெற்றோர் இழைகளிலிருந்தும் ஒரே நேரத்தில் ஆனால் வெவ்வேறு வேகத்தில் நடைபெறுகிறது. 3' → 5' திசைகளில் இழைகளை உருவாக்க எந்த ஒரு நொதியும் இல்லை. ஒரே நொதி இரண்டு இழைகளை உருவாக்க முடியாது. ஒரு நொதி, 5'→ 3' திசையில் தொடர்ந்து ஒரு இழையை உருவாக்குகிறது. அந்த இழை லீடிங் இழை (Leading strand) எனப்படும். மற்றொரு இழையான, லேகிங் இழை (Lagging strand) , தொடர்ச்சியற்ற முறையில் உருவாக்கப்படுகிறது. மேலும், இதில் குறைந்த அளவிலான (250) நியூக்ளியோடைடுகள் 5' → 3' திசையில் லிடிங் இழைக்கு எதிராக உருவாக்கப்படும். இது அரை தொடர்ச்சி DNA உருவாக்கம் (Semi continuous DNA synthesis) என அழைக்கப்படுகிறது.

தொடர்ச்சியற்ற முறையில் சிறிய சிறிய துண்டுகளாக புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட DNA ஓகாசாகி துண்டுகள் (Okazaki Fragments) எனப்படும். இது லைகேஸ் (Ligase) என்ற நொதியின் மூலம் இணைக்கப்படுகிறது. (படம் 6.6)

புதிதாக உருவாக்கப்பட்ட ஒவ்வொரு சேய் இரட்டைத் திருகு சுருள் DNA வில், ஒரு பழைய இழையைக் கொண்ட பிரைமர் DNA வும், அதற்கு இணையான புதிய இழையும் இருக்கும். இறுதியில், உருவாக்கப்பட்ட புதிய சேய் இழையும், பெற்றோர் இழையும், ஒரே மூலக்கூறு சேர்க்கை மற்றும் வரிசையைக் கொண்டது. இதுவே "ரெப்ளிகேசன்" எனப்படும்.

படம் 6.6 ரிப்ளிகேசன் ஃபோர்க் (Replication Fork)

6.2 டி ஆக்ஸி ரைபோ நியூக்ளியேஸ்கள் மூலம் DNA சிதைவடைதல்

நியூக்ளிக் அமிலங்கள், உட்கருவில் பெரும்பாலும் நியூக்ளியோ புரதங்களாகக் காணப்படுகின்றன. உணவில் உள்ள நியூக்ளிக் அமிலங்கள் HCl அமிலத்தின் மூலம் நியூக்ளிக் அமிலங்களாகவும் புரதங்களாகவும் பகுக்கப்படுகின்றன.

$$\text{நியூக்ளியோபுரதங்கள} \xrightarrow{HCl} \text{நியூக்ளிக் அமிலங்கள் + புரதங்கள்}$$

நியூக்ளிக் அமிலங்கள் இரைப்பையில் எந்த வித மாற்றமும் அடையாமல் டியோடினத்தை அடைந்து, அங்குள்ள நொதிகளால் (நியூக்ளியேஸ், நியூக்ளியோடிடேஸ் மற்றும் நியூக்ளியோசிடேஸ்) பியூரின், பிரிமிடின் காரங்கள் மற்றும் பென்டோசுகளாகச் சிதைக்கப்படுகின்றன.

நியூக்ளிக் அமிலங்களைச் சிதைவடையச் செய்யும் மூன்று வகையான நொதிகள் கீழே விளக்கப்பட்டுள்ளன.

1. நியூக்ளியேசஸ் (Nucleases)

நியூக்ளிக் அமிலங்களைச் சிதைவடையச் செய்யும் நொதிகளுக்கு நியூக்ளியேசஸ் என்று பெயர். குறிப்பாக RNA க்களைச் சிதைவடையச் செய்யும் நொதிகள் ரைபோநியூக்ஸியேசஸ் என்றும், DNA க்களைச் சிதைவடையச் செய்யும் நொதிகள் டி ஆக்ஸி ரைபோ நியூக்ளியேசஸ் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. சில நொதிகள் RNA க்களையும், DNA க்களையும் சிதைவடையச் செய்யும் தன்மை கொண்டவை.

டி ஆக்ஸி ரிபோ நியூக்ளியேஸ்கள், மேலும் இரு வகையாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன.

அ. எக்ஸோ நியூக்ளியேசுகள், நியூக்ளிக் அமிலத் தொடரின் கடைசியிலுள்ள இரு நியூக்ளியோடைடுகளின் இடையே உள்ள பிணைப்பைத் துண்டிக்கும் நியூக்ளியேசுகள் ஆகும் (படம் 6.7)

ஆ. எண்டோ நியூக்ளியேசுகள், நியூக்ளிக் அமிலத் தொடரின் மையத்திலுள்ள நியூக்ளியோடைடுகளின் இடையே உள்ள பிணைப்பைத் துண்டிக்கும் நியூக்ளியேசுகள் ஆகும்.

எக்ஸோ நியூக்ளியேசுகள், மேலும் இரண்டு வகையாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. அவை,

1. ஒற்றை இழை DNA வின் 3' முனையில் வினைபுரியும் நொதிக்கு 3' எக்ஸோ நியூக்ளியேஸ்கள்.
2. ஒற்றை இழை DNAவின் 5' முனையில் வினைபுரியும் நொதிக்கு 5' எக்ஸோ நியூக்ளியேஸ்கள்.

பொதுவாக, இந்த இரு நொதிகளையும் பாஸ்போ டை எஸ்டரேஸ்கள் என்றும் அழைக்கலாம்

படம் 6.7 எக்ஸோ நியூக்ளியேஸ்கள் வினைபுரியும் பகுதிகள்

நியூக்ளியோடிடேஸ்கள் (Nucleotidases) (பாஸ்படேஸ்கள்)

இந்த நொதி நியூக்ளியோடைடுகளை நீராற்பகுப்பின் மூலம் அதற்குரிய நியூக்ளியோசைடுகளாகவும், கனிம பாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளாகவும் சிதைக்கிறது.

நியூக்ளியோடைடுகள் —(பாஸ்படேஸ்)→ நியூக்ளியோசைடு + பாஸ்பேட்

நியூக்ளியோசிடேஸ்கள் (நியூக்ளியோசைடு பாஸ்பாரிலேஸ்)

மேற்கூறிய முறையில் உருவான நியூக்ளியோசைடுகள், உட்கிரகிக்கப்படுகின்றன அல்லது காரங்களாகவும், சர்க்கரைகளாகவும் சிதைக்கப்படுகின்றன.

நியூக்ளியோசைடு —(நியூக்ளியோசிடேஸ்)→ சர்க்கரை + காரம்

6.3 RNA உருவாக்கம் (டிரான்ஸ்கிரிப்சன்) (படியெடுத்தல்)

RNA உருவாக்கம் DNA உருவாக்கத்தைப் போன்றது. ஆனால் RNA மூன்று வகைகளை (தூது RNA, இடமாற்ற RNA, ரிபோசோமல் RNA) உடையது. இதில் பிரிமிடின் காரம் தையமினிற்குப் பதில் யூராசில் உள்ளது. இந்த வகையில் இது DNAவிலிருந்து வேறுபடுகிறது. DNAவின் ஒரு இழையை டெம்பிளேட்டாகக் கொண்டு, அதற்கு இணையான காரங்கள் ஹைட்ரஜன் பிணைப்பின் மூலம் இணைக்கப்பட்டு RNA உருவாக்கப்படுகிறது. இதனைச் செயல்படுத்த RNA பாலிமெரேஸ் என்னும் நொதிக்கு DNA பாலிமெரேஸ்க்குத் தேவைப்படுவது போல நான்கு நியூக்ளியோடைடு டிரை பாஸ்பேட்களும், Mg^{2+} (அ) Mn^{2+} துணைக்காரணிகளும் தேவைப்படுகின்றன.

$$\text{DNA} \xrightarrow{\text{டிரான்ஸ்கிரிப்சன்}} \text{RNA}$$

$$\begin{matrix} \text{nATP} \\ + \\ \text{n CTP} \\ + \\ \text{n GTP} \\ + \\ \text{n UTP} \end{matrix} + \text{DNA} \xrightarrow[Mg^{2+}]{\text{RNA பாலிமெரேஸ்}} \begin{pmatrix} \text{AMP} \\ \text{CMP} \\ \text{GMP} \\ \text{UMP} \end{pmatrix}_n + \text{DNA} + 4n\ (PPi)$$

செயல்பாடு (Mechanism)

டிரான்ஸ்கிரிப்சனில் மூன்று நிலைகள் உள்ளன.

1. தொடக்க நிலை 2. தொடர் நிலை 3. முடிவு நிலை

தொடக்க நிலை (Initiation)

ஈகோலையில் (E.coli) எல்லா மரபணுக்களும், RNA பாலிமெரேஸ் என்ற ஒற்றை நொதியின் மூலம் டிரான்ஸ்கிரைப் செய்யப்படுகின்றது. இந்த ஹோலோ நொதி ட்ரான்ஸ்கிரிப்சனைத் தொடங்குவதற்குத் தேவைப்படுகிறது.

மேலும், இதிலுள்ள σ காரணி ப்ரோமோட்டர் (Promotor) பகுதியை கண்டறிந்து, டிரான்ஸ்கிரிப்சன் தொடங்க இன்றியமையாத பங்கு வகிக்கிறது. புரோகேரியோட்டில், பல்வேறு σ காரணிகள், வெவ்வேறு ப்ரோமோட்டர் பகுதிகளை கண்டறிய உதவுகின்றன. (ஈ கோலையில், பொதுவான σ காரணி σ 70).

நாற்பது முதல் அறுபது இணை காரங்கள் வரையிலான அளவினை உடைய ப்ரோமோட்டர் பகுதியில் ஹோலோ நொதி இணைந்து, அதற்கு கீழ்திசையில் (Wown stream) ட்ரான்ஸ்கிரிப்சனைத் தொடங்குகிறது. இரண்டு ஆறு இணை காரங்கள் கொண்ட வரிசை ப்ரோமோட்டரில் உள்ளது. இந்த வரிசை ப்ரோமோட்டார் பணியை செய்ய முக்கியமானதாகும். இது ஒவ்வொரு உயிரினங்களிலும் கன்சர்வ்ட் (Conserved) ஆக உள்ளது. வழக்கமாக டிரான்ஸ்கிரைபாகும் நியூக்ளியோடைடு +1 என்று அழைக்கபடும். –10 மற்றும் –35 இடங்களில், அதாவது 10 மற்றும் 35 இணை காரங்கள் அடங்கிய மேல் திசையில் 2 ப்ரோமோட்டார் மூலகங்கள் (Promotor elements) உள்ளன (படம் 6.8)

தொடர்நிலை (Elongation)

டிரான்ஸ்கிரிப்சன் தொடங்கிய பிறகு , σ காரணி ஹோலோ நொதியிலிருந்து விடுபட்டு, கோர் நொதியாக (core enzyme) (α, β, β', ω) மாற்றமடைந்து தொடர்நிலைக்குள் செல்கிறது. இந்த கோர் நொதியின் மூலம் பலபடியாக்கல் நடைபெறுகிறது. அநேகமாக α காரணியில் இந்தத் திறன் உள்ளது. முதலில் டிரான்ஸ்கிரைப் செய்யப்படும் நியூக்ளியோடைடு பொதுவாக PPP G (அ) PPP A ஆகும். இந்த RNA பாலிமெரேஸ் RNA வை 5' → 3' திசையில் நான்கு ரிபோநியூக்ளியோடைடு 5 ட்ரை பாஸ்பேட்கள் (ATP, GTP, CTP மற்றும் UTP) மூலக் காரணிகளைக் (Precursor) கொண்டு உருவாக்குகிறது.

உருவாகும் RNA வின் 3'–OH முனை, அடுத்து பெரும் ரிபோநியூக்ளியோடைடு 5' ட்ரை பாஸ்பேட்டின் 5' பாஸ்பேட்டுடன் சேர்ந்து 3' 5' பாஸ்போ டை எஸ்டர் பிணைப்பை ஏற்படுத்துகிறது. (படம் 6.8) RNA பாலிமெரேஸ், RNA டெம்பிளேட் மற்றும் புதிய RNA ஆகியவை சேர்ந்து முக்கூட்டுப் பொருள் (Ternary complex) ஆகிறது. இழைகள் பிரிந்து டிரான்ஸ்கிரிப்சன் நடக்கும் DNA பகுதி டிரான்ஸ்கிரிப்சன் குமிழி (Transcription bubble) எனப்படும். (படம் 6.9). புதிய RNA டெம்பிளேட் DNA இழையுடன் இணைந்து நிலையற்ற இடைநிலையான RNA-DNA கலப்புச் சுருளை உருவாக்குகிறது. பிறகு டிரான்ஸ்கிரிப்சன் தொடரும் போது RNA-DNA கலப்பிலிருந்து RNA தனியே பிரிகிறது. டிரான்ஸ்கிரிப்சன் குமிழிக்கு முன்பு DNA இழைகள் பிரிந்தும். டிரான்ஸ்கிரிப்சன் முக்கூட்டுப்பொருள் நகர்ந்தபிறகு, DNA இழைகள் இணைந்தும் காணப்படுகின்றன.

DNA டெம்பிளேட்டிலுள்ள அடுத்த காரத்தற்கு இணையான நியூக்ளியோடைடு உள்வருகின்ற ரிபோநியூக்ளியோடைடாக தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. இந்தப் படத்தில் உள்வருகின்ற நியூக்ளியோடைடான UTP, அதற்கு இணையான, டெம்பிளேட் DNA வில் உள்ள காரத்துடன் இணைகிறது. 3' - 5' பாஸ்போ டை எஸ்டர் பிணைப்பு, நியூக்ளியோடைடுகளின் இடையே ஏற்பட்டு, RNA சங்கிலி 5' → 3' திசையில் தொடரப்படுகிறது. இதில் PPi விலக்கப்படுகிறது (படம் 6.9)

படம் 6.8 RNA பாலிமெரேஸ் மூலம் டிரான்ஸ்கிரிப்சன் நடைபெறுதல்

படம் 6.9 டிரான்ஸ்கிரிப்சன் குமிழி

இரட்டை திருகுச்சுருள் DNA, இழைகள் பிரிந்து DNA பாலிமெரேஸ் நொதி மற்றும் DNA டெம்பிளேட் இழையின் மூலம் RNA பிரதியை உருவாக்குகிறது. உருவான RNA நிலையற்ற RNA - DNA கலப்புச் சுருளாக இருக்கும். பின் DNA இழைகள் இணைந்த பின், RNA தனியே பிரிந்து விடும்.

முடிவு நிலை (Termination)

முடிவு நிலை வரிசையை (Termination sequence) அடையும் வரை டிரான்ஸ்கிரிப்சன் தொடர்கிறது. பொதுவாக, முடிவு நிலை வரிசையின் அடையாளம் G ≡ C அதிகமுள்ள பகுதியாகும். இதனை பாலின்ரோம் என்பர். இதைத் தொடர்ந்து A = T அதிகமுள்ள வரிசை இருக்கும். DNA பாலின்ரோலிருந்து உருவான RNA சுய இணையாகும் (Self complementary). அதனால் உட்புறம் ஒரு G ≡ C மற்றும் 4 (அ) அதற்கு மேற்பட்ட U காரங்கள் கொண்ட கொண்டை ஊசி வளைவுப் பகுதியை ஏற்படுத்துகிறது. எல்லா டிரான்ஸ்கிரிப்சனும் வளைவு பகுதியை ஏற்படுத்தி முடிவதில்லை. அதற்குப் பதிலாக மற்றொரு புரதமான "ரோ" (Rho) புரதத்தில் உதவியுடன், முடிவுநிலை வரிசையைக் கண்டறிந்து டிரான்ஸ்கிரிப்சனை முடிவுறச் செய்கிறது. (படம் 6.10).

படம் 6.10 முடிவுநிலையில் RNA வில் உருவாகும் கொண்டை ஊசி வளைவின் அமைப்பு

டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்குப் பின் நடைபெறும் மாற்றங்கள் (Post transcriptional modifications)

புரோகேரியோட்டுகளில் நடைபெறும் டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்குப் பின் நடைபெறும் மாற்றங்களுக்கு புரோகேரியோடிக் தூது RNA தேவைப்படுவதில்லை. புரோகேரியோட்டு தூது RNA முழுமைபெற டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்கு பிறகு ஏற்படும் மாற்றங்கள் நிகழ்ந்த பிறகே தூது RNA, இடமாற்ற RNA முழுமையாக உருவாக்கப்படுகின்றன. யூகோரியோட் செல்களில் டிரான்ஸ்கிரிப்ஸனுக்கு பின் தோன்றும் விளைபொருளை முதன்மை டிரான்ஸ்கிரிப்ட் என்றும் பின் அவை பல மாற்றங்களுக்கு உட்பட்டு முழுமை நிலையை அடைகின்றன. இந்த மாற்றத்திற்கு தான் டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்கு பின் ஏற்படும் மாற்றம் என்று பெயர்.

6.3.1 தூது RNA தயார்நிலைப் படுத்துதல் (Processing of mRNA molecules)

மொழி பெயர்த்தலுக்கு (Translation) முன்பு தூது RNA கீழ்க்கண்ட மாற்றங்களுக்குள்ளாகிறது. அவை,

1. உட்கருவில், 200 (அ) அதற்கு மேற்பட்ட அடினோசைன்கள், தூது RNA வின் 3' முனையில் இணைக்கப்படுகின்றன. இது பாலி A வால் (Poly A tail) எனப்படும்.
2. மெத்திலேற்றம் செய்யப்பட்ட குவானைன் நியூக்ளியோடைடு 5' முனையில் இணைக்கப்படுகிறது. இது 5' தொப்பி (5' cap) எனப்படும்.
3. அடினைனில் N^6 இடத்தில் மெத்திலேற்றம் செய்யப்படுகிறது. ஆனால் இதன் பணி கண்டறியப்படவில்லை. இப்படியாக தூது RNA தயார் நிலைப்படுத்தப்படுகிறது.

5' _____ 3'

மெத்தில் தொப்பி பாலி A வால்

தயார்படுத்தப்பட்ட mRNA

6.3.2 இடமாற்ற RNA மூலக்கூறுகள் தயார்நிலைப்படுத்துதல் (Processing of tRNA molecules)

பெரும்பாலான செல்கள், 40 முதல் 50 தனித்தன்மை உடைய இடமாற்ற RNA க்களைக் கொண்டுள்ளன. இந்த இடமாற்ற RNA க்கள், பொதுவாக நீளமான முன்னோடி (Precursor) RNA க்களிலிருந்து, நொதிகளின் உதவியுடன் 5' மற்றும் 3' முனைகளில் உள்ள சில நியூக்ளியோடைடுகள் நீக்கப்படுவதால் உண்டாகின்றன.

3' OH முனை உருவாக்கம்

இதில் ரிபோநியூக்ளியேஸ் D (RNase D) என்னும் நொதி, RNA வின் 3' முனையில் உள்ள கொண்டை ஊசி வளைவைக் கண்டறிந்து, CCA முனையை விட இரு காரங்களுக்குப் பிறகு, தனது செயல்பாட்டை நிறுத்துகிறது. 5' முனை தயார் செய்யப்பட்ட பிறகு, இவ்விரு காரங்களையும் இந்நொதி சிதைக்கிறது. இவ்வாறாக உருவாகும் RNA வுக்கு Pre tRNA என்று பெயர்.

5' P முனை உருவாக்கம்

ரிபோநியூக்ளியேஸ் P (RNase P) என்ற நொதி, 5' முனையிலுள்ள, தேவைக்கதிகமான நியூக்ளியோடைடுகளை, எண்டோ நியூக்ளியோலைடிக் பிளவின் மூலம் உடைத்து, சரியான அளவுடைய 5' முனையை நிலைநிறுத்துகிறது.

உருமாறிய காரங்கள் உருவாதல்

உருமாறிய காரங்களை உருவாக்குவதே இடமாற்ற RNA தயார்படுத்துதலின் இறுதிநிலையாகும். இடமாற்ற RNA மூலக்கூறில், இரண்டு யூரிடின் காரங்கள் சுடோ யூரிடின்களாகவும் (Ψ), ஒரு குவானோசின் –2' O – மெத்தில் குவானோசினாகவும் (2MG), ஒரு அடினைன் – ஐசோபென்டைல் (IPA) அடினைனாகவும் மாற்றப்படுகின்றன. இதுவே கடைசி மாற்றமாகும்.

புரதம் உருவாக்குதலில் இடமாற்ற RNA வின் பங்கு (Role of tRNA in protein synthesis)

படம் 6.11 முதிர் இடமாற்ற RNA உருவாக்கம்

RNA க்களில் இடமாற்ற RNAவே மிகச் சிறியது. முன்னோடி மூலக்கூறுகளைத் தயார்நிலைப்படுத்துதலின் மூலம் சிறிய பலபடி இடமாற்ற RNA க்கள் உருவாகின்றன. இந்த இடமாற்ற RNA க்கள் பல பணிகளைச் செய்கின்றன. அவற்றில் முக்கியமானது, இடமாற்ற RNA க்கள் குறிப்பிட்ட அமினோ அமிலத்துடன் இணைந்து, அவற்றை கிளர்ச்சியடையச் செய்து புரதத் தயாரிப்பில் ஈடுபடுத்துகின்றன. 20 அமினோ அமிலங்கள் இருப்பதால், 20 இடமாற்ற RNA க்கள் இருக்கும் எனக் கருதலாம். ஆனால் கோடான் டிஜெனரேட்டாக இருப்பதால், ஒரு அமினோ அமிலத்திற்குப் பல இடமாற்ற RNA க்கள் உள்ளன. இவை ஐசோ அக்சப்டார் இடமாற்ற RNA (Isoacceptor) எனப்படும். ஒரு அமினோ அமிலத்துடன் இணையும் பல்வேறு இடமாற்ற RNA க்கள் தங்கள் நியூக்ளியோடைடு வரிசையில் வேறுபடுகின்றன. அவை, ஒரே ஆண்டிகோடானைக் கொண்டு, ஒரே கோடானைக் கண்டறிகின்றன அல்லது வெவ்வேறு ஆன்டிகோடான்களைக் கொண்டு, வெவ்வேறு கோடான்களைக் கண்டறிந்து, ஒரே அமினோ அமிலத்தைப் புரதத்தில் இணைக்கின்றன. மேற்கூறியவாறு ஒவ்வொரு இடமாற்ற RNA வும் ஒரே ஒரு அமினோ அமிலத்திற்குத் தெரிவுத்தன்மை கொண்டுள்ளதால், அந்த அமினோ அமிலத்துடன் இணைகின்றது. அதனால் $tRNA^{Ala}$ என்று குறிப்பிட்டால், அந்த இடமாற்ற RNA அலைனைனுக்குத் தெரிவுத்தன்மை கொண்டதாகும்.

கோடான் என்பது மூன்று காரங்கள் சேர்ந்தது தூது RNA வில் இருந்தால் இது கோடான் என்றும், இடமாற்றம் RNA வில் இருந்தால் ஆண்டிகோடான் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. ஆண்டிகோடான் கோடானின் இணையாக இருக்கும்.

ரெப்ளிகேசனுக்கும், டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்கும் இடையே உள்ள வேறுபாடுகள்

வரிசை எண்.	ரெப்ளிகேசன்	டிரான்ஸ்கிரிப்சன்
1.	மோனோமர் டி ஆக்ஸி ரைபோஸ் கொண்டது	மோனோமர் ரைபோஸ் கொண்டது
2.	விளைபொருள் RNA இரட்டை இழையுடையது.	விளைபொருள் RNA ஒற்றை இழை உடையது.
3.	RNA ப்ரைமர் தேவை	RNA ப்ரைமர் தேவையில்லை
4.	இரண்டு இழைகளும் டெம்பிளேட்டாக செயல்படுகின்றன.	ஒரு இழை மட்டும் டெம்பிளேட்டாக செயல்படுகிறது.
5.	DNA பாலிமெரேஸ் என்னும் நொதி ஈடுபடுகிறது.	RNA பாலிமெரேஸ் என்னும் நொதி ஈடுபடுகிறது.
6.	DNA டெம்பிளேட் மாறுதலடையும்	DNA டெம்பிளேட் மாறுதலடையாது.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு

a. DNA உருவாக்கத்தில் ஈடுபடும் இரட்டை இணைதிறன் கொண்ட நேர்மின் அயனி.

i. கால்சியம் ii. மெக்னீசியம்

iii. பாஸ்பேட் iv. குளோரைடு

b. ஒகாசாகி துண்டுகள் இருப்பது

i. இரண்டு பெற்றோர் இழைகளிலும் ii. இரண்டு சேய் இழைகளில்

iii. லீடிங் இழையில் iv. லேகிங் இழையில்

c. G ≡ C மிகுந்த வரிசையைத் தொடர்ந்து, A=T மிகுந்த பகுதி காணப்படுவதின் அடையாளம்

i. தொடக்க நிலை ii. தொடர்நிலை

iii. முடிவுநிலை iv. ப்ரைமர் உருவாகுதல்

d. கீழ்க்கண்டவற்றில் எது மாற்றியமைக்கப்படாத காரம்

i. சுடோ யூராசில் ii. ஐசோ பென்டைல் அடினைன்

iii. மெத்தில் குவானைன் iv. டி ஆக்ஸி தையமின்

e. மெத்தில் தொப்பி மற்றும் பாலி A வால் காணப்படுவது

i. தூது RNA ii. இடமாற்ற RNA

iii. ரைபோசோமல் RNA iv. ஹெடிரோ நியூக்ளியஸ் RNA

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக

1. டெம்பிளேட்டிலிருந்து DNA உருவாக _____ தேவை

2. டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்குப் பின் நடைபெறும் மாற்றங்களில், மாற்றியமைக்கப்படும் காரங்கள் _____

3. RNA வில் அடினைனின் இணை _____

4. DNA, RNA உருவாகத் தேவைப்படும் நான்கு நியூக்ளியோடைடுகள் _____

5. RNA பிரைமர் உருவாகத் துணைபுரிவது _____

III. சரியா ? தவறா ?

1. RNA உருவாக TTP தேவை.

2. ஒகாசாகி துண்டுகள், ஹெலிகேசின் மூலம் இணைக்கப்படுகின்றன.

3. ஒற்றை இழையில் இணையும் புரதம் (SSB) இரட்டை இழையில் இணைந்திருக்கும்

4. RNA பாலிமெரேஸில் உள்ள (α), σ காரணி பலவித ப்ரோமோட்டர்களைக் கண்டறிய உதவுகிறது.

5. இடமாற்ற RNA க்கள் தயார்நிலைப்படுத்தபடுவதில்லை.

IV. பொருத்துக

1.	DNA	–	தூது RNA
2.	ரெப்ளிகேசன்	–	டி ஆக்ஸி ரைபோஸ்
3.	டிரான்ஸ்கிரிப்சன்	–	இடமாற்ற RNA
4.	ஆன்டி கோடான்	–	DNA உருவாக்கம்
5.	கோடான்	–	RNA உருவாக்கம்

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி

1. ஓகாசாகி துண்டுகளை இணைக்க எந்த நொதி பயன்படுகின்றது ?

2. RNA வில் மாற்றியமைக்கப்படும் காரங்கள் யாவை ?

3. RNA ப்ரைமரை எந்த நொதி உருவாக்குகிறது ?

4. DNA விற்கு மட்டும் உரிய காரம் எது ?

5. டிரான்ஸ்கிரிப்சன் முடிவு நிலையில் பங்கு பெறும் புரதம் எது ?

VI. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விடையளி

1. நியூக்ளிக் அமிலங்கள் எவ்வாறு சிதைவுறுகின்றன என்பதை கூறுக.

2. DNA உருவாக்கத்தில் உள்ள பலபடி நிலைகளை விவரி ?

3. RNA வின் டிரான்ஸ்கிரிப்சனுக்குப் பின் நடைபெறும் மாற்றங்களை வரிசைப்படுத்து.

4. டிரான்ஸ்கிரிப்சனின் செயல்முறையை விவரி ?

5. புரதம் உருவாகுதலில் இடமாற்ற RNA வின் பங்கு என்ன ?

பாடம் – 7

வளர்சிதை மாற்றங்களின் மரபுவழி கோளாறுகள்

முன்னுரை

முதன் முதலாக 1908ம் ஆண்டு கேராட் என்பவர் அல்பினிசம், அல்காப்டோனூரியா, சிஸ்டினூரியா மற்றும் பென்டோஸுரியா ஆகிய நான்கு அரிய நோய்கள் வளர்சிதை மாற்றங்களின் மரபு வழி கோளாறுகளினால் உண்டாகிறது என்பதனை கண்டுபிடித்தார். இந்த நோய்கள் குழந்தை பிறக்கும் போதே அதன் உடலில் இருப்பதால் மரபுவழி வந்ததாக கருதப்படுகிறது. வளர்சிதை மாற்றங்களில் மரபுவழி கோளாறுகள் ஏற்பட்டால் மரபுவழி நோய்கள் உண்டாகின்றன.

நமது உடலில் வளர்சிதை மாற்றம் இரண்டு சமநிலையுடைய செயல்களை கொண்டுள்ளது. வளர் மாற்றம் (உருவாக்கம்), சிதைமாற்றம் (அழிதல் அல்லது சிதைத்தல்). ஆற்றலை வெளியிடும் அல்லது உள்ளிழுக்கும் வளர்சிதை மாற்றங்கள் நொதிகளினால் துரிதப்படுத்தப்படுகின்றன. இவ்வாறு செயல்படும் நொதிகளில் ஏதேனும் ஒரு குறிப்பிட்ட நொதி இல்லையென்றாலோ அல்லது நொதி குறைப்பட்டாலோ உயிர்வேதி வினைகள் நடைபெறும்பாதையில் தடை ஏற்படுகிறது. இதன் மூலம் வளர்சிதை குறைபாடுகள் ஒரு மனிதனின் வாழ்நாள் முழுவதும் அவன் உடலில் காணப்படுவதோடு மட்டுமின்றி அவன் சந்ததிக்கும் சென்று சேருகிறது.

ஒரு நொதி இல்லையென்றாலோ அல்லது குறைப்பாட்டினால் வளர்சிதை மாற்றத்தின் இடைநிலைப் பொருட்கள் அசாதாரண முறையில் உடலில் சேர்ந்து விடுகிறது மற்றும் அவை சிறுநீரில் அப்படியே அல்லது சிதைக்கப்பட்ட பொருளாக வெளியேற்றப்படுகிறது. அவ்வாறு உருவாகும் ஒருசில பொருட்கள் நச்சுத்தன்மை கொண்டவைகளாகவும் இருக்கின்றன. உதாரணமாக கீழ்க்கண்ட வினையில்

$$R \xrightarrow{a} B \xrightarrow{b} C \xrightarrow{c} D \xrightarrow{d} P$$

R என்பது ஆரம்பவினை பொருள், B, C, D என்பவை இடையில் உருவாகும் பொருட்கள். P என்பது விளைபொருள் மற்றும் a, b, c, d என்பவை கிரியா ஊக்கிகளாகச் செயல்படும் நொதிகள். மேற்குறிப்பிட்டுள்ள வேதிவினை பாதையில் ஈடுபடும் ஒன்று அல்லது அதற்கு மேற்ப்பட்ட நொதிகள் அளவில் குறைந்து காணப்பட்டாலோ அல்லது நொதி இல்லை என்றாலோ, வேதிவினையின் இடைப்பட்ட வேதிப்பொருட்கள் அளவுக்கு அதிகமாக சேர்ந்து விடுகிறது.இதனால் வேதிவினையில் இறுதியில் கிடைக்கும் வினைவிளைப் பொருட்களின் அளவு குறைகிறது. இடைப்பட்ட வேதிப்பொருட்கள் அளவுக்கு அதிகமாக சேர்ந்து விடுகிறது. இதனால் நச்சுத்தன்மை உடலில் சேருவதோடு உடல் வளர்ச்சிக்கு மிகவும் முக்கியமான வினைவிளை பொருள் (P) அளவில் குறைவதால், நோய்கள் வரவும் வாய்ப்பு உள்ளது.

ஒரு நொதி என்பது ஒரு குறிப்பிட்ட வினைக்கு மட்டுமே கிரியா ஊக்கியாக செயல்பட முடியும். பீடல் மற்றும் டாட்டம் என்ற இரண்டு விஞ்ஞானிகள் ‘ஒரு மரபு அணு – ஒரு நொதி’ என்ற தங்களுடைய நான்காவது கோட்பாட்டை விளக்கி உள்ளனர். இதன்படி ஒரு நொதியின் உருவாக்கத்தில் ஒரு மரபு அணு மட்டுமே ஈடுபடுகிறது. நொதிகள் அனைத்தும் புரதங்களாக இருப்பதாலும், புரதங்கள் நியூக்ளிக் அமிலங்களின் செயல்பாடுகளினால் உருவாவதாலும் DNA வில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் அவை உருவாக்கும் புரதங்களிலும் காணப்படுகின்றன.

ஆகவே நொதிகளின் குறைபாட்டினால் உருவாகும் நோய்கள் டி.என்.ஏ. வின் மூலக்கூறு மாறுபாட்டினால் உண்டாகின்றது. பொதுவாக இவ்வாறு உண்டாகும் மரபியல் நோய்களை குணப்படுத்த முடிவதில்லை. இந்த மரபு வழி நோய்களால் பாதிக்கப்படுபவர்கள் எட்டிரோசை கோட்டுகளாகவோ (மரபு அணுவின் ஒரு அல்லில் மட்டுமே பாதிக்கப்பட்டவர்) அல்லது ஓமோசைகோட்டுகளாகவோ (மரபு அணுவின் இரண்டு அல்லில்களும் பாதிக்கப்பட்டவர்) இருக்கின்றனர். பாதிக்கப்பட்ட மரபு அணு ஆட்டோசோமல் (autosomal) குரோமோ சோம்களிலோ அல்லது இனப்பெருக்க குரோமோசோம்களிலோ காணப்படலாம்.

கேலக்டோசீமியா, வான்–கீர்க் நோய், ஈமோபீலியா, அல்பினிசம், ஆல்காப்டோனூர்யா மற்றும் டே–சாக்ஸ் நோய் ஆகிய முக்கியமான நோய்கள் சில வளர்சிதை மாற்றங்களின் மரபு வழி கோளாறுகளினால் உண்டாகின்றன.

7.1 கேலக்டோசிமியா (Galactosemia)

இது ஒரு மரபு வழி கோளாறு ஆகும். இந்நோயில் கேலக்டோஸ் குளுக்கோஸாக மாற்றம் அடைய முடிவதில்லை. இந்த நோய் கருத்துக் கணிப்பின்படி பிறக்கும் குழந்தைகள் 18,000 பேரில் ஒருவரும் மட்டும் உள்ளதாக கருதப்படுகிறது.

காரணங்கள்

கேலக்டோசில் இருந்து குளுக்கோஸ் உருவாகும் உயிர் வேதியியல் மாற்றத்தில் ஈடுபடும் நொதிகளின் குறைபாட்டினால் இந்த நோய் ஏற்படுகிறது. இந்த வேதிவினை வழிமுறை கீழே காட்டப்பட்டுள்ளது (படம் 7.1)

கேலக்டோஸ் $\xrightarrow{a}$ கேலக்டோஸ்–1 பாஸ்பேட்

$\xrightarrow{b}$ UDP கேலக்டோஸ் $\xrightarrow{c}$ UDP குளுக்கோஸ்

a = கேலக்டோகைனேஸ், b = UDP கேலக்டோஸ் –

–1 – பாஸ்பேட் யூரிடைல் டிரான்ஸ்பரேஸ், c = எபிமரேஸ்

படம் 7.1 கேலக்டோஸின் வளர்சிதை மாற்றம்

கேலக்டோசீமியா என்ற நோயில் கீழ்காணும் நொதிகளின் செயல்திறன் குறைபாட்டினால் கேலக்டோஸ் குளுக்கோஸாக மாற்றம் அடைவதில்லை.

அ. கேலக்டோகைனேஸ்,

ஆ. கேலக்டோஸ்–1–பாஸ்பேட் யூரிடைல் டிரான்ஸ்பரேஸ்

அறிகுறிகள்

கேலக்டோஸ்–1–பாஸ்பேட் யூரிடைல் டிரான்ஸ்பரேஸ் என்ற நொதியின் குறைபாடு மிகவும் முக்கியம் வாய்ந்ததாக கருதப்படுகிறது. இந்த குறைப்பாட்டினால் கேலக்டோஸ் இரத்தத்தில் அதிக அளவில் சேர்ந்து விடுகிறது. பின்னர் ஆல்டோஸ் ரிடிடக்டேஸ் என்ற நொதியினால் கேலக்டிடால் (Galactitol) ஆக மாற்றப்பட்டு கண்களில் பாதிப்பை (Cataract) ஏற்படுத்துகிறது.

கேலக்டோஸ்–1–பாஸ்பேட் யூரிடைல் டிரான்ஸ்பரேஸ் என்ற நொதியின் குறைபாடு சாதாரண நிலையில் ஏற்படுமாயின் அது மிகவும் மோசமான நிலையை ஏற்படுத்தும்.

கேலக்டோஸ்–1–பாஸ்பேட் கல்லீரலில் மிகுதியாக சேர்ந்து விடுவதால் அதிலுள்ள கனிம பாஸ்பேட் முழுவதையும் வெளியேற்றி விடுகிறது. இதனால் கல்லீரல் தன் செயல்பாட்டை இழப்பதோடு மூளை செயல்பாடும் குறைந்து காணப்படுகிறது. இந்நோயால் பாதிக்கப்பட்ட குழந்தை மனநலம் குன்றிய குழந்தையாக செயல்படுகிறது.

குழந்தைகள் பிறக்கும் போது நல்ல நிலையிலும் பின்னர் இந்த குழந்தைகள் சரிவர அழாமலும், பலவீனமாகவும் காணப்படுகின்றன. இந்த குழந்தைகளுக்கு அடிக்கடி வாந்தி மற்றும் இரத்தத்தில் குளுக்கோஸின் அளவு குறைந்தும் (Hypoglycemia) காணப்படுகின்றன. 2–3 மாதங்களுக்குப் பிறகு இந்த குழந்தைகளின் கல்லீரலில் கொழுப்பு அதிகரித்தும் பின்னர் கல்லீரலில், செல்கள் செயலிழந்து காணப்படும். இந்த வயதில் காலக்டோசீமியாவின் காரணமாக மூளையின் கார்டெக்ஸ் (Cortex) பகுதியில் கேலக்டோஸ் மற்றும் கேலக்டோஸ்–1–பாஸ்பேட் படிமானம் அதிகமாக ஏற்படுகிறது. இதன் காரணமாக மனநல பாதிப்பும் ஏற்படுகின்றது. எனவே இந்த நோயால் பாதிக்கப்பட்ட குழந்தைகள் கல்லீரல் பாதிப்பு, வளர்ச்சியின்மை மற்றும் மனநலம் குன்றி காணப்படுகின்றன.

7.2 வான்கீர்க் நோய் (Von-Gierke's Disease)

இது ஒரு அரிதான 'மரபுச் சார்ந்த குறைபாடு ஆகும். இந்த வகையான நோய் 'கிளைகோஜன் சேமிப்பு நோய்' வகையைச் சார்ந்தது. இந்த வகையான நோய்கள் கிளைகோஜன் வளர்சிதை மாற்றத்தில் ஈடுபடும் நொதிகளின் குறைபாட்டினால் உண்டாகிறது. இதனால் அளவுக்கு அதிகமாக பாலிசாக்கரைடுகள் கல்லீரல், நார் தசை மற்றும் இருதய திசுக்களில் சேர்ந்து விடுகின்றன.

வான்கீர்க் நோய் கிளைக்கோஜன் சேமிப்பு நோய்களில் முதன் முதலாக கண்டுபிடிக்கப் பட்ட நோயாகும். இந்த நோயினால் இரண்டு லட்சம் மக்களில் ஒருவர் பாதிக்கப்படுவதாகக் கணக்கெடுக்கப்பட்டுள்ளது.

காரணங்கள்

வான்கீர்க் நோயால் கல்லீரல் அதிகமாக பாதிக்கப்படுகிறது. குளுக்கோஸ்–6–பாஸ்படேஸ் என்ற நொதியின் குறைபாட்டினால் இந்த நோய் ஏற்படுகிறது. இந்த நொதி கிளைகோஜனிலிருந்து குளுக்கோஸ்–6–பாஸ்பேட் மற்றும் குளுக்கோஸ் உருவாக காரணமாக உள்ளது.

கிளைகோஜன் $\xrightarrow{a}$ குளுக்கோஸ்–6–பாஸ்பேட்

$\longrightarrow$ குளுக்கோஸ் + Pi

a = குளுக்கோஸ்–6–பாஸ்படேஸ்

படம் 7.2 கிளைகோஜன் குளுக்கோஸாக மாற்றமடைதல்

அறிகுறிகள்

கல்லீரல் மற்றும் சிறுநீரகத் திசுக்களில் கிளைகோஜன் அதிகமாக சேர்ந்து விடுகிறது. கீடோசிஸ் (Ketosis) மற்றும் ஹைப்பர் லிபிடிமியா (hyperlipidemia) ஆகியவை சில அறிகுறிகளாகும். கல்லீரலில் உள்ள கிளைகோஜன் அளவு 15 சதவிதம் அதிகரிக்கிறது. சில சமயங்களில் சிறுநீரகத்திலும் கிளைகோஜன் சேர்த்து வைக்கப்படுகிறது. இதனால் கல்லீரல்

வீக்கம் காணப்படுகிறது. உணவுக்கு இடைப்பட்ட காலங்களில் ஹைப்போகிளைசீமியா ஏற்படும். இந்த நோய் உள்ளவர்களுக்கு கிளைகோஜன் செலுத்தப்பட்டால், இரத்தத்தில் குளுக்கோஸ் அளவு அதிகரிக்காமல் இருக்கும். கன்வல்சன் வருவதும் நோயின் முக்கிய அறிகுறியாகும். குளுக்கோஸ்–6–பாஸ்பேட் கல்லீரலை விட்டு வெளியேறாமல் அங்கேயே தங்கி விடுவதால் அதை ஈடு செய்யும் பொருட்டு கிளைகாலைசிஸ் அதிகரிக்கப்பட்டு பைருவிக் மற்றும் லாக்டிக் அமிலங்கள் அதிக அளவில் உருவாகின்றன.

வான்கிரீக் நோயால் பாதிக்கப்பட்டவர்கள் அடிக்கடி உண்பதன் மூலம் ஹைப்கோகிளைசீமியா நிலையை தவிர்க்கலாம். இதுவே இந்நோய்க்கு உள்ள சிகிச்சையாகும்.

7.3 ஹீமோபீலியா (Hemophilia)

இரத்தம் உறைதல் என்பது மனித உடலில் இருந்து இரத்தம் அதிகமாக வெளியேறாமல் தடுக்கும் ஒரு பாதுகாப்பு நிகழ்ச்சி ஆகும். இரத்தம் உறைதல் நிகழ்ச்சியில் மொத்தம் 13 காரணிகள் (பெரும்பாலும் புரதங்கள்) பங்கு பெருகின்றன. இந்த புரதங்களில் ஒன்றோ அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட காரணிகளின் தொகுத்தலில் குறைபாடு ஏற்படும் போது இரத்தம் உறைதல் பாதிக்கப்பட்டு அதிகமாக இரத்தப்போக்கு (Hemorrhage) ஏற்படுகிறது.

மரபு வழியாக வரும் இந்த குறைகள் (நோய்கள்) பொதுவாக ஹீமோபீலியாஸ் என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

காரணங்கள்

ஹீமோபீலியா என்பது இரத்தம் உறைவது தாமதிக்கப்படுவதால் வரும் ஒரு மரபு வழி நோயாகும். இந்த நோயால் பாதிக்கப்படும் மனிதர்கள் ஹீமோபீலியாக்ஸ் அல்லது பிலிடர்ஸ் (Hemophiliacs or Bleeders) என்று அழைக்கப்படுவர். பெரும்பாலும் இந்த நோய் ஆண்களையே பாதிக்கிறது. மூன்று வகையான ஹீமோபீலியா நோய்கள் காணப்படுகின்றன.

1. இரத்தம் உறைதல் நிகழ்வில் பங்குபெரும் காரணி VIIIன் குறைபாட்டினால் உண்டாவது ஹீமோபீலியா A.
2. காரணி IXன் குறைபாட்டினால் ஹீமோபிலீயா B உண்டாகிறது.
3. காரணி XIன் குறைபாட்டினால் ஹீமோபீலியா C ஏற்படுகிறது.

அறிகுறிகள்

இந்த நோய் உள்ளவர்களுக்கு சிறிய அளவில் காயங்கள் ஏற்பட்டாலோ அல்லது பல் அகற்றும்போது அதிக அளவில் இரத்தப்போக்கு இருக்கும். இந்த நோயாளிகளின் இரத்தம் உறைவதற்கான நேரம் அதிகமாக இருக்கும்.

7.4 அல்பினிசம் (Albinism)

இந்த வகையான நோய் ஹைப்போமெலனோசிஸ் (Hypomelanosis) காரணமாக வருகிறது. ஹைப்போமெலனோசிஸ் என்பது மெலனின் என்ற நிறமி தோல் மற்றும் கண்களில் குறைவாக உருவாகும் நிலையைக் குறிக்கும். இந்நோய் தைரோஸினேஸ் என்ற நொதியின் குறைப்பாட்டினால் ஏற்படுகிறது. இந்த நொதி மெலனின் உருவாக்கத்திற்கு மிகவும் உதவுகிறது.இந்த நொதியின் குறைபாட்டால் மெலனின் மெலனேசைட்டில் இருந்து உருவாக்கப்படுவதில்லை. இதனால் தோல், மயிர், ஸ்கெலரோ (Sclera) மற்றும் கேராய்டுஸ் (Choroids) போன்றவை பாதிக்கப்படுகின்றன. மெலனின், தைரோஸின் என்ற அமினோ அமிலத்திலிருந்து தொகுக்கப்படுகிறது (படம் 7.3).

தைரோசின் —(தைராசினேஸ்)→ 3, 4, டைஹைட்ராக்சி

ஃபினைல் அலனின் → டோபாகுயினோன்

→ யூமெலனின் மற்றும் பியோமெலனின்

படம் 7.3 தைரோஸினிலிருந்து மெலனின் தொகுத்தல்

பொதுவாக இரண்டு வகையான அல்பினிசம் காணப்படுகிறது : 1 ஆக்குலோ க்யுடேனியஸ் (Oculo-cutaneous) – இவ்வகையில் கண்கள் மற்றும் தோல் பகுதியில் நிறமிகள் குறைந்து காணப்படுகின்றன. 2. ஆக்குலார் அல்பினிஸம் (Ocular albinism) – இதில் கண்களில் மட்டும் நிறமிகளின் அளவு குறைந்து காணப்படுகிறது. ஆனால் தோல் பாதிக்கப்படுவதில்லை.

7.5 அல்காப் டோனுரியா (Alkaptonuria)

இது ஒரு அரிதான மரபு வழி கோளாறாகும். பினைல் அலனின் மற்றும் தைரோசின் அமினோ அமிலங்களின் வளர்சிதை மாற்றங்களின் குறைபாட்டினால் இந்த நோய் ஏற்படுகிறது. இந்த நோய் பத்து இலட்சம் பேருக்கு ஐவர் என்ற கணக்கில் காணப்படுகிறது.

காரணங்கள்

ஹோமோஜென்டிசேட் ஆக்ஸிடேஸ் என்னும் நொதி தைரோசின் என்னும் அமினோ அமிலத்தை அசிடைல் CoA மற்றும் அசிடேட் ஆக மாற்றும் வினையில் ஈடுபடுகிறது. இவ்வினைத் தொடரின் போது இடைநிலையாக உருவாகும் ஹோமோஜென்டிசிக் அமிலம் ஹோமோஜென்டிசேட் ஆக்ஸிடேஸ் என்ற நொதியினால் ஆக்ஸிஜனேற்றம் செய்யப்படுகிறது. இந்த நொதியின் குறைபாட்டினால் ஹோமோ ஜென்டிசிக் அமிலம் உடலில் அதிகமாக சேருகிறது (படம் 7.4).

தைரோஸின் → → ஹோமோ ஜென்டிசிக் அமிலம்

↓ (ஹோமோஜென்டிசேட் ஆக்ஸிடேஸ்)

மெலியில் அசிடோ அசிடேட் → → அசிடைல் CoA + அசிடேட்

படம் 7.4 தைரோஸின் சிதைவடைதலில் ஹோமோஜென்டிசேட் ஆக்ஸிடேஸ் நொதியின் பங்கு

அறிகுறிகள்

இந்த நோயால் பாதிக்கப்பட்டவர்களின் இரத்ததிலும் திசு மற்றும் சிறுநீரிலும் அதிக அளவில் ஹோமோ ஜென்டிசிக் அமிலம் காணப்படும். இந்த நோயாளிகளின் சிறுநீர் காற்றில் வைத்திருக்கும் போது சற்று நேரத்திற்குள் நிறம் மாறி கருப்பாக தோற்றமளிக்கும். தைரோசினில் இருந்து உருவாகும் வேறுசில பொருட்களும் இது போல ஆக்ஸிஜனேற்றம் பெற்று நிறம் மாறும் தன்மை கொண்டவைகளாக இருக்கின்றன. இந்த நிறமிகள் 'அல்காப்டன்கள்' என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவ்வகையான 'அல்காப்டன்கள்' காதுகளின் கார்டிலேஜஸ்

இணைப்பு திசுக்கள் மற்றும் மூட்டுகளில் தங்கி விடுவதால் ஆர்த்தரிடிஸ் வரவும் காரணமாக உள்ளன. இது ஆக்ரோனோசிஸ் என்று அழைக்கப்படுகிறது.

ஹோமோ ஜென்டிசிக் அமிலம் பாலி பினைல் ஆக்ஸிடேஸ் என்ற நொதியின் மூலம் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையும்போது பென்சோகுயினால் என்ற வேதிப்பொருள் உருவாகி அது பாலிமரைஸ் ஆவதால் இணைப்பு திசுக்களில் சேர்ந்து ஆர்த்தரிடிஸ் உண்டாக காரணமாக அமைகிறது.

7.6 டே– சாக்ஸ் நோய் (Taysach's Disease)

கேங்ளியோசைடுகள் எல்லாம் கிளைகோஸ்பிங்கோ லிப்பிடுகளாகும். இவை பல்வேறு திசுக்களின் செல்சவ்வுகளின் சிறிதளவு பொதிந்துள்ளன. குறிப்பாக நரம்பு திசுக்களில் கேங்ளியோசைட்ஸ் அதிகமாக காணப்படுகின்றன. பொதுவாக கிளைகோஸ்பிங்கோ லிப்பிடுகளில் உள்ள கார்போஹைட்ரேட்டுகள் லைசோசோம்களில் காணப்படும், நீராற் பகுப்பு வினையில் ஈடுபடும் நொதிகளால் நீக்கப்படுகின்றன. இந்த நொதிகளின் குறைபாட்டினால் சில மரபு வழி நோய்கள் உருவாகின்றன என்று பல ஆராய்ச்சி முடிவுகள் கூறுகின்றன.

கேங்ளியோசைடுகள் ஸ்பிங்கோசைனிலிருந்து கீழ்க்கண்டவாறு தொகுக்கப்படுகின்றன.

ஸ்பிங்கோசைன் → சிராமைடு → குளுக்கோசைல் சிராமைடு
→ குளுக்கோசைல் சிராமைடு கேலக்டோஸ் → ஜிஎம்$_3$
(GM_3) → ஜிஎம்$_2$ (GM_2)
↓ ஹெக்ஸோமினிடேஸ் A
ஜிஎம்$_1$ (GM_1)

(ஜிஎம்$_1$, ஜிஎம்$_2$, மற்றும் ஜிஎம்$_3$ இவை கேங்ளியோசைடுகள்)

காரணங்கள்

டே–சாக்ஸ் நோய் என்பது ஹெக்ஸோமினிடேஸ் A என்ற நொதியின் குறைபாட்டினால் உருவாகிறது. இக்குறைபாட்டினால் ஜிஎம்$_2$ என்ற கேங்ளியோசைடு மூளை மற்றும் மண்ணிரலில் அதிகமாக சேர்ந்து விடுகிறது. ஆகவே ஜிஎம்$_2$ கேங்ளியோசைடு டே–சாக்ஸ் கேங்ளியோசைடுகள் என்று அழைக்கப்படும். இந்த நொதியின் குறைபாடு காரணமாக ஜிஎம்$_2$ கேங்ளியோசைடை ஜிஎம்$_1$ கேங்ளியோசைடாக மாற்ற முடியாது. எனவே மூளை செல்களில் உள்ள லைசோசோம்களில் ஜிஎம்$_2$ அதிக அளவில் திரளப்படுகிறது (Accumulation). சில சமயங்களில் 100–300 மடங்கு அதிகமாக ஜிஎம்$_2$ அளவு உயர்ந்து காணப்படும். இதன் காரணமாக நரம்பு மண்டலம் பாதிக்கப்படும் வாய்ப்பு உள்ளது.

அறிகுறிகள்

தசைகள் வலுவிழத்தல், வளர்ச்சி பாதிப்பு, உணவு உட்கொள்வதில் சிரமங்கள் போன்றவை முதல்நிலை அறிகுறிகளாகத் தோன்றும். மனவளர்ச்சி குன்றுதல் மற்றும் பார்வை கோளாறுகள் போன்றவை முக்கிய அறிகுறிகள் ஆகும். இந்த நோய் கண்ட குழந்தை இரண்டிலிருந்து ஐந்து வயதுக்குள் இறந்து விட வாய்ப்பு உண்டு. 90 சதவிதத்திற்கும் மேற்பட்ட நோயாளிகளுக்கு கண் பார்வையில் இளஞ்சிவப்பு புள்ளிகள் காணப்படும். குழந்தை கருவிலிருக்கும் போதே தாயின் கர்ப்பபையிலிருந்து எடுக்கப்படும் அம்மினியாடிக்

திரவத்திலிருந்து ஹெக்ஸோமினிடேஸ் A நொதியின் அளவைக் கணக்கிட்டு இந்நோய் குழந்தையைத் தாக்குமா என்பதனை கண்டுபிடிக்கலாம்.

7.7 நியோபிளாசம் (Neoplasm)

புற்றுநோய் என்பது இருதய நோய்க்கு அடுத்தபடியாக மக்களின் இறப்புக்கு காரணமாக உள்ளது. இந்நோய் எந்த வயதிலும் வரக்கூடும். உடலில் எல்லா பாகங்களிலும் இந்நோய் வர வாய்ப்பு உண்டு. புற்றுநோய் செல்களுக்கு மூன்று முக்கியமான பண்புகள் உண்டு. 1. ஒழுங்கு முறை படுத்தப்படாத செல் பகுப்பு முறைகள்; 2. அருகில் உள்ள செல்களுக்கு பரவும் தன்மை (Invasion); 3. இரத்த குழாய்களின் மூலம் உடலின் மற்ற பாகங்களுக்கு பரவும் தன்மை (Metastasis). செல் வளர்ச்சி மற்றும் செல் பெருக்கம் என்பது முறைபடுத்தப்பட்ட ஒரு செயல்பாடு ஆகும். இந்த கட்டுப்பாட்டை இழக்கும் செல்களின் பெருக்கம் அதிகரிக்கப்பட்டு டியூமர் கட்டிகள் உருவாகின்றன. இந்த நிகழ்ச்சி நியோபிளாசம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. நியோபிளாசத்தின் முதன் நிகழ்ச்சியாக DNAவில் மாற்றம் ஏற்படுகிறது. பெரும்பாலும் டியூமர் கட்டிகள் வேறு இடங்களுக்கு பரவாமல் ஒரே இடத்தில் இருக்கும். இந்த வகையான டியூமர் பினைன்டியூமர் (Benign Tumour) என்றழைக்கப்படுகிறது.இந்த வகையான டியூமர் கட்டிகள் ஹார்மோன்கள் மற்றும் சில வேதிப்பொருட்களை அதிகமாக சுரக்கின்றன. இவைகள் டியூமர் இருக்கின்றதா என்பதனை அறிந்து கொள்ள உதவும் அடையாளமாக (Tumour markers) செயல்படுகின்றன. இவை டியுமர் மார்க்கர்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

சீரத்தில் உள்ள இந்த டியுமர் மார்க்கர்களில் ஏற்படும் மாற்றங்களின் அளவு டியுமரா அல்லது புற்றுநோயா என கண்டறிய மிகவும் உதவுகிறது. பலப்படி மைலோமா (Multiple myeloma) மற்றும் எலும்பு புற்று நோயில் சீரத்தில் கால்சியத்தின் செறிவு அதிகரித்து காணப்படும். எலும்பு, கல்லீரல் மற்றும் நுரையீரல் புற்றுநோய்களில் அல்கலைன் பாஸ்படேஸ் (Alkaline Phosphatase) என்ற நொதியின் செயல் அதிகமாக உள்ளது.

டியூமர் கட்டிகள் ஒரு இடத்திலிருந்து மற்ற பாகங்களுக்கு பரவும் போது உயிருக்கு ஆபத்தாக முடிகிறது. இதுபோல பரவும் நோய் மெலிக்னென்ட் (Malignant) புற்றுநோய் என்று அழைக்கப்படுகிறது. இத்தகைய புற்றுநோய் செல்கள் தங்களைச் சுற்றியுள்ள மற்ற திசுக்களுக்குப் பரவுவதோடல்லாமல், இரத்தத்தின் வழியாகவும் பரவுகின்றன. இவ்வாறு உருவான இடத்திலிருந்து, இரண்டாம் பட்சமான மற்றோர் இடத்தில் செல்கள் வளர்வதை மெட்டாஸ்டாஸிஸ் (Metatasis) என அழைக்கிறோம். இவ்வாறு செல்களின் வளர்ச்சியில் மாற்றம் ஏற்பட்டு, அவை மெலிக்னென்ட் டியூமர் கட்டிகளாக மாற்றம் அடைவதை ட்ரான்ஸ்பர்மேஷன் என்றழைக்கிறோம்.

புற்றுநோய்களை இரண்டு வகைகளாக பிரிக்கலாம். திசுக்களின் வெளிப்புறச் செல்களில் தோன்றும் புற்றுநோய் கார்சினோமா என்று அழைக்கப்படுகிறது. திசுக்களின் உட்புறம் தசைகள் மற்றும் இணைக்கும் திசுக்களில் உண்டாக்கும் புற்றுநோய் சார்கோமா என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த இரண்டு வகைகள் தவிர இரத்தத்தின் செல்கள், நிணநீர் அவையம் ஆகியவற்றில் வரும் புற்று நோய்கள் முறையே லுக்கேமியா (Leukemia) மற்றும் லிம்போமா (Lymphoma) என்று அழைக்கப்படுகிறது.

மனிதர்களில் தோன்றும் 90 சதவீதத்திற்கும் மேலான புற்றுநோய்கள் கார்சினோமா என்ற வகையைச் சார்ந்ததாகும்.

புற்றுநோய்க்கான காரணங்கள்

புற்றுநோயை உண்டாக்கும் காரணிகளை மூன்று வகைகளாகப் பிரிக்கலாம்

1. கதிர் வீச்சு 2. வேதிப்பொருட்கள் 3. வைரஸ்கள்

1. கதிர்வீச்சு

புறஊதா கதிர்கள், X–கதிர்கள் மற்றும் காமா கதிர்கள் புற்றுநோயை உண்டாக்கும் தன்மை வாய்ந்தவை. இந்த கதிர்கள் DNA வில் மாற்றம் ஏற்படுத்தி செல்களில் புற்றுநோயை உண்டாக்கக் கூடியவைகளாகும்.

DNA வை நேரிடையாக தாக்குவது மட்டுமின்றி, இவை திசுக்களில் தனி உறுப்புகளை (Free radicals) உண்டாக்குகின்றன. உருவாகும் தனி உறுப்புகள் புற்றுநோயை உண்டாக்கும் தன்மை கொண்டவை.

2. வேதிப்பொருட்கள்

மிக அதிக அளவில் கரிம, கனிம வேதிப்பொருட்கள் புற்றுநோயை உண்டாக்கும் கார்சினோஜென்களாகச் (Carcinogen) செயல்படுகின்றன.

கரிம கார்சினோஜென்கள் (Organic carcinogens)

உதாரணமாக 1. பென்சோபைரின், 2. டைமீதைல் பென்சான்த்ரசின் 3. டை மெத்தில் நைட்ரோசோ அமின், 4. அப்ளாடாக்சின் B_1(Aflatoxin B_1) போன்றவை மனிதர்களில் புற்றுநோயை ஏற்படுத்தும் தன்மை கொண்டவை.

கனிம கார்சினோஜென்கள் (Inorganic carcinogens)

உதாரணமாக: ஆர்சனிக், ஆஸ்பெஸ்டாஸ், பெரிலியம், கேட்மியம் மற்றும் குரோமியம் போன்ற கனிமங்கள் உடலில் அளவுக்கு அதிகமாக சேரும் போது புற்றுநோயை ஏற்படுத்துகின்றன.

ஒரு சில கார்சினோஜென்கள் DNA வை நேரிடையாகத் தாக்கும் தன்மை கொண்டவை. இவைகள் உடலில் எந்த வளர்சிதை மாற்றமும் அடைவதில்லை. இவைகள் நேரிடை கார்சினோஜென்கள் (Direct carcinogens) என்று அழைக்கப்படுகின்றன.ஆனால், பெரும்பாலான கார்சினோஜென்கள் DNA வைத் தாக்குவதற்கு முன்பு சில வேதிமாற்றங்களுக்கு உட்படுத்தப்பட்டு கடைநிலை (ultimate) கார்சினோஜென்களாக மாற்றப்படுகின்றன. பின்னர் அவை DNA வை அணுகிச் செயல்படுகின்றன. கடைநிலை கார்சினோஜென்கள் எலக்ட்ரான் சுவர் காரணிகளாக (Electrophiles) இருப்பதால் கருக்கவர் காரணிகளான (Nucleophiles) DNA, RNA மற்றும் முக்கிய புரதங்களைத் தாக்குகின்றன.

3. வைரஸ்கள்

வைரஸ்கள் என்னும் நுண்ணுயிரிகள் DNA அல்லது RNAக்களை மரபு மூலக்கூறுகளாகக் கொண்டவை. இந்த வைரஸ்கள் மனிதர்களில் புற்றுநோயை ஏற்படுத்தும் திறன்கொண்டவை. இவ்வாறு புற்றுநோயை ஏற்படுத்தும் நுண்ணுயிரிகள் ஆன்கோஜெனிக் (Oncogenic) வைரஸ்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

உதாரணமாக எப்ஸ்டின்–பார்–வைரஸ் (Epstein-bar-virus) பர்க்கிட் லிம்போமா மற்றும் நேசோபேரின்ஞ்சியல் கார்சினோமா ஆகிய வைரஸ்கள் புற்றுநோய்களை உண்டாக்கும் திறன் கொண்டவை. ஹெர்பஸ் சிம்ப்ளக்ஸ் வைரஸ், செர்விக்ஸ் புற்றுநோயை உருவாக்கும் தன்மையை கொண்டது.

புற்றுநோய் செல்களில் ஏற்படும் உயிர்வேதியியல் மாற்றங்கள்

புற்றுநோய் செல்களில் பின்வரும் மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன.

1. DNA மற்றும் RNA அதிக அளவு உருவாக்கப்படுகிறது.

2. பிரிமிடின்கள் மிகக்குறைவான அளவில் சிதைவுறுகிறது.

3. காற்றுள்ள மற்றும் காற்றில்லாத சூழ்நிலைகளில் நடைபெறும் கிளைகாஸிஸ் அதிக அளவில் நடைபெறுகிறது.

மெலிக்னென்ட் புற்றுநோய் கொண்ட செல்களின் மேற்புறத்தில் சில மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. அயனிகள் போக்குவரத்து, உட்கிரகித்தல், அயனித்தல் மற்றும் குறைவான ஒட்டும் தன்மை, புதிய ஆன்டிஜென்கள் உருவாக்கம் கிளைகோ லிப்பிடுகள் மற்றும் கிளைகோ புரதங்களில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் முதலியன குறிப்பிடத்தக்க மாற்றங்களாகும்.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு

1. டே–சாக்ஸ் நோயின் போது உடலில் அதிகமாக சேரும் ஒரு பொருள்

அ. கேலக்டோஸ் ஆ. தைரோஸின்

இ. கேங்ளியோசைடு ஈ. குளுக்கோஸ்

2. குளுக்கோஸ் 6–பாஸ்படேஸ் என்ற நொதியின் குறைபாட்டினால் வரும் நோய்

அ. வான் கீர்க் நோய் ஆ. கேலக்டோசீமியா

இ. டே–சாக்ஸ் நோய் ஈ. அல்பினிசம்

3. கேலக்டோஸ் கல்லீரலில் அதிகமாக படியும் நோய்

அ. வான்–கீர்க் நோய் ஆ. கேலக்டோசீமியா

இ. டே–சாக்ஸ் நோய் ஈ. அல்பினிசம்

4. தோல் மற்றும் கண்களில் நிறமிகள் வெளுத்து காணப்படும் நோய்

அ. அல்பினிசம் ஆ. அல்காப்டோனூரியா

இ. ஹீமோபீலியா ஈ. டே–சாக்ஸ் நோய்

5. செல் பெருக்கம் அதிகமானால் உண்டாகும் நோய்

அ. அல்காப்டோனூரியா ஆ. அல்பினிசம்

இ. புற்றுநோய் ஈ. கேலக்டோசீமியா

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக.

1. வளர்ச்சிதை மாற்றம் என்பது உருவாக்கம் மற்றும் _____

2. அல்பினிசம் நோயில் உள்ள நொதி பற்றாக்குறை _____

3. இரத்தம் உறைதலில் பங்கேற்கும் காரணி _____ ன் குறைவினால் உண்டாகும் நோய் ஹீமோபிலீயா A.

4. அல்காப்டோனூரியா _____ நொதிக்குறைவினால் ஏற்படுகின்றது.

5. கார்சினோஜென்கள் _____ நோயை உண்டாக்கும் தன்மை கொண்டவை.

III. சரியா ? தவறா ?

1. பினைன் டியூமர் (Benign tumour) உடலின் ஒரு இடத்திலிருந்து மற்ற பாகங்களுக்கு பரவும் தன்மை கொண்டது.

2. கேலக்டோசீமியா என்ற நோய் கல்லீரலை அதிகமாக பாதிக்கிறது.

3. ஹீமோபிலீயா என்ற நோயில் இரத்தம் உறைதல் பாதிக்கப்படுகிறது.

4. அல்காப்டோனூரியா என்ற நோயில் தோல் நிறமிகள் பாதிக்கப்படுகின்றன.

5. ஆன்கோஜெனிக் வைரஸ்கள் புற்றுநோயை உண்டாக்கும் தன்மை கொண்டவை.

IV. பொருத்துக

1.	கேலக்டோசீமியா	–	ஜிஎம்2
2.	டே–சாக்ஸ் நோய்	–	குளுக்கோஸ்–6–பாஸ்படேஸ்
3.	ஹீமோபிலீயா	–	அதிகமான செல்பெருக்கம்
4.	நியோபிளாசம்	–	தோல் கண் நிறமிகள் பாதிப்பு
5.	அல்பினிசம்	–	அதிக இரத்த போக்கு

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு சுருக்கமாக விடையளி

1. வளர்சிதை மாற்றத்தின் மரபு வழி கோளாறுகள் என்பது என்ன ?

2. அல்பினிசம் நோயின் காரணத்தையும் அறிகுறிகளையும் எழுதுக.

3. கேலக்டோசீமியா நோயின் தன்மைகளை விளக்குக.

4. புற்றுநோய் செல்லின் பண்புகள் யாவை ?

5. புற்றுநோய் வருவதற்கான காரணங்கள் யாவை ?

பாடம் – 8
உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம்

முன்னுரை

செல்லில் உள்ள மாவுப் பொருள் (Carbohydrate), கொழுப்பு மற்றும் அமினோ அமிலங்கள் முழுமையாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையும்போது செல்லுக்கு ஆக்ஸிஜன் தேவைப்படுகிறது. எந்த பொருளாக இருந்தாலும் வளர்சிதை மாற்றத்தின் போது, முழுமையாக ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடையும்போது, கரியமில வாயுவும் (CO_2) தண்ணீரும் உண்டாகின்றன. இதனால் திசுவில் ஏற்படும் உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம் ஆக்ஸிஜனை எடுத்துக் கொண்டு கரியமில வாயுவை வெளியிடுவதைச் சார்ந்துள்ளது. இத்தகைய வினைகளின்போது ஆற்றலானது வேகமாக வெளியிடப்படுகிறது.உயிரியல் ஆக்ஸிஜனேற்றம் மிகக் குறிப்பிட்ட நொதிகளையும், துணை நொதிகளையும் கொண்டு செயலாற்றுகின்றது. ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின் போது படிப்படியாக ஹைட்ரஜன் அயனியை ஆக்ஸிஜனோடு இணைத்து தண்ணீர் உருவாகின்றது.

எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடர் வினையின்போது கரிம மூலக்கூறுகளிலிருந்து எலக்ட்ரான்கள் ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுக்கு மாற்றப்படுகிறது. அவ்வாறு மாற்றப்படுவதால் உருவாகும் ஆற்றல் அடினோசைன் டிரை பாஸ்பேட் (ATP) என்னும் மூலக்கூறில் பிணைப்பாற்றலாக (Bond Energy) உருவாக்கப்படுகிறது. அதிக ஆற்றல் மூலக்கூறுகளான அடினோசைன் டிரை பாஸ்பேட்டுகள், மற்றும் அடினோசைன் டை பாஸ்பேட் (ADP) ஆகியவைகளில் உள்ள கடைநிலை பாஸ்பேட் தொகுதியானது பிரிக்கப்படும்போது ஆற்றல் வெளியிடப்படுகிறது. இவ்வாறு வெளிப்படும் ஆற்றலானது புதிய உயிர் மூலக்கூறுகள் (Biomolecules) உருவாக்கத்திற்கு மற்றும் அவைகளின் சிதைவிற்கு பயன்படுத்தப்படுகிறது.

ஆக்ஸிஜனை சுவாசிக்கும் உயிர்களில் இத்தகு ஆக்ஸிஜனேற்றத்தால் உண்டாகும் பாஸ்பேட்டை பிணைக்கின்ற வினை அதிக விகிதத்தில் நடைபெறுவதால் அவைகளால், கிடைக்கின்ற விடுவிக்கப்பட்ட ஆற்றலை ATP என்னும் மூலக்கூறுகளாக மாற்றமுடிகிறது. ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் இணைந்த பாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளின் பிணைப்பு வினையானது தொடர்ந்து செல்களில் நடைபெறும் மிக மிக முக்கிய வினையாகும். இவைகளில் குறைபாடுகள் ஏற்பட்டால் செல்கள் உயிர் வாழ்வதென்பது இயலாத ஒன்றாகிவிடும்.

8.1 ஆக்ஸிஜனேற்றமும், ஒடுக்கமும் இணையாகியிருத்தல் (Redox Couple)

ஒவ்வொரு ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையின் போதும்இயல்பாகவே ஒடுக்க வினையும் ஒரே சமயத்தில் நிகழ்கின்றது. அது சுருக்கமாக, ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்கம் (redox) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இந்த ஒடுக்கமும் ஆக்ஸிஜனேற்றமும் கொண்ட வினைகள் எலக்ட்ரான்களின் இயக்கத்தை உள்ளடக்கியது. எலக்ட்ரான்களைத் தருபவை ஆக்ஸிஜன் ஒடுக்கி என்றும் எலக்ட்ரான்களை பெற்றுக் கொள்பவை ஆக்ஸிஜன் ஏற்றி எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன. எந்த ஒரு மண்டலத்தில் (System) இருந்து எலக்ட்ரான்கள் இடமாற்றம் செய்யப்படுகின்றதோ அப்போதுஅவை ஆக்ஸிஜனேற்ற நிலையையும், எந்த ஒரு மண்டலமானது எலக்ட்ரான்களைப் பெற்றுக் கொள்ளுகின்றதோ அவை ஒடுக்க நிலையையும் அடைகின்றன.

ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினையானது எளிய முறையில் கீழே தரப்பட்டுள்ளது (படம் 8.1)

படம் 8.1 ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினை

எலக்ட்ரான் வழங்கி $\longrightarrow$ e^- + எலக்ட்ரான் ஏற்பி

இதனை குறிப்பாக இரும்பின் ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையால் விவரிக்கலாம்.பெரஸ் அயனியானது ஒரு எலக்ட்ரானை இழந்து (ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைந்து) பெர்ரிக் அயனியாக மாறுகின்றது.

$$Fe^{++} \longrightarrow Fe^{+++} + e^-$$

இவ்வாறு வெளிவரும் எலக்ட்ரான்கள் தனித்து சுதந்திரமான நிலையில் நிலையாக இல்லாத காரணத்தினால் அவை மற்றொரு மூலக்கூறுகளோடு தம்மை இணைத்துக் கொள்கின்றன. இதனால் ஒவ்வொரு ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையின் போதும் ஒடுக்க வினையும் தொடர்ச்சியாக நடைபெறுகிறது. எப்பொழுதும் இத்தகு ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகள் அதிக ஆற்றலை வெளிப்படுத்துவதாகவும் உள்ளன. ஒரு எலக்ட்ரானை நேரடியாக ஒரு வினைப் பொருளில் இருந்து ஆக்ஸிஜனேற்றிக்கு மாற்ற நேரிடும் போது, உடனே அவைகள் அதிக ஆற்றலுடன் வெடித்துச் சிதறுகிறது. இதனால் பெரும்பாலான ஆற்றல் சிதறி வீணாகின்றது. பொதுவாகவே ஹைட்ரஜன் அயனியின் எலக்ட்ரான்கள் ஆக்ஸிஜனோடு இணையும்போது வெடிக்கும் கலவை உருவாகின்றது. ஆயினும் உயிரியல் மண்டலத்தில், இந்த ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகள் மிக எளிமையாக, வெப்ப நிலை மாறாது நடைபெறுகின்றது. ஏனென்றால் ஹைட்ரஜன் அயனிகளை மாற்றும் செயல் படிப்படியாக அவை ஆக்ஸிஜனோடு சேரும் வரை மெதுவாக நடைபெறுகின்றது. இதனால் வெளிவிடப்படும் ஆற்றல் சிறிய அளவாக இருக்கிறது. இவற்றைப் பிடித்துச் சேகரிப்பதும் மிக எளிதான ஒன்றாகிறது.

8.1.1 ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க ஆற்றல் (Redox Potential)

ஆக்ஸிஜனேற்றத்தின்போதும், ஒடுக்கத்தின் போதும் வெளிப்படும் ஆற்றலானது வினைபொருட்களின் எலக்ட்ரான்களைத் தரவல்ல அல்லது ஏற்றுக் கொள்ளும் தன்மையை சார்ந்த ஒரு விகிதமாகும். எலக்ட்ரான்களைக் கவர்ந்திழுக்கும் ஆக்ஸிஜனேற்றியின் தன்மையை எலக்ட்ரான் ஈர்ப்பு அல்லது ஒடுக்க ஆக்ஸிஜனேற்ற ஆற்றல் என அழைக்கிறார்கள். உயிர் வேதியியலில், ஆக்ஸிஜனுக்கு உயர்ந்த ஒடுக்க ஆக்ஸிஜனேற்ற ஆற்றல் அல்லது எலக்ட்ரான் ஈர்ப்பு உள்ளது (E_0). ஆகையால் தாழ்ந்த ஆற்றலைக் கொண்ட எலக்ட்ரான்களைத் தரவல்ல ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறுகள் கிரமப்படி வரிசையாக அமைக்கப்பட்டுள்ளவற்றின் வழியாக அனுப்பப்படுகின்றது. பொதுவாக ஒடுக்க ஆக்ஸிஜனேற்ற ஆற்றல் உள்ள குழுக்களை (E_0), ஹைட்ரஜன் மின் முனையின் ஆற்றல், pH மதிப்பு 0ஆக, மின்னழுத்தம் 0.0 வோல்ட் (volt) ஆக உள்ளபோது ஒப்பிடப்படுகின்றது. ஆயின் உயிரியல் மண்டலங்களில், இவற்றை (E_0) pH 7 ஆக உள்ளபோதும் ஹைட்ரஜன் மின் முனையின் மின் அழுத்தம் 0.42 வோல்ட் (volt) ஆக உள்ள நிலையில், ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க ஆற்றலானது அளவிடப்படுகிறது. உயிரியல் மண்டலங்களில்

இத்தகு ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்கவினையில் ஈடுபடும் நொதிகள் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க நொதி (Oxidoreductase) என்று பெயரிடப்பட்டுள்ளது.

சிலவற்றின் ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க ஆற்றல் பட்டியலாகத் தரப்பட்டுள்ளது.

அமைப்பு (system)	E_0 (வோல்ட்)
H^+/ H2	- 0.42
ஆக்ஸிஜன்(O_2) / நீர் (H_2O)	+ 0.82
சைட்டோகுரோம் a Fe^{3+} / Fe^{2+}	+ 0.29
சைட்டோகுரோம் b Fe^{3+} / Fe^{2+}	+ 0.08
சைட்டோகுரோம் c Fe^{3+} / Fe^{2+}	+ 0.22
NAD^+ / $NADH+H^+$	- 0.32

நேர்குறி மதிப்பானது எந்த ஒரு சேர்மம் தானாக ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினையின்போது ஹைட்ரஜன் அயனியோடு ஒடுக்கமடைகிறதோ, அது அந்தச் சேர்மத்தின் ஒடுக்க நிலை ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. எதிர்மின் குறி மதிப்பானது ஒரு சேர்மம் விருப்பத்துடன் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைவதை குறிப்பதாகும். இருப்பினும் எப்பொழுதும் திட்ட ஒடுக்க நிலை ஆற்றலானது வரிசைப்படுத்தப்படும்போது ஒடுக்க வினையின் அமைப்பாக தரப்படுகின்றது.

8.2 எலக்ட்ரான்களின் இடமாற்றம்(Electron Transport Chain)

படம் 8.2 எலக்ட்ரான் இடமாற்றச் சங்கிலி

எலக்ட்ரான் இடமாற்றச் சங்கிலி (படம் 8.2) இல் வரிசையாக அமைக்கப்பட்ட புரதங்கள் உறுதியாக பிணைக்கப்பட்டு ஒவ்வொரு இரசாயன மூலக்கூறிலிருந்து மற்றொரு இராசாயன மூலக்கூறுக்கு ஒரு இணை எலக்ட்ரான்கள் செல்லும் வழியாக செயல்படுகின்றது. இப்புரதங்கள் வரிசையில் முதலில் உள்ளவற்றை விட பின்னர் உள்ளவை குறைந்த அளவு ஒடுக்க ஆற்றலைப் பெற்றுள்ளன. எல்க்ட்ரான் சங்கிலித் தொடரில் $NADH+H^+$ மற்றும் $FADH_2$ காரணிகள் இறுதியாக, எலக்ட்ரான்களைப் பெறும் ஆக்ஸிஜனைக் கொண்டு ஆக்ஸிஜனேற்றமடைகின்றன. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் எலக்ட்ரான்களை அளிக்கும் மூலக்கூறுகளும் எலக்ட்ரான்களை பெறும் மூலக்கூறுகளும் சீராக மாறி மாறி அமைக்கப்பட்டு, செயலாற்றுவதற்கு ஏற்றாற்போல் அமைந்துள்ளது. எலக்ட்ரான் இடமாற்ற சங்கிலித் தொடரில் மூன்று வெவ்வேறு

பகுதிகளில் ஆற்றலானது வெளியிடப்படுகின்றது. இந்த ஒவ்வொரு பகுதியிலும் ஒவ்வொரு அதிக ஆற்றல் கொண்ட ATP மூலக்கூறு உருவாக்கப்படுகின்றது. இந்த எல்லா வினைகளும் அதிக ஆற்றலைப் பிடித்துச் சேமிக்கும் வினையோடு மைட்டோகாண்டிரியாவில் நடைபெறுகின்றது.

8.2.1 மைட்டோகாண்டிரியாவின் பகுதிப் பொருட்களும் அவற்றின் குறியிடப்பட்ட நொதிகளும் (Components of Mitochondria with Marker Enzymes)

ஹிஸ்டோ கெமிஸ்டிரி எனப்படும் திசு இரசாயன இயல் முறையிலும் அதிவேக வீழ்படிவாக்கியின் மூலமும், பெரும்பாலான திசுக்களில் ஆக்ஸிஜனேற்றம் (Oxidation) நடைபெறும் இடம் மைட்டோகாண்டிரியா என்பது தெளிவாகத் தெரிய வந்துள்ளது. இது செல்லின் நுண்ணுறுப்புகளில் ஒன்றாகும். இவை தன் அளவிலும், வடிவத்திலும் பல வகைகளில் வேறுபடுகின்றன. நீள்வட்ட வடிவமோ அல்லது கோள வடிவமோ அல்லது இழை போன்ற அமைப்பைப் பெற்று 0.5–5 மைக்ரான் நீளம் உடையதாகவும் 0.1–0.6μ குறுக்களவு கொண்டதாகவும் உள்ளது. ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையின் போது வெளிப்படும் ஆற்றலானது ATP என்னும் மூலக்கூறில் இரசாயன சக்தியாக மாற்றப்படுகின்றது. இவ்வினை இங்கே நிகழ்வதால் மைட்டோகாண்டிரியாவைச் செல்லின் ஆற்றல் மையங்கள் என்கின்றனர். இதனால் ஒரு செல்லில் உள்ள மைட்டோகாண்டிரியாவின் எண்ணிக்கை அவற்றின் வளர்சிதை மாற்றத்தைப் பொறுத்து அமைகின்றது. மைட்டோகாண்டிரியாவில் மாவுப் பொருட்கள், கொழுப்பு மற்றும் அமினோ அமிலங்களால் ஆன புரதம் இவற்றின் ஆக்ஸிஜனேற்றத்தால் உண்டாகும் ஒடுக்கப்பட்ட மூலக்கூறுகள் காணப்படுகின்றன. மைட்டோகாண்டிரியாவில், வரிசையாக உள்ள புரதங்கள் கிரியா ஊக்கிகளாக செயல்பட அவற்றை சுவாசச் சங்கிலி அல்லது சுவாசத் தொடர் என்கின்றனர். இவைகள் ஒடுக்கப்படுகின்ற சமமான மூலக்கூறுகளை ஆக்ஸிஜனை நோக்கிச் செலுத்தி, நீரை உருவாக்க வல்லவைகளாக இருக்கின்றன.

எலக்ட்ரான் நுண்ணோக்கியினால் எடுக்கப்பட்ட படத்தில் மைட்டோகாண்டிரியா இரட்டை சவ்வுகளால் ஆக்கப்பட்டிருப்பதைக் காண முடிகிறது. வெளிச்சவ்வு மற்றும் உட்புறச் சவ்வுகளில் வெவ்வேறு குறிப்பிட்ட நொதிகள் உள்ளன. உள் சவ்வு மடிந்து, பல எண்ணிக்கைகள் உள்ள கிரிஸ்டே எனும் தடுப்புகளை மேட்ரிக்ஸ் வரை நீளமாகக் கொண்டுள்ளது. உள் சவ்வு மேட்ரிக்ஸ் எனப்படும் திரவத்தை மூடிக் கொண்டுள்ளது. மேலும் உள் சவ்வு மிகவும் தேர்ந்தெடுத்த மூலக்கூறுகளை ஊடுறுவச் செய்யும் தன்மையைப் பெற்றுள்ளது. உள்சவ்வு அவற்றின் அமைப்பிலும், செயலிலும் மிகவும் சிக்கலானதாக உள்ளது. உள் சவ்வுக்கும் வெளி சவ்வுக்கும் இடையே காணப்படும் இடைவெளியானது இடையீடு சவ்வு இடைவழி என அழைக்கப்படும். இது மேட்ரிக்ஸ் உள்ளடக்கி உள்ளது.மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள்ளேயே அதற்கென்று வட்ட வடிவமான டீஆக்ஸிரைபோ நியூக்ளிக் அமிலம் (DNA) மற்றும் ரைபோசோம்கள் உள்ளன. இதனால் மைட்ரோகாண்டிரியவுக்கு தேவைப்படும் சில புரதங்கள், இவற்றில் குறியிடப்பட்டு மைட்டோகாண்டிரியாவே அப்புரதங்களை உருவாக்கிக் கொள்கிறது. எனினும் ஏனைய புரதங்கள் செல்லின் உட்கருவினால் குறியிடப்பட்டு ரைபோசோம்களால் உண்டாக்கப்பட்டு மைட்டோகாண்டிரியாவுக்கு அனுப்பி வைக்கப்படுகின்றது.

மைட்டோகாண்டிரியாவின் உருவ அமைப்பையும் வெவ்வேறு முக்கியமான நொதிகள் இருக்கும் இடத்தையும் வரைபடத்தின் (படம் 8.3) மூலம் காணலாம். இந்த நொதிகள் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் காணப்படுவதால், இந்த நொதிகள் மைட்டோகாண்டிரியாவை அவற்றின் உட்பகுதிகள் பின்னப்படுத்தி பிரிக்கும்போது குறியீடுகளாக செயல்படுகின்றன. அத்தகு படிப்பின் மூலம் முழுமையான உள் சவ்வும், அதில் உள்ள மூலக்கூறுகளும் எலக்ட்ரான் இடமாற்றத்திற்கும், ஆற்றலைப் பெற்றுச் சேமிப்பதற்கும், மிகவும் தேவை என்பது விளங்குகின்றது.

படம் 8.3 மைட்டோகாண்டிரியவின் அமைப்பு

8.2.2. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் அங்கம் வகிப்பவை (Members of the electron transport chain)

ஒரு கரிம வளர்சிதை மாற்ற பொருளுடன் NAD^+ என்ற துணை நொதி (நிக்கோடினமைடு அடினைன் டை நியூக்ளியோடைடு – B வைட்டமின் நிக்கோடினமைடை கொண்டது) வினைப்புரியும் போது எலக்ட்ரான் இடமாற்ற தொடர துவக்கப்படுகிறது. இங்கு இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் அல்லது இரண்டு எலக்ட்ரான்கள் மற்றும் இரு ஹைட்ரஜன் அயனிகள் கரிம வளர்சிதை மாற்ற பொருளில் இருந்து நீக்கப்படுகிறது. எனவே இது ஒரு ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையாகும். இதில் 2 ஹைட்ரஜன் அணு (அல்லது 2 ஹைட்ரஜன் அயனியும், 2 எலக்ட்ரான்களும்) கரிம வினைபொருளில் இருந்து எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. (கரிம வளர்சிதை பொருள்கள் சிட்ரிக் அமில சுழற்சியிலிருந்து மற்றும், கொழுப்பு அமிலங்களின் ஆக்ஸிஜனேற்றத்தில் இருந்து கிடைக்கிறது (விபரம் கீழே தரப்பட்டுள்ளது). இந்த வினை எளிய முறையில் M என்பது பொதுவாக எல்லா கரிமவினை பொருட்களைக் குறிக்கும் வகையில் தரப்பட்டுள்ளது.

$$MH_2 + NAD^+ \rightarrow NADH + H^+ M: + \text{ஆற்றல்}$$

கலவைகளை உள்ளடக்கிய பகுதி I (Complex I)

NADH டிஹைரோஜினேஸ் என்பது NADH துணை நொதியான Q ரிடக்டேஸ் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. இவை மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள் சவ்வில் இருக்கின்றது. இதில் உள்ள இரும்பு அணுவானது ஹீமைச் (Heme) சாராத புரதங்களைக் கொண்டுள்ளது. இதில் உள்ள டிஹைரோஜினேஸ் நொதி ஆக்ஸிஜனோடு வினைபுரிவதில்லை. மாறாக எலக்ட்ரான்களை தாங்கும் புரதங்களானவை, இடைவினைப் பொருட்களுக்கும் அடுத்த அங்கத்தினருக்கும் நடுவே இந்தத் தொடரில் இடம் பெறுகின்றன. இந்த நொதிகளின் ஒரு பகுதி புரதமாகவும்

மற்றொரு பகுதி புரதமல்லாத ஒரு இணைநொதியாகவும் (coenzyme) கொண்டுள்ளது. NAD^+ ம் அல்லது $NADP^+$ இணை நொதிகள் முதல் நிலையில் ஹைட்ரஜன்களை தாங்குவதற்கு உபயோகப் படுத்தப்படுகின்றன.

கலவைகளை உள்ளடக்கிய பகுதி II (Complex II)

இணை நொதி Q (Q என்பது குயினோன்) அல்லது சைட்டோகுரோம் C ரிடக்டேஸ் என்பது ஒரு யூபிகுயினோன் வகையைச் சார்ந்தது. இது உள் சவ்வில் புரதங்களோடு இணைந்தோ அல்லது தனித்தோ காணப்படுகிறது. இணைநொதி Q உலோகமுடைய ஃப்ளேவின் புரதங்களுக்கும், சைட்டோ குரோம்களுக்கும் இடையே அமைந்துள்ளது. இணைநொதி Q இருக்கும் இடத்தில், ஹைட்ரஜன் அயனியானது தொடர்பை விட்டு நீர்மத்திற்கு செல்லும்போது எலெக்ட்ரான்களை சைட்டோகுரோமுக்கு அளிக்கின்றது.

கலவைகளை உள்ளடக்கிய பகுதி III (Complex III)

சைட்டோகுரோம் C ஆக்ஸிடேஸ் : சைட்டோகுரோம்கள் உருவ அமைப்பில் மையோகுளோபுளின் அல்லது ஹீமோகுளோபினை ஒத்துள்ளன. இதில் மிக முக்கியமான பண்பாக கூற வேண்டுமெனில் ஹீம் உருவமைப்பில் உள்ள இரும்பு அயனியானது முதலில் பெர்ரிக் (நேர்மின் ஏற்றம் +3) அயனியாக உள்ளது. எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக் கொண்டு பெரஸ் (நேர்மின் ஏற்றம் +2) அயனியாக மாறுகின்றது. சைட்டோகுரோம் மூலக்கூறுகள் எலக்ட்ரான்களை மட்டும் ஹைட்ரஜனில் இருந்து ஏற்றுக்கொள்கின்றன. சைட்டோகுரோம்களில் பலதரப்பட்ட வகைகள் உள்ளன. அவைகள் எலக்ட்ரான்களை வெவ்வேறு ஆற்றல் நிலைகளில் சிறிதே வேறுபடுகின்ற வகையில் நிலைநிறுத்தும் தன்மை கொண்டவைகளாக உள்ளன. எலக்ட்ரான்கள் ஒரு சைட்டோகுரோமிலிருந்து மற்றொரு சைட்டோகுரோமிற்கு செல்லும்போது ஆற்றலை இழக்கின்றது. தொடரின் கடைசியில் உள்ள சைட்டோகுரோம் a_3 இரண்டு எலக்ட்ரான்களை ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறுக்கு தருகின்றது. இந்த சைட்டோகுரோம்களின் புரதங்களில் ஒரு துணைப் பகுதி உள்ளே உள்ளடங்கிய உலோக அணுவைக் கொண்டுள்ளது. இந்த புரதங்கள் உலோக அயனிகளில் காணப்படும் எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக் கொண்டு, பின் விடுவிக்கின்ற தன்மையை எடுத்து தன்னகப்படுத்திக் கொள்கிறது.

கலவைகளை உள்ளடக்கிய பகுதி IV (Complex IV)

ATP உருவாக்க நொதி (ATP சிந்தடேஸ்) அல்லது F_0 F_1 துகள்கள். இவை F_0 மற்றும் F_1 என்னும் இருபகுதிகளைக் கொண்டுள்ளது. (F என்பது Factor அல்லது காரணியை குறிக்கின்றது). F_1 துகளானது உள் சவ்விலிருந்து மோட்ரிக்ஸின் உள்ளே நீட்டிக் கொண்டுள்ளது. F_0 துகளானது உள் சவ்வினுள் ஊடுறுவி புதைந்து காணப்படுகிறது. நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் F_1 துகளானது ஆற்றலை ATP யுடன் இணைப்பதற்கு அத்தியாவசியமாகிறது. மிக கவனமாக இந்தத் துகளை உள் சவ்விலிருந்து நீக்கும்போது (பரிசோதனையின் போது) எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடர் அப்படியே இருந்தாலும், ATP உருவாவது தடுக்கப்படுகிறது.

8.2.3 எலக்ட்ரான் இடமாற்ற வினைகள் (Reactions for electron transport)

எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில், எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக்கொள்பவைகளாக செயல்படுபவை FMN (ஃப்ளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைடு), யூபிகுயினோன் (இணை நொதி Q) மற்றும் நெருக்கமான பண்பு ஒத்த சைட்டோகுரோம்களின் குழுக்களாகும். படம் 8.4 இல் இந்தப் புரதங்களின் அமைப்பு தரப்பட்டுள்ளது.

படம்8.4 எளிமையாக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடர்

எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் பாஸ்பேட் பிணைப்புகளுடன் கூடிய ஆக்ஸிஜனேற்றம் நடைபெறும்போது எலக்ட்ரான்களைக் கொடுப்பவைகளாக

$NADH+H^+$

$FADH_2$

போன்ற மூலக்கூறுகள் உள்ளது. அவற்றோடு இணைந்து ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகளாக கீழ்க்காணும் வினைகளைக் குறிப்பிடலாம்.

$$NADH+H^+ + 1/2\ O_2 \longrightarrow H_2O + NAD^+$$

$$FADH_2 + 1/2\ O_2 \longrightarrow H_2O + FAD$$

இந்த இணைக்கப்பட்ட வினைகள் ஆற்றலை வெளிவிடுகின்றது.

ஒரு மோலின் அளவுள்ள $NADH+H^+$ ஆனது 52 கிலோ கலோரி ஆற்றலைத் தருகின்றது. எலக்ட்ரான் இடமாற்றம் $NADH+H^+$ இலிருந்து ஆக்ஸிஜனுக்கு செல்லும் வரை 3 ATP மூலக்கூறுகள் 3 வேறுபட்ட இடங்களில் உருவாகின்றது. ஒரு மோலின் அளவுள்ள $FADH_2$ ஆனது 36 கிலோ கலோரி ஆற்றலைத் தருகின்றது. $FADH_2$ விலிருந்து ஆக்ஸிஜனுக்கு இடமாற்றம் வெவ்வேறு இடங்களில் 2 ATP மூலக்கூறு உருவாகின்றது. ஆற்றலைப் பிடிப்பதால் ATP க்கள் உருவாகும் இடங்கள் கீழே தரப்பட்டுள்ள படம் 8.5ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

படம் 8.5 எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் புரதங்களின் ஒருங்கமைவு

எலக்ட்ரான்கள் இடமாற்றத் தொடரில் கலவைகள் I, III மற்றும் IV வழியாக எலக்ட்ரான்கள் செல்லும் போது மைட்டோகாண்டிரியாவின் மேட்ரிக்ஸில் இருந்து H^+ அயனிகள் சவ்வுகளின் இடைவெளிப் பகுதிக்குத் (Intermembrane space) தள்ளப்படுகிறது. இவ்வாறு அயனிகள் செரிவாக்கப்பட்டு புரோட்டான்களாக தள்ளப்படுவது உள் சவ்வின் புரதத்தில்

நடைபெறும்போது, அடினோசைன் ட்ரைபாஸ்பேட் சிந்தடேஸ் (ATP சிந்தடேஸ் அல்லது ATPase) எனும் நொதியானது வெளிவிடப்படும் ஆற்றலினால் தூண்டப்பட்டு ADP யிலிருந்து ATPஐ உருவாக்குகின்றது. கடைசியாக எலக்ட்ரான்களை ஆக்ஸிஜன் மூலக்கூறு ஏற்றுக்கொண்டு, நீராக ஒடுக்கமடைகிறது. எனினும் வெளிப்படும் ஆற்றல் அனைத்தும், புதிய ஆற்றல் நிறைந்த பாஸ்பேட் பிணைப்புகளாக மாற்றப்படுவது இல்லை. வெளியிடப்படும் ஆற்றலின் ஒரு பகுதி வெப்பமாகவும் வெளியிடப்படுகிறது. வெப்ப இரத்த பிராணிகளில் இந்த வெப்பமானது உடலின் வெப்பநிலை சீராக வைத்துக் கொள்ள உதவுகிறது. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடர் வினையில் நடைபெறும் சுவாசத்திற்குத் தேவையான அளவு ADP இருக்க வேண்டும் என்ற கட்டுப்பாடு உள்ளது. ஏனெனில் ADP யானது அடினோசைன் டிரைபாஸ்பேட் சிந்தடேஸ் நொதிக்கு (ATP Synthatase) தேவைப்படுகின்ற வினைப் பொருளாகும்.

8.2.4 எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரின் தடுப்பான்கள் (Inhibitors of Electron Transport Chain)

தடுப்பான்களை உபயோகிப்பதன் மூலம் எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரைப் பற்றி மேலும் பல உண்மைகளை அறிய முடிகிறது. அவை கீழ்க்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

1. சுவாச தொடரை தடுக்கும் தடுப்பான்கள் (Inhibitors of respiratory chain)

சுவாசத் தொடரை தடுக்கவல்ல தடுப்பான்களுக்கு உதாரணமாக பார்பிட்டுரேட் வகையில் அமோபார்பிடால் (Amobarbital), பயரிசிடின் (Piericidine)A மற்றும் ஆன்டிமைசின் A போன்ற ஆன்டிபையாடிக்குகள், மற்றும் மீன்களில் காணப்படும் ரெட்டினோன் என்ற நச்சு போன்றவைகளைக் கூறலாம். கார்பன் மோனாக்ஸைடு மற்றும் சையனைட்டுகள், சைட்டோகுரோம் ஆக்ஸிடேஸை தடுப்பதன் மூலம் எலக்ட்ரான்கள் ஆக்ஸிஜனுக்கு இடமாற்றம் செய்வது தடுக்கப்படுகிறது. இதனால் இந்த பாதையில் எலக்ட்ரான் மேலும் செல்வதை தடை செய்வதன் மூலம் இவைகளால் ATP உருவாக்கத்தை தடுத்து உயிருக்கு ஆபத்தை விளைவிக்கின்றன.

2. ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் கூடிய பாஸ்பேட் பிணைப்பு உருவாக்கத்தைத் தடுக்கும் தடுப்பான்கள் (Inhibitors of Oxidative phosphorylation)

ஒலிகோமைசின் (Oligomycin) மற்றும் அட்ரெக்டிலோசைட்டும் (atrctyloside) ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் கூடிய பாஸ்பேட் பிணைப்புகளை தடுக்கும் தடுப்பான்கள் ஆகும்.

3. பாஸ்பேட் பிணைப்பினை நிகழவிடாமல் தடுக்கும் தடுப்பான்கள் (Uncouplers) என பிரிக்கப்படுகிறது.

பிணைப்பை தடுக்கும் தடுப்பான்கள் சவ்வில் தாங்களே கரைந்து ஹைட்ரஜன் அயனியை ஊடுறுவச் செய்வதாகவும் அல்லது ஐயனோபோர் என்பவை எலக்ட்ரான்களை ஏற்று, அயனி செரிவை தடுப்பவைகளாக இருக்கின்றன.

பிணைத் தடுப்பான்கள் ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் கூடிய பாஸ்பேட் பிணைப்பை தடுத்து, ஹைட்ரஜன் அயனியின் செறிவை பரவச் செய்தல் மூலம் இல்லாது செய்துவிடுகின்றது. முக்கியமாக எலக்ட்ரான் இடமாற்ற தொடரில், அடினோசைன் ட்ரை பாஸ்பேட் உருவாக்கத்தை தடுத்து நிறுத்துகிறது. பிணை தடுப்பான்களுக்கு சான்றாக 2, 4 டை நைட்ரோபினால், டை நைட்ரோகிரிசால், பென்டா குளோரோ பீனால் ஆகியவற்றைக் கூறலாம்.

அயனோபோர் என்பவைகள் எலக்ட்ரான்களை ஏற்றிக் கொள்வதோடு, கொழுப்பில் கரையும் தன்மையை பெற்று இருப்பதால் குறிப்பிட்ட அயனியை சவ்வின் ஊடாக எடுத்துச் செல்ல முடிகிறது. இவை பிணை தடுப்பான்களிடம் இருந்து மிகச் சிறிய அளவில் வேறுபடுகின்றன. ஏனெனில் பிணை தடுப்பான்கள் ஹைட்ரஜன் போன்ற அயனியை மட்டுமில்லாது மற்ற சில நேர் மின்னேற்றம் பெற்ற அயனிகளையும் சவ்வின் ஊடாக இடமாற்றமடையச் செய்கின்றன. வாலியோமைசின் கொழுப்புக் கலவைகளில் கரைந்து பெட்டாசியம் அயனியை எளிதில் சவ்வின் மூலம் ஊடுறுவச் செய்கிறது. அயனிச் செறிவை குறைக்கும் அயனோ போர்களுக்கு கிராமிசிடின் உதாரணமாகும். இவை ஹைட்ரஜன், பொட்டாசியம் மற்றும் சோடியம் அயனிகளை ஊடுறுவிச் செல்லத் தூண்டுவதன் மூலம் ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் கூடிய பாஸ்பேட் பிணைப்பு உருவாவதைத் தடை செய்கிறது.

8.3 ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் கூடிய பாஸ்பேட் பிணைப்பு உருவாகுதல்(Oxidative phosphorylation)

ஹைட்ரஜன் அல்லது அவற்றின் எலக்ட்ரான்கள், எலக்ட்ரான் இடமாற்றம் தொடரின் வழியாகச் செல்லும் போது தொடர்ந்து ஒழுக்க ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினை இணையாக காணப்படுகின்றது. இந்த எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் நுழையும் எலக்ட்ரான்களுக்கு அதிக ஆற்றலுடன் காணப்படுகிறது.இந்த எலக்ட்ரான்கள் தொடரில் உள்ள எலக்ட்ரான்களை ஆக்ஸிஜனேற்றிகளிடம் தாண்டிச் செல்லும்போது, தன் ஆற்றலை மிக அதிகமாக இழக்கின்றன. இந்த ஆற்றலானது புரோட்டான்களை மைட்டோகான்ட்ரியாவின் உள் சவ்வின் இடையே விசையுடன் செலுத்த உதவுகிறது. இத்தகு எலக்ட்ரான் ஓட்டமானது, எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் பொதுவாக அடினோசைன்ட்ரைபாஸ்பேட் சிந்தடேஸ் நொதியால் அடினோசைன் டை பாஸ்பேட்டுகளை, பாஸ்பேட்டுடன் பிணைத்தால் மட்டுமே நடைபெறுகிறது. அதிக ஆற்றலுடைய எலக்ட்ரான்கள் அடினோசைன்ட்ரைபாஸ்பேட் உருவாகவில்லை என்றால் எலக்ட்ரான் தொடரில் இடமாற்றம் செய்யப்படுவது இல்லை. இதனால் ஆற்றல் வீணாக்கப்படுவது தவிர்க்கப்படுகிறது. அடினோசைன் டை பாஸ்பேட்டுகள், அடினோசைன் ட்ரைபாஸ்பேட்டுகளாக மாற்றப்படுவது ஆக்ஸிஜனேற்ற வினையோடு எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் இடம் பெறுவதால் ஆக்ஸிஜனேற்றத்துடன் கூடிய பாஸ்பேட் பிணைப்பு உருவாகுதல் என்றழைக்கிறார்கள். எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடினோசைன் டைபாஸ்பேட் மற்றும் பாஸ்பேட் அயனிகளின் இருப்பைப் பொருத்து இருப்பதால் இதனை எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக் கொள்பவைகளின் சுவாசக் கட்டுப்பாடு என்று அழைக்கப்படுகிறது (Accpetor Control).

8.3.1 கெமி ஆஸ்மாடிக் கொள்கை (Chemiosmotic theory)

பீட்டர் மிட்செல் (Peter Mitchell) என்பவர் 1978ம் ஆண்டு நோபல் பரிசினை இந்த கெமி ஆஸ்மாடிக் கொள்கைகாக பெற்றார். மிட்செலின் கெமி ஆஸ்மாடிக் கொள்கையானது சுவாசத் தொடரின் அங்ககப் பொருட்கள் ஆக்ஸிஜனேற்றம் அடைவதால் அவை ஹைட்ரஜன் அயனிகளை உருவாக்கி அவற்றை உட்சவ்வின் ஊடே விரைவாக வெளியேற்றுகிறது என்று கூறுவதாக அமைந்துள்ளது. சீராக அமையாத ஹைட்ரஜன் அயனியின் பங்கீடு, மின் வேதிநிலையாற்றல் (Electro Chemical Potential) வித்தியாசத்தை உருவாக்குவதால் ஒரு உந்துகின்ற ஆற்றல் (Potential Energy– நிலையாற்றல்) உருவாகுகின்றது. இவை புரோட்டான்களால் உருவாக்கப்பட்ட ஒரு வேதி அயனியின் அடர்வு வேறுபட்ட நிலைகளை சவ்வின் ஊடே ஏற்படுத்தும்போது அமில/கார வேறுபாடுகளை உருவாக்கி (pH) மற்றும் மின்சுமையேறிய துகள்களின் (அயனிகளின்) அடர்வு வேறுபட்ட நிலையும் உருவாகுகின்றது.

மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள் சவ்வானது புரோட்டான்கள் செல்ல அனுமதிப்பது இல்லை. இதனால் புரோட்டான்கள் மேட்ரிக்ஸ்களுக்கு மறுபடியும் உள் சவ்வில் அமைந்துள்ள சிறப்பான வழியாக ஓடுகின்றது. இந்தச் சிறப்பான வழியில் அடினோசைன் ட்ரை பாஸ்பேட் உருவாக்க நொதி உள்ளது. இந்தப் புரோட்டான்கள் அதிக ஆற்றல் நிலையில் இருந்து தாழ்ந்த நிலை ஆற்றலுக்குச் செல்லும்போது ஆற்றலானது வெவ்வேறு அயனிச் செறிவு (H^+) நிலைகளில் (Gradient) வெளியிடப்படுவதால் (Proton Motive force புரோட்டான்களால் தூண்டப்பட்ட விசை = Chemo Osmotic free energy) அடினோசைன் ட்ரைபாஸ்பேட் உருவாக்க நொதியால் அடினோசைன் ட்ரை பாஸ்பேட் உருவாகின்றது.

இந்தக் கெமி ஆஸ்மாடிக் மாதிரி, சவ்வின் ஊடே ஏற்படும் மின் வேதி நிலையாற்றலானது, சவ்வில் அமைந்துள்ள அடினோசைன் ட்ரை பாஸ்பேட் உருவாக்க நொதியால் ADPயுடன் இணைக்கப்பட்டு ATP ஆக மாற்றப்படுவதை விளக்குகிறது. புரோட்டான்கள் மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள் சவ்வில் மூன்று எலக்ட்ரான்களை இடமாற்றம் செய்யும் கலவைகளால் உந்தி வெளியேற்றப்படுகிறது. அவை மூன்றும் வெவ்வேறு குறிப்பிட்ட இடங்களில் எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் இடம்பெற்றிருக்கின்றன. இவ்வாறு எலக்ட்ரான்கள் இடமாற்றத் தொடரில் போதுமான ஆற்றலை, மூன்று இடங்களில் புரோட்டான்களை உள் சவ்வின் ஊடே செலுத்துவதன் மூலம் ATP உருவாக்கப்படுகின்றது.

8.3.2 அடினோசைன் ட்ரை பாஸ்பேட்டை உருவாக்கும் நொதியின் (ATPase) பகுதிகளாகிய F_0-F_1 களின் பங்கு (Role of F_0–F_1 ATPase)

ATP உருவாக்க நொதி (ATP Synthetase) அல்லது F_0–F_1 ATPase என்னும் நொதியானது, F_0 மற்றும் F_1 (F என்பது காரணி) என்னும் இரு பெரும் பகுதிகளைக் கொண்டுள்ளது. பகுதியில் ஐந்து பாலிபெப்டைகளை (a_3, b_3, g, d, e) கொண்டுள்ளது. F_1 பகுதியானது கதவுகளில் காணப்படும் குமிழ் போன்ற கைப்பிடியை போன்று உள் சவ்வில் இருந்து மாட்ரிக்ஸில் நீண்டு காணப்படுகிறது. இது உள் சவ்வில் புதைந்துள்ள F_0 பகுதியோடு தண்டு போன்ற அமைப்பினால் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. F_0 வானது ஒரு முக்கியமான அங்கமாக சவ்வின் புரதத்தில் காணப்படுகிறது. மைட்டோகாண்டிரியாவின் உள் சவ்வில் (உள் வெளியாக உருவாக்கப்படும் கோளங்களில்) இருந்து F_1 பகுதியைக் கவனமாகப் பிரித்து எடுக்கும்போது சுவாசத் தொடர்புடைய மற்ற புரதங்கள் அப்படியே முழுமை கெடாதவாறு உள்ளன. ஆனால் அவற்றில் F_1 குமிழ் போன்ற பகுதி மட்டும் இல்லாததை மின் அணு நுண்ணோக்கியால் உறுதி செய்யப்பட்ட பின் பார்க்கும்போது அவைகளால் ATP மூலக்கூறுகளை உருவாக்க முடிவது இல்லை. மறுபடியும் F_1 பகுதியை இந்தக் குறை உள்ள உள் சவ்வினை புதுப்பிக்கும்படியாகச் சேர்த்து விடும்போது அவைகளால் எலக்ட்ரான் இடமாற்றத்தின்போது ATP களை உருவாக்க முடிகிறது. இவை F_0 மற்றும் F_1 பகுதிகள் எவ்வளவு நுண்ணிய முறையில் ATP உருவாக்க நொதியில் கலவைகளாக சுவாசித்திற்குரியனவாக அமைக்கப்பட்டுள்ளது தெரிய வருகின்றது. F_0 பகுதிகளோடு கூடிய சிக்கலான அமைப்பு எவ்வாறு உருவ அமைப்பை மாற்றும் திறன் பெற்றுள்ளது என்பதை கீழே காணலாம் என்பதை,

1. இலேசான கிளர்வு மைய (Active site) அமைப்பானது ADP மற்றும் கனிம பாஸ்பேட் (Pi) உடன் இலேசாக இணைகிறது.

2. ஒரு இறுக்கமான அமைப்பாக மாறும்போது கிளர்வு மையத்தில் அயனிகள் பிணைப்பு இருக்கமாவதால் ATP உருவாகின்றது.

3. பின் திறந்த அமைப்பாக மாறும்போது ATP வெளிவிடப்படுகின்றது.

புரோட்டான்கள் அதிக ஆற்றல் உள்ள நிலையில் இருந்து நகரும்போது வெளிவிடப்படும் ஆற்றலானது ATPயை உருவாக்க தேவையான நொதியினை உபயோகித்து ATP உருவாக்கப்படுகிறது.

8.4 அதிக ஆற்றல் உள்ள சேர்மங்கள் (High Energy Compounds)

ATP ஒரு அதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மம் ஆகும். இதைத் தவிர ADP, 1,3டை பாஸ்போகிளிசரேட், பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட் மற்றும் பாஸ்போ கிரியாட்டின் போன்றவை மற்ற அதிக ஆற்றல் உடைய சேர்மங்கள் ஆகும்.

இவை போன்ற அதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மங்களில் உள்ள பாஸ்பேட் தொகுதி ஏற்றம் அடைந்து சேர்மங்கள் அதிக ஆற்றல் கொண்ட பாஸ்பேட் பிணைப்புகளைப் பெற்றோ (அல்லது) பெறாமலோ இருக்கலாம். மேலும் பாஸ்பேட் தொகுதி ஏற்றம் அடைந்த நிலையைக் காட்டிலும் அவை இல்லாதபோது சேர்மம் அதிக ஆற்றல் பெற்றதாகவும் இருக்கலாம்.

அதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மங்களின் சேமிப்பு நிலை

அதிக ஆற்றலை சேமித்து வைக்க உதவும் இத்தகு சேர்மங்கள் பாஸ்போஜென்கள் ஆகும். இதற்கு சான்றாக முதுகெலும்பு உள்ள பிராணிகளின் தசைகளில் காணப்படும் பாஸ்போ கிரியாட்டின் என கூறலாம். இவற்றின் வினைகள் இருவழி (மீள் முறையில்) செயல்பாடுகளைக் கொண்டுள்ளது. இவை ATP தேவைப்படும்போது அவற்றை உருவாக்கவும், எப்போது ATP மிகுந்துள்ளதோ அப்போது அவை கிரியாடினுடன் வினைபுரிந்து பாஸ்போ கிரியாட்டினை உருவாக்குகிறது.

8.4.1 1,3 டைபாஸ்போகிளிசரேட்

1, 3 டைபாஸ்போகிளிசரேட் 3–பாஸ்போகிளிசரேட்

ஒரு பாஸ்பேட் தொகுதி கொண்ட பிணைப்பானது நீராற் பகுக்கப்படும்போது அவை ஒரு அமிலத்தையும் மற்றும் பாஸ்பேட் அயனியையும், ஆற்றலையும் வெளிவிடுகிறது. இந்த ஆற்றலை வெளிவிடும் முதல் வினையானது மற்றும் ஒரு ஆற்றலை சேமிக்கும் வெப்பம் கொள்வினையுடன் இணைக்கப்பட்டு ATP இங்கு உருவாகின்றது. இங்கு ஆற்றல் மிகுந்த பாஸ்பேட் தொகுதியானது நேரடியாக ADPக்கு இடமாற்றம் செய்யப்படுவதால் ATP உருவாகின்றது. இந்த வினை பாஸ்போ கிளிசரேட்கைனேஸ் என்னும் நொதியானது வினைவேகமாற்றியாகச் செயல்படுவதால் நடைபெறுகிறது. ஒரு குளுக்கோஸ் மூலக்கூறில் இருந்து இரண்டு கிளிசரால்டிஹைடு–3–பாஸ்பேட்கிடைக்கின்றன. இதனால் இரு ATP மூலக்கூறுகள் ஒரு குளுக்கோஸில் இருந்து இந்த வினையின்போது உண்டாகின்றன.

பாஸ்போஈனால் பைருவேட்டின் பங்கு (Role of Phosphoenol pyruvate)

குளுக்கோஸ் லாக்டிக் அமிலமாக சிதைக்கப்படும்போது உருவாகும் பாஸ்போஈனால் பைருவேட், தன்னிடம் உள்ள பாஸ்பேட் தொகுதியை ADP க்குத் தருகின்றது. இந்த

வினை பைருவேட் கைனேஸ் என்னும் நொதி வினைவேக மாற்றியாகச் செயல்படுவதால் நிகழ்கின்றது. இதில் உள்ள பாஸ்பேட் நொதியானது நீராற் பகுக்கப்படும்பொழுது, அவை ஒரு அமிலம், பாஸ்பேட் அயனி மற்றும் ஆற்றலை வெளி விடுகிறது. இந்த முதல் வினையின் மூலம் வெளியிடப்படும் ஆற்றல், அடுத்த ஆற்றலைச் சேமிக்கும் வெப்பம் கொள்வினைக்கு மாற்றப்பட்டு ATP உருவாக்கப்படுகின்றது. பாஸ்பேட் தொகுதியானது அதிக ஆற்றல் கொண்ட ஈனால் உருவமைப்பில் (Enol Form) மட்டும் இருக்க முடியும். இதனால் பாஸ்பேட் தொகுதியானது பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட்டில் இருந்து அகற்றப்படும்போது நிலையான, குறைந்த ஆற்றல் உள்ள கீட்டோ நிலைக்கு மாற்றப்படும்போது அதிக ஆற்றல் வெளியிடப்படுகிறது. பைருவேட் கைனேஸ் நொதியானது இவ்வினையிலிருந்து ATP உருவாகும் வினையைக் கட்டுப்படுத்துகிறது.

இந்த வினையானது இரண்டு நிலைகளில் நடைபெறுகிறது. முதலில் இனோலேட் வடிவமுடைய பைருவேட் உண்டாகின்றது. அதன்பின் பாஸ்பேட் தொகுதியானது ADPக்கு தரப்படுவது இரண்டாவதாக நிகழ்கின்றது. இந்த கீட்டோபைருவிக் அமிலமானது, ஆக்ஸிஜன் இல்லாத நிலையில் லாக்டிக் அமிலமாக ஒடுக்கமடைகிறது. இவ்வினைகளில் மைட்டோகான்ரியா ஈடுபடுத்தப்படுவது இல்லை. ஒரு குளுக்கோஸ் இரு கிளிசரால்டிஹைடு பாஸ்பேட் மூலக்கூறு தருவதன் மூலம் இரு அதிக ஆற்றல் மிக்க ATPக்கள் பைருவேட்கைனேஸ் என்ற நொதி மூலம் ஒரு குளுக்கோஸ் மூலக்கூறிலிருந்து கிடைக்கின்றது.

பாஸ்போ கிரியாட்டின்

பாஸ்போகிரியாட்டின் ஒரு பாஸ்போஜன் ஆகும். இது ADP யுடன் வினைபுரிந்து கிரியாட்டின் மற்றும் ATP யை உருவாக்குகின்றது. கிரியாட்டின் கைனேஸ் என்ற நொதி இதில் ஈடுபடுகின்றது. இத்தகு ஆற்றலின் இடமாற்றத்தினால் தசைகள் சுருங்கும்போது தேவையான ஆற்றலைத் தர முடிகிறது.

8.4.2 அதிக ஆற்றல் கொண்ட ஒரு சேர்மம் ATP

மனித உடலில் அதிக அளவில் எல்லா இடங்களிலும் இருக்கின்ற, அதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மம் ATP ஆகும். அடினோசைன் ட்ரை பாஸ்பேட் (ATP) என்றழைக்கப்படும், இச்சேர்மம் தேவைப்படும்போது செலவழிக்கும் வகையில் ஆற்றலை, பாஸ்பேட் பிணைப்புகளை நீராற் பகுக்கும்போது வெளியிடப்படுகிறது. இந்த ஆற்றல் மிக்க பிணைப்புகள் எப்போதும் "~" என்ற அடையாளம் மூலம் ~P என்று, அதிக ஆற்றலை நீராற்பகுக்கும்போது தரவல்ல பாஸ்பேட் தொகுதியைக் குறிப்பதாக உள்ளது. கடைசி பாஸ்பேட் தொகுதியை மற்றொரு சேர்மத்திற்கு

தரப்படுவதை பாஸ்பேட் ஏற்றம் (Phosphorylation) எனவும், இதனால் ADP, பாஸ்பேட் ஏற்றம் அடைந்த புதிய சேர்மம் மற்றும் ஆற்றல் போன்றவை கிடைக்கின்றன.

ஆகவே பாஸ்பேட் தொகுதி குறைக்கும் வினையான ATP–ADP+Pi+ஆற்றல் – என்பது ஆற்றலானது பெரும்பாலும் தன்னிச்சையாக நடைபெறும் வினைகளோடு இணைக்கப்படுவதில்லை. பொதுவாக ATP மற்றொரு வினையோடு இணைக்கப்படும்போது இணைத்தல் என்னும் வினை, அதாவது இரண்டு வினைகள் ஒரே நேரத்தில் ஒரு இடத்தில் ஒரே நொதி கலவையை பயன்படுத்தும்படி அமைந்துள்ளது. பாஸ்பேட் தொகுதி ATPயில் இருந்து வெளியிடப்படும்போது ஆற்றல் வெளியாகிறது. இதற்கு வெப்ப உமிழ்வினை (Exothermic) எனப்பெயர். இது வெப்பம் கொள்வினை (Endothermic) யோடு இணைக்கப்படுவதால் கீழ்கண்ட வினைகள் நடைபெற ஏதுவாகின்றது.

இரசாயன வினை (Chemical Reaction)

ATP ஆற்றலானது செல்லை உருவாக்கும் பெரிய மூலக்கூறுகளை தொகுக்க பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இடமாற்ற வேலை (Transportation)

ATP யில் இருந்து வெளிப்படும் ஆற்றல் மூலக்கூறுகளை சவ்வின் ஊடே விசையுடன் செலுத்த பயன்படுத்தப்படுகிறது.

இயந்திரமயமான வேலை (Mechanical Work)

ATP யினால் கிடைக்கும் ஆற்றல் உடலின் தசைகள் சுருங்கி விரிய உதவுகிறது.

சில சமயங்களில் பாஸ்பேட் தொகுதியானது ஒரு ஏற்றுக்கொள்ளும் மூலக்கூறுகளுக்கு மாற்றப்படுகிறது. அத்தகு தொகுதி மாற்றத்தால் வரும் ஆற்றல், சில அதிக ஆற்றல் உள்ள சேர்மங்களோடு இணைந்து காணப்படுகிறது. இதனால் ATP என்பது சாதாரணமாக வேதி ஆற்றலை இடமாற்ற உதவும் வாகனமாக செயல்படுகிறது.

8.4.2.1 ATP யின் உருவமைப்பு

அடினோசைன் ட்ரைபாஸ்பேட்டின் சுருக்கமே ATP ஆகும். இது ஒரு அடினோசைன் என்னும் நியூக்ளியோசைட், ரைபோஸ் மற்றும் மூன்று பாஸ்பேட்களை வால் போன்று நீண்ட அமைப்பாகப் பெற்ற கூட்டுச்சேர்மம் ஆகும்.

$ADP + Pi \rightleftharpoons ATP + H_2O$

தேவைப்படும் ஆற்றல்

7.3 கிலோ கலோரி/மோல்

அதிக ஆற்றல் கொண்ட பிணைப்புகள் '~' குறி மூலம் குறிப்பிடப்படுகிறது. முதலாவது பாஸ்பேட்டுக்கும் இரண்டாவது பாஸ்பேட்டுக்கும் இடையே உள்ள பிணைப்பும் அதிக ஆற்றல் கொண்ட பிணைப்பாகும்.

8.4.2.2 ATPயை நீராற் பகுக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல்

$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi +$ ஆற்றல் வெளியீடு

ΔG^o = -7,300 கலோரி/மோல் =-7.3 கி. கலோரி/மோல்
= -30.5 கி. ஜூல்/மோல்(ΔG^o, 37°C ல் அளவிடப்படும்போது)

ATPஅதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மம். இந்த அதிக ஆற்றல் என்பது இந்த மூலக்கூறின் மொத்த ஆற்றலை குறிப்பது இல்லை. இது நீராற்பகுக்கப்படும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலை மட்டும் குறிக்கின்றது.

இவ்வாறு ATPயானது நீராற்பகுப்பு வினைக்கு உட்பட ΔG அதிக எதிர்குறி மதிப்பைப் (-ve) பெற்றுள்ளது. அதாவது நீராற்பகுத்தல் வினைக்கு உட்படும்போது அதிக ஆற்றல் வெளியிடப்படுகிறது. உயிர் வேதியியலில் அதிக ஆற்றல் நிலையானது ATPயால் வரையறுக்கப்படுகிறது. ஒரு வேதிச் சேர்மத்தை நீராற்பகுக்கப்படும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலை, ATP யை நீராற்பகுக்கும்போது கிடைக்கும் ஆற்றலுக்கு சமமாகவோ அல்லது அதிகமாகவோ இருந்தால் அச்சேர்மம் உயர் ஆற்றல் கொண்ட சேர்மமாகக் கருதப்படுகிறது. அதேபோல் நீராற்பகுப்பில் வெளிப்படும் ஆற்றல் ATPயில் கிடைக்கும் ஆற்றலைவிட குறைவாக இருந்தால் அது உயர் ஆற்றல் சேர்மமமாக கருதப்படுவதில்லை. ATPயின் அமைப்பை கவனிக்கும் போது இரண்டு உயராற்றல் கொண்ட பாஸ்பேட் பிணைப்புகள் (AMP~P~P) உள்ளன. ATP யை நீராற்பகுக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் ΔG யின் மதிப்பானது, அமில கார நிலை (pH), இரு நேர்மின் சுமை கொண்ட உலோக அயனியின் அடர்த்தி, அயனிகளின் நிகர மின்சுமை ATP மூலக்கூறுகளை பயன்படுத்தும் திறன் இவைகளால் வேறுபடுகிறது. மேலும் அருகே உள்ள சூழலைப் பொறுத்தும் அமைந்துள்ளது. ஒரு ATP மூலக்கூறிலிருந்து 7.3 கிலோ கலோரி / மோல் (E_{ATP}) வெளிப்படுவதற்கு ATP, ADP மற்றும் பாஸ்பேட் போன்றவை சமமான அடர்த்தியை கொடுக்க தேவைப்படுகிறது. செல்களில் ATP யின் அடர்வானது ADPயை விட 5லிருந்து 10 மடங்கு அதிகமாகக் காணப்படுகிறது. ATPயை நீராற்பகுக்கும்போது வெளிப்படும் அக ஆற்றலானது 12 கிலோ கலோரி/மோல் ஆக இருக்கிறது. இயற்பு வேதியியலாளர்களால் பிணைப்பாற்றல் என்பது "பொதுவாக இரு அணுக்களுக்கிடையே உள்ள சகபிணைப்பை உடைக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல்" என வரையறுக்கப்படுகிறது. சகப் பிணைப்பை பிளப்பதற்கே அதிக ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. ஆனால் பாஸ்பேட் பிணைப்பானது முற்றிலும் வேறுபாடான ஒன்று. பாஸ்பேட் ஏற்றம் பெற்ற சேர்மம் நீராற்பகுப்பிற்கு உட்படும்போது வினைபடு பொருளுக்கிடையே உள்ள அக ஆற்றல் வேறுபாடு பாஸ்பேட் பிணைப்பாற்றல் எனப்படுகிறது.

8.4.2.3 ஒற்றை பாஸ்பேட் பிளவு மற்றும் பைரோபாஸ்பேட் பிளவு

ATP மூலக்கூறு ஒற்றை பாஸ்பேட் பிளவு அல்லது இரட்டை பாஸ்பேட் பிளவு (பைரோ பாஸ்பேட் பிளவு) வினைக்கு உட்படலாம். இவ்வினைகள் ATPயானது வளர்சிதை மாற்ற வழிமுறைகளில் பயன்படுத்தப்படும்போது நிகழ்கிறது. ATP மூலக்கூறில் கடைசி பாஸ்பேட் தொகுதி மட்டும் பிரிக்கப்படும்போது அப்பிளவு ஒற்றை பாஸ்பேட் பிளவு என்றும் கடைசி இரண்டு பாஸ்பேட் தொகுதியைச் சேர்த்து பிளக்கப்பட்டால் அப்பிளவு இரட்டை பாஸ்பேட் பிளவு என்று அழைக்கப்படுகிறது.

அடினோசைன் ஆற்றல்

பல ATP மூலக்கூறுகள் பயன்படும் வினைகளில் கடைசி பாஸ்பேட் பிளவிற்குப் பதில் கடைசி இரட்டை பாஸ்பேட் தொகுதிகள் நொதிகளால் நீராற்பகுக்கப்பட்டு (பைரோ பாஸ்பேட்), ஆற்றல் வெளியிடப்படுகிறது. இவ்வாறு வெளியிடப்படும் ஆற்றலானது ஒற்றைப் பாஸ்பேட் பிளவு அல்லது ஆர்த்தோ பாஸ்பேட் பிளவுகளில் வெளிப்படும் ஆற்றலை விட அதிகம் ஆகும்.

பைரோபாஸ்பேட் (PPi) என்பது உடலில் தேவைப்படும் இயக்க விசைக்குத் தேவைப்படும் வினைக்கு விளைபொருளாக (Product) செயல்படுகிறது. பைரோபாஸ்படேஸ் (Pyrophosphatase) என்ற நொதியால் நிகழும் தன்னிச்சையான நீராற்பகுப்பு வினையானது பைரோபாஸ்பேட்டை வினைபொருளாக பயன்படுத்த ஊக்குவிக்கிறது. இந்த பைரோபாஸ்பேட் பிளவு வினையின் கட்டிலா ஆற்றலானது (ΔG-Free Energy) 10 கிலோ கலோரி/மோல் ஆக உள்ளது. இவ்வாறு ஒற்றை பாஸ்பேட் பிளவால் வெளிப்படும் ஆற்றலை விட அதிக ஆற்றல் தேவைப்படும் உயிர் மூலக் கூறுகளின் உருவாக்க வினைகள் முழுமையடைய, இத்தகைய பைரோபாஸ்பேட் வினைகள் முக்கிய பங்கு வகிக்கின்றன.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு

1. கீழ்காண்பவைகளில் அதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மம் எது ?

அ) கிளிசரால்டிஹைடு ஆ) AMP

இ) பைரோ பாஸ்பேட் ஈ) லாக்டேட்

2. கீழ் காண்பவைகளில் எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் பங்கு கொள்ளும் சேர்மம் எது ?

அ) அடினோசைன்

ஆ) ஹீம் அல்லாத இரும்பு அடங்கிய புரதம்

இ) கிரியாட்டின் பாஸ்போகைனேஸ்

ஈ) அடினைலேஸ் சைக்ளேஸ்

3. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் உள்ள சுவாசத்தை கட்டுப்படுத்தும் பொருள் எது ?

அ) ATP சிந்தடேஸ் ஆ) ADP

இ) அயனோபோர்கள் ஈ) கிரியாட்டின்

4. பைரோபாஸ்பேட் பிளவின் தேவை

அ) அதிக ஆற்றல் பிளவு வீணாக்கப்படுதல்

ஆ) சில உயிர் மூலக்கூறுகளின் உருவாக்க வினைகளை முழுமைப்படுத்துதல்

இ) பாஸ்பேட் தொகுதியை ஒரு மூலக்கூறிலிருந்து மற்றொரு மூலக்கூறுக்கு மாற்றுதல்

ஈ) எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரை கிளர்வுறச் செய்தல்

5. மைட்டோகாண்டிரியாவில் உள்ள சக்சினேட் டிஹைட்ராஜினேஸ் என்பது எதன் குறியீடாகக் கருதப்படுகிறது ?

அ) உட்சவ்வு ஆ) வெளிச் சவ்வு

இ) சவ்வுகளின் இடைவெளிப்பகுதி ஈ) மேட்ரிக்ஸ்

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக

1. எலக்ட்ரான்களை ஏற்றுக்கொள்ளும் வினையானது _____ என்றும் அவைகளை இழக்கும் வினை _____ என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

2. ஆக்ஸிஜனேற்ற ஒடுக்க வினைகளை _____ என்றும் அழைக்கலாம்.

3. பாஸ்போ ஈனால் பைருவேட்டிலிருந்து ஆற்றலை நேரடியாக மாற்றும் நிகழ்வு _____ ற்கு உதாரணம் ஆகும்.

4. தசை செல்களில் ஆற்றலானது _____ என்ற மூலக்கூறில் சேமிக்கப்பட்டுள்ளது.

5. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் இணை தடுப்பான்கள் என்பவை _____, _____ மற்றும் _____ ஆகும்.

III. சரியா ? தவறா ?

1. தசைச் செல்களில் ATP மூலக்கூறு குறைவாக உள்ளபோது பாஸ்போகிரியாட்டின் மூலம் ATP உருவாக்கப்படுகிறது.

2. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் $FADH_2$ வினைபடு பொருளாக செயல்படும்போது, மூன்று மூலக்கூறு ATP உருவாக்கப்படுகிறது.

3. ஆக்ஸிஜனேற்ற பாஸ்பேட் ஏற்றத்திற்கு F_1 என்ற காரணி அவசியமானது அல்ல.

4. ஒரு ATPயை ADPயாக நீராற்பகுக்கும்போது வெளியிடப்படும் ஆற்றல் 7.3 கிலோ கலோரியை விட அதிகமாக உள்ளது.

5. ATP மூலக்கூறுகளிலுள்ள கடைநிலை பாஸ்பேட் தொகுதியை நீக்கும் வினையை மோனோபாஸ்பேட் பிளவு அல்லது ஒற்றை பாஸ்பேட் பிளவு என்கிறோம்.

IV. பொருத்துக.

1.	சயனைடு	–	ஒடுக்கி
2.	NADH	–	சைட்டோகுரோம் ஆக்ஸிஜனேற்ற நொதிக்கு தடுப்பான்
3.	இணைத் தடுப்பான்கள்	–	புரோட்டான் உந்துவிசை
4.	F_0 மற்றும் F_1 துகள்கள்	–	H^+ அயனிச் செறிவை குறைப்பது
5.	கெமிஆஸ்மாடிக் ஆற்றல்	–	ATP சிந்தடேஸ்

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி.

1. ஆற்றலை சேமிக்கும் நிகழ்வு எந்த இடமாற்ற அமைப்பில் நிகழ்த்தப்படுகிறது ?

2. செல்லின் ஆற்றல் மையங்கள் என அழைக்கப்படுவது எது ?

3. அயனோபோர்கள் என்பவை யாவை ?

4. பாஸ்போஜென்களின் பணி என்ன ?

5. தசைகளில் பாஸ்போ கிரியாட்டின் பங்கு என்ன ?

VI. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விடையளி.

1. கெமிஆஸ்மாடிக் கொள்கையை உருவாக்கியவர் யார் ?

2. ATP சிந்தடேஸ் என்ற நொதியின் மற்றொரு பெயர் என்ன ?

3. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் சயனேடு என்ற தடுப்பான், தடுக்கும் பகுதிப் பொருள்கள் என்ன ?

4. மைட்டோகாண்டிரியாவின் எந்த பகுதியில், எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரில் பங்கு பெறும் புரதங்கள் அமைந்துள்ளன ?

5. சைட்டோகுரோம் C ஒடுக்க நொதி (Cytochrome C reductase) யின் மற்றொரு பெயர் என்ன ?

VII. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விரிவாக விடையளி.

1. கெமிஆஸ்மாடிக் கொள்கையை விவரி ?

2. எலக்ட்ரான் இடமாற்றத் தொடரின் எந்தெந்த பகுதியில் ATP மூலக்கூறுகள் உருவாக்கப்படுகின்றன ?

3. பைரோபாஸ்பேட் பிளவு.

4. அதிக ஆற்றல் கொண்ட சேர்மங்கள்.

5. மைட்டோகாண்டிரியாவின் வெவ்வேறு பகுதிப் பொருள்களில் உள்ள தனித்தன்மை வாய்ந்த நொதிகளை குறிப்பிடுக.

பாடம் – 9

நொதி வினைவேகவியல்

முன்னுரை

நிலையான வெப்பநிலை மற்றும் pHல், நொதிகளால் நடைபெறும் வினைகளின் வேகம் நொதி மற்றும் வினை பொருட்களின் செறிவுகளைப் பொருத்தே அமையும். வினை பொருளின் செறிவிற்கும், வினைவிளை பொருளின் செறிவிற்கும் இடையே உள்ள தொடர்பை படம் 9.1 விளக்குகிறது.

படம் 9.1 வினைபொருள் செறிவிற்கும் வினைவிளை பொருள் செறிவிற்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு

நொதிகளின் செறிவை அதிகப்படுத்தும் போது, வினைவேகமும் சீராக உயருகிறது. ஆனால் நொதியின் செறிவு நிலையாக இருக்கும் போது, வினைபொருளின் செறிவை உயர்த்தினால், வினைவேகம், அதிபரவளையமாக (hyperbolically) உயருகிறது. இதிலிருந்து ஒவ்வொரு நொதியும் தங்கள் வினைபொருளுடன் இணைவதற்குக் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையிலான மையங்கள் கொண்டுள்ளன என அறியலாம். அத்தகைய மையங்கள் அனைத்தும் நிறைவடைந்தவுடன், வினைவேகத்தில் மேலும் எந்த முன்னேற்றமும் ஏற்படுவதில்லை. இந்நிலையில் நொதி, வினைபொருளுடன் இணைவதில் நிறைவுத் தன்மை அடைந்து விடும்.

9.1 மைகேலிஸ் மென்டன் சமன்பாட்டைத் தருவித்தல் (Derivation of Michaelis Menton equation)

லியோனார் மைக்கேலிஸ் மற்றும் மென்டன் ஆகியோர் 1913–ல் வினைபொருளின் செறிவு நொதி செயல்பாட்டின் மீது ஏற்படுத்தும் தாக்கத்திற்கு விளக்கமளித்தனர்.

இச்சமன்பாட்டின்படி, E என்னும் நொதி ‘S’ என்னும் வினைபொருளுடன் இணைந்து ES என்னும் கூட்டுப் பொருளைத் தருகிறது. இக்கூட்டுப் பொருள் மெதுவாகப் பிரிந்து P என்னும் வினைவிளைபொருளைத் தருகிறது. மேற்கண்ட வினைகளைக் கீழ்க்கண்ட சமன்பாடுகளால் விளக்கலாம்.

$$E + S \underset{K_2}{\overset{K_1}{\rightleftharpoons}} ES \qquad \text{படி 1}$$

$$ES \underset{K_4}{\overset{K_3}{\rightleftharpoons}} E + P \qquad \text{படி 2}$$

k_1 மற்றும் k_2 என்பவை முறையே படி ஒன்றின் முன்னோக்கு மற்றும் பின்னோக்கு வினைகளின் வினைவேக மாறிலிகள் (rate constants)ஆகும்.

k_3 மற்றும் k_4 என்பவை முறையே படி இரண்டின் முன்னோக்கு மற்றும் பின்னோக்கு வினைகளின் வினைவேக மாறிலிகள் ஆகும்.

பின்வரும் நிலைபாடுகளை நிறைவு செய்யும் வினைகளுக்கே மேற்கூறிய சமன்பாடுகள் பொருந்தும்.

அ. ஒரு வினைபொருள் மட்டுமே ஈடுபட்டு, ஒரே ஒரு வினைவிளை பொருளைத் தரும் வினையாக இருக்க வேண்டும்.

ஆ. வினைச்செயல் இறுதிவரை நடைபெற வேண்டும்.

இ. வினைபொருளின் செறிவு, நொதியின் செறிவை விட மிக அதிகமாக இருக்க வேண்டும்.

ஈ. வினையின் போது இடைநிலையாக ES கூட்டுப்பொருள் உருவாக வேண்டும்.

உ. வினைபொருள் சிதைவுறும் வேகம், ES கூட்டுப்பொருளின் செறிவைப் பொருத்தே அமைய வேண்டும்.

'S' ன் செறிவு 'E' ன் செறிவை விட மிக அதிகமாக இருக்குமேயானால், வினையின் தொடக்கத்தில், Sன் ஒரு சிறிய பகுதி மட்டுமே வினைவிளைபொருள் 'P' ஆக மாற்றம் அடைந்திருக்கும். இந்நிலையில் $P \rightarrow ES$ என்ற வினையைப் புறக்கணிக்கலாம்.

நிறைதாக்க விதியின் படி, k_1 மற்றும் k_2 ஆகியவற்றை முறையே முன்னோக்கு மற்றும் பின்னோக்கு வினைகளின் வினைவேக மாறிலிகளாகக் கொண்ட படி ஒன்றின்.

முன்னோக்கு வினையின் வேகம் $= k_1 [E] [S]$ ..... (1)

பின்னோக்கு வினையின் வேகம் $= k_2 [ES]$ ..... (2)

நிறைதாக்க விதியின் படி, k_3 மற்றும் k_4 ஆகியவற்றை முன்னோக்கு மற்றும் பின்னோக்கு வினையின் வினைவேகமாறிலிகளாகக் கொண்டபடி 2ன்

முன்னோக்கு வினையின் வேகம் $= k_3[ES]$ ..... (3)

பின்னோக்கு வினையின் வேகத்தைப் புறக்கணிக்கலாம்.

இவ்வமைப்பில் நொதியின் மொத்த செறிவு,

$$[Et] = [E] + [ES] \quad ..... \quad (4)$$

இதில் [E], [ES] மற்றும் [Et] முறையே கூட்டுப் பொருளாக மாறாத தனித்த நொதி, கூட்டுப்பொருள் மற்றும் மொத்த நொதி ஆகியவற்றின் செறிவுகளாகும்.

முழுவினையின் வினைவேகம்,

$$v = k_3 [ES] \quad ..... \quad (5)$$

இந்த சமன்பாடே முழுவினையின் வினைவேகச் சமன்பாடாகும். ஆனால் இதில் k_3 மற்றும் ESஐ நேரிடையாக அளவிட முடியாததால் இச்சமன்பாடு உபயோகமற்றதாகும்.

இவ்வினை சமநிலை அடைந்ததாகக் கருதினால், [ES] உருவாகும் வினையின் வேகமும், [ES] சிதைவுறும் வினையின் வேகமும் சமமானதாகும்.

ES உருவாகும் வினையின் வேகம் (V_f) ஆனது. இரண்டாம் வகை வினையின் படி, E மற்றும் S ஆகியவற்றின் செறிவுகளைப் பொருத்ததாகும்.

$$V_f = k_1 [E] [S]$$

$$= k_1 ([Et] - [ES])[S] \quad \text{.....} \quad (6)$$

ES சிதைவுறும் வினையின் வேகம் V_d ஆனது,

$$V_d = k_2 [ES] + k_3 [ES]$$

$$= k_2 + k_3 [ES] \quad \text{.....} \quad (7)$$

சமநிலையில், $V_d = V_f$

$$k_1 ([Et] - [ES]) [S] = k_2 + k_3 [ES] \quad \text{.....} \quad (8)$$

சமன்பாட்டை மாற்றியமைத்தால்,

$$\frac{[S] ([Et] - [ES])}{[ES]} = \frac{k_2 + k_1}{k_3} = Km \quad \text{.....} \quad (9)$$

இதில் Km என்பது மைக்கேலிஸ் மென்டன் மாறிலி ஆகும். இது நொதி மற்றும் அதன் வினைபொருளின் தொடர்புடைய ஒரு தனித்தன்மை வாய்ந்த கூறாகும்.

[ES] ஐப் பெற, இச்சமன்பாட்டை மாற்றியமைத்தால்,

$$\frac{[S] [Et] - [S] [ES]}{[ES]} = Km \quad \text{.....} \quad (10)$$

$$Km [ES] = [S] [Et] - [S] [ES]$$

$$Km [ES] + [S] [ES] = [S] [Et]$$

$$[ES] (Km + [S]) = [S] [Et]$$

$$[ES] = \frac{[Et] [S]}{Km + [S]} \quad \text{.....} \quad (11)$$

சமன்பாடு 5ன் படி, $V = k_3 [ES]$. [ES] ன் மதிப்பை, இச்சமன்பாட்டில் பதிலீட்டால்

$$V = \frac{k_3 [Et] [S]}{Km + [S]} \quad \text{.....} \quad (12)$$

அதிகபட்ச வினைவேகம் V_{max} ஆனது,

$$V_{max} = k_3 [Et] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

k_3 [Et] இன் மதிப்பை சமன்பாடு 12ல் பதிலீட்டால்

$$V = \frac{V_{max} [S]}{Km + [S]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

இதுவே, மைக்கேலிஸ் மென்டன் சமன்பாடாகும்.

வினைவேகம் V, அதிகபட்ச வினைவேகம் V_{max} ன் பாதியாகக் கொண்டால்,

அதாவது, $V = V_{max} / 2$

அதாவது,

$$\frac{V_{max}}{2} = \frac{V_{max} [S]}{Km + [S]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

மாற்றியமைத்தால்,

$$Km + [S] = 2 [S]$$

$$Km = [S] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

9.1.1. Kmன் மதிப்பை வரையறுத்தல்

வினைவேகம், அதிகபட்ச வினைவேகத்தின் பாதியாக இருக்கும் போது, வினைபொருள் செறிவே Km ஆகும். இது நொதியின் செறிவைப் பொருத்ததல்ல. Kmன் அலகு மோல்/லி ஆகும். ஆகவே, மைக்கேலிஸ் – மென்டன் மாறிலியை வினைபொருள் செறிவு மற்றும் வினைவேகத்தைக் கொண்டு வரையப்பட்ட மைக்கேலிஸ் மென்டன் வரைபடத்தின் மூலம் கண்டறியலாம் (படம் 9.2)

படம் 9.2 மைக்கேலிஸ் மென்டன் வரைபடம்

9.1.2 லைன்வீவர் – பர்க் சமன்பாடு (Lineweaver - Burk Equation)

மைக்கேலிஸ் – மென்டன் சமன்பாட்டின் உருமாற்றம்
(Transformation of the Michaelis - Menton Equation)

Kmன் மதிப்பை லைன்வீவர் பர்க் சமன்பாட்டின் மூலமாக மிகத் துல்லியமாகக் கணிக்கலாம். லைன்வீவர் பர்க் சமன்பாடானது, மைக்கேலிஸ் மென்டன் சமன்பாட்டின் தலைகீழி வடிவமாகும்.

$$1/V = Km + [S] / V_{max} [S] \quad (1)$$

சமன்பாட்டை மாற்றியமைத்தால்,

$$1/V = Km / V_{max} [S] + [S] / V_{max} [S] \quad (2)$$

இதனை மேலும் எளிமையாக்கினால்

$$1/V = Km / V_{max} \times 1/ [S] + 1/ V_{max} \quad (3)$$

I/V மற்றும் I/S ஐக் கொண்டு ஒரு வரைபடம் வரைந்தால் (இரு தலைகீழ் வரைபடம்) Km/V_{max} ஐ சாய்வாகக் கொண்ட ஒரு நேர்கோட்டைத் தருகிறது. இவ்வரைபடத்திலிருந்து சாய்வையும் வெட்டுப் புள்ளியையும் (interscept) எளிதாகக் கணிக்கலாம். இதன்மூலம் V_{max} ஐயும், Kmஐயும் துல்லியமாகக் கணிக்கலாம். (படம் 9.3)

படம் 9.3 லைன்வீவர் – பர்க் வரைபடம்

9.2 நொதிகளின் செயல்பாடு

வினைபொருளை வினைவிளைபொருளாக மாற்ற, மூலக்கூறு நிலையில் நடைபெறும் நிகழ்வுகளின் தொகுப்பே நொதியின் செயல்பாட்டின் இயங்கமைப்பு ஆகும். நொதிகள் தங்களின் வினைபொருள்மீது செயல்பட்டு, அவற்றில் வேதிப்பிணைப்புகளை உருவாக்கவோ, சிதைக்கவோ செய்கின்றன.

9.2.1 ES கூட்டுப்பொருள் உருவாக்கம்

மைக்கேலிஸ் மென்டன் கொள்கையின் படி, நொதி (E) வினைபொருள் (S) உடன் இணைந்து, ஒரு இடைநிலை நொதி வினைபொருள் (ES) கூட்டுப்பொருளை உருவாக்குகிறது. இக்கூட்டுப்பொருளானது, பின்னர் சிதைவுற்று, வினை விளைபொருள் (P) உருவாக்குவதுடன், எவ்வித மாற்றமடையாத நொதியையும் மீண்டும் தருகிறது. இவ்வாறு உருவான நொதியானது, இதே முறையில் மற்றுமொரு புதிய வினைபொருளுடன் இணைகிறது. நொதிகள் ஈடுபடும் வினையின் போது, இடைநிலை கூட்டுப்பொருள் நொதி – வினைபொருள் ES

கூட்டுப்பொருள் உருவாவது நிறமாலை ஒளியியல் ஆய்வுகள் (Spectroscopic studies) மூலம் உறுதிப்படுத்தப்பட்டுள்ளது.

நொதிகள் ஈடுபடும் ஒரு எளிதான வினையைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons EP \rightleftharpoons E+P$$

இதில் E,S மற்றும் P ஆகியவை முறையே நொதி, வினைபொருள் மற்றும் வினைவிளை பொருள் ஆகியவற்றைக் குறிக்கின்றன. ES மற்றும் EP முறையே நொதியுடன் இணைந்த வினைபொருள் மற்றும் வினைவிளைபொருளைக் குறிக்கின்றன. வினையின் இறுதியில் ES கூட்டுப்பொருளானது சிதைந்து தேவையான வினைவிளைபொருளுடன், எவ்வித மாற்றமுமடையாத நொதியும் திரும்பப் பெறப்படுகிறது. இந்நொதி மீண்டும் நொதிச் செயலில் ஈடுபடுகிறது. ES கூட்டுப் பொருளானது, ஒரு அதிக ஆற்றல் வாய்ந்த நிலையற்ற கூட்டுப்பொருளாகும். இது சிதைவுற்று வினைவிளை பொருளைத் தருகிறது. வினைபொருள் நொதி மூலக்கூறுகளிலுள்ள சில குறிப்பிட்ட மையங்களில் இணைந்து நொதி – வினைபொருள் கூட்டுப்பொருளை உருவாக்குகிறது. நொதிகளிலுள்ள வினைப்பொருள் இணையும் இக்குறிப்பிட்ட பகுதிகள் கிளர்வு மையம் (active site) அல்லது வினை ஊக்க மையம் (catalytic site) என அழைக்கப்படுகின்றன

நொதி புரதங்களிலுள்ள அமினோ அமிலங்களிலுள்ள செயல் வினைப்பகுதிகள் இணைந்து கிளர்வுமையத்தை உருவாக்குகின்றன. உதாரணமாக, சிரைனின் தனித்த ஹைட்ராக்சில் தொகுதி, தைரோசினின் ஃபீனால் தொகுதி, ஆகியவை நொதிகளின் கிளர்வுமையங்களில் உள்ள சில முக்கிய செயல்வினை தொகுதிகளாகும்.

9.2.2 கிளர்வுமையம் பற்றிய கொள்கைகள் (Theories of Active site)

சாவி பூட்டில் பொருந்துவது போல வினைபொருள் நொதியின் கிளர்வு மையத்தில் பொருந்துவதாக பிஷ்சர் என்பவர் 1894 ஆம் ஆண்டு அறிவித்தார் (படம் 9.4). இதனால் இக்கொள்கை நொதியின் செயல்பாடு பற்றிய பூட்டுசாவி கொள்கை என அழைக்கப்பட்டது.

படம் 9.4 பிஷ்சரின் பூட்டு சாவி கொள்கை

இக்கொள்கையின்படி, வினைபொருள் பொருந்துவதற்குரிய மையங்கள் நொதிகளில் உள்ளன. இவ்வாறு, வினைபொருள் நொதியுடன் இணையும் தொகுதிகளே கிளர்வுமையம் அல்லது வினை ஊக்கமையம் என அழைக்கப்படுகிறது. ஆனால், இக்கொள்கையால் எல்லா நொதிச் செயல்பாடுகளையும் விளக்க இயலாது. ஏனென்றால், சில வினைகளில் வினைபொருள் மூலக்கூறுகளும், கிளர்வு மையங்களும் பொருந்தும் தன்மையற்றதாகக் காணப்படுகின்றன. இருப்பினும், சில வினைகள் நடைபெறுகின்றன.

பின்னர் 1963 ஆம் ஆண்டில் கோஷ்லாந்து என்பவரால் இக்கொள்கை தூண்டு தகுதிக் கூற்றாக மாற்றியமைக்கப்பட்டது. நொதிகளின் கிளர்வு மையங்களில் வளைந்து கொடுக்கும் தன்மையே இக்கொள்கையின் அடிப்படையாகும். பிஷ்சர் கொள்கையில் கிளர்வு மையம் ஒரு கடினமான உருமாறும் தன்மையற்ற அமைப்பைக் கொண்டுள்ளது. ஆனால் தூண்டு தகுதிக் கொள்கையின் படி வினைபொருள் நொதியின் கிளர்வுமையத்தில் ஒரு உருமாற்றத்தை ஏற்படுத்துகிறது. (படம் 9.5) இதனால் கிளர்வு மையம் ஒன்றையொன்று அணுகி ஒரு இலகுவான முறையில் வினைபொருள் கிளர்வுமையத்தில் பொருத்தப்படுகிறது.

படம் 9.5 கோஷ்லாந்தின் தூண்டு தகுதிக் கொள்கை

நொதிகளிலுள்ள கிளர்வு மையம் தங்கள் நீர்விரும்பும் மற்றும் நீர் வெறுக்கும் வினை ஊக்கத் தொகுதிகளால் வினைபொருளைப் பிணைக்கின்றது. நொதி வினைபொருள் கூட்டுப்பொருள் சகபிணைப்பு, எலக்ரோஸ்டாடிக் கவர்ச்சி (electrostatic atrraction) போன்ற பல்வேறு பிணைப்புகளால் ஆனது. கிளர்வு மையத்தில் உள்ள செயல்வினை தொகுதிகள் ES கூட்டுப்பொருள் உருவாவதற்கேற்ற ஒரு சாதகமான குறிப்பிட்ட வடிவத்தில் அமைந்துள்ளன.

பல நொதிகளுக்கு இணைநொதிகளாகிய புரதங்கள் அல்லாத சில மூலக்கூறுகள், அவற்றின் அதிகபட்ச செயல்திறனுக்குத் தேவைப்படுகின்றன. இவ்வாறு இணை நொதிகள் தேவையுள்ள நொதிகளில் அவ்விணை நொதிகள் இணைவதற்கான மையங்களும் கொண்டுள்ளன. இவ்வாறு உருவாகும் கூட்டுப்பொருள் நொதி – வினைபொருள் – இணைநொதி கூட்டுப்பொருள் என அழைக்கப்படுகிறது.

இவை தவிர, சில நொதிகளின் முழுச்செயல்பாட்டிற்கு அயனிகளும் தேவைப்படுகின்றன. இந்த உலோக அயனிகள் நொதிகளின் ஊக்குவிப்பான்கள் என அழைக்கப்படுகின்றன. ஆல்கஹால் டிஹைட்ரோஜினேஸ், பெராக்சிடேஸ், கேட்டாலேஸ், சாந்தின் ஆக்ஸிடேஸ் (Xanthine oxidase) போன்ற நொதிகள் மேற்கூறிய நொதிகளுக்கு உதாரணம். இவை உலோக அயனிகள் இணைவதற்கான மையங்களையும் பெற்றுள்ளன. இந்நொதிகளிலிருந்து உலோக அயனிகளைப் பிரித்தால், அவை பகுதியாக அல்லது முழுவதுமாக செயலிழந்து விடுகின்றன. இத்தகைய நொதிகளை உலோக நொதிகள் என்றழைக்கிறோம். பொதுவாக நொதியின் செயல்பாடுக்கு K^+, Cu^+, Mg^{2+},மற்றும் Ca^{2+} அயனிகள் தேவைப்படுகின்றன.

9.3 நொதி தடுப்பான் கூற்றுகள் (Enzyme Inhibitor - concepts)

நொதிகளால் செயல்படுத்தப்படும் சில வினைகளின் வேகம் தெரிவுத் தன்மை கொண்ட தடுப்பான்களால் குறைக்கப்படுகின்றன. நொதிகளுடன் தடுப்பான்கள் இணைவதால் அவை வினைபொருளுடன் இணைந்து ES கூட்டுப்பொருள் உருவாவது தடுக்கப்படுகிறது. HCN மற்றும் H_2S போன்றவற்றின் நச்சுத்தன்மைக்கு, அவை நொதி தடுப்பான்களாகச் செயல்படுவதே

காரணமாகும். பல மருந்துகள் குறிப்பிட்ட நொதிகளின் தடுப்பான்களாகச் செயல்படுகின்றன. எனவே மருந்துகள் மற்றும் நச்சுக்களின் செயல்பாடுகளை அறிந்து கொள்வதற்கு நொதி தடுப்பான்கள் பற்றிய அறிவு இன்றியமையாததாகும்.

நொதிகளைச் செயலிழக்கச் செய்து அவை செயல்படுத்தும் வினையின் வேகத்தைத் தடுக்கும் பொருட்களை நொதி தடுப்பான்கள் என்கிறோம். இச்செயல் நொதி தடுத்தல் என அழைக்கப்படுகிறது. தடுப்பான்களை மீள் தடுப்பான்கள் மற்றும் மீளாத்தடுப்பான்கள் என இருவகையாகப் பிரிக்கலாம். இது தடுத்தல் மீளும் தன்மையுடையதா அல்லது மீளாத் தன்மை உடையதா என்பதைப் பொருத்ததாகும்.

9.3.1. நொதி மீள் தடுத்தல் (Reversible Enzyme Inhibition)

மீள் தடுப்பான்கள் அதன் நொதியிலிருந்து மிக வேகமாகப் பிரிகையடைகிறது. ஏனெனில், அது நொதியுடன் மிகக் குறைந்த வலுவுடன் இணைந்துள்ளன.

1. வினைபொருள் செறிவை உயர்த்தினால் தடுத்தலின் மீளும் தன்மையைப் பொருத்து,
2. தடுப்பான்கள் கிளர்வு மையத்துடன் அல்லது கிளர்வுமையம் அல்லாத வேறு மையங்களோடு (அல்லோஸ்டிரிக் மையங்கள்) இணைவதைப் பொருத்து,
3. தடுப்பான்கள் தனித்த நொதிகளோடு இணைகிறதா அல்லது ES கூட்டுப்பொருளோடு இணைகிறதா என்பதைப் பொருத்து நொதி மீள் தடுத்தல் வினைகள், போட்டித்தன்மையுள்ள தடுத்தல், போட்டித் திறனற்ற தடுத்தல் மற்றும் போட்டித் தன்மையற்ற தடுத்தல் என மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம்.

9.3.1.1 போட்டித் தன்மையுள்ள தடுத்தல் (competitive inhibition)

போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்கள் நொதிகளின் கிளர்வு மையத்தில் மீளும் தன்மையுடன் இணைவதால், அவற்றால் வினை பொருளுடன் இணை இயலாது (படம் 9.6) போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்கள் வினைபொருளின் உருவ அமைப்புடன் பெரும்பாலும் ஒத்தே காணப்படும். சில நேரங்களில் போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்கள் வினைபொருளுடன் முழு உருவொத்த பொருட்களாக இருக்கும். போட்டித் தடுப்பான்கள் வினைவிளை பொருளாக மாற்றப்படுவதில்லையெனினும், வினைபொருள் நொதியோடு இணைந்து கூட்டுப்பொருள் உருவாக்குவதைப் போலவே, இவையும் இணைந்து கூட்டுப்பொருளை உருவாக்குகின்றன. தடுப்பான்கள் நொதிகளுடன் இணைவதை இவ்வாறு குறிக்கலாம்.

$$E + I \rightleftharpoons EI$$
$$K_i = [E]\ [I] / [EI]$$

இதில் K_i என்பது பிரிகை மாறிலியாகும்.

தடுத்தல் தன்மையின் அளவு, வினைபொருள் மற்றும் தடுப்பான்களின் செறிவுகளைப் பொருத்து அமைகிறது. இது மேலும் தடுப்பான்களுடன் நொதியின் கவர்ச்சித் தன்மையைப் பொருத்தும் அமைகிறது. தடுப்பான்களின் நிலையான நெறிவில், வினைபொருளின் செறிவை அதிகரிப்பதன் மூலம் தடுத்தல் தன்மையின் அளவினைக் குறைக்கலாம்.

மெலொனேட் அல்லது டைகார்பாக்சிலிக் அமிலங்களால் சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதி தடுக்கப்படுதல் இவ்வகை தடுத்தலுக்கு உகந்த உதாரணமாகும். இந்நொதி கிரெப்ஸ் டிரைகார்பாக்சிலிக் அமில சுழற்சியின் நொதி தொகுதிகளில் உள்ள ஒரு நொதியாகும்.

இது சக்சினேட்டிலுள்ள மெத்திலீன் கார்பன் அணுக்களிலுள்ள இரு ஹைட்ரஜன்களை நீக்கும் வினையை ஊக்குவிக்கிறது. சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேசைத் தடுக்கும் மெலோனேட், இரு அயனியடைந்த கார்பாக்சில் தொகுதிகளைக் கொண்டிருப்பதன் மூலம் சக்சினேட் உடன் உருவொத்துக் காணப்படுகிறது.

பாக்டீரியா போன்ற பல நுண்ணுயிரிகள் p–அமினோ பென்சோயிக் அமிலத்திலிருந்து வைட்டமின் ஃபோலிக் அமிலத்தை உருவாக்குகின்றன. சல்பனிலிக் அமிலம் மற்றும் இதர சல்பா மருந்துகள் p–அமினோ பென்சோயிக் அமிலத்தின் உருவொத்த பொருட்களாகும். எனவே, சல்பா மருந்துகள் போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்களாகச் செயல்பட்டு இவ்வினையை ஊக்குவிக்கும் பாக்டீரியாக்களின் நொதிகளின் கிளர்வுமையங்களுடன் இணைகின்றன. இவ்வினையைத் தடுப்பதன் மூலம் நுண்ணுயிரிகளின் வளர்ச்சிக்குத் தேவையான ஃபோலிக் அமிலம் உருவாவது தடுக்கப்படுகின்றது. இதனால் நுண்ணுயிரிகள் உயிரிழக்கின்றன. இவ்வாறு சல்பா மருந்துகள் ஆன்டிபயாடிக்ஸ் (Antibiotics) ஆக செயல்படுகின்றன.

படம் 9.6 போட்டித் தன்மையுள்ள தடுத்தல்

9.3.1.2 போட்டித்தன்மையற்ற தடுத்தல் (Uncompetitive Inhibition)

இவ்வகை தடுத்தலில் தடுப்பான்கள் ES கூட்டுப்பொருளுடன் மீளும் தன்மையுடன் இணைந்து ESI கூட்டுப் பொருளை உருவாக்குகின்றன.

$$ES + I \rightleftharpoons ESI$$

$$K_i = [ESI] / [ES] [I]$$

K_i = ESI கூட்டுப் பொருளின் பிரிகை மாறிலி

போட்டித் தன்மையற்ற தடுப்பான் அல்லோஸ்டிரிக் மையங்களுடன் இணைகின்றன. இப்பிணைப்பு ES கூட்டுப்பொருளோடு மட்டுமே நடைபெறுகிறது. தனித்த நொதிகளுடன் இத்தடுப்பான்கள் இணைவதில்லை (படம் 9.7).

படம் 9.7 போட்டித் தன்மையற்ற தடுத்தல்

9.3.1.3 போட்டித் திறனற்ற தடுத்தல் (Non competitive Inhibition)

இவ்வகை தடுத்தலில் வினைபொருளுக்கும் தடுப்பானுக்கும் இடையில் நொதியுடன் இணைவதற்கு போட்டி ஏற்படுவதில்லை. தடுப்பான்கள் வினைபொருளை உருவொத்து இருப்பதில்லை. இவை கிளர்வுமையங்களல்லாத வேறு மையங்களில் நொதிகளுடன் இணைகின்றன. I மற்றும் S நொதிகளின் வெவ்வேறு மையங்களுடன் இணைவதால், EI மற்றும் ESI கூட்டுப் பொருட்கள் உருவாகின்றன (படம் 9.8). வினைபொருள் நொதியோடு இணைந்திருந்தாலும் இல்லாவிடிலும் தடுப்பான்கள் நொதியுடன் இணைந்தவுடன் நொதி செயலிழக்கிறது. போட்டித் தன்மையுள்ள தடுத்தலுக்கு மாறாக, போட்டித் திறனற்ற தடுத்தலில், வினைபொருளின் செறிவை அதிகரித்தாலும் தடுத்தலின் அளவைக் குறைக்க முடியாது. எடுத்துக்காட்டாக, Ag^{2+}, Hg^{2+}, Pb^{2+} ஆகிய உலோக அயனிகள் பல்வேறு நொதிகளைச் செயலிழக்கச் செய்கின்றன. யூரியேஸ் என்னும் நொதி மேற்கூறிய உலோக அயனிகள் ஏதேனும் ஒன்றால் செயலிழக்கிறது.

$$E \underset{-I}{\overset{+I}{\rightleftharpoons}} EI : ES \underset{-I}{\overset{+I}{\rightleftharpoons}} ESI : K_i = [E]\,[I]/[EI] \text{ or } [ES]\,[I]/[ESI]$$

படம் 9.8 போட்டித் திறனற்ற தடுத்தல்

9.3.2 நொதி மீளாத் தடுப்பான்கள் (Irreversible Enzyme Inhibition)

ஒரு நொதியின் செயல் வினைத் தொகுதிகளோடு இணையும் அல்லது அவற்றைச் செலிழக்கச் செய்யும் தடுப்பான்கள் மீளாத் தடுப்பான்கள் ஆகும். மீளாத் தடுப்பான்கள், அதன் நொதியிலிருந்து மிக மெதுவாகவே பிரிகை அடைகின்றன. ஏனெனில் அவை நொதியின் கிளர்வு மையத்துடன் மிகவும் வலிமையாகப் பிணைக்கப்படுகின்றன. இதனால், நொதி மூலுக்கூறுகளைச் செயலிழக்கச் செய்கின்றன. சகபிணைப்பு அல்லது சகபிணைப்புகளல்லாத பிற பிணைப்புகள் (Non- Covalent) மூலமாக நொதியுடன் மீளாத் தடுப்பான்கள் பிணைக்கப்படுகின்றன.

நொதி மீளாத் தடுத்தலுக்கு எடுத்துக்காட்டுகள்

1. அயடோ அசிடமைடு (Iodoacetamide) போன்ற அல்கைலேற்றிகள் (Alkylating agent). சில நொதிகளின் சிஸ்டீன் (cysteine) மற்றும் இதர பக்கவாட்டுத் தொகுதிகளுடன் (Side chains) மீளாத்தன்மையுடன் இணைத்து, அவற்றின் செயல்பாட்டைத் தடுக்கின்றன.

2. டை ஐசோ புராபைல் பாஸ்போ ஃபுளுரிடேட் (DIPF) போன்ற வலிமையான கரிமபாஸ்பரஸ் சேர்மங்கள், தங்கள் கிளர்வு மையங்களில் சிரைல் (Seryl) நொதிகளைக் கொண்ட நொதிகளின் வலிமை வாய்ந்த மீளாத் தடுப்பான்களாகச் செயல்படுகின்றன.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு.

1. ES கூட்டுப்பொருள் உருவாக்கம் ஒரு

அ. மீள் வினையாகும் ஆ. மீளாவினையாகும்

இ. ஆற்றல் கொள்வினையாகும் ஈ. முழுவினையாகும்

2. மைக்கேலிஸ் – மென்டன் கொள்கையின் படி

அ. வினையில் ஒரே ஒரு வினைபொருள் மட்டுமே ஈடுபடும்

ஆ. வினைபொருளின் செறிவை விட நொதியின் செறிவு மிக அதிகமாகும்

இ. ஒரு இடைநிலை ES கூட்டுப்பொருள் உருவாகும்

ஈ. மேற்கூறிய அனைத்தும் பொருந்தும்

3. மைக்கேலிஸ் மென்டன் சமன்பாட்டின் தலைகீழ் சமன்பாட்டை விளக்கியவர்

அ. லைன்வீவர் – பர்க் ஆ. பிஷ்சர்

இ. கோஷ்லாந்து ஈ. டிக்சன்

4. பூட்டு சாவி கொள்கையை விளக்கியவர்

அ. டிக்சன் ஆ. பிஷ்சர்

இ. கோஷ்லாந்து ஈ. மைக்கேலிஸ் மென்டன்

5. வினைபொருளின் முழுஉருவொத்த வடிவம் தேவைப்படுவது

அ. போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பான்

ஆ. போட்டித் தன்மையற்ற தடுப்பான்

இ. போட்டித் திறனற்ற தடுப்பான்

ஈ. மீளாத் தடுப்பான்

II. கோடிட்ட இடங்களை நிரப்புக.

1. மைக்கேலிஸ்–மென்டன் சமன்பாட்டைத் தருவிக்கும் போது _____ன் செறிவு _____ ன் செறிவை விட மிக அதிகமாக இருக்கும் என கருத வேண்டும்.

2. மைக்கேலிஸ் மென்டன் சமன்பாட்டில் மொத்த நொதியின் செறிவை _____என குறிப்பிடுகிறோம்.

3. _____கொள்கை கோஷ்லாந்து என்பவரால் அறிவிக்கப்பட்டது.

4. உலோக அயனிகள் தேவைப்படும் நொதிகள் _____என அழைக்கப்படுகின்றன.

5. _____ வகை தடுத்தலில், தடுப்பான் ES கூட்டுப் பொருளுடன் இணையும் தன்மை கொண்டது.

III. சரியா ? தவறா ?

1. நொதி வினைபொருள் கூட்டுப்பொருள் என்பது நிலையான சேர்மமாகும்.

2. மெலொனேட் சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் என்னும் நொதியின் போட்டித் தன்மையுள்ள தடுப்பானாகும்.

3. நொதி ஈடுபடும் அனைத்து வினைகளிலும் ES கூட்டுப்பொருள் உருவாகிறது.

4. வினைபொருளின் செறிவை அதிகரிப்பதின் மூலம் போட்டித் தன்மையுள்ள தடுத்தலின் அளவைக் குறைக்கலாம்.

5. போட்டித்தன்மையற்ற தடுப்பான் ES கூட்டுப்பொருளுடன் இணைகிறது.

IV. பொருத்துக.

1.	நொதிகள்	–	1/V vs 1/S
2.	ES கூட்டுப்பொருள்	–	ESI கூட்டுப்பொருள்
3.	Km	–	ஆற்றல் வாய்ந்த நிலையற்ற பொருள்
4.	லைன்லீவர் பர்க் வரைபடம்	–	உயிர்வினை ஊக்கிகள்
5.	போட்டித்தன்மையற்ற தடுத்தல்	–	மாறிலி

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி.

1. Kmஐ வரையறு.

2. பூட்டுசாவி கொள்கையின் படி நொதியின் கிளர்வு மையத்தின் தன்மை என்ன ?

3. போட்டித் தன்மையுள்ள தடுத்தல் என்றால் என்ன ?

4. தூண்டல் தகுதிக் கூற்று என்றால் என்ன ?

5. நொதி மீளாத் தடுத்தல் என்றால் என்ன ?

VI. கீழ்க்கண்டவற்றிற்கு விடையளி.

1. M. M. சமன்பாட்டைத் தருவி.

2. லைன்வீவர் – பர்க் வரைபடத்தை எவ்வாறு தருவிக்கலாம்.

3. போட்டித் தன்மையுள்ள தடுத்தலை விளக்குக.

4. சக்சினேட் டிஹைட்ரோஜினேஸ் நொதியின் மீது மெலொனேட்டின் செயல்பாடு என்ன ?

பாடம் – 10
நோய் எதிர்ப்புச் சக்தி

முன்னுரை

இலத்தீன் மொழியில் “Immunis” என்றால் "தவிர்க்கப்பட்ட" என்று பொருள். இதுவே ஆங்கில மொழியில் “Immunity” என்றும் தமிழில் ‘‘நோய் எதிர்ப்பாற்றல்‘‘ என்றும் அழைக்கப்படுகிது. இது நமது உடல் மற்றும் சுற்றுப்புறச் சூழலில் உள்ள நோய் உண்டாக்குவதற்கு காரணமானவற்றிடமிருந்து பாதுகாப்பு அளிக்க இயங்குகின்ற நுட்பமான இயக்கத்தைக் குறிக்கின்ற சொல்லாகும். இத்தகு நோய்வரக் காரணமானவை நுண்ணுயிரிகளோ, அவற்றில் இருந்து வெளிப்படும் நச்சுப் பொருட்களோ உணவு, இரசாயனம், மருந்துகள் மற்றும் மகரந்தத்துகள்கள் அல்லது விலங்குகளின் முடியாகக் கூட இருக்கலாம்.

10.1 நோய் உண்டாக்கும் கிருமிகளால் பாதிக்கப்பட்ட நிலை (Infections)

ஒட்டுண்ணி போன்ற நோய்க்கிருமிகள் விருந்தோம்பியின் (host) உடலினுள் நுழைவதாலோ அல்லது உடலின் புறப்பரப்பில் தங்கி பெருகுவதாலோ நோயினால் பாதிக்கப்பட்ட நிலை உண்டாகிறது. நோய்க்கிருமிகளால் பாதிக்கப்பட்ட நிலையில் ஒட்டுண்ணிகளுக்கும், விருந்தோம்பிகளுக்கும் இடையே வினைகள் நிகழ்கின்றன. ஒட்டுண்ணி மற்றும் விருந்தோம்பிக்கும் இடையே உள்ள தொடர்புகளின் அடிப்படையில் அவை கீழ்கண்டவாறு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன.

சாப்புரோ ஃபைட்டுகள் (Saprophytes)	–	இவை தன்னிச்சையாக இறந்து போன அல்லது சிதையும் கரிமப் பொருட்களில் வாழ்கின்றவை. பெரும்பாலும் இவை மண்ணில் காணப்படுகின்றன.
ஒட்டுண்ணிகள் (Parasites)	–	இவை விருந்தோம்பியின் உடலில் பெருகித் தங்களை நிலைநிறுத்திக் கொள்கின்றன. இவை நோய்க் கிருமிகளாகவோ அல்லது நோய் உண்டுபண்ணக் கூடியவைகளாகவோ இருக்கின்றன.

சில ஒட்டுண்ணிகள் விருந்தோம்பியின் உடலுக்கு எந்தவித பாதிப்பை உண்டாக்காமல் இருக்கலாம் (Commensals). உதாரணமாக பெருங்குடலில் உள்ள ஒட்டுண்ணிகளைக் கூறலாம். நோய் தொற்றுவதால் பாதிக்கப்படும்போது உண்டாகும் நோய்த் தன்மையை (Infection) கீழ்கண்டவாறு பிரிக்கலாம்.

1. முதல் நிலை நோய் பாதிப்பு (Primary Infection) – முதன்முறையாக ஒட்டுண்ணிகள் விருந்தோம்பியின் உடலில் பாதிப்பை ஏற்படுத்துவதை குறிக்கின்றது.
2. இரண்டாம் நிலை நோய் பாதிப்பு (Secondary Infection) – இரண்டாவது முறையாக வேறு ஒட்டுண்ணியானது ஏற்கனவே முதல்நிலை ஒட்டுண்ணியால் பாதிக்கப்பட்டு, எதிர்ப்புத்தன்மைக் குறைந்த நிலையில் உள்ள விருந்தோம்பியின் உடலில் பாதிப்பை ஏற்படுத்துவது.
3. குறிப்பட்ட இடத்தில் ஒட்டுண்ணிகளால் ஏற்படும் நோய்கள் (Focal Infection)உதாரணம் – டான்சில்ஸ்.

4. ஒரு நோயாளி எற்கனவே நோய் உண்டாக்கும் ஒட்டுண்ணியால் பாதிக்கப்பட்ட நிலையில் மற்றொரு ஒட்டுண்ணி ஒரு விருந்தோம்பியின் உடலில் இருந்தோ அல்லது வெளிப்புறங்களில் இருந்தோ உள்ளே நுழைந்து நோயை உண்டாக்குவது (Cross Infection).
5. ஒரே வகையான ஒட்டுண்ணியால் பலமுறை விருந்தோம்பியின் உடலில் நோய் உண்டாகுதல் (Re - Infection).
6. மருத்துவமனைகளில் உள்ள இருவேறு ஒட்டுண்ணிகளால் விருந்தோம்பிக்கு பாதிப்பு உண்டாகலாம் (Nosocomial Infection).
7. சில ஒட்டுண்ணிகள் நோய் தொற்றுதலுக்குப் பின்பு விருந்தோம்பியின் உடலில் இயக்கமற்று மறைவாக இருந்து பின் பெருகி, விருந்தோம்பியின் எதிர்ப்பாற்றல் தன்மை குறையும்போது, நோயை உண்டாக்கலாம் (Latel Infection).

நோய்க்கிருமிகளின் மூலம் (Source of infection)

நோய்க்கிருமிகள் மனிதனிடமிருந்து மனிதனுக்கோ, மிருகங்களிடமிருந்து மனிதனுக்கோ (பிளேக் நோய்), அல்லது பூச்சிகளிடமிருந்து மனிதனுக்கோ (மலேரியா), அல்லது நிலம் மற்றும் நீரிலிருந்தோ அல்லது, நோய் தொற்றிய உணவின் மூலமாகவோ பரவக்கூடும். இவை நோய்வாய்பட்டவர்களிடமிருந்து நேரடியாகவோ அல்லது மறைமுகமாகவோ (ஆடைகள்) பரவலாம். மேலும், சுவாசத்தின் மூலமும் (இன்ஃபுளூயன்ஸா) நோய்க்கிருமிகள் உடலின் உள்ளே வந்து பாதிப்பை ஏற்படுத்தலாம். நோய்க்கிருமிகளால் பாதிக்கப்பட்ட திட, திரவ உணவுகளின் மூலமாகவும் பரவக்கூடும். நோய்க்கிருமிகள் விருந்தோம்பியின் திசுக்களில் நேரடியாக பாதிப்பதாலோ (டெட்டனஸ்) அல்லது கர்ப்பப்பையை ஊடுருவிச் சென்று சிசுவைப் பாதிப்பதாலோ நோயை உண்டாக்கலாம் (ரூபெல்லா வைரஸ்). தொற்றுநோயானது நோய்க்கிருமிகள், மேலோட்டமாகவோ அல்லது ஆழமாக ஊடுருவி, இரத்த ஓட்டத்தின் மூலம் அனைத்து திசுக்களுக்கும் பரவி, பாதிப்பை உண்டாக்குகிறது. இவ்வாறு பரவும் நோய் ஒரு பிரதேசத்தில் உள்ள குறிப்பட்ட மக்களிடையே பரவும்போது அதனை என்டிமிக் (Endemic) என்றும் (டைபாய்டு), பெருவாரியான மக்களை குறுகிய காலத்திற்குள் பாதிக்கும்பொழுது அதனை எபிடெர்மிக் (Epidermic) (இன்ஃபுளூயன்ஸா) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. எப்பொழுது ஒரு நோய் பெருவாரியான மக்களை உலகத்தின் வெவ்வேறு இடங்களில் குறுகிய காலத்திற்குள் பாதிக்கின்றதோ அதனை பாண்டெமிக் (Pandemic) என்று அழைக்கின்றார்கள்.

10.1.1 பாக்டீரியா

பாக்டீரியா என்பது வரையறுக்கப்படாத உட்கருவுடன் கூடிய ஓர் ஒரு செல் நுண்ணுயிரி. இவைகள் புரோகேரியோட்டுகள் என அழைக்கப்படுகின்றன. பாக்டீரியாக்கள் உருளை வடிவம் (Cylindrical) கோளவடிவம் (Spherical) மற்றும் சுருள் வடிவம் (Spiral) என வடிவங்களின் அடிப்படையில் மூன்று வகைகளாக வகைப் படுத்தப்படுகின்றன. உருளை வடிவ பாக்டீரியாக்கள் பேசில்லஸ் (Bacillus) எனவும், கோளவடிவ பாக்டீரியாக்கள் காக்கஸ் (Coccus) எனவும் அழைக்கப்படுகின்றன.

மனிதர்களிலும் விலங்குகளிலும் இயல்பான உடல்நிலையில் (Normal healthy Condition) நோய் உண்டாக்காத நுண்ணுயிரிகள் பெருங்குடலில் அதிக அளவில் உள்ளன. பாக்டீரியாவால் உருவாகும் பாதிப்பானது, பாதிப்புவினையில் ஆரம்ப நிலையாலும் அவற்றின் செயல்நுட்ப வினைகளாலும் (Mechanism) அறிகுறிகளாக வெளிப்படுகின்றன. நோய்

உண்டாக்கும் பாக்டீரியாக்கள், பாதிப்புகளை உண்டாக்கும்போது அவைகளுக்கான அறிகுறிகள் இல்லாமல் இருந்தாலும் அத்தகைய பாக்டீரியாக்கள் நோய்க் கிருமிகளாகவே (Pathogen) கருதப்படுகின்றன.

கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் பாக்டீரியாவினால் உண்டாகும் சில நோய்களும் அவற்றிற்கான நோய்க் கிருமிகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன

நோய்க் கிருமிகளால் பாதிக்கப்பட்ட நிலை (Disease)	காரணி (Pathogen)
காசநோய்	மைக்கோபாக்டீரியம் டியூபர்குலோசிஸ்
மூளையை சுற்றியுள்ள உறையில் உண்டாகும் அழற்சி (Meningitis)	ஹீமோபிலஸ் இன்புளுவன்ஸா
காலரா (Cholera)	விப்ரியோ காலரே
பாக்டீரியாக்களால் உண்டாகும் வயிற்றுப் போக்கு	சிஜெல்லா வகை நுண்ணுயிரி
பொட்டுலினம் (உணவில் நச்சுத்தன்மை)	கிளாஸ்டிடியம் பொட்டுலினம்
இசிவு நோய்	கிளாஸ்டிடியம் டெட்டணி
தொழு நோய்	மைக்கோ பாக்டீரியம் லெப்ரே
டைபாய்டு	சால் மோனெல்லா டைபி
பால்வினை நோய் (Syphilis)	டிரப்பனீமியா பாலீடம்

10.1.2 வைரஸ்

வைரஸ் எனப்படும் நுண்ணுயிரி செல்லின் இயல்பான கட்டமைப்பை பெற்றிருக்க வில்லை. இதனால் அவை பிற செல்லின் உள்ளேயே ஒட்டுண்ணியாக வாழவேண்டிய அவசியம் ஏற்படுகிறது. இவை ஏதேனும் ஒருவகையான நியூக்ளிக் அமிலங்களை மட்டும் கொண்டுள்ளது. அவை ஒரிழை மற்றும் ஈரிழைகளைக் கொண்ட ரைபோ நியூக்ளிக் அமிலமாகவோ (RNA) அல்லது டி ஆக்ஸி ரைபோ நியூளிக் அமிலமாகவோ (DNA) இருக்கலாம். செல்லுக்கு வெளியே காணப்படும் வைரஸ் விரியான் (Virion) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இத்தகு விரியான்களில் உள்ள நியூக்ளிக் அமிலம் ஒரு புரத உறையால் மூடப்பட்டுள்ளது. இப்புரத உரை கேப்சிட் (Capsid) என்று அழைக்கப்படுகிறது. இவை நியூக்ளிக் அமிலங்களை அசாதாரணமான சூழ்நிலையிலிருந்து சிதையாமல் பாதுகாக்கின்றன. மேலும் இவை நியூக்ளிக் அமிலங்களை வீருந்தோம்பியின் உடலில் உள்ள செல்களில் செலுத்துவதற்கு ஏற்ப எளிதாக புறப்பரப்பில் ஒட்டிக்கொள்ள உதவுகிறது.

வைரஸால் ஏற்படும் பாதிக்கப்பட்ட நிலையும், நோய்க் குறிகளும்

வைரஸால் உண்டாகும் நோயானது, சாதாரணமான ஜலதோஷத்தில் (Cold) இருந்து உயிர்க்கொல்லி நோயான ரேபிஸ் முதல் எய்ட்ஸ் வரை வேறுபடுகிறது. ஆங்காங்கே தனித்து வரும் பொன்னுக்கு வீங்கி எனப்படும் புட்டாளம்மை, குறிப்பிட்ட மக்களிடையே பரவும் தொற்றுநோயான மஞ்சள்காமாலை (Hepatities), பெருவாரியான மக்களை குறுகிய காலத்திற்குள் தாக்கும் டெங்கு காய்ச்சல், பெருவாரியான மக்களை உலகத்தில் வெவ்வேறு இடங்களில் குறுகிய காலத்திற்குள் பாதிக்கும் இன்புளூயன்ஸா போன்றவைகளையும் எடுத்துக்காட்டாகக் கூறலாம்.

வைரஸால் உண்டாகும் பாதிப்பை மருத்தவமனைகளில் நோய்க்குறிகளின் அடிப்படையில் இரண்டு வகையாகப் பிரிக்கின்றனர். அவை முறையே வெளிப்படையான அறிகுறிகள் இல்லாதவை என்றும், வெளிப்படையான அறிகுறிகள் உள்ளவை என்றும் பிரிக்கப்படுகின்றன.

கீழ்க்காணும் அட்டவணையில் வைரஸால் உண்டாகும் சில நோய்களும் அவற்றிற்கு காரணமான நோய் கிருமிகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

நோய் (Disease)	காரணி (Pathogen)
சின்னம்மை	வாரிசெல்லா
பர்கிட்ஸ்லிம்போமா	எப்ஸ்டின் பார் வைரஸ்
நிமோனியா	அடினோ வைரஸ்
இளம்பிள்ளை வாதம்	போலியோ வைரஸ்
புட்டாளம்மை	மம்ஸ் வைரஸ்
ரேபிஸ்	ரேபிஸ் வைரஸ்
மஞ்சள் காமாலை	ஹிப்படைடிஸ் A
எய்ட்ஸ்	மனிதநோய் எதிர்ப்பாற்றலை குறைக்கும் வைரஸ் (H.I.V)

10.1.3 பூஞ்சை (Fungi)

பூஞ்சைகள் புரோடிஸ்டா வகையைச் சார்ந்த யுகேரியாட்டுகள் ஆகும். இவைகளால் மனிதர்களுக்கு உண்டாகும் நோய் பாக்டீரியாக்களால் உருவாகும் நோய்த் தன்மையை அறிவதற்கு முன்பே அறியப்பட்டுள்ளது.

பூஞ்சைகள் கைட்டின், மானோஸ் மற்றும் மற்ற பாலிசாக்கரைடுகள் அடங்கிய கடினமான செல்சுவரை கொண்டதாகும். இவை பாலினப் பெருக்கம், உடலினப் பெருக்கம் அல்லது இவ்விரு இனப்பெருக்க முறைகள் மூலமாக பெருகுகின்றன. மேலும் இவைகள் ஒரு செல் அல்லது பலசெல் உயிரிகளாக இருக்கின்றன. பூஞ்சைகள் புறத்தோற்றத்தின் அடிப்படையில் நான்கு வகைகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன.

அ. ஈஸ்ட்

இவ்வகையான ஒரு செல் பூஞ்சைகள் கோளவடிவில் மொட்டுவிடுதல் மூலம் இனப்பெருக்கம் அடைகின்றன.

ஆ. ஈஸ்ட் போன்ற பூஞ்சை

இவைகளில் உள்ள செல்லின் ஒரு பகுதி ஈஸ்ட் போன்றவைகளாகவும் மற்ற பகுதி ஹைபே போன்ற நீளமான செல்லமைப்பை ஒத்த போலி மைசீலியங்களைக் கொண்டதாகவும் இருக்கின்றன.

இ. மௌல்ட்ஸ் (Moulds)

இவை பல்வேறு விதமான ஸ்போர்கள் மூலம் பெருக்கமடையும் உண்மையான மைசீலியங்களைக் கொண்டுள்ளன.

ஈ. இரட்டை உருவ பூஞ்சைகள் (Dimorphic Fungi)

நிலத்தில் நீளமான இழைகளாகவும், விருந்தோம்பியின் திசுக்களில் ஈஸ்ட்டுகளாகவும் வளருகின்ற சூழ்நிலைக்கு தகுந்தாற் போல் மாற்றம் அடைந்து இரு உருவில் காணப்படுகின்றன.

மனித இனத்தில் பூஞ்சைகளால் உண்டாகும் நோய் மேலோட்டமாகவோ, உடலுக்குள் ஆழமாக ஊடுருவியோ காணப்படுகின்றன. மேலோட்டமாக மைகோஸிஸ் எனும் நோயினை உண்டாக்கும் பூஞ்சைகள், கெரட்டின் என்ற கிளைக்கோ புரோட்டீனின் பகுதிப்பொருளை செரிக்கும் ஆற்றலைக் கொண்ட சேப்ரோஃபைட்டுகள் ஆகும். மேலோட்டமான மைகோஸிஸ் இரண்டாகப் பிரிக்கப்படுகிறது. அவை தோலின் மேற்பரப்பில் உள்ள இறந்த செல் அடுக்குகளில் நோய் உண்டாக்குபவை என்றும், அடிப்புற கார்னிபைட் அடுக்குகளில் நோய் உண்டாக்குபவை என்றும் பிரிக்கப்படுகிறன.

மனிதர்களுக்கு பூஞ்சைகளால் உண்டாகும் பாதிப்பு நிலையை கீழ்க்காணும் அட்டவணை 10.3ல் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

நோய் பாதிப்பு நிலை (Infection)	காரணி
டெர்மோடோபைடோஸிஸ்	
படர்தாமரை	டினியா கார்போரிஸ் – படர் தாமரையை மென்மையான அல்லது முடியில்லாத தோலின் பகுதியில் உண்டாக்குவது
அரிப்பு	டினியா கேபிடிஸ் – முகத்தில் உள்ள தாடி வளரும் பகுதியில் மற்றும் கழுத்து பகுதிகளை பாதிக்கின்றவை.
தோலின் அடிப்புற அடுக்குப்பகுதியில் உள்ள மைகோஸிஸ்	
மைசிடோமாஸ்	அக்டினோமைசிடெஸ் மற்றும் இழை போன்ற பூஞ்சை
ரைனோஸ்போரிடி யோசிஸ்	ரைனோஸ்போர்டியம் செரிபெரி
சிஸ்டமிக் மைக்கோஸிஸ்	
பிளாஸ்டோமை கோஸிஸ்	பிளாஸ்டோ மைஸிஸ் டெர்மாடிடிஸ்
ஹிஸ்டோ பிளாஸ்மோசிஸ்	ஹிஸ்டோ பிளாஸ்மா கேப்சுலேடம்

10.2 நோய் எதிர்பாற்றல்

ஒருவரிடம் இருந்து மற்றொரு நபருக்கு பரவும் நோய்க்கு தொற்று நோய் என்று பெயர். நோய் கிருமிகளின் காரணமான இந்தநோய் உருவாகின்றன. அவை, பூஞ்சை, பாக்டிரியா, வைரஸ் அல்லது ஒட்டுண்ணி. இவை மனித உடலினுள் நுழைந்து பின் நோயினை ஏற்படுத்துகின்றன.

நோய் கிருமிகள் உடலில் நுழைந்து நோயினை குறுகிய காலத்தில் ஏற்படுத்துகின்றன. இதனால் அந்த நபருக்கு உடலில் உள்ள சில உறுப்புகளின் செயல்பாடுகள் பாதிக்கப்படுகிறது. (உம். போலியோமைலிடிஸ்) ஒரு சில நேரங்களில் இவ்வாறு நோய் தாக்கப்பட்ட நபர் இறக்க நேரிடிகிறது.

நோய் தடுப்பாற்றல் மண்டலத்தின் செயலால் மனிதர்கள் நோயின் தாக்குதல் இன்றி நலமுடன் வாழ்கின்றனர். இந்த நோய் தடுப்பாற்றல் மண்டலம் மனிதர்களை கிருமிகளிடமிருந்து பாதுகாக்கிறது.

தடுப்பாற்றல் மண்டலத்தின் வேலைகள்

1. நோய் கிருமிகள் உடலினுள் எந்த முறையில் உட்சென்றாலும் அவற்றை கண்டு அவற்றிற்கு எதிராக நோய் எதிர்பாற்றல் செயல்படுகிறது.
2. நோய் கிருமியின் தன்மைக்கேற்ப நோய் எதிர்ப்பு வினை நடைபெறுகிறது.
3. ஆன்டிஜெனால் தூண்டப்பட்ட ஆன்டிபாடி தெரிவுத் தன்மையுடன் ஆன்டிஜெனுடன் இணைகிறது.
4. ஒரு முறை நோயினால் பாதிக்கப்பட்டு குணமடைந்த போதிலும், அந்நோய்க்கிருமியைத் தடுப்பாற்றல் மண்டலம் நினைவில் வைத்துக்கொண்டு, அவை மறுமுறை தாக்கும் போதும் அவற்றை உடனடியாக எதிர்க்கின்றது. இந்தச் செயல்பாடே தடுப்பூசிக்கு அடிப்படையாக அமைகின்றது.
5. நம் உடலில் உள்ள சாதாரண செல்கள் திடீர்மாற்றமடைந்து புற்றுநோய் செல்லாக மாறும்போது அவற்றை இனங்கண்டறிந்து அழிக்கின்றன. இதனை எதிர்பாற்றல் திறனின் கவனக் கண்காணிப்பு (Immunosurveillance) என்று அழைக்கப்படுகிறது.
6. சாதாரணமாக, நோய் எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலம், நமது உடலின் திசுக்களுக்கு எதிராக உடற்காப்பு மூலத்தை உண்டாக்குவது இல்லை. இதனை நோய் எதிர்பாற்றல் மண்டலத்தின் சகிப்புத் தன்மை என்றும் (Immuno Tolerance) , அல்லது தன்னை அறிந்துகொள்ளும் திறன் (Self recognisation) என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

நோய்க்கிருமிகளின் தன்மைக்கேற்ப செயல்படும் திறனைப் பொறுத்து எதிர்ப்பாற்றலை இயற்கையான எதிர்ப்பாற்றல் (Natural Immunity) என்றும், பெறப்பட்ட தனித்தன்மை வாய்ந்த எதிர்ப்பாற்றல் (Acquired Immunity) என்றும் இரண்டாகப் பிரிக்கிறார்கள். நோய் எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலத்தின் வகைப்பாடு கீழ் விளக்கப்பட்டுள்ளது.

10.2.1 இயற்கையான எதிர்ப்பாற்றல்

பிறந்ததிலிருந்தே இருக்கும் எதிர்ப்பாற்றல் இயற்கையான எதிர்ப்பாற்றல் என்று கூறப்படுகிறது. இவ்வகையான எதிர்ப்பாற்றலானது அயலான் எனப்படும் நோய்க்கிருமிகள் (Foreign bodies) உடலின் உள்ளே நுழையும்போது அவற்றை இனமறியாது தாக்குதலை மேற்கொள்ளுகின்றது. இவை பிறந்ததிலிருந்தே செயலாற்றல் மிக்கவைகளாக இருக்கின்றன. இருப்பினும் இவைகளால் மறுபடியும் அதே நோய்க்கிருமிகளால் தாக்கப்படும்போது தன்னை மேலும் திறம்படச் செயல்படும்படி மாற்றிக்கொள்ள இயலாதவைகளாக உள்ளன.

10.2.2 நோய் எதிர்ப்பாற்றலில் பங்கேற்கும் செல்லின் வகைகள்

நோய் எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலத்தில் மூலகாரணமான செல்கள் லியோக்கோசைட்டுகள் அல்லது இரத்த வெள்ளை அணுக்கள் (WBC) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. அவைகள் எலும்பு மஜ்ஜையில் உள்ள ஆதாரமான (Stem Cell) செல்களிலிருந்து தோன்றுகின்றன. அவை இரு பெரும் வகைகளாக மைலாய்டு செல்கள் (எழும்பு மஜ்ஜையை ஆதாரமாக கொண்டவை) என்றும் லிம்பாய்டு செல்கள் (நிணநீர் மண்டலத்தை சார்ந்தவை) என்றும் பிரிக்கப்படுகின்றன. மைலாய்டு செல்கள் நியூட்ரோபில் எனப்படும் சிறிய விழுங்கணுக்கள், பேசோபில்கள் மற்றும் ஈசினோப்பில்களை உள்ளடக்கியவை.

சில மோனோசைட்டுக்கள் இரத்த ஓட்டத்தில் சிறிது நாட்கள் சுற்றிய பின் திசுக்களிடையே தங்கி பெரும் விழுங்கணுக்களாக (Macrophages) மாறுகின்றன. இதைப்போன்றே பேசோபில்களும் (Basophil) மாஸ்ட் (Mast) செல்லாக மாற்றம் அடைகின்றன. T செல்களும், B செல்களும் வெவ்வேறு லிம்பாய்டு உறுப்புகளில் முதிர்ச்சி அடைகின்றன. B செல், சிசுவின் உடலில் (Fetus) கல்லீரலிலும், பின்னர் எலும்பு மஜ்ஜையிலும் முதிர்ச்சி அடைகின்றன. T செல்கள் தைமஸில் (Thymus) முழுமையாக முதிர்ச்சியடைகின்றன.

இயற்கை எதிர்ப்பாற்றல் திறனும் செயல்படும் விதமும்

1. தோலினால் பாதுகாப்பு (இயற்கையாகவே உடலில் பெறப்பட்ட பாதுகாப்பு)

தோல் நமது உடலில் புறப்பரப்பை முழுமையாக மூடியிருப்பதன் மூலம் நோய்க்கிருமிகள் உள்ளே நுழையாமல் தடுக்கும் அரணாக செயல்படுகிறது. சிதைவுபடாத (Intact) தோல்

கொழுப்பு அமிலங்கள் மற்றும் லாக்டிக் அமிலம் சுரப்பதன் மூலம் pHஐ மிகவும் குறைத்து, நோய்க்கிருமிகள் உடலினுள் ஊடுறுவுவதைத் தடை செய்கின்றன.

2. நுட்பமான தடுப்புச் சுவர்கள்

மியூகஸ் சவ்வுகள் (Mucous Membrane) தோலினால் மூடப்படாத புறப்பரப்பில் உள்ள பகுதியை மூடிப் பாதுகாக்கின்றன. மேலும் அவை முக்கியமாக நோய்க்கிருமிகளை பசை போன்ற பரப்பில் ஒட்டச் செய்து, பிடித்து வைத்துக் கொள்வதன் மூலம் அவற்றை உள்ளே புக முடியாதவாறு செய்கின்றன. மியூகஸ் சவ்வில் உள்ள குறுஇழைகள் மூச்சுப்பாதையின் மேற்பகுதியிலும், நாசியின் உட்பகுதியிலும் காணப்படுகின்றன. இவைகளும் கண் இமைகளில் உள்ள மயிரிழைகளும் நகர்ந்து படிப்படியாக நோய்க்கிருமியை வெளியேற்றி விடுகின்றன.

3. சுரப்பு நீர்

வியர்வையில் பாக்டீரியாக்களுக்கு எதிராக செயல்படும் காரணி உள்ளது. கண்ணீரில் லைசோசைம் (Lysozyme) என்னும் நொதி உள்ளது. சளியைச் சுரப்பதன் (Mucous secretions) மூலம் நாசியில் தூசு மற்றும் நுண்ணுயிரிகள் சுவாசப் பாதையில் நுழைவது தடுக்கப்படுகின்றது. உமிழ் நீரானது லைசோசைம் நொதி, தையோசையனேட் மற்றும் லாக்டோபெரின் என்னும் மூலக்கூறையும் கொண்டுள்ளது. வயிற்றில் சுரக்கும் ஹைட்ரோ குளோரிக் அமிலமானது நுண்ணுயிரிகளைப் பெரும்பாலம் கொன்று விடுகிறது.

4. செல் விழுங்குதல் (Phagocytosis)

நுண்ணுயிரிகளை விழுங்கி அவற்றைக் கொன்றுவிடும் செயலாற்றல் பெற்ற செல்களை விழுங்கணுக்கள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவை பாலிமார்போ நியூக்ளியார் லீயூக்கோசைட்டுகள் மற்றும் மோனோசைட்டுகள் ஆகும். மோனோசைட்டிலிருந்து மாக்ரோபேஜ் (Macrophages) எனப்படும் பெரும் விழுங்கணுக்கள் உருவாகுகின்றன.

ஆப்சோனைசேஷன் (Opsonization)

இவ்வினை, விழுங்கணுக்கள் விழுங்குவதற்கு ஏற்ற வகையில் நுண்ணுயிரிகளில் உள்ள மூலக்கூறுகளை ஆப்சோனின் என்னும் மூலக்கூறுகளால் மூடப்படுவதைக் குறிப்பதாகும். இவ்வாறு செய்வதால் விழுங்கணுக்கள் எளிதாக நுண்ணுயிரியிரிகளைத் தன்னோடு பிணைத்துக்கொள்ள முடிகிறது. நியூட்ரோப்பில்கள் பிணைப்புகளையும் (Ligand), ஏற்பிகளையும் (Receptor) வெளிப்படுத்துகின்றன. இவை இரத்த தந்துகிகளில் உள்ள அடுக்குத் திசுக்களிடம் காணப்படும் இவற்றுக்குரிய பிணைப்புகளோடு (பி மற்றும் இ செலக்டின்) இணைகின்றன. இந்த பிணைப்பினால் நியூட்ரோப்பில்கள் இரத்த தந்துகிகளில் ஒட்டிக்கொண்டு படிந்து பின் உருளுகின்றன. இதன்பின் நியூட்ரோபில்கள் இரசாயனப் பொருட்களால் உண்டாகும் ஈர்ப்பு விசையால் அவற்றை நோக்கி நகர ஆரம்பிக்கின்றன. இந்தச் செயலை இரசாயனப் பொருட்கள் ஈர்ப்பு (Chemotaxis) என்று அழைக்கிறோம். விழுங்கணுக்கள் தந்துக்களில் உள்ள பிணைப்புகளோடு இறுக்கமாக இணைத்தபின் அருகே உள்ள திசுக்களை டையாபடீஸ் என்னும் முறையில் வந்தடைகின்றன. ஈர்ப்பு விசையை உடைய மூலக்கூறுகளில் C3b எனப்படும் காம்பிளிமென்ட், பாக்டீரியாவில் இருந்து வெளிப்படும் வினைப் பொருட்கள், சைட்டோகைன்கள், சிதைவடைந்த திசுக்களில் இருந்து வெளிப்படும் கொழுப்புப் போன்ற இடையீட்டுப் பொருள்கள் (Mediators) அடங்கும்.

விழுங்கணுக்கள் செயல்படும் விதம் பல நிலைகளாக கீழே விவரிக்கப்படுகின்றன.

படம் 10.1 விழுங்கணுக்களின் செயல் நிலைகள்

ஆப்சோனைசேஷன் என்னும் வினையில் நுண்ணுயிரி ஆப்சோனின்களால் மூடப்படுதல், விழுங்கணுங்கள் நுண்ணுயிரியை விழுங்கும் விதம்.

விழுங்கணுக்கள் நுண்ணுயிரிகளைத் தன்னோடு பிணைத்துக் கொள்கின்றன. இதனால் நுண்ணுயிரி நகர்ந்து செல்வது தடைபடுகிறது.

1. போலிகால்கள் உருவாக்குதல்.
2. பேகஸோம்கள் என்பவை போலிகால்கள் போன்ற அமைப்பினால் நுண்ணியிரியைச் சுற்றி வளைப்பதன் மூலம் உண்டாகிறது.
3. பேகஸோம்கள் செரிக்கும் தன்மை கொண்ட லைசோசோம் என்னும் நொதி நிறைந்த குமிழ்களோடு இணைவதால் பேகோலைசோசோம்கள் உருவாகின்றன.
4. நுண்ணியிரியைக் கொல்லுதல்.

விழுங்கணுக்களால் கொல்லப்படுதல்

நியூட்ரோப்பில்கள் நுண்ணுயிரியை தாக்கி அழிக்க தன்னிடையே சில இரசாயன மூலக்கூறுகளையும் லைசோசைம் போன்ற நொதிகளையும் கொண்டுள்ளது. நியூட்ரோபில்கள் அழற்சி ஏற்பட்டுள்ள இடத்தை ஆக்ரமித்துக் கொள்வதை இரண்டாவது நிலை எதிர்ப்புத் திறன் என்று கூறுலாம். நியூட்ரோபில்கள் தன்னிடம் மூன்று விதமான துகள்களைக் கொண்டுள்ளன.

1. முதன்மையான துகள் சிரின்புரோடியேசஸ், லைசோசைம் மற்றும் பாஸ்போலைப்பேஸ் – A_2 ஆகியவற்றைப் பெற்றுள்ளது.

2. இரண்டாவது துகள் பர்பாரின், இலாஸ்டேஸ் போன்றவற்றை கொண்டுள்ளது.

3. மூன்றாவது துகள் கொலாஜினேஸ் என்ற நொதியை பெற்றுள்ளது.

இவற்றைத் தவிர ஆக்ஸிஜன் சார்ந்து கொல்லும் முறையையும் எல்லா விழுங்கணுக்களும் பெற்றுள்ளன. விழுங்கணுக்கள் அதிகரிக்கப்பட்ட சுவாசத்தை உண்டு பண்ணுவதால் சூப்பர் ஆக்ஸைடுகளையும்,ஹைட்ரஜன் பெர்ஆக்ஸைடுகளையும் உண்டாக்குகின்றன. நியூட்ரோபில்களிடம் உள்ள மைலோபெர் ஆக்ஸிடேஸ் என்ற நொதி சூப்பர் ஆக்ஸைடுகளை ஹைப்போ குளோரேட் அயனிகளாக மாற்றுகிறது. இந்த அயனிகள் பாக்ட்ரீயாக்களை அழிக்கும் திறன் மிக்கதாக உள்ளன.

வலைப்பின்னலோடு கூடிய என்டோதிலியல் அமைப்பு (Reticulo endothelial system)

இவை ஒரு உறுப்பிலோ அல்லது ஒரு இடத்தை குறிப்பிட்டுச் சொல்லும்படியாகவும் இல்லாமல் பரவி இருக்கின்றன. இவற்றின் அங்கமாக மோனோசைட்டுகளும், பெரிய விழுங்கணுக்களும் கருதப்படுகின்றன. இதில் பெரும் விழுங்கணுக்களின் பங்கு முதன்மையான எதிர்ப்பாற்றலைத் (First order defence) தர வல்லதாகும். ஏனென்றால் இவை விரைவாகவும் அதிக அளவிலும் நுண்ணுயிரிகளை விழுங்கிக் கொள்கின்றது. இதனால் இவை பெறும் விழுங்கணுக்கள் என பெயரிடப்படுகின்றன. பெரும் விழுங்கணுக்கள் உடற்காப்பு ஊக்கியை சிதைத்து பக்குவப்படுத்தி அளிப்பதிலும் பங்கேற்கின்றன. இவை மட்டுமில்லாது வலைப்பின்னலோடு கூடிய என்டோதிலியல் அமைப்பு, முதுமை அடைந்த சிவப்பணுக்களையும், இயல்பிழந்த புரதத்தையும், ஸ்டீராய்டுகள், சாயம், மற்றும் மருந்துக்களை உடலில் இருந்து வெளியேற்றுவதில் முக்கிய பங்கு வகிக்கின்றது.

இந்த பெரிய விழுங்கணுக்கள் அவை இருக்கும் இடத்திற்கு ஏற்ப பெயரில் வேறுபடுகின்றன.

கல்லீரல்	–	குப்பர்செல்கள்
மூளை	–	நுண்ணிய கிளையல் செல்கள்
சிறுநீரகம்	–	மிசான்ஜியல் என்னும் பெரும் விழுங்கணுக்கள்
மண்ணீரல்	–	மண்ணீரலின் பெரும் விழுங்கணுக்கள்
வயிற்றறையிலுள்ள சவ்வுகளில் உள்ளவை (Peritoneal)	–	வயிற்றறையிலுள்ள சவ்வுகளைச் சார்ந்த பெரும் விழுங்கணுக்கள்
காற்றுச் சிற்றறை	–	காற்றுச் சிற்றறையின் பெரும் விழுங்கணுக்கள்

அழற்சி வினை (Inflammation)

காயமடைந்த அல்லது எரிச்சலைடந்த அல்லது நுண்ணுயிரியினால் பாதிக்கப்பட்ட திசுக்களைச் சுற்றி நடைபெறும் பாதுகாப்பு வினையே அழற்சிவினை ஆகும். அழற்சிவினை வலி, சிவத்தல், வீக்கமடைதல் மற்றும் செயலிழத்தல் போன்ற அறிகுறிகள் மூலம் அறியப்படுகின்றது.

சாதாரணமாக எந்தத் திசு, உறுப்பு அல்லது எந்தப் பகுதி அழற்சியால் பாதிக்கப்படுகின்றதோ அவை ஆங்கிலத்தில் "itis" என்று கடைசியில் இணைக்கப்பட்டு பெயரிடப்படுகிறது. உதாரணமாக Conjectivitis, gastritis and Pharyngitis ஆகியவைகளைக் கூறுலாம்.

இந்த அழற்சி வினையானது இயற்கையான எதிர்ப்புச் சக்தியைத் தரவல்ல செல்களை, நுண்ணுயிரி இருக்கும் இடத்திற்கு இடம் பெயர்க்கும் தன்மையைக் கொண்டுள்ளது.

திசு சிதைவதால் வெளியிடப்படும் ஈர்க்கும் தன்மையுடைய இரசாயனப் பொருட்களான ஹிஸ்டமின் (மாஸ்ட் செல்லில் இருந்து) போன்றவை இரத்த நாளங்களை விரிவடையச் செய்கின்றன. காம்பளிமெண்டுகள் செயலாற்றல் பெற்று விழுங்கணுக்களை ஈர்க்கின்றன. இரத்த நாளங்கள் விரிவடைவதால் வெளிப்படும் பிளாஸ்மாவில் (Plasma) காணப்படும் பைபரினோஜன் போன்ற இரத்தத்தை உறையச் செய்யும் காரணிகள் அனைத்தும் திசுயிடை நீர்மத்திற்கு வருகின்றன. இக்காரணிகள் தூண்டப்படுவதால் பிளாஸ்மா உறைகின்றது. இத்தகு செயலை பாதிப்படைந்த திசுக்களைச் சுற்றி அரண் அமைத்தல் என்று (Walling off Process) அழைக்கிறார்கள். இச்சுவர் அமைப்பு நோய் கிருமிகள் மேலும் உடலின் உள் பரவாமல் ஒரே இடத்தில் சிறையிட உதவுகின்றன.

இயற்கையான அழிக்கும் செல்கள் (Natural Killer cell)

நோய் எதிர்ப்பாற்றலைத் தரவல்ல இவை வலியச் சென்று தாக்கவல்லவைகளாக உள்ளன. இவை கிருமிகளால் பாதிக்கப்பட்ட மற்றும் புற்றுநோய் உள்ள செல்களிடமிருந்து உடலை பாதுகாப்பு அளிப்பதில் முதன்மையாக இடம் வகிக்கின்றன. இவை பெரிய லிம்போசைட்டுகளாக இயற்கையான எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலத்தின் பகுதியாக செயல்படுகின்றன. இவற்றில் ஞாபகம் வைத்துக் கொள்ளும் செல் (Memory Cells) கிடையாது. இந்த அழிக்கும் செல்கள் அழிக்கப்படவேண்டிய செல்களோடு இணைப்பை ஏற்படுத்திக் கொள்கின்றன. பின்பு சவ்வில் வாய்க்கால் போல் வழியை ஏற்படுத்தி பெர்பாரின் என்ற நச்சுத் தன்மையுடைய மூலக்கூறுகளை திட்டமிடப்பட்ட செல்லினுள் செலுத்துகின்றன. இதனால் செல்லினுள் உள்ள திரவம் கசிய ஆரம்பித்து, பின் செல் சிதைக்கப்படுகிறது.

இன்டெர்பெரான் (Interferon)

இன்டெர்பெரான் என்னும் புரதம் உடலில் உள்ள வைரஸினால் பாதிக்கப்பட்ட செல்களால் உற்பத்தி செய்யப்பட்டு இரத்த ஓட்டத்திலோ அல்லது திசுயிடை நீர்மத்திலோ சேரும்படிச் செய்கிறது. இவை நல்ல நிலையில் உள்ள செல்களைத் தூண்டி ஒரு நொதியை உருவாக்குகிறது. இந்நொதி வைரஸின் இனப் பெருக்கத்தைத் தடை செய்கிறது.

குறையை ஈடுசெய்யவல்ல மூலக்கூறுகள் (Complements)

குறையை ஈடு செய்ய வல்ல மூலக்கூறுகள் அல்லது காம்பிளிமெண்டுகள் என்பவை ஒரு குழுவைச் சார்ந்த புரதத்தினால் ஆன செயலாற்றல் பெறாத நொதிகளாக பிளாஸ்மாவில் (Plasma) சுற்றிக் கொண்டு இருப்பவை. இவை இயற்கை நோய்த் தடுப்பாற்றலின் (Natural Immunity) ஓர் அங்கமாக செயல்படுகின்றன. முக்கியமாக இவை கிராமின் சாயம் ஏற்காத (Gram Negative) பாக்டீரியாக்களை எதிர்த்து பாதுகாப்பு அளிப்பதில் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது. இவை ஏறக்குறைய 20க்கும் மேற்பட்ட புரதங்களைக் கொண்டுள்ளது. இம்மூலக்கூறுகள் செயலாக்கம் பெறுவதைப் பின்வரும் படத்தில் காணலாம்.

படம் 10.2 ஈடுசெய்யவல்ல மூலக்கூறுகளின் வழிமுறை

இவற்றில் முக்கிய 9 புரதங்கள் இருவேறு வழிகளில் செயலாக்கம் பெறுகின்றன. இவற்றில் ஒன்று மரபு வழியாகவும் (Classical Pathway), மற்றொன்று மாற்று வழியாகவும் (Alternate Pathway) செயலாக்கம் பெறுகின்றன. இந்த இரண்டு வழிகளுமே C_3 என்னும் புரதம் செயலாக்கம் பெறும் இடத்திலிருந்து, ஒரே மாதிரியாக செயலாற்றல் பெறுகின்றன. இவற்றில் முக்கியமாக C_5 முதல் C_9 வரை உள்ள புரதங்களடங்கிய குழு நுண்ணியிரியின் சவ்வினைத் தாக்க வல்லதாகும். இந்தப் புரதக் குழு நுண்ணுயிரியின் சவ்வுடன் ஒட்டிக் கொள்ளும் பொழுது ஒரு துளையினை ஏற்படுத்தி நுண்ணுயிரியை அழிக்கின்றன.

செயலாக்கம் பெற்ற C_{3b} ஆனது ஆப்சோனின் எனப்படும் மூலக்கூறுகளாகச் செயலாக்கம் பெற்று நுண்ணியிர்களிடம் சென்று ஒட்டிக் கொள்கின்றன C_{5a} என்ற மூலக்கூறு எதிர்நுண்ணியிரிகள் உள்ள இடத்திற்கு பெரும் விழுங்கணுக்கள், நியூட்ரோபில்கள் மற்றும் மோனோசைட்டுகளைக் கவர்ந்திழுக்கும் இரசாயனப் பொருளாகச் செயல்படுகிறது.

உடற்காப்பு ஊக்கியை பக்குவப்படுத்தி அளிக்கும் செல்கள் (Antigen Presenting Cells)

B–செல், டென்ரைட்டிக் செல் (நிணநீர் முடிச்சுகளில் உள்ளன), லாங்கர்ஹான்ஸ் செல் மற்றும் பெரும் விழுங்கணுக்கள் ஆகியவை உடற்காப்பு ஊக்கியை பக்குவப்படுத்தி அளிக்கும் செல்களாக கருதப்படுகிறது. இந்த அனைத்து செல்களும் உடற்காப்பு ஊக்கியை பக்குவப்படுத்தி அதனோடு சேர்த்து வெளிப்புறச் சவ்வுகளில் மேஜர் ஹிஸ்டோ கம்பாட்டபிளிடி கலவை II உடன் இணைத்து செல்லின் புறப்பரப்பில் வெளிப்படுத்தப்படுகின்றன.

முதிர்ந்த திசுக்களின் ஒற்றுமையை அறியவல்ல மூலக்கூறுகளின் கலவைகள் (Major Histocompatibility Complex – MHC)

இவைகள் செல்லின் வெளிப்புறச் சுவர்களில் காணப்படும் கிளைக்கோ புரோட்டீன்கள் (Glycoproteins) ஆகும். பெரும்பாலும் தன் உடலின் திசுக்களிலிருந்து அயலானாக கருதப்படும் உடற்காப்பு ஊக்கியை வேறுபடுத்திக் காட்டவும், பக்குவப்படுத்தப்பட்ட உடற்காப்பு

ஊக்கியை T–செல்களுக்கு அளிக்கவும் MHC மூலக்கூறுகள் பயன்படுகின்றன. இவை MHC-I என்றும் MHC-II என்றும் இரண்டு வகைகளாக பிரிக்கப்படுகின்றன. MHC-I மூலக்கூறு உட்கருவோடு கூடிய எல்லா செல்களின் சவ்வின் வெளிப்புற பரப்பிலும் காணப்படுகின்றன. பக்குவப்படுத்தப்பட்ட உடற்காப்பு ஊக்கியோடு MHC-I பிரிவும் சேர்ந்து நோய்வாய்ப்பட்ட செல்லின் புறப்பரப்பில் வெளிப்படுத்தப்படும்பொழுது அவற்றை T–நச்சுத்தன்மையுடைய செல்கள் (T cytotoxic Cell – CD_8) அறிந்து கொள்கின்றன. MHC-II மூலக்கூறுகள் உடற்காப்பு ஊக்கியை பக்குவப்படுத்தி அளிக்கவல்ல செல்களின் புறப்பரப்பில் பக்குவப்படுத்தப்பட்ட உடற்காப்பு ஊக்கியோடு வெளிப்பட்டு T–உதவியாளர் (T helper Cell – CD_4) செல்லுக்கு அளிக்கப்படுகின்றது.

10.2.2 பெறப்பட்ட எதிர்ப்பாற்றல் (Acquired Immunity)

அயலான் என கருதப்படும் நுண்ணுயிரிகளுக்கோ அல்லது புரதத்திற்கோ எதிராக குறிப்பிடப்பட்ட மூலக்கூறுகளையோ, செல்களையோ உருவாக்கும் நோய் எதிர்ப்பாற்றலே பெறப்பட்ட எதிர்ப்பாற்றல் எனப்படும்.

முதன்முறையாக ஒரு உடற்காப்பு ஊக்கி அறிமுகம் ஆன முதன்மையான நோய் எதிர்ப்பாற்றலை (Primary Immune Response) நினைவில் வைத்துக் கொண்டு, மறுமுறை அதே மாதிரியான உடற்காப்பு ஊக்கியை இரண்டாம் முறையாக சந்திக்கும்போது, மிகவும் விரைவாக அதிக அளவில் செயல்படுகின்ற எதிர்ப்பாற்றலை (Secondary Immune Response) வெளிப்படுத்துகிறது. இத்தகு நோய் எதிர்பாற்றலின் தன்மையே தடுப்பூசி உருவாக அடிப்படை காரணமாக அமைந்துள்ளது.

குறிப்பாக பெறப்பட்ட எதிர்ப்பாற்றலை இரண்டாக பிரிக்கலாம். அவையாவன நோய்கிருமிகளுக்கு எதிராக செல்களே நேரடியாகச் சென்று வினை புரிவது செல்வழி எதிர்ப்பாற்றல் (Cell Mediated Immunity) என்றும், உடற்காப்பு மூலம் இரத்த ஓட்டத்தின் வழியாகச் சென்று தேவையான இடத்தை அடைவதை உடற்காப்பு மூலத்தினால் செயல்படும் எதிர்ப்பாற்றல் (Humoral Immunity) என்றும் வகைப்படுத்தப்படுகிறது. இந்த இரண்டு வகை எதிர்ப்பாற்றலுமே உடற்காப்பு ஊக்கி எதிர்ப்படும்போது தூண்டப்படுகிறது.

பெறப்பட்ட எதிர்ப்பாற்றல்(Acquired Immunity)

10.2.3 செயல்படும் எதிராற்றல் (Humoral Immunity)

குறிப்பாக பெறப்பட்ட நோய் எதிர்ப்பாற்றலை செல் வழி எதிர்ப்பாற்றல், உடற்காப்பு மூலத்தினால் செயல்படும் செயலாற்றல் என இருவகைகளாக பிரித்தாலும், இவை ஒன்றை ஒன்று சார்ந்து வினை புரிந்தே திறம்பட செயலாற்றுகின்றன. உடற்காப்பு மூலத்தினால் செயல்படும் எதிர்ப்பாற்றல், உடற்காப்பு ஊக்கியை அறிந்து கொள்ளும் போதுதான் ஆரம்பிக்கிறது. குறிப்பட்ட T–செல்கள் தூண்டப்படும் போது (Lymphokine) லிம்போகைன் எனப்படும் இரசாயன மூலக்கூறு வெளிப்பட்டு, அவை B–செல்களைத் தூண்டுவதால் B –செல்கள் பெருக்கமடைந்து மாற்றமடைகின்றன. சில சமயங்களில் மிகப்பெரிய உடற்காப்பு ஊக்கி மூலக்கூறுகள் B –செல்களை நேரடியாகவேத் தூண்டும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன. குழுக்களின் தேர்வு முறையில் குறிப்பிட்ட B–செல்கள் தூண்டப்படுகின்றன. அவ்வாறு தூண்டப்பட்டவை B – லிம்போபிளாஸ்ட் எனப்படும் பிளாஸ்மா செல்லாக அளவில் பெரிதாக உருமாறி புறப்பரப்பில் உள்ள உடற்காப்பு மூலத்தை உதிர்க்கின்றன. இந்த இறுதி நிலைமாற்றமே உடற்காப்பு ஊக்கி உண்டாக காரணமாகிறது. IgM எனப்படும் உடற்காப்பு ஊக்கித்தான் முதன்மையாக, நோய் எதிர்ப்பாற்றலின் பொழுது உருவாக்கப்படுகிறது. இவ்வாறு மாற்றமடைந்த B –செல்களில் சில நீண்டகாலம் வாழும் ஞாபகசக்தி செல்களாக (Memory Cells) மாற்றம் அடைகின்றன. இவை உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்கும் தன்மையற்ற செல்களாகும். ஆனால் மறுபடியும் அதே உடற்காப்பு ஊக்கியை சந்திக்கும் போது இந்தச் செல்கள் விரைந்து செயல்பட்டு மிக அதிக அளவில் IgG, IgA மற்றும் IgE வகை உடற்காப்பு மூலங்களை உருவாக்குகிறது. இதனால் மிகத்திறமை வாய்ந்த இரண்டாவது நோய் எதிர்ப்பாற்றலை உருவாக்க முடிகிறது.

B – செல்கள் மாற்றமடையும் போது அவற்றின் உடற்காப்பு மூலத்தில் உள்ள கனத்த சங்கிலிகளின் வேறுபட்ட பகுதி மற்றும் இலேசான சங்கிலிகளில் உள்ள வேறுபட்ட பகுதியின் நியூக்ளிக் அமிலங்கள் (DNA) மாற்றி அமைக்கப்பட்டு புதிய உடற்காப்பு மூலம் உருவாகின்றன. ஆயினும் இத்தகுமாற்றங்கள் ஒரு உடற்காப்பு ஊக்கியின் அறிமுகத்தின் போது, T–செல்களிலிருந்து வெளிப்படும் லிம்போகைனின் எனப்படும் இரசாயன மூலக்கூறுகளால் மட்டுமே தூண்டப்படுகின்றன. இவ்வாறாக தூண்டப்படும் B–செல்கள் முதலில் B லிம்போபிளாஸ்ட்டாக பெரிதாக மாறுகின்றன.

IgM முதன்மையான நோய் எதிர்ப்பாற்றலின் போது உருவாகிறது. இதற்குப் பதிலாக, இதே செல்கள் இரண்டாவது முறையாக அதே உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு அறிமுகம் ஆகும் போது நியூக்ளிக் அமிலங்களை மாற்றியமைத்து மாற்றம் அடைவதால் IgG, IgA மற்றும் IgE ஆகிய உடற்காப்பு மூலங்கள் இரண்டாவது நோய் எதிர்ப்பாற்றலின் போது உருவாகின்றன.

T– செயல் ஒடுக்கி செல் தேவையான அளவு உடற்காப்பு மூலம் உருவானதும் இந்த நிகழ்வினை ஒடுக்குகிறது. உருவான உடற்காப்பு மூலத்தின் மூலமே ஒடுக்கப்படுவது மற்றொரு முறையாகும். இதனை 'உடற்காப்பு ஊக்கியின் தடை' என்று கூறுகிறார்கள். அதிக அளவு உடற்காப்பு மூலம் முழுமையான உடற்காப்பு ஊக்கியோடு வினைபுரியும் போது அந்த உடற்காப்பு ஊக்கியானது, B– செல்களின் ஏற்பியோடு வினைபுரிவதை தடை செய்கிறது.

10.2.4 செல்வழி எதிர்ப்பாற்றல் (Cell mediated Immunity)

T–செல்கள், செல்வழி எதிர்ப்பாற்றலை உருவாக்குகின்றன. T –செல்கள் முதலில் எலும்பு மஜ்ஜையில் உருவாகிப் பின்னர் தைமஸில் முதிர்ச்சி மற்றும் வேறுபாடு அடைகின்றன. முதிர்ச்சியடைந்த T –செல்கள் இரண்டாம் நிலை நிணநீர் உறுப்புகளுக்கு இடம்பெயர்கின்றன. T –செல்கள் செயலாற்றும் தன்மையைப் பொறுத்தும் புறப்பரப்பில் காணப்படும் மூலக்கூறுகளின் (CD – Cluster of Differentiation) அமைப்பைப் பொறுத்தும் அவை வகைப்படுத்தப்படுகின்றன. T –செல்கள் அவைகளின் செயல் தன்மைக்கேற்ப T –உதவி செல், T – செயல் ஒடுக்கச் செல், T–ஞாபகச் சக்தி செல் மற்றும் T –கொலைகாரச் செல் என்று நான்கு வகைகளாக வகைப்படுத்தப்படுகின்றன. T –செல்களில் சில வகை ஒவ்வாமை (allergy) வினையில் குறிப்பாக காலம் தாழ்த்தித் தோன்றும் மிகை உணர்வு (Delayed Hyper Sentitivity) போன்ற விளைவுகளை ஏற்படுத்துவதோடு, ஒருவர் உடலில் மற்றொருவரின் உறுப்பை பொருத்தும் போது மாற்று உறுப்பை நிராகரிக்கும் படியும் செய்கின்றன.

MHC ஒவ்வொருவர் உடலிலும் குறிப்பிட்ட தனித் தன்மையுடன் தன்னுடைய திசு மூலக்கூறுகளை அடையாளம் காட்டுவதாக அமைந்துள்ளது. இவை எப்போது உடற்காப்பு ஊக்கி, நோய்த் தடுப்பாற்றல் மண்டலத்திற்கு அளிக்கப்படுகின்றதோ, அப்போது மேற்கோளாக (Reference) தன் உடல் திசுவில் இருந்து மற்ற திசுக்களை வேறுப்படுத்திக் காட்ட அளிக்கப்படுகிறது.

T–உதவி செல் (CD4), T–சார்ந்த உடற்காப்பு ஊக்கியைத் தந்து (பெரும்பாலான புரதத்தன்மை வாய்ந்த) B செல்களைத் தூண்டி அதற்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்குகிறது.

T–உதவி செல், MHC–II யுடன் இணைக்கப்பட்ட உடற்காப்பு ஊக்கியை, உடற்காப்பு ஊக்கியைப் பக்குவப்படுத்தி அளிக்கும் செல்லின் புறப்பரப்பில் இருக்கும் போது அறிந்து கொள்கிறது. உடற்காப்பு ஊக்கியைப் பக்குவப்படுத்தி அளிக்கும் செல்கள் அனைத்தும் IL-1 எனப்படும் சைட்டோகைன்களை வெளியிடுகின்றன. மேலும் T–உதவி செல்லைத் தூண்டி IL-2 என்னும் சைட்டோகைன்களை சுரக்கச் செய்கின்றன. உடற்காப்பு ஊக்கியினால் தூண்டப்பட்ட T–உதவி செல்கள் மட்டுமே IL-2விற்குரிய ஏற்பிகளைக் கொண்டுள்ளதால் இந்த T–செல் குறிப்பாக உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிராகச் செயல்படுகிறது. உருவாக்கப்படும் IL-2 மற்றும் பிற சைட்டோகைன்கள், T–செல் வழி எதிர்ப்பாற்றலையும், பிளாஸ்மா வழி எதிர்ப்பாற்றலையும் தூண்டுவதால் எதிர்ப்பாற்றல் அதிகரிக்கப்படுகிறது.

எயிட்ஸில் மனித நோய் எதிர்ப்பாற்றலை குறைவுப்படுத்தும் வைரஸ், இத்தகு T–உதவியாளர் செல்களை பாதிக்கின்றன. T–செயல் ஒடுக்கி செல் தேவையான அளவு உடற்காப்பு மூலம் உருவானதும் நோய் எதிர்ப்பாற்றலை ஒழுங்குபடுத்த உதவுகின்றன. நச்சுத்தன்மை பெற்ற T –செல்கள் (CD8) வைரஸால் பாதிக்கப்பட்ட செல்களை அடையாளம் கண்டு பர்பாரின் எனும் மூலக்கூறுகளை அவற்றின் உள் செலுத்தி வைரஸால் பாதிக்கப்பட்ட

செல்களைச் சிதைக்கின்றன. தூண்டப்பெற்ற சில T–செல் ஞாபகச்சக்தியுடைய செல்லாக மாறுகிறது.

படம் 10.3 ஆன்டிஜென் முதிர்ந்த திசுக்களின் ஒற்றுமையை அறியவல்ல மூலக்கூறுகளின் கலவைகள்

10.2.4.1 லிம்போகைன்களின் செயல்கள் (Functions of Lymphokines)

லிம்போகைன்கள் என்பவை சைட்டோகைன் வகையைச் சார்ந்தவை. இவை லிம்போசைட்டுகள் தூண்டப்படும் போது சுரக்கப்படும் சிறிய மூலக்கூறுகள் ஆகும். இம்மூலக்கூறுகளே செல்லுக்கு இடையே 'சமிக்ஞை' (Signal) செய்ய உதவுகிறது. இன்டெர்லூக்கின் என்னும் சொல் லியூக்கோசைட்டுகளால் உண்டாக்கப்படும் சைட்டோகைன்களை குறிப்பதாக அடிக்கடி விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. எப்போதும் இந்த தனித்தனி லிம்போகைன்கள் சில செயல்களில் பொதுவாக ஒன்றை ஒன்று சார்ந்து பங்கு கொள்கின்றன. பெரும்பாலான விளைவுகளை ட்யூமர் நெக்ரோஸிஸ் காரணி ஆல்பா (TNF-α), IL-2 விலிருந்து IL – 12 வரை பகிர்ந்து கொள்கின்றன. இவற்றில் அழற்சியை உண்டாக்கும் முந்தைய சைட்டோகைன்கள், நோய் எதிர்ப்பாற்றலைத் தூண்டும் வண்ணம், நியூட்ரோபில்களை எலும்பு மஜ்ஜையிலிருந்தும், டென்ரைடிக் செல்களை நிணநீர் முடிச்சுக்களுக்கு இடம் பெயர்ந்து செல்லச் செய்கின்றன. மேலும் இவை அடிப்போஸ் என்னும் கொழுப்புத் திசுக்களில் மாற்றத்தைத் தொடங்குவதோடு, தசைகளின் வளர்ச்சிதை மாற்றத்தை அதிகரித்து, காய்ச்சலை உண்டாக்குவதற்கும் காரணமாகிறது.

10.3 உடற்காப்பு ஊக்கி (Antigen)

உடற்காப்பு ஊக்கிகள் அயலான் எனப்படும் மூலக்கூறுகள் ஆகும். இவை எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலத்தினால் இனமறியப்படுகின்றன. இவற்றை வரையறுத்துக் கூற வேண்டுமெனில் உடற்காப்பு ஊக்கி என்பது குறிப்பாக எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலத்தின் லிம்போசைட் போன்ற செல்களோடும், எதிர்காப்பு மூலத்துடனும் (Antibody) குறிப்பாக இணைகின்றன. இம்மியூனோஜென் (Immunogen) எனப்படுவது B செல் அல்லது T செல் அல்லது B, மற்றும் T செல் தொடர்பான எதிர்ப்பாற்றலைத் தூண்டவல்லது. உடற்காப்பு மூலம் முழுமையான உடற்காப்பு ஊக்கியோடு இணைய இயலாது. ஏனெனில் உடற்காப்பு மூலம் ஆனது உடற்காப்பு ஊக்கியின் பரப்பில் காணப்படும், ஒரு குறிப்பிட்ட உடற்காப்பு மூலத்தை உண்டாக்கக் காரணமான மூலக்கூறுகளோடு இணைகிறது. இவை எபிடோப்புகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன.

10.3.1 உடற்காப்பு ஊக்கியின் உருவ அமைப்பும், விதங்களும் (Structure and Types of Antigen)

ஒரு உடற்காப்பு ஊக்கியில் பலதரப்பட்ட உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்கக் காரணமான மூலக்கூறுகள் மிகுந்து காணப்படுகின்றன. ஒரு செல்லின் புறப்பரப்பில் உள்ள வேறுபட்ட மூலக்கூறுகளின் குழுக்களைப் படம் 10.4 இல் காணலாம்.

படம் 10.4 உடற்காப்பு ஊக்கி (Antigen)

இருப்பினும் a மற்றும் d என்னும் குழுக்களே உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்கும் உடற்காப்பு ஊக்கியாக செயல்பட பக்குவப்படுத்துவதற்காகத் தேர்ந்தெடுக்கப்படுகிறது. பொதுவாக உடற்காப்பு ஊக்கி பல குறிக்கோள்களைக் கொண்ட மூலக்கூறுகளை உடையது.

உடற்காப்பு ஊக்கியின் வகைகள்

உடற்காப்பு ஊக்கி கொண்டுள்ள சில சிறப்பான குறிப்பிடத்தக்க மூலக்கூறுகளின் அமைப்பு, எதிர்ப்பாற்றலை உண்டுபண்ணக் கூடியவையாக உள்ளன. பெரும்பாலான உடற்காப்பு ஊக்கியானது புரதமாக இருக்கின்றன. மற்றவை நியூக்ளிக் புரதமாகவோ, கொழுப்பு இணைந்த புரதமாகவோ அல்லது கார்போஹைட்ரேட் இணைந்த கிளைக்கோ – புரோட்டீன்களாகவோ அல்லது பாலிசாக்ரேட் மூலக்கூறுகளாக எடையில் 10,000 டால்டன்களுக்கும் அதிகமானதாகவும் கூட இருக்கின்றன. உடற்காப்பு ஊக்கியாக செயல்பட அதிக மூலக்கூறு எடை தேவைப்படுகிறது. பெரிய உடற்காப்பு ஊக்கியின் பரப்பில் உடற்காப்பு மூலத்தினைத் தூண்ட வல்ல மூலக்கூறுகள் அதிகமாக காணப்படுகின்றன. இருப்பினும் எடை குறைவாக உள்ளவைகளும் சில உடற்காப்பு மூலத்தோடு இணையும் தன்மையைப் பெற்றுள்ளன. ஆனால் இவற்றால் உடற்காப்பு மூலத்தின் உருவாக்கத்தைத் தூண்ட இயலாது. இவைகளை ஹாப்டன் (Hapton) என்று அழைக்கிறார்கள்.

இருப்பினும் இவை வேறு சில புரதங்களோடு (Carrier Molecules) சகபிணைப்பால் இணைக்கப்படும் போது உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்கும் தன்மையை அடைகின்றன. உடற்காப்பு ஊக்கி உடற்காப்பு மூலத்தினை உருவாக்கத் தூண்டுவதால் இவற்றிற்கு இம்மினோஜன் என்ற பெயரும் உண்டு.

10.3.2 உடற்காப்பு ஊக்கியின் திறனை அதிகரிக்கும் காரணிகள்

உடற்காப்பு ஊக்கியானது அயலானாக இருத்தல் அவசியமானது. எந்த அளவுக்கு அவை அயலான் தன்மை அதிகரித்து காணப்படுகின்றதோ அதற்கேற்றாற்போல அவை எதிர்ப்பாற்றலை தூண்டவல்லவைகளாக உள்ளன.

கீழே காணப்படும் காரணிகள் உடற்காப்பு ஊக்கியின் திறனை மாற்ற வல்லவைகளாக உள்ளன.

1. உடற்காப்பு ஊக்கியின் திறனானது உருவாகியுள்ள உடற்காப்பு மூலத்தின் அளவினைக் கொண்டு அளவிடப்படுகிறது. இவை உள்ளே செலுத்தப்படும் உடற்காப்பு ஊக்கியின் அளவைப் பொறுத்தும் (Dosage), எந்த வழியாக செலுத்தப்படுகின்றது (Route of Entry) என்பதைப் பொறுத்தும், அட்ஜுவண்ட் என்றழைக்கப்படும் ஊக்குவிக்கும் துணைப் பொருள் சேர்த்து அளிக்கப்பட்டதா என்பதைப் பொறுத்தும் அமைகிறது.

2. மூலக்கூறுகளின் எடையைப் பொறுத்து உடற்காப்பு ஊக்கியின் திறன் அமைகிறது. எடை குறைந்த மூலக்கூறுகள் உடற்காப்பு மூலத்தோடு இணையும் திறனை மட்டுமே பெற்றுள்ளன (ஹாப்டன்கள்).

3. மிகவும் எடை குறைந்த மூலக்கூறுகளால் உடற்காப்பு ஊக்கியாக செயலாற்ற முடியாது. இதன் காரணமாகவே வைரஸ் எனப்படும் நுண்ணுயிரி எதிர்ப்பாற்றல் திறனிலிருந்து தப்பித்துக்கொள்கிறது.

4. மிகப்பெரிய எடை உள்ள உடற்காப்பு ஊக்கியானது T–செல்களின் பங்கின்றி தானாகவே B–செல்களை தூண்டும் தன்மையைப் பெற்றிருக்கின்றன.

5. T– செல் சார்ந்து செயல்படும் உடற்காப்பு ஊக்கிகள் எளிதில் சிதைக்கப்படும் தன்மை மிக்கதாக இருத்தல் வேண்டும். ஏனெனில், உடற்காப்பு ஊக்கியை பக்குவப்படுத்தும் செல்கள் அவற்றைச் சிதைத்து பக்குவப்படுத்தியப்பின் MHC-II மூலக்கூறுகளோடு இணைத்து T–செல்களுக்கு வழங்குகின்றன. இத்தன்மை பெற்ற உடற்காப்பு ஊக்கி T–செல் சார்ந்த உடற்காப்பு ஊக்கி என்று அழைக்கப்படுகிறது.

6. உடற்காப்பு ஊக்கியைச் செலுத்துவதற்கு முன்னதாகவோ அல்லது செலுத்தியபின் சிறிதுநேரம் கழித்தோ, அதற்குரிய பிறரால் பெறப்பட்ட உடற்காப்பு மூலத்தை செலுத்தும் போது உடற்காப்பு ஊக்கியின் செயல்திறன் முழுவதும் குறைக்கப்பட்டுவிடுகிறது. (இந்த அடிப்படையை பயன்படுத்தி Rh உடற்காப்பு ஊக்கியினால் தாயின் உடலில் உடற்காப்பு மூலம் உண்டாவது தடைசெய்யப்படுகிறது. இதனால் எரித்ரோ பிளாஸ்டோசிஸ்பீடாலிஸ் என்னும் நோய் தடுக்கப்படுகிறது).

10.4 உடற்காப்பு மூலங்கள் (Antibodies)

உடற்காப்பு மூலம் முதுகெலும்பு பிராணிகளின் பிளாஸ்மா மற்றும் உடலில் உள்ள திரவங்களில் காணப்படுகிறது. இது குறிப்பாக அதற்குரிய உடற்காப்பு ஊக்கியோடு

இணைகிறது. இவை கோள வடிவமான புரத வகுப்பைச் சேர்ந்த இம்மியூனோ குளோபுலின்கள் (உடற்காப்பு மூலங்கள்) ஆகும். குறிப்பாக எதிர்ப்பாற்றல் புரதமாகிய உடற்காப்பு மூலம் காமாகுளோபுலின்கள் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. இவை சாதாரணமான எதிர்ப்பாற்றல் நிகழும் போது பலதரப்பட்டவைகளாக உள்ளன. இவை முக்கியமாக செல்களுக்கு வெளியே உள்ள உடற்காப்பு ஊக்கிகளுக்கு எதிராகச் செயல்படுகிறது.

உடற்காப்பு மூலத்தின் இரு முக்கிய வேலைகள்

1. இவை குறிப்பாக, அதற்குரிய உடற்காப்பு ஊக்கியோடு அல்லது அயலானாக கருதப்படும் மூலக்கூறுகளோடு இணைகின்றன.

2. இவை மற்ற செல்கள் மற்றும் மூலக்கூறுகளோடு சேர்ந்து நோய்க்கிருமிகளை அழிக்கின்றன.

ஒரு உடற்காப்பு மூலத்தில் உள்ள வெவ்வேறு பகுதிகளின் வேலைகளைப் புரிந்துக்கொள்ள அதிக அளவில் காணப்படும் IgG உடற்காப்பு மூலத்தை பாப்பைன் (Papain) மற்றும் பெப்சின் (Pepsin) நொதிகளை கொண்டு சிதைக்கும் போது ஏற்படும் மாற்றங்களை படத்தில் காணலாம் (படம் 5).

படம் 10.5 பாப்பைன் மற்றும் பெப்சின் சிதைவுறுதல்

பாப்பைன் நொதி ஓரிணைத்திறன் கொண்ட 2 Fab மூலக்கூறுகளையும் (Fab-Fragment antigen binding) மற்றும் Fc என்ற படிகமாக மாறும் தன்மை பெற்ற (FC-Fraction Crystalizable) பகுதியையும் தருகிறது. உடற்காப்பு ஊக்கியோடு இணையும் திறன் கொண்ட Fab மூலக்கூறு IgG வகை உடற்காப்பு ஊக்கி பெப்சின் நொதியால் சிதைக்கப்படும் போது உடற்காப்பு ஊக்கியோடு ஈரிணைத் திறன் கொண்ட இணையும் பகுதியும், துகள்களாக சிதைக்கப்பட்ட Fc பகுதியும் கிடைக்கின்றது. இவ்வித்தியாசங்கள், நொதிகளால் சிதைக்கும் இட வேறுபாட்டால் ஏற்படுகின்றன. பாப்பைன் நொதி கனத்த சங்கலியின் உள்ள வளையும் பகுதிக்கு முன்பாகவும், டை–சல்பைடு பிணைப்புகளுக்கு பின்னால் உள்ள பகுதியையும் சிதைக்கிறது. பெப்சின் நொதி டை–சல்பைடு பிணைப்புகளுக்கு முன்னால் சிதைக்கிறது. இந்நொதிகளின் சிதைப்பின் மூலம் உடற்காப்பு ஊக்கியிலுள்ள கனத்த சங்கிலிகளை பிணைப்பது டை–சல்பைடு பிணைப்பு என்று

அறிந்து கொள்ளலாம். Fc பகுதி உடற்காப்பு மூலத்தின் செயலாற்றலுக்குத் தேவைப்படுகின்றது. Fc பகுதி விருந்தோம்பியின் செல்களோடு இணைவதற்கும், காம்பளிமென்டுகளோடு (Complement) இணைவதற்கு அல்லது பிளாசண்டாவை (Placenta) கடந்து செல்லவும் உதவியாக உள்ளன.

10.4.1 உடற்காப்பு மூலத்தின் உருவமைப்பு (Structure of Antibody)

ஒரு உடற்காப்பு மூலம் Y என்ற ஆங்கில எழுத்தின் வடிவத்தை ஒத்து காணப்படும் இரசாயன மூலக்கூறு. இது கிளைக்கோ புரதங்களின் வகையைச் சார்ந்த காமா குளோபுலின்களாக பிளாஸ்மா காணப்படுகிறது. (படம் 10.6) பெரும்பாலான உடற்காப்பு மூலம் 4 அமினோ அமிலங்களால் ஆன சங்கிலிகளைக் (Chains) கொண்டுள்ளது. இரண்டு கனத்த சங்கிலிகளும் இரண்டு இலேசான சங்கிலிகளையும் கொண்டுள்ளது. ஒரு குறிப்பிட்ட உடற்காப்பு மூலத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட பகுதி எப்போதும் வேறுபடாமல் (Constant) நிரந்தரமாக உள்ளது. IgM உடற்காப்பு மூலத்தில் μ என்ற சங்கிலியும், IgG இல் γ வும், IgA இல் α வும், IgD இல் δ வும் IgE இல் ε என்ற சங்கிலிகளும் கனத்த சங்கிலிகளாக உள்ளன. இலேசான சங்கிலிகள் k அல்லது λ எனப்படும் இரண்டு விதமான சங்கிலிகளாக இருக்கின்றன.

படம் 10.6 உடற்காப்பு மூலம் (Antibody)

இந்தச் சங்கிலிகளில் கோள வடிவில் மடிந்துள்ள டொமைன் என்ற கூண்டுப் பகுதிகள் குறிப்பிட்ட பகுதிகளில் காணப்படுகின்றன. இலேசான சங்கிலியில் 2 டொமைன்களும் கனத்த சங்கிலியில் 4 முதல் 5 டொமைன்களும் காணப்படுகின்றன. நிரந்தரமான பகுதிகளின் தனித்திருக்கும் முனையானது Fc பகுதியைக் கொண்டுள்ளது. கனத்த சங்கிலியிலும் லேசான சங்கியிலும் ஒரு வேறுபடும் பகுதி உள்ளது. இந்தப் பகுதி உடற்காப்பு ஊக்கியோடு இணைகிறது. இதனால் ஒவ்வொரு உடற்காப்பு மூலத்தில் இரண்டு உடற்காப்பு ஊக்கியோடு இணையும் பகுதிகள் உள்ளன.

10.4.2 இமினோகுளோபுலின்களின் வகைகள் (Types of immunoglobulins)

உடற்காப்பு மூலம் (அல்லது) இமினோகுளோபுலின்கள் ஒரு கிளைக்கோ புரதங்களாக B செல்லினால் உருவாக்கப்படுகின்றன. இவை குறிப்பாக தான் உருவாக காரணமாக இருந்த உடற்காப்பு ஊக்கியோடு இணையும் தன்மையைப் பெற்றுள்ளன. உடற்காப்பு மூலம் 5 பெரும் பிரிவுகளாக, அவற்றின் கனத்த சங்கிலிகளின் நிரந்தரமான பகுதிகளைக் கொண்டு IgM, IgG, IgA, IgD மற்றும் IgE என வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. ஒரு உடற்காப்பு மூலத்தில் இரண்டு ஒரே விதமான உடற்காப்பு ஊக்கி இணையும் பகுதியுள்ளது. இவை இவற்றின் இணையும் திறனாகும் (Valency).

10.4.3 இமினோகுளோபுலின்களும் அவற்றின் வேலைகளும்

IgG உடற்காப்பு மூலம் இரு k அல்லது λ எனப்படும் இலேசான சங்கிலிகளையும் இரண்டு வகையான γ வகையான கனத்த சங்கிலிகளையும் கொண்டு IgGI, IgG2, IgG3 மற்றும் IgG4 வகைகளாக உள்ளது. இவை மனிதர்களின் பிளாஸ்மாவில் 80 சதவீதத்திற்கு மேலாக அதிகமாக காணப்படும் இமினோகுளோபுலின் வகையாகும். இரண்டாவது முறையாக அதே உடற்காப்பு ஊக்கி உடலில் நுழையும் போது (Secondary Immune response) குறிப்பாக IgG உடற்காப்பு மூலம் உருவாகின்றது. IgG உடற்காப்பு மூலம் விழுங்கணுக்களைத் தூண்டுகிறது. காம்பளிமென்ட்டுகளை செயலாற்றல் பெறச் செய்கிறது. நியூட்ரோபில்களோடு இணைகின்றன. மேலும் நச்சுத்தன்மையை, நடுநிலையாக்கி நச்சுதன்மையை அகற்றுகிறது. முக்கியமாக இந்த உடற்காப்பு மூலம் மட்டுமே பிளாசன்டாவைக் கடந்து சிசுவிற்கு எதிர்ப்பாற்றலைத் தர வல்லதாக உள்ளது.

IgA இரண்டு k அல்லது λ எனப்படும் இலேசான சங்கிலிகளையும், இரண்டு α கனத்த சங்கிலிகளையும் கொண்டு, IgA1, IgA2 என்ற இருவகைகளாகக் காணப்படுகிறது. இவை மனிதனின் பிளாஸ்மாவில் 13 சதவிகிதமே காணப்படுகிறது. ஆயினும் சுரக்கப்படுகின்ற சுரப்பு நீரில் மிகுந்து காணப்படும் உடற்காப்பு மூலம் IgA ஆகும். IgA வை சுரப்பிகள் (கண்ணீர், உமிழ்நீர், மூக்கினுள் சுரக்கும் நீர் மற்றும் மார்பகச் சுரப்புநீர்) சுரக்கின்றவற்றில் காணப்படுவதால் அதனை சுரக்கின்ற எதிர்ப்பாற்றல் புரதம் என்று அழைக்கின்றார்கள். இவை முக்கியமாக நாடாப் புழுக்களுக்கு எதிராக எதிர்ப்பாற்றலைத் தருகின்றன. சீம்பாலிலும் இருக்கிறது. குழந்தைகளை, அவர்களின் குடலில் வளரும் நோய்க்கிருமிகளிடம் இருந்து பாதுகாக்கின்றன.

IgM இரண்டு லேசான k அல்லது λ சங்கிலிகளையும், μ எனப்படும் கனத்த சங்கிலியையும் கொண்டு பிளாஸ்மாவில் 8 சதவிகிதம் காணப்படுகிறது. இது மிகப் பெரிய இமினோகுளோபுளின் ஆக கூறப்படுவதற்கு காரணம், இவை 5க்கு மேற்பட்ட இணைத்திறன் கொண்டவைகளாக இருக்கின்றன. முதன் முதலாக ஒரு உடற்காப்பு ஊக்கி உடலின் உள்நுழையும் போது முதலாவதாக (Primary Immune response) தோன்றுவதால், சமீபத்தில் நோய் வந்ததை இது அடையாளம் காட்டுகிறது. பெரும்பாலான இயற்கையான உடற்காப்பு மூலம், ஏ, பி, ஓ இரத்த பிரிவு வகைக்கு காரணமானவை IgM வகையைச் சார்ந்தவையாக உள்ளன. B செல்கள், பெரும்விழுங்கணுக்கள் மற்றும் குறையை ஈடு செய்யவல்ல மூலக்கூறுகளை முதன் முதலில் தூண்ட IgM காரணமாகிறது.

IgD இரண்டு லேசான சங்கிலிகளும் k அல்லது λ வகையைச் சார்ந்தவை. கனத்த சங்கிலி δ வகையைச் சார்ந்தவை ஆகும். இவை பிளாஸ்மாவில் ஒரு சதவிகிதத்திற்கும் குறைவாகவே காணப்படுகிறது. லிம்போசைட்டுகளின் செயல்திறனை ஒடுக்குவதில் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது. B செல்லின் புறப்பரப்பில் அதிகமாக காணப்படுகிறது. IgD ஒற்றை இணையும் திறன் கொண்டுள்ளது.

IgE இதனை ரியாஜினிக் உடற்காப்பு மூலம் என்றும் அழைக்கின்றனர். இவற்றிலும் 2 லேசான k அல்லது λ சங்கிலிகளையும் இரண்டு கனத்த சங்கிலிகளை (ε) ஆகவும் கொண்டுள்ளன. இவை 0.003 சதவீதத்திற்கு குறைவாக மனிதனின் பிளாஸ்மாவில் காணப்படுகின்றன. இவை ஒவ்வாமையை ஏற்படுத்தும் இடையீட்டுப் பொருளாக (Mediator) செயல்புரிகின்றன. அவற்றில் முக்கியமானது ஹிஸ்டமின்களை சுரக்கும் செயல்களைத் தூண்டி விடுவதாகும். ஒட்டுண்ணியால் ஏற்படும் நோய்களின் போதும் மற்றும் மிகை உணர்வினால் உண்டாகும் பிரிவு ஒன்றைச் சார்ந்த நோய்நிலைகளிலும் பங்கேற்கின்றன.

10.5 உடற்காப்பு ஊக்கி – உடற்காப்பு மூலத்தின் வினைகள் (Antigen-Antibody reactions)

உடற்காப்பு ஊக்கியின் நிர்ணயிக்கப்பட்ட மூலக்கூறுடன் உடற்காப்பு மூலத்தில் உள்ள இரு இணையும் பகுதிகளும் இணைவதால் கூட்டுக்கலவை (Complex) அல்லது உடற்காப்பு ஊக்கியும், உடற்காப்பு மூலமும் இணைந்த கலவை (Antigen – Antibody Complex) உருவாகின்றது. இவ்வாறு உடற்காப்பு ஊக்கியும், மூலமும் இணைவதற்கு பல காரணிகள் உதவுகின்றன. உடற்காப்பு மூலம் என்கின்ற தடுப்பாற்றல் புரதம் குறிப்பாக தான் உண்டாகக் காரணமான உடற்காப்பு ஊக்கியுடன் இணையும் தன்மையுடையதாக (Specificity) உள்ளது. இத்தன்மைக்கு உடற்காப்பு ஊக்கியில் காணப்படும் மூலக்கூறுகளுக்கு (Epitope) உடற்காப்பு மூலத்தில் உள்ள எதிர்மூலக்கூறுகளும் (paratope) முக்கிய காரணங்களாகும். மேலும் இவற்றுக்கிடையே உள்ள இணையும் விசை, அவற்றின் நெருக்கம், அவற்றுக்கிடையே உள்ள கவர்ந்து இழுக்கும் மற்ற விசைகள், ஈர்ப்பு தன்மை (Affinity), இணையும் திறன் (Avidity) போன்றவையும் இதில் அடங்கும்.

முதன் முறையாக உடற்காப்பு ஊக்கியிடம் உள்ள மூலக்கூறுகளுடன் அதற்குரிய உடற்காப்பு மூலம் இணையும் போது முதன்மையாக உடற்காப்பு ஊக்கி, மூலத்தின் கலவை உருவாகின்றது. இந்த முதலாவதாக இணையும் கலவை வினை மிகவும் வேகமாக நிகழ்கிறது. இவை அயனிகளைச் (Electrolyte) சார்ந்து இருப்பதில்லை. ஆயினும் இந்த வினை கண்களுக்குப் புலப்படுவதில்லை. இந்த முதலாவதாக இணைந்த கலவை கண்களுக்குப் புலப்படும் வண்ணம் ஏற்படும் திரட்சி வினையை இரண்டாவதாக ஏற்பட்ட உடற்காப்பு ஊக்கி, உடற்காப்பு மூலத்தின் வினைகள் (Secondary Antigen-Antibody Reaction) என்று அழைக்கிறார்கள். கண்களுக்கு புலப்படும் தன்மை வாய்ந்த இரண்டு வினைகள் முறையே திரிதல் வினை (Pricipitation Reaction), திரட்சி வினை (Agglutination) ஆகும்.

10.5.1 திரிதல் வினை (Precipitation)

திரிதல் என்கிற வினை திரவத்தில் கரைந்திருக்கும் உடற்காப்பு ஊக்கியோடு உடற்காப்பு மூலத்தை சேர்க்கும் போது வேதியியல் முறிவு ஏற்படுவதால் உண்டாகிறது. எதிர்ப்பாற்றல் உருவாக்கும் புரதங்கள் இணைந்து கண்களுக்கு புலப்படும்படி உண்டாகும் திரட்சியை வைத்து அவற்றை அளவிட்டுக் கூற முடியும். இவை வினையில் பங்கேற்கும் உடற்காப்பு ஊக்கி மற்றும் உடற்காப்பு மூலத்தின் விகிதங்களைப் பொறுத்து அவற்றுக்கிடையே உள்ள இணைப்புகள் மாறுபடுவதால் திரிதலின் அளவும் மாறுபடுகிறது. இவற்றால் உடற்காப்பு ஊக்கி அளவில் மிகுந்த நிலை, உடற்காப்பு மூலமும், ஊக்கியும் சரியான அளவில் உள்ள நிலை, உடற்காப்பு மூலம் மிகுந்த நிலை என்று திரட்சியின், நிகழ்வு வேறுபடுகின்றது. திரிதல் வினையை, வெப்பநிலை, அமிலம்/காரத் தன்மைகள் (pH) உப்பு மூலக்கூறுகளின் அடர்த்தி, மற்றும் வினைபுரியும் திரவத்தின் அளவு (Volume) போன்றவை பாதிக்கின்றன.

10.5.2 திரட்சி வினை (Agglutination)

உடற்காப்பு ஊக்கி எப்பொழுது ஒரு செல்லை ஒத்து (Particulate) உள்ளதோ, அப்போது உடற்காப்பு மூலம் இணையும் போது திரட்சி உருவாகின்றது. இத்தகு திரட்சி வினையை பண்பறிந்தோ (Qualitative) அல்லது ஓரளவு அளவிட்டோ (Semi quantitative) கூற முடியும். இவை அளவுக்கு அதிகமாக மிகக் குறிப்பிட்ட தனித்தன்மையுடன் நிகழ்வதால், இந்தத் திரட்சிவினையைப் பல்வேறு சோதனைகளுக்கு அடிப்படையாகப் பயன்படுத்துகின்றனர்.

திரட்சி வினையை நேரடி திரட்சி வினை என்றும் மறைமுக திரட்சி வினை என்றும் இரண்டு வகைகளாகப் பிரிக்கலாம். உடற்காப்பு ஊக்கி எப்பொழுது இயற்கையாகவே ஒரு துகளின்

பகுதியாக உள்ளதோ அப்போது உண்டாகும் திரட்சி நேரடி திரட்சியாகும். ஒரு துகளோடு கரைகின்ற தன்மையுடைய உடற்காப்பு ஊக்கி இணைக்கப்பட்டு, அதன்பின் உடற்காப்பு மூலம் அதனோடு வினை புரியும்போது மறைமுகத் திரட்சி உண்டாகின்றது. இவ்வாறு இணைவதால் கரையும் தன்மையுள்ள உடற்காப்பு ஊக்கி கரையாத தன்மையுள்ளதாக மாற்றப்படுகிறது.

படம் 10.7 திரட்சி வினை

10.6 இரத்தத்தின் வகைகள்

1901ம் வருடம் காரெல் லான்ட்ஸ்டீனர் என்பவர் ஒரு மனிதனுடைய இரத்தத்தை மற்றொரு மனிதனுக்கு மாற்று இரத்தமாக உடலினுள் செலுத்தும்போது, அவர்கள் இருவருக்கிடையேயும் இரத்தம் வேறுபடும்பொழுது, இரத்தம் பெற்றவருக்கு அதிர்ச்சி, மஞ்சள் காமாலை மற்றும் சிறுநீரகம் செயல் இழத்தல் போன்றவை நிகழ்வதைக் கண்டு பிடித்தார். இரத்தத்தின் வகைக்குரிய உடற்காப்பு ஊக்கியின் குழுக்களும், உடற்காப்பு மூலமும் திரட்சி (agglutination) வினையில் ஈடுபடுவதால், இந்த உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு அக்ளுடினோஜன் எனவும் உடற்காப்பு மூலம் அக்ளுடினின் என்றும் அழைக்கப்படுகின்றது. இரத்த வகைக்குரிய உடற்காப்பு ஊக்கிகள் இரத்த சிவப்பணுவின் சவ்வின் புறப்பரப்பில் காணப்படுகின்றன. லான்ட்ஸ்டீனர், இவற்றை பற்றி வரையறுத்துக் குறிப்பிடுகையில், எப்போது உடற்காப்பு ஊக்கி இரத்த சிவப்பணு புறப்பரப்பில் காணப்படுகிறதோ, அப்போது அதற்குரிய குறிப்பிட்ட உடற்காப்பு மூலம் பிளாஸ்மாவில் காணப்படுவதில்லை என்கிறார். ஆகவே ஒருவரின் இரத்த வகையானது, அவர்கள் இரத்த சிவப்பணு சவ்வில் காணப்படும் உடற்காப்பு ஊக்கியைப் பொறுத்து பெயரிடப்படுகிறது.

10.6.1 ABO இரத்த வகைகள்

லாண்ட்ஸ்டீனர் இரண்டு வகையான உடற்காப்பு ஊக்கிகள், இரத்த சிவப்பணு சவ்வில் உண்டென்று கண்டுபிடித்தார். அவை A உடற்காப்பு ஊக்கி மற்றும், B உடற்காப்பு ஊக்கியாகும். இவற்றிற்குரிய குறிப்பான உடற்காப்பு மூலம் முறையே α, β ஆகும். இவைகள் திரட்சி வினையில் ஈடுபடுவதால் உடற்காப்பு ஊக்கி ஆக்ளுடினோஜன் எனவும் உடற்காப்பு மூலம் அக்ளுடினின் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. லான்ஸ்டீனர் விதியில் ஒரு குறிப்பிட்ட அக்ளுடினோஜன் சிவப்பணுவில் காணப்படும்போது அதற்குரிய உடற்காப்பு மூலம் இருக்காது என்று கூறப்பட்டுள்ளது. உடற்காப்பு ஊக்கி இருப்பதையும் இல்லாததையும் அடிப்படையாக வைத்து மனிதனின் இரத்தம் நான்கு பெரும் பிரிவுகளாக **A, B, AB** மற்றும் **O** என்று பிரிக்கப்படுகின்றது.

A இரத்த பிரிவு

நீங்கள் A இரத்தப் பிரிவைச் சேர்ந்தவராக இருக்கும் பொழுது உங்களின் இரத்த சிவப்பணு சவ்வின் புறப்பரப்பில் A உடற்காப்பு ஊக்கியும், பிளாஸ்மாவில் β உடற்காப்பு மூலமும் காணப்படும்.

B இரத்தப் பிரிவு

நீங்கள் B இரத்தப் பிரிவை சார்ந்தவராக இருந்தால் உங்கள் இரத்த சிவப்பணு சவ்வின் புறப்பரப்பில் B உடற்காப்பு ஊக்கியும், பிளாஸ்மாவில் α உடற்காப்பு மூலமும் காணப்படும்.

AB இரத்த பிரிவு

நீங்கள் AB இரத்தப் பிரிவை சார்ந்தவராக இருந்தால் உங்களிடம் இரத்த சிவப்பணு புறப்பரப்பில் A B உடற்காப்பு ஊக்கி காணப்படும் ஆனால் பிளாஸ்மாவில் உடற்காப்பு மூலங்கள் (α மற்றும் β) இருப்பதில்லை.

O இரத்தப் பிரிவு

நீங்கள் O இரத்தப் பிரிவைச் சேர்ந்தவராக இருக்கும்பொழுதில் உங்களிடம் A, B உடற்காப்பு ஊக்கிகள் சிவப்பணு சவ்வின் புறப்பரப்பில் காணப்படுவது இல்லை. ஆனால் α மற்றும் β ஆகிய இரு உடற்காப்பு மூலங்களும் பிளாஸ்மாவில் காணப்படுகின்றது.

ரீசஸ் வகைகள் (Rhesus Types)

இவை இரத்த பிரிவுகளைச் சேர்ந்த உடற்காப்பு ஊக்கியைப் போன்றே இரத்தச் சிவப்பணு செல்களின் சவ்வில் காணப்படும் மூலக்கூறுகள் ஆகும். இவை ரீசஸ் எனப்படும் குரங்கு வகைகளில் முதல் முறையாக கண்டறியப்பட்டதால் இந்த உடற்காப்பு ஊக்கி ரீசஸ் உடற்காப்பு ஊக்கி என்றும் Rh காரணி என்றும் அழைக்கிறார்கள். பெரும்பாலான மனிதர்கள் (Rh Factor) 'ரீசஸ் பாஸிடிவ்' எனக் கருதப்படுகின்றனர். ஏனென்றால் இவர்களிடம் இந்த ரீசஸ் உடற்காப்பு ஊக்கி அவர்களின் இரத்த சிவப்பணு சவ்வில் காணப்படுவதே காரணமாகும். பொதுவாக 20 பேரில் 3 மனிதர்களுக்கு இந்த ரீசஸ் உடற்காப்பு ஊக்கி இருப்பதில்லை. இவர்கள் ரீசஸ் நெகடிவ் பிரிவைச் சேர்ந்தவர்களாகும்.

எவ்வாறு இரத்தத்தின் பிரிவு பரிசோதித்து அறியப்படுகிறது ?

இரத்தப் பிரிவு A மற்றும் B வகை உடற்காப்பு ஊக்கிகளுக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலம் தனித்தனியாக எடுத்துக் கொள்ளப்பட்டு, அவற்றோடு அறியப்பட வேண்டிய இரத்தம் துளிகளாக சேர்க்கப்படுகிறது.

திரட்சியானது A உடற்காப்பு ஊக்கியோடு உடற்காப்பு மூலத்தை சேர்த்த திரவத்தில் உண்டானால் A பிரிவு இரத்தம் என்றும் இதே போன்ற திரட்சி B உடற்காப்பு ஊக்கியின் உடற்காப்பு மூலத்தில் சேர்த்தபோது ஏற்பட்டால் B இரத்த வகை என்கிறார்கள். A, B இரண்டுவகை உடற்காப்பு மூலத்தோடும் திரட்சி வினை நிகழ்ந்திருந்தால் அது AB பிரிவு என்றும், இரண்டிலும் வினை நிகழவில்லை என்றால் O பிரிவைச் சார்ந்தவர் என்றும் அறிகின்றனர்.

இதே போன்று Rh உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தை எடுத்துக் கொண்டு துளி இரத்தம் சேர்த்து அதில் திரட்சி உண்டாகி இருந்தால் Rh இருக்கிறது (Positive) என்றும் திரட்சி உண்டாகவில்லை என்றால் Rh (Negative) இல்லை என்றும் அழைக்கிறார்கள்.

‘A’ உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தோடு திரட்சி வினை– ‘A’ பிரிவு இரத்தம்

‘B’ உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தோடு திரட்சி வினை– ‘B’ பிரிவு இரத்தம்

‘A’ மற்றும் ‘B’ உடற்காப்பு ஊக்கிகளுக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலங்களோடு திரட்சி வினை – ‘AB’ பிரிவு இரத்தம்

‘A’ மற்றும் ‘B’ ஆகிய இருவகை உடற்காப்பு ஊக்கிகளுக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலங்களோடு திரட்சி வினைநிகழவில்லை ‘O’ பிரிவு இரத்தம்

Rh உடற்காப்புஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தோடு (A) இரத்தத்தில் திரட்சி வினை – Rh ஊக்கி இருக்கிறது (Positive) Rh உடற்காப்புஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தோடு (B) பிரிவு இரத்தத்தில் திரட்சி வினை இல்லை – Rh ஊக்கி இல்லை (Negative)

இரத்தத்தின் பிரிவும் கருத்தரித்த நிலையும்

கர்ப்பம் அடைந்த பெண்களுக்கு இரத்தப் பிரிவுகளைப் பற்றிய சோதனை மிக அவசியமான ஒன்றாகின்றது. தாயின் இரத்தமானது Rh நெகடிவாக இருந்து சிசுவின் இரத்தம் Rh பாஸிட்டிவாக (Rh பாஸிடிவ் தந்தையிடம் இருந்து பெறப்பட்டது), இருக்கும் போது சில பிரச்சனைகள் உருவாகின்றது. சிசுவின் இரத்தம் தாயின் உடலினுள் சில காரணங்களால் செல்ல நேரிட்டால் தாயின் உடலில் எதிர்ப்பாற்றல் வினைகள் தூண்டப்படுகிறது. தாயின் எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலம் Rh உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்குகின்றன. எப்பொழுது இந்த உடற்காப்பு மூலம் சிசுவின் உள் நுழைகின்றதோ, அப்போது சிசுவின் இரத்த சிவப்பணுக்கள் தாக்கப்படுகின்றன. இதனால் செயலாற்றல் பெற்ற இரத்த சிவப்பணுக்களின் எண்ணிக்கை சிசுவின் உடலில் குறையத் துவங்குகின்றன. இவற்றை ஈடு செய்ய செயலாற்றல் பெறாத முதிராத ப்ளாஸ்டு எனப்படும் உட்கரு கொண்ட சிவப்பணுக்கள் (சிவப்பணுவில் உட்கரு கிடையாது) இரத்தத்தில் தென்பட ஆரம்பிக்கின்றன. இதனையே எரித்ரோ பிளாஸ்டோசிஸ் பீடாலிஸ் என்கின்றனர் (எரித்ரோ = சிவப்பணு, பிளாஸ்டோ – உட்கரு கொண்ட, பீடாலிஸ் = சிசுவில் நடைபெறுகிறது). பொதுவாக, இதற்கு தகுந்த சிகிச்சை செய்து கொள்ளாவிடில், தாயின் முதல் கர்ப்பத்திற்குப் பிறகு எதிர்ப்பாற்றல் மண்டலம் தூண்டப்படுவதால், அதற்கு பின்வரும் கர்ப்ப நிலைகள் பிரச்சனைகளுக்குரியதாகின்றன. இத்தகு பாதிப்பிற்கு ஆளான சிசுக்கள், இரத்த சோகை, மஞ்சள் காமாலை மற்றும் மூளை வளர்ச்சியடையாத நிலைக்கு உட்படுத்தப்படுகிறார்கள்.

10.6.1.1 ABO இரத்தப் பிரிவுகளும் அவற்றைச் சார்ந்த உடற்காப்பு ஊக்கியும், இயற்கையில் உள்ள உடற்காப்புகளும் (Antigens and nutral antibodies of ABO blood groups)

ஐசோ ஆன்டிபாடிகள் (Iso Antibodies) எனப்படுபவை ஒரே இனத்தைச் சேர்ந்தவற்றில் காணப்படும் உடற்காப்பு மூலம். இத்தகு உடற்காப்பு மூலம் ஒருவரின் உடலில் உண்டாக்கப்பட்டு அதே இனத்தைச் சேர்ந்த மற்றொருவரில் உள்ள உடற்காப்பு ஊக்கியோடு வினைபுரிகின்றது. உதாரணமாக A உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிரான α வும், B உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிராக β (பீட்டா) வையும் கூறுலாம். இந்த இரு உடற்காப்பு மூலம் இவ்வகை ஐசோ ஆன்டிபாடிஸ் ஆகும்.

ஐசோ ஆண்டிஜன் (Iso Antigen) எனப்படும் உடற்காப்பு ஊக்கி அதே இனத்தைச் சார்ந்த மரபணு ஒற்றுமை இல்லாத (Genetically Differrent) ஒருவரின் உடலில் எதிர்ப்பாற்றல் வினைகளைத் தூண்டும் தன்மையையுடையது.

இயற்கையில் காணப்படும் உடற்காப்பு மூலங்கள்

மனிதர்கள் தம் இரத்தப் பிரிவு அல்லாத வேறு இரத்த பிரிவைச் சார்ந்த உடற்காப்பு ஊக்கிகளுக்கு எதிராக உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்கி கொண்டுள்ளனர். இத்தகு உடற்காப்பு மூலங்கள் இயற்கையிலேயே உண்டாக்கப்படுவதால் இயற்கையில் காணப்படும் உடற்காப்பு மூலம் என்றும் ஐசோ அக்ளுடினின் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. இவைகள் IgM, IgG மற்றும் IgA வகையை சார்ந்தவைகளாக உள்ளன. உடற்காப்பு மூலம் உருவாவது 3 மாத குழந்தையில் ஆரம்பித்து பருவமடைந்த நிலையில் (adult) உச்சநிலையை (Optimal Stage) அடைகிறது. பின் வயது அதிகரிக்க அதிகரிக்க இவை உருவாவது படிப்படியாக குறையத் துவங்குகின்றன. பொதுவாக B பிரிவைச் சார்ந்தவர்கள் A பிரிவைச் சார்ந்தவர்களை விட அதிகம் காணப்படுவதால் A உடற்காப்பு ஊக்கிக்கு எதிரான உடற்காப்பு மூலம் அதிகம் காணப்படுகிறது.

பயிற்சிகள்

I. சரியான விடையைத் தேர்ந்தெடு

a. T மற்றும் B ஞாபக செல்களின் செயல்கள் யாது ?

i) விழுங்குதல்

ii) இரண்டாவது நிலை எதிர்ப்பாற்றல் வினை அதிக அளவில் தூண்டப்படுகிறது

iii) முதல்நிலை எதிர்ப்பாற்றல் வினை

iv) உடற்காப்பு மூலம் உண்டாவது தடுக்கப்படுகிறது.

b. எந்த உடற்காப்பு மூலம் (இமினோகுளோபுளின்கள்) பிளாசண்டாவை கடந்து செல்கிறது.

i) IgA, ii) IgE, iii) IgM, iv) IgG

c. IgM மூலக்கூறில் காணப்படும் கனத்த சங்கிலி எது ?

i) δ ii) κ iii) μ iv) α

d. எயிட்ஸ் நோயில் மனித எதிர்ப்பாற்றலை குறைக்கும் வைரஸினால் பாதிக்கப்படும் செல் எது ?

i) மாஸ்ட் செல் ii) T உதவி செல்

iii) T வினை ஒடுக்க செல் iv) B ஞாபகச் செல்

e. ஹாப்டன்கள்

i) குறைந்த எடையுள்ள மூலக்கூறாக இருப்பதால் உடற்காப்பு மூலத்தை உருவாக்க இயலாது.

ii) அதிக எடையுள்ள மூலக்கூறுகளாக இருப்பதால் உடற்காப்பு மூலத்தை உண்டாக்குகின்றன.

iii) இணைக்கப்படும் புரதங்களுக்கு (Carrier) எதிராக உருவாகும் எதிர்ப்பாற்றல் புரதம்

iv) இவை நேரடியாக B செல்களைத் தூண்ட வல்லவை.

II. கோடிட்ட இடத்தை நிரப்புக.

a. மருத்துவமனைகளில் தங்கும்போது பெறப்படும் நோய் பாதிப்பு நிலையை _____ என்று கூறுகிறார்கள்.

b. புற்றுநோய் செல்களை இனங்கண்டு அவற்றை அழிக்கும் செல் _____

c. நச்சுத் தன்மை கொண்ட T செல்கள் வைரஸால் பாதிக்கப்பட்ட செல்களுக்குள் செலுத்தும் பொருள் _____ என்று அழைக்கப்படுகிறது.

d. அப்சோனைசேஷன் என்னும் வினையால் பாக்டீரியாக்களை மூடும் வினையாவது, காம்பளிமெண்டுகளின் _____ என்னும் பகுதியால் செய்யப்படுகிறது.

e. Fab எனப்படும் உடற்காப்பு மூலப் பகுதியின் வேலையானது _____ ஆகும்.

f. எரித்ரோ பளாஸ்டோசிஸ் பீடாலிஸ் என்னும் நிலை _____ உடற்காப்பு ஊக்கியால் ஏற்படுகிறது.

III. சரியா ? தவறா ?

(1) இயற்கை எதிர்ப்பாற்றலுக்குரிய செல்களும், பெறப்பட்ட எதிர்ப்பாற்றலுக்குரிய செல்களும் இணைந்து வினை புரிவதில்லை.

(2) லிம்போகைன்கள் என்னும் இடையீட்டான மூலக்கூறு T அழிக்கும் செல்லால் கட்டிகளை உருவாக்கும் செல்களை அழிப்பதற்காக வெளியிடப்படுகிறது.

(3) ஆப்சோனின்கள் விழுங்குதலை தடை செய்வதாகும்.

(4) பெறப்பட்ட எதிர்ப்பாற்றல் வினைகள் குறிப்பிட்டவைகளாக இல்லாது பொதுவாக உள்ளது.

(5) இன்டெர்பெரான்கள் நோயால் பாதிக்கப்படும்போது காய்ச்சல் உண்டாகக்கூடிய சூழ்நிலை உருவாகிறது.

IV. பொருத்துக

1.	ஒட்டிக்கொள்ளும் மூலக்கூறுகள்	–	உடற்காப்பு ஊக்கியை அழிக்கவல்ல செல்களால் வெளிப்படுத்தப்படுவது
2.	இரசாயன மூலக் கூறுகளால் ஈர்த்திழுக்கப்படுதல்	–	விழுங்கணுக்களைக் கவர்ந்திழுக்கின்றது.
3.	MHC-II	–	அழற்சியைக் குறிக்கின்றது
4.	குப்பர் செல்கள்	–	தந்துகி சுவர்களில் ஒதுங்க (Margination) உதவுகின்றது.
5.	பாரின்ஜைடிஸ்	–	வலைப் பின்னலோடு கூடிய எண்டோதிலியல் அமைப்பு

V. கீழ்க்கண்டவற்றிற்குச் சுருக்கமாக விடையளி.

1) MHC என்பது என்ன ? உடலில் அதன் பங்கு என்ன ?

2) உடற்காப்பு ஊக்கியை பக்குவப்படுத்தி அளிக்க வல்ல மூலக்கூறுகள் யாவை ? அவற்றின் வேலைகள் என்ன ?

3) லான்ட்ஸ்டீனரால் வரையறுத்துக் கூறப்படுவது யாது ?

4) செல்வழி எதிர்ப்பாற்றல் என்பது யாது ? அதில் பங்குபெறும் செல்கள் யாவை ?

5) உடற்காப்பு ஊக்கியின் திறனை தோற்றுவிக்கும் தன்மையைப் பாதிக்கும் காரணிகள் யாவை ?

செய்முறை

1. இரத்தம் சேகரித்தல்

நோக்கம்

இரத்தம் சேகரித்தல்.

இரத்தம்

எல்லா ஆய்வகங்களிலும், உடல் சம்பந்தப்பட்ட நோய்களைக் கண்டறிய, இரத்தம் ஒரு பொதுவான ஆய்வுப் பொருளாக கருதப்படுகிறது. இரத்தம் உடலிலிருந்து வெளியெடுக்கப்பட்ட சில நிமிடங்களிலேயே உறைந்து விடும். இரத்தம் சேகரிக்கும் போது இரத்தம் உறைதலைத் தடுக்கும் சில தடுப்பான்களை (Anticoagulant) உபயோகப்படுத்தினால் இரத்தம் உறைவது தவிர்க்கப்படும். இந்தத் தடுப்பான்களோடு சேகரிக்கப்படும் இரத்தம் 'முழு இரத்தம்' (Whole Blood) எனப்படும் இவ்வகையான இரத்தம் நோய் தடுப்பியல் (Immunology) சம்மந்தப்பட்ட ஆய்வுகளுக்காக பயன்படுத்தப்படுகிறது. இந்த தடுப்பான்கள் ஏதாவது ஒன்றைச் சேர்த்து சேகரிக்கப்படும் இரத்தம் மையவிலக்கு முறைக்கு உட்படுத்தப்பட்டால் மேலே தங்கும் திரவம் பிளாஸ்மா எனப்படும். தடுப்பான்கள் இல்லாமல் சேகரிக்கப்படும் இரத்தம் உறைந்த பிறகு மையவிலக்கு முறைக்கு உட்படுத்தப்பட்டால் மேலே தங்கும் திரவம் "சீரம்" (serum) எனப்படும். உறைந்த இரத்தம், இரத்த வகையை கண்டறியவும், இரத்த வங்கிகளின் (Blood Bank) ஆய்வகங்களுக்கும் தேவைப்படுகிறது. இருப்பினும் இரத்த தொகுதிகளை கண்டறிய எத்திலீன் டைஅமீன் டெட்ரா அசிடிக் அமிலம் (EDTA) (உறைதல் தடுப்பான்) சேர்க்கப்பட்ட இரத்தத்தை பயன்படுத்த முடியும்.

உறைதல் தடுப்பான்கள்

இவை உறைதலை தவிர்கின்றன. இரத்தம் உறைதலைத் தடுக்கும் தடுப்பான்களாக பின்வரும் வேதிப் பொருட்கள் உபயோகப்படுத்தப்படுகின்றன.

1. எத்திலின் டை அமின் டெட்ரா அசிடிக் அமிலம்
2. ஹெப்பாரின் (Heparin)
3. சோடியம் சிட்ரேட்
4. சோடியம் புளோரைடு
5. பொட்டாசியம் ஆக்ஸலேட் முதலியன

2. உயிர் வேதியியல் தயாரிப்புகள்

2.1 உருளைக் கிழங்கிலிருந்து ஸ்டார்ச் தயாரித்தல்

நோக்கம்

கொடுக்கப்பட்டுள்ள உருளைக் கிழங்கிலிருந்து ஸ்டார்ச் தயாரிப்பது.

தேவையான பொருட்கள்

1. பச்சை உருளைக் கிழங்குகள்
2. மெல்லிய மஸ்லின் துணி

செய்முறை

100 கிராம் பச்சை உருளைக் கிழங்குகளை எடுத்து சுத்தம் செய்து தோல் நீக்க வேண்டும். பிறகு சிறு சிறு துண்டுகளாக வெட்டி, துண்டுகளை மிக்ஸியில் போட்டு நன்றாக அரைக்க வேண்டும். அரைக்கும் போது போதிய அளவு நீர் சேர்த்துக் கொள்ளவேண்டும். அரைக்கப்பட்ட கலவையை ஒரு கண்ணாடி பீக்கரில் (Beaker) சேகரித்து எடுக்க வேண்டும். மேலே தங்கும் வழவழப்பான பொருளை நீக்கி விட்டு, மீதமுள்ள கலவையை இரண்டு மடிப்பாக உள்ள மஸ்லின் துணியால் வடிகட்ட வேண்டும். வடிகட்டிய கரைசலை அப்படியே ஒருமணி நேரம் வைக்க வேண்டும். மேலே உள்ள திரவத்தை நீக்கி விட்டு கீழே தங்கியுள்ள ஸ்டார்ச்சை மறுபடியும் நீர் கொண்டு சுத்தம் செய்ய வேண்டும். நீரை முழுவதுமாக நீக்கி விட்டு, காற்றில் உலர்த்த வேண்டும். பின்னர் ஸ்டார்ச்சின் எடையை துல்லியமாக அளக்க வேண்டும்.

கணக்கீடு

உருளைக் கிழங்கின் எடை	=	100 கி
ஸ்டார்ச்சின் எடை	=	X கி
ஃ100 கிராம் உருளைக் கிழங்கில் உள்ள ஸ்டாச்சின் எடை	=	X கி

முடிவு

கொடுக்கப்பட்ட உருளைக் கிழங்கில் உள்ள ஸ்டார்ச்சின் அளவு = _____ கி/100 கி.

2.2 பாலில் இருந்து கேசின் தயாரித்தல்

நோக்கம்

பாலில் இருந்து கேசின் தயாரிப்பது

தத்துவம்

கேசின் என்பது பாலில் உள்ள ஒரு முக்கியப் புரதமாகும். இது ஒரு லிட்டர் பாலில் 30 கி முதல் 40 கி வரை உள்ளது. இந்தப் புரதத்தில் பாஸ்பரஸ் அடங்கியுள்ளது. கேசினின் ஐசோ எலக்ட்ரிக் pH 4.8ல், கேசின் வீழ்படிவாக்கப்பட்டு பிரிக்கப்படுகிறது. கேசின் எத்தனால் மற்றும் ஈதர் ஆகிய கரிம திரவங்களில் கரையாத தன்மை கொண்டது. எனவே பிரித்தெடுக்கப்பட்ட கேசினில் உள்ள கொழுப்புப் பொருட்கள், இந்த திரவங்களைக் கொண்டு நீக்கப்படுகின்றன.

தேவையான பொருட்கள்

1. பால் – 100 மி.லி
2. சோடியம் அசிடேட் தாங்கல் கரைசல் 0.2M, pH 4.8
3. எத்தில் ஆல்கஹால் (Ethanol)
4. ஈதர்
5. மெல்லிய மஸ்லின் துணி

செய்முறை

100 மி.லி அளவு பாலை, 500 மி.லி கன அளவு கொண்ட பீக்கரில் எடுத்துக் கொண்டு அதனை 40°C ல் சூடு செய்ய வேண்டும். மற்றோரு பீக்கரில் 100 மி.லி அளவு அசிட்டேட் கரைசலை சூடு செய்ய வேண்டும். அசிட்டேட் கரைசலை மெதுவாக (சிறதுசிறிதாக) பாலில் சேர்த்து தொடர்ச்சியாக கலக்க வேண்டும். பீக்கரில் உள்ள கலவையின் pH ஐ அசிடேட் கரைசல் கொண்டு 4.8க்கு கொண்டு வரவேண்டும். இதனை pH பேப்பரை கொண்டும் சரிபார்க்கலாம். கலவையின் வெப்பநிலை அறையின் வெப்பநிலைக்கு வரும் வரை 10 நிமிடம் முதல் 15 நிமிடம் வரை அப்படியே வைக்க வேண்டும்.

பின்னர், கலவையை சுத்தமான மஸ்லின் துணியின் வழியாக வடிகட்ட வேண்டும். வீழ்படிவை நீரினால் சுத்தம் செய்து, மற்றொரு பீக்கரில் சேகரித்து வைத்துக் கொள்ள வேண்டும். அதில் 30 மி.லி எத்தனால் சேர்த்துக் கலக்க வேண்டும். கலவையை மறுபடியும் வடிகட்ட வேண்டும். இதுபோல எத்தனால் கொண்டு இரண்டு முறையும், ஈதர் கொண்டு ஒரு முறையும் வீழ்படிவை சுத்தம் செய்ய வேண்டும். பின்னர் கலவையை வடிகட்டிக் காகிதத்தில் பரப்பி காற்றில் உலர்த்த வேண்டும். நன்றாக உலர்த்தப்பட்ட கேசின் எடையை துல்லியமாக அளக்க வேண்டும்.

கணக்கீடு

எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட பாலின் கன அளவு	=	100 மி.லி
கேசினின் எடை அளவு	=	X கி
100 மி.லி. பாலில் உள்ள கேசினின் அளவு	=	X கி
சதவிகித அளவு = 100 x X / 100 கி	=	Y கி

முடிவு

கொடுக்கப்பட்ட 100 மி.லி பாலில் உள்ள கேசினின் (புரதத்தின்) அளவு = _____ Y கி.

3. ஒளிமின் நிறமானியில் அளவிடுதல்

3.1 ஒளிமின் நிறமானியில் புரதத்தின் அளவை கணக்கிடுதல் – பையூரட் முறை

நோக்கம்

கொடுக்கப்பட்ட பிளாஸ்மாவில் உள்ள புரதத்தின் அளவை ஒளிமின் நிறமானி கொண்டு கணக்கிடுதல்.

தத்துவம்

புரதத்தின் அடுத்தடுத்துள்ள இரண்டு பெப்டைடு பிணைப்புகள் காரத் தன்மையோடு கூடிய காப்பர் அயனிகளோடு வினை புரியும் போது ஊதா நிற கூட்டுச்சேர்மங்கள் உருவாகின்றன. இவற்றின் நிறச் செறிவை 540 நானோ மீட்டரில் கணக்கிடலாம். எல்லா புரதங்களும் பெப்டைடு பிணைப்புகளை கொண்டவை. ஆதலால், இந்த ஆய்வு புரதத்தை கணக்கிட மட்டுமே உபயோகப்படுத்தப்படுவதாகும்.

தேவையான வினைப் பொருட்கள்

1. பையூரட் ஸ்டாக் கரைசல்

45 கிராம் சோடியம் பொட்டாசியம் டார்டரேட்டை 0.2N திறன் கொண்ட, 400 மி.லி சோடியம் ஹைட்ராக்சைடில் கரைத்து, பின் 15 கி காப்பர் சல்பேட்டை சேர்க்க வேண்டும். காப்பர் கல்பேட் ஒன்றாக கரையும் வரையில் கலக்கவும், 5 கிராம் பொட்டாசியம் அயோடைடு உப்பு சேர்த்து 0.2N திறன் கொண்ட சோடியம் ஹைட்ராக்சைடு கரைசலைக் கொண்டு ஒரு லிட்டர் அளவிற்கு கொண்டு வரவேண்டும்.

2. உபயோகத்திற்கான பையூரட் கரைசல்

200 மி.லி பையூரட் ஸ்டாக் கரைசலை, ஒரு லிட்டருக்கு 5 கி பொட்டாசியம் அயோடைடைக் கொண்டுள்ள 0.2 N திறன் கொண்ட சோடியம் ஹைட்ராக்சைடு கரைசல் கொண்டு, ஒரு லிட்டர் அளவாக நீர்க்க வேண்டும்.

3. ஸ்டாக் புரதம் திட்டக் கரைசல்

1 கிராம் முட்டை ஆல்புமினை (egg albumin) மிகச் சரியாக எடை அறிந்து எடுக்க வேண்டும். பின்னர் அதை 100 மி.லி கன அளவு குடுவையில் சேர்த்து வாலை வடிநீரில் கரைக்கவும், குறிக்கப்பட்டுள்ள அளவு வரும் வரை வாலைவடி நீரால் நிரப்ப வேண்டும்.

புரதத்தின் செறிவு – 10 மி.கி / மி.லி.

4. உபயோகத்திற்கான திட்டக் கரைசல்

10 மி.லி ஸ்டாக் திட்டக் கரைசலை 100 மி.லி கன அளவு குடுவையில் எடுத்துக் கொண்டு அதில் குறிக்கப்பட்டுள்ள அளவு வரும் வரை வாலை வடிநீரால் நிரப்ப வேண்டும்.

புரதத்தின் செறிவு = 1 மி.கி / மி.லி.

செய்முறை

புரதத்தை அளவிடல்

5 சோதனைக் குழாய்களில் (S1-S5) 0.5 மி.லி முதல் 2.5 மி.லி வரை தனித்தனியாக, உபயோகத்திற்கான திட்டக் கரைசலை எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். இந்த கரைசல்களில் உள்ள புரதத்தின் செறிவு 0.5 மி.கி முதல் 2.5 மி.கி வரை இருக்கிறது மற்றும் இரண்டு சோதனைக் குழாய்களில் (T_1 & T_2) 0.1 மி.லி பிளாஸ்மாவை எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். வாலை வடிநீர் கொண்டு அனைத்து சோதனைக் குழாய்களில் உள்ள கரைசலின் கன அளவை 5 மி.லிக்கு கொண்டு வரவேண்டும். 5மிலி வாலை வடிநீர் ஒரு சோதனைக் குழாயில் எடுத்துக் கொண்டு சுழிக் கரைசலாக வைக்கப்படுகிறது.

பிறகு 3 மி.லி அளவு, உபயோகத்திற்கான பையூரட் கரைசலை அனைத்து ஆய்வுக் குழாய்களிலும் (சுழிக் கரைசல் உட்பட) சேர்த்து நன்றாக கலக்க வேண்டும். சோதனைக் குழாய்களை அப்படியே அறையின் வெப்ப நிலையில் 10 நிமிட நேரம் வைத்து கரைசலின் நிறச் செறிவை 540 நானோ மீட்டரில் அளக்க வேண்டும்.

X அச்சில் புரதத்தின் செறிவையும் Y அச்சில் ஒளிச்செறிவையும் குறித்து, ஒரு வரைபடத்தினை உருவாக்க வேண்டும். இதிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட பிளாஸ்மாவில் உள்ள புரதத்தின் அளவை கணக்கிட வேண்டும்.

புரதத்தை அளவிடுவதற்கான புரோட்டாகால் (Protocol)

வரிசை எண்	தேவையான வினைப் பொருட்கள்	சுழிக் கரைசல்	திட்டக்கரைசல்					பிளாஸ்மா	
			S1	S2	S3	S4	S5	T_1	T_2
1.	புரதத்தின் திட்டக் கரைசலின் கன அளவு (மி.லி)	-	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	-	-
2.	புரதத்தின் செறிவு (மி.கி)	-	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	-	-
3.	பிளாஸ்மாவின் கன அளவு (மி.கி)	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1
4.	வாலை வடிநீரின் கனஅளவு (மி.கி)	5	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	4.9	4.9
5.	பையூரட் காரணியின் கனஅளவு (மி.லி)	3	3	3	3	3	3	3	3
6.	மறைதிறன் (540 nm)								

வரைபடம்

வரைபடத்தில் காட்டியுள்ளபடி சோதனைக் குழாய்களின் T_1 & T_2 மறைதிறன் "A" என்றும் அதனுள் இருக்கும் புரதத்தின் செறிவு "B" என்றும் கொள்ளவும்.

கணக்கீடு

T_1 & T_2 தோதனைக் குழாய்களின் மறைதிறன் Aற்கு நிகராக உள்ள புரதத்தின் அளவு = B மி.கி.

0.1 மி.லி பிளாஸ்மாவில் உள்ள புரதத்தின் அளவு = B மி.கி.

100 மி.லி பிளாஸ்மாவில் உள்ள புரதத்தின் அளவு = $\frac{100 \times B}{0.1}$

= Z மி.கி. புரதம்

முடிவு

கொடுக்கப்பட்ட 100 மி.லி பிளாஸ்மாவில் உள்ள புரதத்தின் எடை = Z மி.கி.

3.2 குளுக்கோஸை அளவிடல் – ஆர்த்தோ டொலுடின் முறை

நோக்கம்

கொடுக்கப்பட்ட இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் அளவை கணக்கிடுதல்.

தத்துவம்

அசிட்டிக் அமிலத்தோடு கூடிய ஆர்த்தோ டொலுடின் கரைசல், குளுக்கோஸோடு வினைபுரிந்து நீலநிற விளைபொருளை உண்டாக்குகிறது. இவற்றின் நிறச் செறிவை 640nmல் ஒளி மின் நிறமானி கொண்டு அளக்கலாம். இவ்வாறு உருவாகும் சேர்மங்களின் நிறச்செறிவு இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் உண்மையான அளவாகும்.

தேவையான வினைப் பொருட்கள்

1. குளுக்கோஸ் ஸ்டாக் திட்டக் கரைசல்

100 மி.கி. குளுக்கோஸ் மிகச் சரியாக எடை அறிந்து, 100 மி.லி திட்டக் குடுவையில் வாலைவடிநீர்க் கொண்டு கரைக்க வேண்டும். பிறகு அதில் குறிப்பிட்டுள்ள அளவு வரும் வரை வாலை வடிநீரால் நிரப்ப வேண்டும்.

குளுக்கோஸின் செறிவு = 1 மி.கி. / மி.லி.

2. உபயோகத்திற்கான குளுக்கோஸ் திட்டக் கரைசல்

10 மி.லி. ஸ்டாக் திட்டக் கரைசலை 100 மி.லி. வாலை வடிநீரால் நிரப்ப வேண்டும்.

குளுக்கோஸின் செறிவு = 100 மைக்ரோ கிராம் (μg) / மி.லி.

3. ஆர்த்தோ டொலுடின் வினை பொருள்

12.5 கி தயோ யூரியாவையும், 12கி போரிக் அமிலத்தையும், 50 மி.லி வாலை வடிநீர் சேர்த்து மிதமான சூட்டில் கரைக்க வேண்டும். இதில் மீண்டும் காய்ச்சி வடித்த 75 மி.லி ஆர்த்தோ டொலுடின் திரவத்தையும் 375 மி.லி. அசிட்டிக் அமிலத்தையும் கலந்த கலவையை சேர்க்க வேண்டும். இந்தக் கரைசலை நன்கு கலந்து 500 மி.லி. அளவு குடுவையில் அசிட்டிக் அமிலத்தினால் நிரப்ப வேண்டும். இந்தக் கலவையை ஒரு நாள் முழுவதும் குரிர்சாதனப் பெட்டியில் 4°C வெப்பநிலையில் வைக்க வேண்டும்.

4. இரத்தத்தை பதனிடுதல் (Processing – Preparation of Blood Sample)

0.2 மி.லி. இரத்தத்தை ஒரு மைய விலக்கு சோதனைக் குழாயில் எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். இதில் 0.3 மி.லி. 10% சோடியம் டங்ஸ்டேட் கரைசல் 0.3 மி.லி. 2/3N கொண்ட கந்தக அமிலம் மற்றும் 3.2 மி.லி. வாலை வடிநீர் ஆகியவற்றை சேர்க்க வேண்டும். 10 நிமிடத்திற்குப் பின் கலவையை (3000 rpm) வேகத்தில் மைய விலக்குதல் விசைக்கு

(Centrifugation) உட்படுத்த வேண்டும். 1 மி.லி அளவு மேல் திரவத்தை (Supernatant) பிரித்தெடுத்து அதில் குளுக்கோஸ் அளவை கணக்கிட வேண்டும்.

செய்முறை

குளுக்கோஸின் அளவை அறிதல்

S_1 – S_5 என்று குறியிடப்பட்ட ஐந்து சோதனைக் குழாய்களில் 0.2 மி.லி – 1.0 மி.லி. குளுக்கோஸ் திட்டக் கரைசலை எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். இந்த சோதனைக் குழாய்களில் உள்ள குளுகோஸின் அளவு முறையே 20 மைக்ரோகிராம் முதல் 100 மைக்ரோ கிராம் வரையாகும். மேலும் இரண்டு சோதனைக் குழாய்களில் (T1 & T2) 1 மி.லி. மேல் திரவத்தை (பதப்படுத்திய இரத்தத்தில்) எடுத்துக் கொள்ள வேண்டும். S_1 – S_5 சோதனைக் குழாய்களில் உள்ள கலவையின் கன அளவை, வாலை வடிநீர் கொண்டு 1 மி.லி. அளவுக்கு கொண்டு வர வேண்டும். 1 மி.லி. வாலை வடிநீர் மட்டும் கொண்ட சோதனைக் குழாய் சுழிக் கரைசலுக்காக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

பிறகு அனைத்து சோதனைக் குழாய்களிலும் 4 மி.லி. ஆர்த்தோ டொலுடின் கரைசலைச் சேர்த்து 20 நிமிட நேரம் கொதிக்கும் நீர் கொண்ட பாத்திரத்தில் வைக்க வேண்டும். குளிர்ந்த பின், சோதனைக் குழாய்களில் உருவாகும் நீல நிறச் சேர்மங்களின் நிறச் செறிவை 640 nmல் ஒளிமின் நிறமானியில் அளக்க வேண்டும்.

திட்டக் குளுக்கோஸின் செறிவு (X அச்சு) மற்றும் ஒளிச் செறிவு (Y அச்சு) ஆகியவற்றைக் கொண்டு ஒரு வரைபடத்தை உருவாக்க வேண்டும். இந்த வரைபடத்தைக் கொண்டு இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் அளவு நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

குளுக்கோஸை அளவிடுவதற்கான புரோட்டோகால் (Protocol)

வரிசை எண்	தேவையான வினைப் பொருட்கள்	சுழிக் கரைசல்	திட்டக் கரைசல்					பிலாஸ்மா அல்லது பதப்படுத்தப்பட்ட இரத்தம்	
			S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	T_1	T_2
1.	குளுக்கோஸ் திட்டக் கரைசலின் கன அளவு (மி.லி)	-	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	-	-
2.	குளுக்கோஸின் செறிவு (மைக்ரோ கிராம்)	-	20	40	60	80	100	-	-
3.	பதப்படுத்தப்பட்ட இரத்தம் (அ) மேல் திரவம் (மி.லி)	-	-	-	-	-	-	1.0	1.0
4.	வாலை வடிநீரின் கனஅளவு (மி.லி)	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	-	-	-
5.	ஆர்த்தோ டொலுடின் கரைசலின் கனஅளவு (மி.லி)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
சோதனைக் குழாய்களின் கரைசல்கள் கொதிக்கும் நீரில் 20 நிமிடங்கள் வைக்கப்பட வேண்டும்									
6.	640nmல் ஒளிச்செறிவு								

வரைபடம்

வரைபடத்தில் காட்டப்பட்டுள்ள படி சோதனைக் குழாய்களின் T_1 & T_2 ஒளிச்செறிவு "A" என்றும் அதனுள் இருக்கும் குளுக்கோஸின் செறிவு "B" என்றும் கொள்ளவும்.

கணக்கீடு

T_1 & T_2 ஆகிய சோதனைக் குழாய்களில் மறைதிறன் Xற்கு நிகரான குளுக்கோஸின் செறிவு B மைக்ரோகிராம்.

1 மி.லி. பதப்படுத்தப்பட்ட இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் அளவு

= B மைக்ரோகிராம்

4 மி.லி பதப்படுத்தப்பட்ட இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் அளவு

= B x 4 = Z மைக்ரோகிராம்.

0.2 மி.லி. இரத்தத்தில் (Whole blood) உள்ள குளுகோஸின் செறிவு = Z மைக்ரோ கிராம்

$$= \frac{100 \times Z}{0.2}$$

(1 மி.கி. = 1000 மைக்ரோ கிராம்)

100 மி.லி. இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் செறிவு = C மி.கி.

100 மி.லி. இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் செறிவு C மி.கி.

முடிவு

கொடுக்கப்பட்ட 100 மி.லி. இரத்தத்தில் உள்ள குளுக்கோஸின் அளவு = _____ மி.கி.

4. கால்சியத்தின் அளவை அறிதல் – தரம் பார்த்தல் முறை

நோக்கம்

கொடுக்கப்பட்ட சீரத்தில் உள்ள கால்சியத்தின் செறிவை நிர்ணயித்தல்.

தத்துவம்

சீரத்தில் உள்ள கால்சியம், அம்மோனியம் ஆக்ஸலேட்டோடு வினைபுரிந்து கால்சியம் ஆக்ஸலேட்டாக வீழ்படிவாக்கப்படுகிறது. இந்த வீழ்படிவில் உள்ள குளோரைடு அயனிகள், அம்மோனியா கரைசலைக் கொண்டு நீக்கப்படுகின்றன. பின் கால்சியம் ஆக்ஸலேட் வீழ்படிவு 1N கொண்ட கந்தக அமிலத்தோடு வினைப்படுத்தப்படுகிறது. இதனால் உருவாகும் ஆக்ஸாலிக் அமிலம் திட்ட பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட் கரைசலால் தரம் பார்க்கப்படுகிறது. ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தின் செறிவு, சீரத்தில் உள்ள கால்சியம் செறிவுக்கு சமம்.

வினைப் பொருட்கள்

1. **4% அம்மோனியம் ஆக்ஸலேட் கரைசல்**

4கி அம்மோனியம் ஆக்ஸலேட் உப்பை 100 மி.லி வாலை வடிநீரில் கரைக்க வேண்டும்.

2. **2% அம்மோனியா திரவம்**

2 மி.லி. அம்மோனியா 100 மி.லி. கனஅளவுக்கு நீர் கொண்டு நீர்த்தல் செய்யப்படுகிறது.

3. **0.1N பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட் கரைசல்**

3.16 கி பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டை மிகச் சரியாக எடை அறிந்து வாலை வடிநீரில் கரைத்து, 1 லிட்டர் அளவுக்கு கொண்டு வர வேண்டும். இந்த கரைசலின் திறன் 0.1N.

4. **திட்ட ஆக்ஸாலிக் அமில கரைசல் : (0.1 N)**

630 மி.கி. ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தை மிகச்சரியாக எடை அறிந்து, 100 மி.லி கனஅளவு குடுவையில் இட்டு வாலை வடிநீர் சிறிதளவு சேர்த்து கரைக்க வேண்டும்.

5. 1N கந்தக அமிலம் (1 N Sulphuric acid)

செய்முறை

தரம் பார்த்தல் – I

பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டின் திறன் அறிதல்

10 மி.லி. 0.1 N ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தை ஒரு சுத்தமான கூம்புக் குடுவையில் எடுத்துக் கொண்டு, அதில் 10 மி.லி. 1 N கந்தக அமிலத்தை சேர்க்க வேண்டும். அந்த கலவையை 60^0C ற்கு சூடாக்க வேண்டும். பியூரெட்டை பொட்டாசியம் பர்மாங்கனேட்டினால் கழுவிய பின்பு அதே கரைசலால் நிரப்ப வேண்டும். சூடாக்கிய கூம்புக் குடுவையில் உள்ள கலவையை, பொட்டாசியம் பர்மாங்கனேட்டுடன் தரம் பார்க்க வேண்டும். நிலையான இளம் சிவப்பு நிறம் தோன்றுதல் தரம் பார்த்தலின் இறுதி நிலையாகும்.

பியூரெட்டில் உள்ள பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டின் கனஅளவை குறித்துக் கொள்ள வேண்டும். ஒத்த அளவீடு வரும் வரை தரம் பார்த்தலை தொடர்ந்து செய்ய வேண்டும்.

தரம் பார்த்தல் – II

கால்சியம் ஆக்ஸலேட் வீழ்ப்படிவை உருவாக்குதல்

2 மி.லி சீரத்தை ஒரு மைய விலக்குக் குழாயில் (Centrifuge tube) எடுத்துக் கொண்டு அதில் 1.0 மி.லி. 4% அம்மோனியம் ஆக்ஸலேட் கரைசல் மற்றும் 2 மி.லி. வாலைவடிநீர் சேர்த்து ஒன்றாக கலக்க வேண்டும். கலவை 4°C ல் 12 மணி நேரம் வைக்க வேண்டும். இதனால் இரத்தத்தில் உள்ள கால்சியம் முழுவதும் கால்சியம் ஆக்ஸலேட்டாக வீழ்படிவாக்கப்படுகிறது. மையவிலக்கு இயந்திரம் (centrifuge) மூலம் வீழ்படிவு பிரிக்கப்பட்டு, பிறகு 3 மி.லி அம்மோனியா திரவத்தைக் கொண்டு வீழ்படிவில் உள்ள குளோரைடு அயனிகள் நீக்கப்பட வேண்டும். 2% அம்மோனியா திரவத்தை மூன்று நான்கு முறைகள் உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. பிறகு மேல் திரவத்தை கவனமாக நீக்கி விட்டு கீழேயுள்ள வீழ்படிவவை 10 மி.லி. கந்தக அமிலத்தைச் (1.0N திறன்) சேர்த்து சூடாக்க வேண்டும். பின் திறனறிந்த பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டுடன் தரம் பார்க்க வேண்டும். நிலையான இளம் சிவப்பு நிறம் தோன்றுதல் தரம் பார்த்தலின் இறுதி நிலையாகும். ஒத்த அளவு வரும் வரை தரம் பார்த்தலை தொடர வேண்டும்.

10 மி.லி. 1N கந்தக அமிலம் சுழிக் கரைசலாக பயன்படுத்தப்பட்டு பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டிற்கு எதிராக தரம் பார்க்கப்படுகிறது.

தரம் பார்த்தல் – I

பொட்டாசியம் பர்மாங்கனேட்டின் திறனறிதல் திட்ட ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தை பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டிற்கு எதிராக தரம் பார்த்தல்.

வரிசை எண்	திட்ட ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தின் கன அளவு (மி.லி) V_1	பியூரேட் அளவுகள் (மி.லி)		பொட்டாசியம் பர்மாங்கனேட் கரைசலின் கனஅளவு V_2	நிலைக் காட்டி
		ஆரம்பம்	இறுதி		
1.	10	0	x	x	சுய நிலைக் காட்டி
2.	10	0	x		

கணக்கீடு

திட்ட ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தின் கனஅளவு V_1 = 10ml

திட்ட ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தின் திறன் N_1 = 0.1 N

பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டின் கனஅளவு V_2 = X ml

பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்டின் திறன் N_2 = ?

$$= \frac{V_1N_1/V_2}{10 \times 0.1} = N_2$$

$$= X = YN$$

தரம் பார்த்தல் – 2

கால்சியம் ஆக்ஸலேட்டிலிருந்து வெளிவிடப்பட்ட ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தை திறனறிந்த பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட் கரைசலுக்கு எதிராக தரம் பார்த்தல்.

வரிசை எண்	(சீரம்) ஆக்ஸாலிக் அமிலத்தின் கன அளவு (மி.லி) V_1	பியூரேட் அளவுகள் (மி.லி)		பொட்டாசியம் பர்மாங்கனேட் கரைசலின் கனஅளவு V_2	நிலைக் காட்டி
		ஆரம்பம்	இறுதி		
1.	(சீரம்) கால்சியம் ஆக்ஸலேட்டிலிருந்து வெளிவந்த ஆக்ஸாலிக் அமிலம் + 20 மி.லி. கந்தக அமிலம்	0	X_2	$(X_2 - X)\ X_1$ X_3	சுயநிலைக் காட்டி
2.	20 மி.லி. கந்தக அமிலம் சுழிக்கரைசல்	0	X_3		

கணக்கீடு

இரத்தத்தில் உள்ள கால்சியத்தின் அளவைக் கணக்கிட கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டை உபயோகப்படுத்தலாம்.

1 மி.லி, 0.1 N திறன் கொண்ட பொட்டாசியம் பொர்மாங்கனேட் கரைசல் 0.2 மி.கி. கால்சியத்திற்கு சமமானது.

∴ X_3 மி.லி. YN திறன் கொண்ட பொட்டாசியம் பெர்மாங்கனேட்

$$\frac{0.2 \times X3 \times Y}{1 \times 0.1} = \text{Y மி.கி. கால்சியம்}$$

2 மி.லி. சீரத்தில் உள்ள கால்சியத்தின் செறிவு = Y மி.கி.

∴100 மி.லி சீரத்தில் உள்ள கால்சியத்தின் செறிவு $= \dfrac{Y \times 100}{2.0}$

= A மி.கி. கால்சியம்

முடிவு

கொடுக்கப்பட்ட 100 மி.லி. சீரத்தில் உள்ள கால்சியத்தின் அளவு = A மி.கி

5. இரத்தத்தின் வகைகளை அறிதல்

நோக்கம்

கொடுக்கப்பட்ட இரத்தத்தின் வகையை கண்டுபிடித்தல்.

தத்துவம்

இந்த ஆய்வு சிவப்பணுக்களின் மேல் உள்ள ஆன்டிஜன்களும், அதற்குப் பொருத்தமான சீரத்தில் உள்ள ஆன்டிபாடிகளும் வினை புரிவதால் உண்டாகும் ஆன்ட்டிஜன் – ஆன்டிபாடி கூட்டுச் சேர்மங்களைப் பொருத்து அமைகிறது.

உபகரணங்களும் வினைப் பொருட்களும்

1. ஆன்டி A
2. ஆன்டி B
3. ஆன்டி D
4. சுத்தமான லான்செட்
5. வெள்ளை சலவைக் கல்லாலான படிகம் (tile)
6. கலக்குவதற்காக குச்சிகள்
7. ஆல்கஹால்

செயல்முறை

சுத்தமான ஒரு வெள்ளைப் படிகத்தை எடுத்து அதை நான்கு சதுர சம பாகங்களாக பென்சிலால் வரைந்து கோடிட வேண்டும். நான்கு பாகங்களிலும் A, B, C, D என்று பெயரிட வேண்டும்.

இரத்த வகை அறிவதற்காக வந்திருக்கும் நபரின் இடது கை நடுவிரலின் உச்சி பாகத்தை ஆல்கஹால் கொண்டு சுத்தம் செய்ய வேண்டும். பின்னர் அதிகப்படியான ஆல்கஹாலை சுத்தமான பஞ்சு கொண்டு துடைத்து எடுக்க வேண்டும்.

படிகத்தில் A என்று குறிக்கப்பட்ட பகுதியில் ஒருதுளி ஆன்டி A யையும், B என்று குறிக்கப்பட்ட பகுதியில் ஆன்டி Bயையும், D என்று குறிக்கப்பட்ட பகுதியில் ஆன்டி Dயையும் வைக்க வேண்டும். C பகுதி கண்டறியப்பட்ட இரத்த வகையை உறுதி செய்ய பயன்படுத்தப்படுகிறது. சுத்தம் செய்யப்பட்ட விரலின் நுனியில் லான்செட் கொண்டு சிறிய காயத்தை (Prick) உண்டாக்க வேண்டும். வெளிவரும் முதல் துளி இரத்தத்தை பஞ்சு கொண்டு துடைத்து எடுத்துவிட வேண்டும். அடுத்து வெளிவரும் இரத்தத் துளிகளை ஒவ்வொரு துளியாக A, B, D என்று குறிக்கப்பட்ட பகுதிகளில், ஏற்கனவே வைக்கப்பட்ட துளிகளுக்கு வெகு அருகாமையில் வைக்க வேண்டும். பின்னர் ஒவ்வொரு பகுதிக்கும் தனியாக குச்சிகளை பயன்படுத்தி இரண்டு துளிகளையும் நன்றாக கலக்க வேண்டும். அவ்வாறு கலக்கும் போது திரிதல் (Agglutination) உண்டாகிறதா என்பதை கவனிக்க வேண்டும்.

A பகுதியில் திரிதல் உண்டானால் இரத்தம் A வகையை சார்ந்ததாகும். B பகுதியில் திரிதல் உண்டானால் இரத்தம் B பிரிவைச் சார்ந்ததாகும். AB ஆகிய இரண்டு பகுதிகளிலும் திரிதல் உண்டானால் இரத்தம் AB பிரிவைச் சார்ந்ததாகும். A,B ஆகிய இரண்டு பகுதிகளிலும் திரிதல் உண்டாக வில்லை என்றால் இரத்தம் O பிரிவைச் சார்ந்ததாகும்.

D பகுதியில் உண்டாகும் திரிதல் இரத்தம் Rh+ பிரிவைச் சார்ந்ததாக காட்டுகிறது. D பகுதியில் திரிதல் உண்டாகவில்லையென்றால் இரத்தம் Rh- பிரிவைச் சார்ந்ததாகும்.

A பகுதியிலும் D பகுதியிலும் திரிதல் உண்டானால் இரத்தம் A+ பிரிவைச் சார்ந்ததாகும். B பகுதியிலும் D பகுதியிலும் உண்டாகும் திரிதல் இரத்தம் B+ சேர்ந்ததாகும்.

A, B, D ஆகிய மூன்று பகுதிகளிலும் உண்டாகும் திரிதல் இரத்தம் AB+ வகையைச் சார்ந்ததாக உணர்த்தும். A, B, D ஆகிய மூன்று பகுதிகளிலும் திரிதல் உண்டாகவில்லையென்றால் இரத்தம் O-வகையைச் சார்ந்ததாக தெரிவிக்கும். A பகுதியில் உடனடியாக திரிதல் ஏற்பட்டால் இரத்தம் A_1 வகையைச் சார்ந்ததாகும். திரிதல் சற்று நேரத்திற்குப் பிறகு ஏற்பட்டால் இரத்தம் A_2 வகையைச் சார்ந்ததாகும்.

கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ள அட்டவனையில் திரிதல் மற்றும் இரத்தப் பிரிவு வகைகள் பற்றிய விளக்கம் அளிக்கப்பட்டுள்ளது.

வரிசை எண்	ஆன்டிபாடி	திரிதல் உண்டாகிறதா ? இல்லையா ?	இரத்த வகை
1	ஆன்டி A ஆன்டி D	ஆம் ஆம்	A^+
2	ஆன்டி A ஆன்டி D	ஆம் இல்லை	A^-
3	ஆன்டி B ஆன்டி D	ஆம் ஆம்	B^+
4	ஆன்டி B ஆன்டி D	ஆம் இல்லை	B^-
5	ஆன்டிA & B ஆன்டி D	ஆம் ஆம்	AB^+
6	ஆன்டிA & B ஆன்டி D	ஆம் இல்லை	AB^-
7	ஆன்டிA & B ஆன்டி D	இல்லை ஆம்	O^+
8	ஆன்டி A & B ஆன்டி D	இல்லை இல்லை	O^-

முடிவு

கொடுக்கப்பட்ட இரத்தத்தின் வகை_____

பயிற்சிகள்

1. உருளைக்கிழங்கிலிருந்து ஸ்டார்ச்சை தயாரித்து அதன் அளவினை அறியவும்.
2. கொடுக்கப்பட்ட இரத்தத்திலுள்ள குளுக்கோஸின் அளவை கணக்கிடவும்.
3. கொடுக்கப்பட்டுள்ள மாதிரியில் உள்ள புரதத்தின் அளவினைக் கணக்கிடவும்.

மேற்கண்ட சோதனைகளின் முடிவுகளை உற்றுநோக்கல் பதிவேட்டில் குறிக்க வேண்டும்.

CHEMISTRY

HIGHER SECONDARY - SECOND YEAR

VOLUME - II

Untouchability is a sin
Untouchability is a crime
Untouchability is inhuman

TAMILNADU
TEXTBOOK CORPORATION
College Road, Chennai - 600 006

© Government of Tamilnadu
First Edition - 2005
Second Edition - 2006
Revised Edition - 2007

CHAIRPERSON & AUTHOR
Dr. V.BALASUBRAMANIAN
Professor of Chemistry (Retd.)
Presidency College, (Autonomous), Chennai - 600 005.

REVIEWERS
Dr. M.KRISHNAMURTHI
Professor of Chemistry
Presidency College (Autonomous) Chennai - 600 005.

Dr. R. ELANGOVAN
Joint Director, Sarva Shiksha Abhiyan
College Road, Chennai - 600 006.

Dr. M.KANDASWAMY
Professor and Head
Department of Inorganic Chemistry
University of Madras
Chennai - 600 025.

Dr. J.SANTHANALAKSHMI
Professor of Physical Chemistry
University of Madras
Chennai - 600 025.

Dr. CHARLES CHRISTOPHER KANAGAM
Professor of Chemistry
Presidency College (Autonomous)
Chennai - 600 005.

AUTHORS

Mr. S.MUTHUKUMARAN,
Lecturer in Chemistry
Academy of Maritime Education & Training,
BITS (Ranchi) Ext. Centre,
Kanathur-603 112.

Mr. V.JAISANKAR,
Lecturer in Chemistry
L.N.Government Arts College,
Ponneri - 601 204.

Mrs. S.MERLIN STEPHEN,
P.G.Teacher in Chemistry
CSI Bain Mat. Hr. Sec. School
Kilpauk, Chennai - 600 010.

Mrs. N.KALAVATHY,
P.G. Teacher in Chemistry,
J.G.G. Higher Secondary School
Virugambakkam, Chennai - 600 092.

Mrs. R.C.SARASWATHY,
P.G. Teacher in Chemistry,
Govt. Girls Higher Secondary School
Ashok Nagar, Chennai - 600 083.

Dr. V. NARAYANAN,
Lecturer in Inorganic Chemistry
University of Madras, Chennai - 600 025.

Dr. K. SATHYANARAYANAN,
P.G. Teacher in Chemistry,
Stanes Anglo Indian Hr. Sec. School,
Coimbatore - 18.

Price : Rs.

This book has been prepared by the Directorate of School Education on behalf of the Government of Tamilnadu.

This book has been printed on 60 G.S.M paper

Printed by Offset at :

PREFACE

Chemistry, a branch of science concerned with the properties, structures and composition of substances and their reactions with one another. Inorganic Chemistry studies the preparation, properties and reactions of all chemical elements and their compounds, except those of carbon. Organic Chemistry studies the reactions of carbon compounds, which are 100 times more numerous than nonorganic ones. It also studies an immense variety of molecules, including those of industrial compounds such as plastics, rubber, dyes, drugs and solvents. Physical Chemistry deals with the Physical properties of substances, such as their boiling and melting points.

The present book is included for the students of higher secondary second year. For convenience sake this text book of chemistry is published in two volumes. This text book is written after following the revised syllabus, keeping in view the expectations of the National Council of Educational Research & Training (NCERT). This book will provide an "inverted pyramid" model to gain knowledge in all branches of chemistry. The topics such as Atomic Structure - II, Periodic Classification - II, Solid State - II, Thermodynamics - II, Chemical equilibrium - II, Chemical Kinetics - II, Electrochemistry - I and II are designed in such a way that students should have a continuous access to these topics. Hence, the knowledge gained in higher secondary first year will help the students to have a continuous access to these topics. The knowledge gained in +1 will help the students to achieve excellence in the path of quest for chemical knowledge. Many problems are introduced in inorganic, physical and organic chemistry to enhance the quantitative aptitude of students. The quantitative aptitude will enable the students to understand the concepts well.

The importance of chemistry is well known. A knowledge of chemistry will help anybody to understand biology, natural processes, geochemical concepts, pharmaceutical and biochemical concepts. Hence this text book will enhance the image of the students in such a way that they can face any competitive examination in future. The problems in all branches of chemistry and many more mechanisms of organic chemical reactions will help the students to understand the chemical principles.

Much informations about nobel laureates are given. These informations is not part of the syllabus. However, such information will help the students to know a lot about the scientists.

The questions that are given at the end of every chapter can be taken only as model questions. A lot of self evaluation questions, like, choose the best answer, one or two sentence answer type and short answer types questions are given in all chapters. While preparing the examination, students should not restrict themselves, only to the questions and problems given in the self evaluation. They must be prepared to answer the questions and problems from the entire text.

Learning objectives may create an awareness to understand each chapter.

Sufficient reference books are suggested so as to enable the students to acquire more informations about the concept of chemistry.

Dr. V. BALASUBRAMANIAN
Chairperson
Syllabus Revision Committee (Chemistry)
& Higher Secondary Second Year Chemistry
Text Book Writing Committee

CONTENTS

UNIT NO.		PAGE NO.
	Physical Chemistry	
11	Chemical Kinetics II	1
12	Surface Chemistry	28
13	Electro Chemistry I	55
14	Electro Chemistry II	98
	Organic Chemistry	
15	Isomerism in Organic Chemistry	123
16	Hydroxy Derivatives	146
17	Ethers	215
18	Carbonyl Compounds	230
19	Carboxylic Acids	282
20	Organic Nitrogen Compounds	323
21	Biomolecules	371
22	Chemistry in Action	388

11. CHEMICAL KINETICS-II

LEARNING OBJECTIVES

- *To study about the order and rate of reactions. To derive the expression for rate constant of first and pseudo-first order reactions.*
- *To derive half life period and rate constant relations for n^{th} order reaction.*
- *To know the experimental methods of determination of order of reaction. Graphical method of determination of order and rate constant of a reaction is also to be studied.*
- *To learn about the effect of temperature on the rates and rate constants of reaction. To know about Arrhenius equation and Arrhenius parameters (E_a and A).*
- *To differentiate between simple and complex reactions. To learn about consecutive, opposing and parallel reactions.*

The knowledge of rate of chemical reactions is valuable to understand the chemistry and mechanism of reactions. The study of chemical kinetics includes the experimental determination of rate or speed of a reaction, the rate laws and the effects of temperature, pressure, concentration, catalyst on the rates of reaction. It is possible to deduce the mechanism of the reaction from the chemical kinetic data.

11.1 RATE AND ORDER OF A REACTION

For any reaction, the rate expression (or) the rate law equates the rate of the reaction to the product of its rate constant and the concentrations of the reactants raised to certain exponential powers. The rate law for a reaction and the power (exponent) of the concentration terms involved in it must be determined by experiment only.

In a general reaction, $a\text{A} + b\text{B} \longrightarrow$ products, the overall rate expression can be written as,

$$\text{rate} = k[A]^p [B]^q \quad \text{... (11.1)}$$

$$p = a \text{ or less than } a$$

$$q = b \text{ or less than } b$$

where k = rate constant of the reaction, p and q are the exponents or also known as the orders with respect to reactants A and B respectively.

Therefore the term order can be defined as the sum of the powers of the exponential powers to which each concentration term is raised in the experimentally determined rate law of a chemical reaction.

In the rate expression (11.1),

rate = $k[A]^p$, $[B]^q$, p and q are called the orders of the reaction with respect to reactants A and B respectively. The total order of the reaction, $n = p + q$. Order with respect to A only p and order with respect to B only is q.

It is found that the overall rate of a reaction, depends on the exponential powers to which each concentration term is raised in the rate law. For example, for a reaction with a rate law as rate = $k[A]^2$, when the concentration of A is doubled, the rate is increased by four times the initial rate. Thus, chemical reactions and the over all rates are classified and studied according to the magnitude of the order of their reactions.

Example

From the rate equations for the reactions given below determine the order with respect to the overall reaction

(i) $2HCrO_4^- + 6I^- + 14H^+ \longrightarrow 2Cr^{3+} + 3I_2 + 8H_2O$

$r = k\,[HCrO_4^-]\,[I^-]^2\,[H^+]^2 \quad \therefore$ Order = 1 + 2 + 2 = 5

(ii) $H_2O_2 + 2I^- + 2H^+ \longrightarrow I_2 + 2H_2O$

$r = k\,[H_2O_2]\,[I^-] \quad \therefore$ Order = 1 + 1 = 2

Characteristics of order of a reaction

(i) The magnitude of order of a reaction may be zero, or fractional or integral values. For an elementary reaction, its order is never fractional since it is a one step process.

(ii) Order of a reaction should be determined only by experiments. It cannot be predicted interms of stoichiometry of reactants and products.

(iii) Simple reactions possess low values of order like $n = 0,1,2$, Reactions with order greater than or equal to 3.0 are called complex reactions. Higher order reactions are rare.

(iv) Some reactions show fractional order depending on rate.

(v) Higher order reactions may be experimentally converted into simpler order (pseudo) reactions by using excess concentrations of one or more reactants.

11.2 Rate equation for first order reactions

The reactions in which, the overall rate of the reaction is proportional to the first power of concentration of one of the reactants only are called as first order reactions. Consider the reaction

$$A \xrightarrow{k_1} \text{products}$$

$$\text{Rate of reaction} = \frac{-d[A]}{dt} = k_1[A]^{1.0}$$

where k_1 is the rate constant of the first order reaction.

At the beginning of the reaction, time 't' = 0, let the concentration of A be 'a' mole.lit^{-1}. After the reaction has proceeded for some time 't', let the concentration of A that has reacted be x mole.lit^{-1}. The concentration of unreacted A remaining at time 't' will be $(a - x)$ mole.lit^{-1}. The rate of the reaction will be dx/dt. For a first order reaction,

$$\text{rate} = dx/dt = k_1 (a - x) \qquad \text{... (11.2.)}$$

upon integrating, equation 11.2 becomes,

$$\int \frac{dx}{(a-x)} = k_1 \int dt$$

which is, $-ln(a-x) = k_1 t + c$ ... (11.3)

c = integration constant

at time, $t = 0$, $x = 0$.

$\therefore$ in equation 11.3,

$-\ln(a-0) = k_1 \times 0 + C$

or $C = -\ln a$.

Substituting C value in equation 11.3

$$-\ln(a-x) = k_1 t - \ln a$$

Rearranging, $k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{a}{a-x}$

(or) $k_1 = \frac{2.303}{t} \log \frac{a}{a-x}$ ... (11.4)

Unit of k_1 is sec^{-1}.

This equation is known as the first order rate constant equation.

This equation can be used for determining the rate constant of a first order reaction based on the experimental data of (a) and ($a - x$) at different periods of time 't'. Sometimes, the following expression is also used.

$k_1 = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \log \frac{a - x_1}{a - x_2}$ where x_1 and x_2 are the amounts reacted in t_1 and t_2 periods of time.

Characteristics of first order reaction

(i) When the concentration of the reactant is increased by '*n*' times, the rate of reaction is also increased by n times. That is, if the concentration of the reactant is doubled, the rate is doubled.

(ii) The unit of rate constant of a first order reaction is sec^{-1} or $time^{-1}$.

$$k_1 = \frac{\text{rate}}{(a-x)} = \frac{\text{mol.lit}^{-1}\text{sec}^{-1}}{\text{mol.lit}^{-1}} = \text{sec}^{-1}$$

(iii) The time required to complete a definite fraction of reaction is independent of the initial concentration, of the reactant if $t_{1/u}$ is the time of one 'u'th fraction of reaction to take place then from equation 11.4,

$$x = \frac{a}{u} \quad \text{and} \quad t_{1/u} = \frac{2.303}{k_1} \log \frac{a}{a - \frac{a}{u}}$$

$$\therefore\ t_{1/u} = \frac{2.303}{k_1} \log \frac{u}{(u-1)}$$

since k_1 = rate constant, $t_{1/u}$ is independent of initial concentration 'a'.

Examples of first order reactions

1. All radioactive transformations follow first order kinetics. For example,

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + {}_{2}He^{4}$$

2. Decomposition of sulphuryl chloride in the gas phase proceed by first order kinetics.

$$SO_2Cl_{2(g)} \longrightarrow SO_{2(g)} + Cl_{2(g)}$$

3. Inversion of sucrose in acidic aqueous medium follows first order reaction.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fructose}}{C_6H_{12}O_6}$$

4. Decomposition of nitrogen pentoxide in CCl_4 medium also exhibits first order kinetics.

$$N_2O_5 \longrightarrow 2NO_2 + \frac{1}{2} O_2$$

There are many other reactions that proceed by first order kinetics. We shall study some of the reactions that are experimentally followed by first order kinetic expressions including the parameters that change with concentration of the reactants or products which change with time of progress of the reaction.

Let us consider some of the first order reactions in detail :

1. Decomposition of nitrogen pentoxide in CCl_4

$$N_2O_5 \xrightarrow{k_1} 2NO_2 + \frac{1}{2}O_2$$

At time $t = 0$, the volume of oxygen liberated is zero. Let V_t and V_∞ be the measured volumes of oxygen liberated after the reactant has reacted in 't' time and at completion ($t = \infty$). Initial concentration of N_2O_5 is proportional to total volume of oxygen liberated (i.e.,) (V_∞).

(V_∞-V_t) is proportional to undecomposed N_2O_5 at time 't'.

$$\therefore \quad k_1 = \frac{2.303}{t} \log \frac{V_\infty}{(V_\infty - V_t)} \sec^{-1}$$

Example : From the following data on N_2O_5 decomposition in CCl_4, at 298 K, show that the reaction is first order. Also evaluate the rate constant of the reaction.

time (min)	10	15	20	∞
Vol. of O_2 (cc)	6.3	8.95	11.4	34.75

The first order rate constant k_1 is given as,

$$k_1 = \frac{2.303}{t} \log \frac{V_\infty}{(V_\infty - V_t)} \sec^{-1}$$

V_∞ = 34.75 cc 1 min = 60 secs

$t_{(min)}$	$(V_\infty - V_t)$	$k_1 = \frac{2.303}{t \times 60} \log \frac{V_\infty}{V_o - V_t}$ sec^{-1}
10	28.45	$\frac{2.303}{10 \times 60} \log \frac{34.75}{28.45} = 2.079 \times 10^{-4}$ sec^{-1}
15	25.8	$\frac{2.303}{15 \times 60} \log \frac{34.75}{25.8} = 1.530 \times 10^{-4}$ sec^{-1}
20	23.35	$\frac{2.303}{20 \times 60} \log \frac{34.75}{23.35} = 1.267 \times 10^{-4}$ sec^{-1}
		Mean value = 1.6253×10^{-4} sec^{-1}

$k_1 = 1.625 \times 10^{-4}$ sec^{-1} is the rate constant of reaction. Since k_1 values are nearly constant at different timings, this is a first order reaction.

2. Decomposition of H_2O_2 in aqueous solution

$$H_2O_2 \xrightarrow{Pt} H_2O + \tfrac{1}{2}O_2$$

The decomposition of H_2O_2 in aqueous medium in the presence of Pt catalyst follows a first order reaction. The progress of the reaction is followed by titrating equal volumes of the reaction mixture at regular time intervals against standard $KMnO_4$ solution.

Since volume of $KMnO_4$ used in the titration is a measure of concentration of undecomposed H_2O_2, volume of $KMnO_4$ consumed at $t = 0$ is 'V_o' which proportional to 'a', the initial concentration of H_2O_2. V_t is proportional to unreacted H_2O_2 which is similarly $(a - x)$. Similarly $(V_o\text{-}V_t)$ is proportional to 'x', the concentration of H_2O_2 reacted in time interval 't'. V_t is the volume of $KMnO_4$ consumed after time 't' of the reaction.

$\therefore$ The first order rate constant 'k_1' of the reaction is,

$$k_1 = \frac{2.303}{t} \log \frac{V_o}{V_t} \text{ sec}^{-1}.$$

Example : From the following data, show that decomposition of H_2O_2 in aqueous solution follows a first order reaction. What is the value of the rate constant?

time (min)	0	10	20	30	40
vol of $KMnO_4$ (CC)	25	20	15.6	12.7	9.4

$time_{(min)}$	V_t	$k_1 = \frac{2.303}{t \times 60} \log \frac{V_o}{V_t}$ sec^{-1}
10	20	$\frac{2.303}{10 \times 60} \log \frac{25}{15.6} = 2.68 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$
20	15.6	$\frac{2.303}{20 \times 60} \log \frac{25}{15.6} = 1.72 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$
30	12.7	$\frac{2.303}{30 \times 60} \log \frac{25}{12.7} = 1.42 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$
40	9.4	$\frac{2.303}{40 \times 60} \log \frac{25}{9.4} = 1.43 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$

Mean value = $1.81 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$

Since all the k_1 are nearly constant. This is a first order reaction $k_1 = 1.81 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$.

Half life period '$t_{½}$'

Half life period, '$t_{½}$', of a reaction is defined as the time required to reduce the concentration of a reactant to one half of its initial value. $t_{½}$ values are calculated by using the integrated rate equation of any order of a reaction.

For first order reaction,

$$k_1 = \frac{2.303}{t} \log \frac{a}{a-x}$$

if amount reacted $x = \frac{a}{2}$ then $t = t_{½}$

$$\therefore \quad t_{½} = \frac{2.303}{k_1} \log \frac{a}{a - a/2}$$

$$t_{½} = \frac{2.303 \log 2.0}{k_1}$$

$$t_{½} = \frac{0.693}{k_1} \text{ secs.}$$

Thus half life period of a first order reaction is independent of the initial concentration of the reactant and also, inversely proportional to the rate constant of the reaction.

Example : Compound A reacts by first order kinetics. At 25°C, the rate constant of the reaction is 0.45 sec^{-1}. What is the half life of A at 25°C. What is the time required to have 12.5% unreacted A for first order reaction,

$$t_{½} = \frac{0.693}{k_1} = \frac{0.693}{0.45}$$

$$= 1.54 \text{ secs}$$

No. of $t_{½}$	**Amount unreacted from 100%**
1	50%
2	25%
3	12.5%

$\therefore$ Time of three half-life periods $= 3 \times 1.54$

$= 4.62$ secs

Example : Show that for a first order reaction time required for 99% completion is twice the time required for 90% completion of the reaction.

$$t_{99\%} = \frac{2.303}{k_1}\log\frac{100}{100-99} = \frac{2.303}{k_1}\log 100$$

$$t_{90\%} = \frac{2.303}{k_1}\log\frac{100}{100-90} = \frac{2.303}{k_1}\log 10$$

$$\frac{t_{99\%}}{t_{90\%}} = \frac{\log 100}{\log 10} = \frac{2.0}{1.0} = 2.0$$

$$\therefore\ t_{99\%} = 2.0\ t_{90\%}$$

Example : In the thermal decomposition of N_2O at 764°C, the time required to decompose half the reactant was 263 seconds, when the initial pressure was 290 mm of Hg and 212 seconds at an initial pressure of 360 mm of Hg. What is the order of this reaction ?

Solution : $\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{n-1}$

a_1 = 290 mm of Hg t_1 = 263 seconds

a_2 = 360 mm of Hg t_2 = 212 seconds

$$\frac{263}{212} = \left(\frac{360}{290}\right)^{n-1}$$

$$1.24 = (1.24)^{n-1}$$

$$n - 1 = 1$$

$$n = 1 + 1 = 2$$

Hence, the reaction is of second order.

Example : In a first-order reaction, it takes the reactant 40.5 minutes to be 25% decomposed. Find the rate constant of the reaction.

Solution : Since the reactant is 25% decomposed in 40.5 min, the remaining reactants is 75%, i.e. $(a - x) = 0.75$ a t 40.5 min.

$$k = \frac{2.303}{t}\log\frac{a}{a-x} = \frac{2.303}{40.5\,\text{min}}\log\frac{a}{0.75a}$$

$$= 0.05686 \log 1.33 \text{ min}^{-1}$$

$$= 0.05686 \times 0.1249 \text{ min}^{-1}$$

$$= 7.1 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

Example : Show that for a first order reaction, the time required for 99.9% completion of the reaction is 10 times that required for 50% completion.

$$t = \frac{2.303}{k}\log\frac{a}{a-x}$$

$$t_{99.9\%} = \frac{2.303}{k}\log\frac{100}{100-99.9}$$

$$= \frac{2.303}{k}\log_{10}\frac{100}{0.1}$$

$$= \frac{2.303}{k}\log_{10} 1000 \qquad \text{... (1)}$$

$$t_{(50\%)} = \frac{2.303}{k}\log_{10}\frac{100}{100-50}$$

$$= \frac{2.303}{k}\log_{10}\frac{100}{50}$$

$$= \frac{2.303}{k}\log_{10} 2 \qquad \text{... (2)}$$

$$\frac{(1)}{(2)} = \frac{t_{(99.9\%)}}{t_{(50\%)}} = \frac{\frac{2.303}{k}\log_{10}1000}{\frac{2.303}{k}\log_{10}2}$$

$$= \frac{3.000}{0.3010} = 10$$

Example : The rate constant for a first order reaction is $1.54\times10^{-3}sec^{-1}$. Calculate its half-life period.

$$t½ = \frac{0.693}{k}$$

$$= \frac{0.693}{1.54\times10^{-3}\,sec^{-1}} = 450 \text{ seconds.}$$

11.3 PSEUDO-FIRST ORDER REACTIONS

In a chemical reaction involving more than one reactant, the overall order of the reaction when experimentally determined by taking excess concentrations of all the reactants except any one of the reactant, will be found lower in magnitude than the overall order determined in presence of smaller concentrations of all the reactants. The altered and the reduced order of the reaction is called as the pseudo order of the reaction.

Thus in a second order reaction, when one of the reactants concentration is in excess (10 to 100 times) of the other reactant, then the reaction follows a first order kinetics and such a reaction is called pseudo-first order reaction. In a reaction of the type,

$$A + B = \xrightarrow{k_2} \text{products} \quad ... (11.5)$$

Rate = k_2 [A] [B] where k_2 is the rate constant of the second order reaction. If concentration of A is very large compared to concentration of B, then during the reaction amount of A consumed will be equal to the amount of B reacting with A. Since B concentration is smaller than that of

A, change in the concentration of A after the completion of reaction is assumed to be negligible. Hence concentration of A is considered to remain constant even after the completion of reaction. Hence equation 11.5 becomes,

$$\text{Rate}' = k_2'[B] \quad ... (11.6)$$

where Rate' = rate of the reaction with excess [A].

k_2' = pseudo first order rate constant

$= k_2 [A]$ = second order rate constant $\times$ concentration of A.

Thus rate of the pseudo first order reaction alters when concentration of B is altered, and shows a first order kinetics.

Determination of rate constant of acid catalysed hydrolysis of an ester

The hydrolysis reaction of an ester in pure water is a slow reaction and when a mineral acid like hydrochloric acid is added, the rate of the reaction is enhanced since the H^+ ions from the mineral acid acts as the catalyst. The acid catalysed hydrolysis of an ester follows pseudo first order kinetics. The reaction can be represented as :

$$\underset{\text{Methyl acetate}}{CH_3COOCH_3} + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3COOH + CH_3OH$$

The overall rate of the reaction depends on the concentrations of reactants and also on the catalyst concentration.

$$\text{Rate} = k_3 [\text{ester}] [H_2O] [H^+] \quad ... (11.7)$$

k_3 = rate constant of the third order reaction.

Therefore the true order of the reaction is 3.0. Since water is used as the solvent, its concentration is excess.

Weight of 1 lit (1000 cc) of water = 1000 gm = 1 kg

($\therefore$ density of water = 1 gm/cc)

$$\therefore \text{No. of moles of water in 1 lit} = \frac{1000}{18}$$

$$\therefore \text{Concentration of pure water} = 55.55 \text{ moles}$$

If 1 molar aqueous solution of ester is used then, 1 mole of water will be consumed for its complete hydrolysis. After the completion of hydrolysis, 55.55 – 1.0 = 54.55 moles water will be present in the medium. Therefore change in the concentration of water considered as negligible and concentration of water is assumed to be constant. Since acid acts the catalyst, there will be, no change in the catalyst concentration before initial and after the completion periods of times of the reactions. Hence $[H^+]$ is considered as a constant value. Hence the expression 11.7 can be rewritten as

Rate = k_3' [ester] where k_3' = pseudo first order rate constant = k_3 $[H^+]$ $[H_2O]$. In this rate expression rate of the reaction is directly proportional to ester concentration only.

Procedure

Initially to a definite volume of (100 ml) hydrochloric acid (0.5 N), 10 ml of ester is added and the start of the reaction corresponds to time of addition of ester. The rate of the reaction is followed by withdrawing a definite volume of the reaction mixture consisting of the ester and acid at various time intervals and arresting the further progress of reaction by adding ice. The whole cold mixture is titrated with standard NaOH (0.1 N) using phenolphthalein as the indicator.

Let the volume of alkali consumed at $t = 0$ be V_o cc which is equivalent to the amount of hydrochloric acid present in the definite volume of the reaction mixture drawn out at regular intervals of time. If V_t cc is the volume of alkali consumed for the same definite volume of the reaction mixture drawn out after reaction time 't', then $(V_t - V_o)$ cc is equivalent to the acetic acid produced by the hydrolysis of ester in time 't'. A final titration is done after about 8 hours or after refluxing the solution for 45 mins to complete the hydrolysis which is V_∞ cc. $(V_\infty - V_o)$ cc is equivalent to acetic acid produced from complete hydrolysis of ester.

Calculations

The initial concentration of ester = $a \propto (V_\infty - V_o)$ cc

Concentration of ester reacted at 't' = $x \propto (V_t - V_o)$ cc

$\therefore$ Concentration of ester remaining at time 't' = $(a - x) \propto (V_\infty - V_t)$

$$\therefore \frac{a}{(a-x)} = \frac{(V_\infty - V_o)}{(V_\infty - V_t)}$$

$\therefore$ The first order rate expression for the hydrolysis of ester can be written as

$$k = \frac{2.303}{t} \log_{10} \frac{(V_\infty - V_o)}{(V_\infty - V_t)}$$

By substituting V_t values for various '*t*' values, *k* is determined. These values are found to be constant indicating k as the rate constant of the reaction.

Example : A certain amount of methyl acetate was hydrolysed in the presence of excess of 0.05 M HCl at 25°C. 20 mL of reaction mixture were removed and titrated with NaOH solution, the volume V of alkali required for neutralisation after time '*t*' were as follows :

t (min)	0	20	40	60	∞
v (mL)	20.2	25.6	29.5	32.8	50.4

Show that the reaction is the first order reaction.

Solution : $k = \frac{2.303}{t} \log \frac{(V_\infty - V_o)}{(V_\infty - V_t)}$

$V_\infty - V_o = 50.4 - 20.2 = 30.2$

when t = 20 mts. $k = \frac{2.303}{20} \log \frac{50.4-20.2}{50.4-25.6}$

$= 0.1151 \log \frac{30.2}{24.8}$

$= 0.1151 \log 1.2479$

$= 0.1151 \times 0.0959 = 11.03 \times 10^{-3}\ \text{min}^{-1}$

when t = 40 mts

$$k = \frac{2.303}{40} \log \frac{50.4-20.2}{50.4-29.5}$$

$$= 0.0576 \times \log \frac{30.2}{20.9} = 0.0576 \times 0.1596$$

$$= 9.19 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

when t = 60 mts

$$k = \frac{2.303}{60} \log \frac{50.4-20.2}{50.4-32.8} = 0.03838 \times \log \frac{30.2}{17.6}$$

$$= 0.03838 \times 0.2343 = 8.99 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$$

The constant values of k show that the reaction is of first order.

11.4 TEMPERATURE DEPENDANCE OF RATE CONSTANT

It is a common observation that rates of reactions increase with increase in temperature of the reaction mixture. Keeping the concentration of the reactants constant, the rate is found to be two times its initial value, when measured at a temperature 10 K greater than the initial temperature. However, the exact value of the rate constant determined at various temperature is predicted by using Arrhenius equation. This expression is obeyed by most of the reactions. Arrhenius equation is given as

$$k = A\, e^{-Ea/RT}$$

where k = rate constant, E_a = activation energy, A = frequency factor, R = gas constant, T = temperature in Kelvin. If k_1 and k_2 are the rate constants measured at two different T_1 and T_2 temperatures respectively, then E_a can be determined as follows :

Arrhenius equation for two different temperatures T_1 and T_2 are :

$$\log k_1 = \log A - \frac{E_a}{2.303 R T_1} \quad \text{... (1)}$$

$$\log k_2 = \log A - \frac{E_a}{2.303 R T_2} \quad \text{... (2)}$$

where k_1 and k_2 are the rate constants at temperature T_1 and T_2 respectively.

(2) – (1)

$$\log k_2 - \log k_1 = -\frac{E_a}{2.303RT_2} + \frac{E_a}{2.303RT_1}$$

$$= -\frac{E_a}{2.303R}\left(\frac{T_1 - T_2}{T_1T_2}\right)$$

$$\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1T_2}\right)$$

If R = 1.987 cals.mol^{-1}, then unit of E_a is 10^{-3} k.cal.

Also, a plot of log *k* against 1/T values gives a straight line with slope value equals to $-E_a/2.303$ R and intercept value equals to log A. When E_a is a positive value, and if $T_2 > T_1$ then $k_2 > k_1$. That is, rate constant value at higher temperature is greater than rate constant value at lower temperature. Under such conditions, plot of log k against 1/T gives a negative slope straight line. From the slope of the straight line, E_a can be calculated.

Reactant molecules come into contact through collisions for transformation into product molecules. Since, not all collisions are successful in producing the product molecules, all colliding molecules must possess certain minimum energy called as the **threshold energy** which is needed to make the collisions effective and successful. The additional energy required

by the molecules to attain the threshold energy in addition to the energy of colliding molecules is called as activation energy 'E_a'. Thus, **activation energy = threshold energy - Energy of colliding molecules**. Generally, this E_a value is higher than the potential energies of reactants and products. Thus, E_a is considered as an energy barrier that must be crossed by the reactant molecules before getting converted to actual product molecules.

Potential energy diagram of a reaction. The molecular state present at the Ea position in the potential energy diagram, is considered as the intermediate product (or) the transition state. Thus Ea, is also the energy required to form the activated state or the intermediate, which is necessary to form the products. Ea is a characteristic value of a reaction. The rate, rate constant, and their temperature dependance are determined by the value of Ea. Higher the value of Ea, slower is the rate of the reaction.

Example : The following values for the first order rate constant were obtained for a certain reaction :

Temp (°C)	$k \times 10^{-5}$ sec^{-1}
25	3.46
35	13.50

Calculate the Arrhenius frequency factor and activation energy 'E_a'.

Solution : $\log \frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{2.303R}\left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\right)$

$k_1 = 3.46 \times 10^{-5}\ sec^{-1}$ $T_1 = 298K$

$k_2 = 1.35 \times 10^{-4}\ sec^{-1}$ $T_2 = 308\ K$

$$\log \frac{1.35\times10^{-4}}{3.46\times10^{-5}} = \frac{E_a}{2.303\times1.987}\left(\frac{308-298}{308\times298}\right)$$

$$E_a = \frac{2.303\times1.987\times308\times298}{10}\log\frac{1.35\times10^{-4}}{3.46\times10^{-5}}$$

$$= 2.4830 \text{ cals.}$$

$$\log k_1 = \frac{E_a}{2.303\times RT} + \log A$$

$$\log 3.46\times 10^{-5} = \frac{-24830}{2.303\times1.987\times298} + \log A$$

$$\therefore \log A = 13.7491$$

$$\therefore A = 5.611 \times 10^{13}\ sec^{-1}$$

Examples : The activation energy of a certain reaction is 100 KJ/mole what is the change in the rate constant of the reaction if the temperature is changed from 25°C to 35°C ? Let the rate constants at 25°C be k_1 and at 35°C be k_2 respectively.

$$\log \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{2.303R}\left[\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right]$$

$$\therefore \frac{k_1}{k_2} = \frac{100000\,J/mol}{2.303\times8.314\,JK^{-1}mol^{-1}}\left[\frac{1}{308}-\frac{1}{298}\right]$$

$$= -0.5745$$

$$\therefore \frac{k_1}{k_2} = \text{antilog}\ (-0.5745)$$

$$= 0.2664$$

$$k_2 = \frac{1}{0.2664} k_1 = 3.75 \text{ times } k_1.$$

$\therefore$ k_2, the rate constant at 35°C will be 3.75 times the rate constant at 25°C.

Example : Decomposition of ethyl bromide and propyl bromide follow first order kinetics, and have the same frequency factor 'A'. The rate constant for decomposition of ethylbromide at 390°C is same as that for propylbromide at 320°C. If the E_a of ethyl bromide reaction is 230 KJ/mole, what is the E_a of propylbromide reaction ?

For ethyl bromide decomposition at 390°C

$$\log k = \log A - \frac{230000}{2.303 \times 8.314 \times 663} \qquad \text{... (1)}$$

For propyl bromide decomposition at 320°C

$$\log k = \log A - \frac{E_a}{2.303 \times 8.314 \times 593} \qquad \text{... (2)}$$

equations (1) and (2) are equal.

$$\therefore \frac{230000}{2.303 \times 8.314 \times 663} = \frac{E_a}{2.303 \times 8.314 \times 593}$$

$$\therefore E_a = \frac{230000 \times 593}{663}$$

$$E_a = 205.7 \text{ kJ/mole.}$$

11.5 SIMPLE AND COMPLEX REACTIONS

A simple reaction takes place in a single step. Simple reactions are also known as elementary reactions. One step reactions are elementary reactions. In some reactions many side reactions occur along with the main reaction involving product formation.

Reactions which do not take place in a single step but take place in a sequence of a number of elementary steps are called as complex reactions.

Simple reactions	Complex reactions
1. Occurs in single step	Occurs in multi (or) many steps.
2. Overall order values are small. Total and pseudo order values lie between 0,1,2 and 3.	Overall order values are large and greater than 3.0. Sometimes fractional orders such as 1/2, 1/3, 3/2 etc. are seen.
3. No side reactions	Many side reactions are present.
4. Products are formed directly from the reactants	In some complex reactions products are not formed in steps directly involving the reactants.
5. Experimental rate constant values agree with the calculated values. Theories of reaction rates apply well on simple reactions.	Experimental overall rate constant values differ from the calculated values. Theories of reaction rates do not agree well on complex reactions.

Types of Complex reaction

(i) Consecutive reactions

The reactions in which the reactant forms an intermediate and the intermediate forms the product in one or many subsequent reactions are called as consecutive or sequential reactions. In such reactions the product is not formed directly from the reactant. Various steps in the consecutive reaction are shown as below :

$$A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$$

A = reactant ; B = intermediate ; C = product. Initially only the reactant A will be present. As the reaction starts, A produces an intermediate B through k_1 rate constant. As and when B is formed, it produces the product C through k_2 rate constant. After the completion of reaction only 'C' is present and concentrations of A and B will be zero.

Example of consecutive reactions

Saponification of a diester in presence of an alkali :

$$R'OOC-(CH_2)_n-COOR \xrightarrow{k_1} R'OOC-(CH_2)_n-COOH \xrightarrow{k_2} HOOC-(CH_2)_n-COOH$$

(ii) Parallel reactions

In these group of reactions, one or more reactants react simultaneously in two or more pathways to give two or more products. The parallel reactions are also called as side reactions.

$$A \xrightarrow{k_1} B$$
$$A \xrightarrow{k_2} C$$
$$A \xrightarrow{k_3} D$$

The reactant A reacts to give products B,C,D separately by following three different reaction pathways involving different k_1, k_2, k_3 rate constants respectively. Among the many side reactions, the reaction in which maximum yield of the product obtained is called as the main or major reaction while the other reactions are called as side or parallel reactions.

Examples of parallel reaction :

(i) Bromination of bromobenzene :

(ii) Dehydration of 2-methyl-2-butanol

(iii) Opposing reactions

In opposing reactions the products formed react back simultaneously to form the reactants. These reactions are also called as reversible reactions.

$$A + B \underset{k_r}{\overset{k_f}{\rightleftharpoons}} C + D,$$

Examples of opposing reactions

(i) Reaction between CO and NO_2 gases

$$CO_{(g)} + NO_{2(g)} \underset{k_r}{\overset{k_f}{\rightleftharpoons}} CO_{2(g)} + NO_{(g)}$$

(ii) Isomerisation of cyclopropane to propene

(iii) Dissociation of hydrogen iodide in gas phase

$$2HI_{(g)} \rightleftharpoons H_{2(g)} + I_{2(g)}$$

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. Hydrolysis of an ester by dilute HCl is an example for

   (a) second order reaction (b) zero order reaction
   (c) pseudo first order reaction (d) first order reaction

2. The unit of zero order rate constant is

   (a) litre mol^{-1} sec^{-1} (b) mol $litre^{-1}$ sec^{-1}
   (c) sec^{-1} (d) $litre^2$ sec^{-1}

3. The excess energy which a molecule must posses to become active is known as

   (a) kinetic energy (b) threshold energy
   (c) potential energy (d) activation energy

4. Arrhenius equation is

   (a) $k = Ae^{-1/RT}$ (b) $k = Ae^{-RT/Ea}$ (c) $k = Ae^{-Ea/RT}$ (d) $k = Ae^{Ea/RT}$

5. The term A in Arrhenius equation is called as

   (a) Probability factor (b) Activation of energy
   (c) Collision factor (d) Frequency factor

6. The sum of the powers of the concentration terms that occur in the rate equation is called

   (a) molecularity (b) order (c) rate (d) rate constant

7. Reactions in which the reacting molecules react in more than one way yielding different set of products are called

   (a) consecutive reactions (b) parallel reactions
   (c) opposing reactions (d) chain reactions

8. The half life period of a first order reaction is 10 minutes. Then its rate constant is

   (a) 6.93×10^2 min^{-1} (b) 0.693×10^{-2} min^{-1}
   (c) 6.932×10^{-2} min^{-1} (d) 69.3×10^{-1} min^{-1}

9. For a reaction : $aA \longrightarrow bB$, the rate of reaction is doubled when the concentration of A is increased by four times. The rate of reaction is equal to

(a) $k\,[A]^a$ (b) $k\,[A]^{1/2}$ (c) $k\,[A]^{1/a}$ (d) $k\,[A]$

10. $2N_2O_5 \longrightarrow 4NO_2 + O_2$, $\frac{d[N_2O_5]}{dt} = k_1[N_2O_5]$,

$\frac{d[NO_2]}{dt} = k_2[N_2O_5]$ and $\frac{d[O_2]}{dt} = k_3[N_2O_5]$, the relation between k_1, k_2 and k_3 is

(a) $2k_1 = 4k_2 = k_3$ (b) $k_1 = k_2 = k_3$
(c) $2k_1 = k_2 = 4k_3$ (d) $2k_1 = k_2 = k_3$

11. For a reaction, $E_a = 0$ and $k = 4.2 \times 10^5\ sec^{-1}$ at 300K, the value of k at 310K will be

(a) $4.2 \times 10^5\ sec^{-1}$ (b) $8.4 \times 10^5\ sec^{-1}$
(c) $8.4 \times 10^5\ sec^{-1}$ (d) unpredictable

(B) Answer in one or two sentences :

1. Define order of a reaction.
2. Derive the relationship between half-life period and rate constant for a first order reaction.
3. What is activation energy ?
4. What is meant by zero order reaction ? What is the rate constant of such a reaction ?
5. Write the Arrhenius equation and explain the terms.
6. Define half life period.
7. Give examples for first order reaction.
8. What are simple and complex reactions ?
9. Give examples for opposing reactions.

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Explain the experimental determination of rate constant of acid hydrolysis of methyl acetate.
2. Write an account of the Arrhenius equation for rates of chemical reactions.

3. Write notes on (i) consecutive reactions, (ii) parallel reactions and (iii) opposing reactions.
4. State the characteristics of order of reaction.
5. Explain the experimental determination of rate constant for decomposition of H_2O_2 is aqueous solution.

(D) Solve the problems :

1. The specific reaction rates of a chemical reaction are 2.45×10^{-5} sec^{-1} at 273 K and 16.2×10^{-4} sec^{-1} at 303 K. Calculate the activation energy. (**Ans.** 96.101 kJ/mole)
2. Rate constant of a first order reaction is 0.45 sec^{-1}, calculate its half life.
3. (a) What are zero order reactions? (**Ans.** 1.5 sec)
   (b) Give the units of first, third and zero order rate constants.
4. A first order reaction completes 25% of the reaction in 100 mins. What are the rate constant and half life values of the reaction? (**Ans.** $k = 2.8773 \times 10^{-3}$ min^{-1}, t½ = 240.85 mins)
5. If 30% of a first order reaction is completed in 12 mins, what percentage will be completed in 65.33 mins? (**Ans.**85.62%)
6. Show that for a first order reaction the time required for 99.9% completion is about 10 times its half life period.
7. The half life period of a first order reaction is 10 mins, what percentage of the reactant will remain after one hour? (**Ans.** 1.563%)
8. The initial rate of a first order reaction is 5.2×10^{-6} $mol.lit^{-1}.s^{-1}$ at 298 K. When the initial concentration of reactant is 2.6×10^{-3} $mol.lit^{-1}$, calculate the first order rate constant of the reaction at the same temperature. (**Ans.** 2×10^{-3} s^{-1})

SUMMARY :

- Order is defined as the exponential power of the concentration term in the experimentally determined rate expression :

$$\text{rate} = \text{rate constant } [A]^p [B]^q [C]^r.$$

$$\text{Total order} = p + q + r$$

- Units of k and $t_{½}$ depend on the order 'n'.

  Unit of k $= lit^{(n-1)}\ mole^{(1-n)}\ sec^{-1}$

  $t_{½} \propto (a)^{(1-n)}$.

- Experimental determination of the pseudo first order rate constant from the acid hydrolysis of ester is studied.
- Temperature dependance on the rate constant, Arrhenius equation and the parameters, their significances and determinations are also learnt.
- Determination of activation energy E_a value from the plot of log k against 1/T and the analysis of the potential energy diagram to know the significance of E_a are also learnt.
- Differences between simple and complex reactions are understood. Consecutive, parallel and opposing studied.

REFERENCES :

1. Basic Physical Chemistry, by Walter J. Moore
   Prentice Hall of India Pvt. Ltd.
2. Elements of Physical Chemistry, by P.W. Atkins
   Oxford University Press.
3. Physical Chemistry, by Castellan
   Macmillan India Ltd.

12. SURFACE CHEMISTRY

LEARNING OBJECTIVES

- *To study the adsorption, classification of adsorption and factors affecting adsorption.*
- *To study the catalysis and types of catalysis*
- *To learn the theories of catalysis*
- *To study the preparation and properties of colloids*
- *To understand about emulsions*

12.1 ADSORPTION

Adsorption is a surface phenomenon. It is observed at the surface of the solution. Adsorption is a phenomenon of concentration of substance on the surface of a liquid or solid.

"The condition in which concentration of a substance in the interfacial layers between two phases is greater than in the bulk of either phase, then the substance is said to be adsorbed at the interface and the phenomenon is known as adsorption".

The process of adsorption of gases by solids is a common phenomenon. The charcoal specially coconut charcoal has a great capacity of the adsorption of gases. Silica gel is also utilised for the adsorption of number of gases. The solid that takes up gas or vapour or solute from a given solution is called **adsorbent** and the solute or gas which is held to surface of solid is known as **adsorbate**.

Classification of adsorption of gases on solids

The adsorption of gases on solids has been divided in to two types based on the nature of forces holding the gas molecules to the solids.

1. Physical adsorption (or) Vander waal's adsorption
2. Chemical adsorption (or) chemisorption.

1. Physical adsorption

This adsorption is due to the operation of forces between solid surface and the adsorbate molecules that are similar to vander waal's forces between molecules. These forces are generally undirected and relatively non specific. Physical adsorption can also be defined as that type of adsorption where physical forces hold the gas molecules to the solids.

2. Chemical adsorption

Chemical adsorption is defined as a type of adsorption in which chemical bonds serve the function of holding gas molecules to the surface. It occurs due to the stronger binding forces, comparable with those leading to formation of chemical compounds. It is generally an irreversible process.

The main differences can be summarised as follows:-

Physical adsorption	Chemical adsorption
1. It is due to intermolecular Vander waal's force.	1. It is due to chemical bond formation.
2. Depends on the nature of gas. Easily liquefiable gases are adsorbed readily.	2. More specific than the physical adsorption.
3. Heat of adsorption is small.	3. Heat of adsorption is large.
4. Reversible.	4. Irreversible.
5. If occurs rapidly at low temperature and decreases with increase of temperature.	5. Increases with increase of temperature.
6. Increase of pressure increases adsorption.	6. Change of pressure has no effect.
7. Forms multimolecular layers on adsorbent surface.	7. Forms unimolecular layer

Factors affecting adsorption

The magnitude of gaseous adsorption depends upon the following factors:

i. Temperature

ii. Pressure

iii. Nature of the gas and

iv. Nature of the adsorbent.

Effect of temperature and pressure

Adsorption is invariably accompanied by evolution of heat. Therefore, in accordance with Le chatelier's principle, the magnitude of adsorption increases with decrease in temperature. Further, since adsorption of a gas leads to decrease of pressure, the magnitude of adsorption increases with increase in pressure. Thus, decrease of temperature and increase of pressure both tend to cause increase in the magnitude of adsorption of a gas on a solid.

Nature of the gas

It is observed that the more readily soluble and easily liquefiable gases such as ammonia, chlorine and sulphur dioxide are adsorbed more than the hydrogen, nitrogen and oxygen. The reason is that Vander waal's or intermolecular forces which are involved in adsorption are more predominant in the former than in the latter.

Nature of the adsorbent

Adsorption is a surface phenomenon. Therefore, the greater the surface area per unit mass of the adsorbent, the greater is its capacity for adsorption under the given conditions of temperature and pressure.

12.2 CATALYSIS

A catalyst is a substance which alters the speed of a chemical reaction without itself undergoing any chemical change and the phenomenon is known as catalysis.

Example,

$$2KClO_3 \xrightleftharpoons{MnO_2} 2KCl + 3O_2$$

In the above reaction, MnO_2 acts as a catalyst.

General characteristics of catalytic reactions

The following characteristics are generally common to most of the catalytic reactions.

1. The catalyst remains unchanged in mass and in chemical composition at the end of the reaction.
2. Only a small quantity of catalyst is generally needed.
3. A catalyst cannot initiate a reaction. The function of a catalyst is only to alter the speed of the reaction which is already occurring at a particular rate.
4. A catalyst does not alter the position of equilibrium in a reversible reaction.
5. The catalyst is generally specific in its action.

Types of catalytic reactions

Catalytic reactions are classified into two broad types;

1. Homogeneous catalysis
2. Heterogeneous catalysis

1. Homogeneous Catalysis

In these reactions, the reactants and catalyst remain in the same phase. The following are some of the examples of homogeneous catalysis.

i. Oxidation of SO_2 to SO_3 with oxygen in the presence of nitric oxide as the catalyst in the lead chamber process.

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \overset{NO_{(g)}}{\rightleftharpoons} 2SO_3$$

ii. Hydrolysis of methyl acetate is catalysed by H^+ ions furnished by hydrochloric acid.

$$CH_3\,COO\,CH_{3(l)} + H_2O_{(l)} \overset{HCl_{(l)}}{\rightleftharpoons} CH_3COOH + CH_3OH$$

2. Heterogeneous Catalysis

The catalytic process in which the reactants and the catalyst are in different phases is known as heterogeneous catalysis. Some of the examples of heterogeneous catalysis are given below.

i. Oxidation of SO_2 to SO_3 in the presence of Pt metal or V_2O_5 as catalyst in the contact process for the manufacture of sulphuric acid.

$$2SO_{2(g)} + O_{2(g)} \xrightarrow{Pt(s)} 2SO_3$$

The reactants are in gaseous phase while the catalyst is in solid phase.

ii. Combination between nitrogen and hydrogen to form ammonia in the presence of finely divided iron in Haber's process.

$$N_{2(g)} + 3H_{2(g)} \xrightarrow{Fe(s)} 2NH_3$$

The reactants are in gaseous phase while the catalyst is in solid phase.

Types of catalysts

The catalysts have been divided into different types according to their behaviour and pattern of action.

1. Positive catalyst

A catalyst which enhances the speed of the reaction is called positive catalyst and the phenomenon is known as positive catalysis. Various examples are given below :

i. Decomposition of H_2O_2 in presence of colloidal platinum

$$2H_2O_2 \xrightarrow{Pt} 2H_2O + O_2$$

ii. Decomposition of $KClO_3$ in presence of manganese dioxide.

$$2KClO_3 \xrightarrow[\Delta]{MnO_2} 2KCl + 3O_2$$

2. Negative Catalyst

There are certain substances which, when added to the reaction mixture, retard the reaction rate instead of increasing it. These are called negative catalysts or inhibitors and the phenomenon is known as negative catalysis. The examples are given below.

i. The oxidation of sodium sulphite by air is retarded by alcohol.

$$2\,Na_2SO_3 + O_2 \xrightarrow{\text{Alcohol}} 2\,Na_2SO_4$$

ii. The decomposition of hydrogen peroxide decreases in presence of glycerine.

$$2\,H_2O_2 \xrightarrow{\text{Glycerine}} 2\,H_2O + O_2$$

3. Auto catalyst

In certain reactions, it is observed that one of the products formed during the reaction acts as a catalyst for that reaction. Such type of catalyst is called auto catalyst and the phenomenon is known as auto catalysis.

In the oxidation of oxalic acid by potassium permanganate, one of the products $MnSO_4$ acts as a auto-catalyst because it increases the speed of the reaction.

$$5\begin{matrix}COOH\\|\\COOH\end{matrix} + 2\,KMnO_4 + 3\,H_2SO_4 \longrightarrow 2\,MnSO_4 + K_2SO_4 + 10\,CO_2 + 8H_2O$$

4. Induced Catalyst

When one reactant influences the rate of other reaction, which does not occur under ordinary conditions, the phenomenon is known as induced catalysis.

Sodium arsenite solution is not oxidised by air. If, however, air is passed through a mixture of the solution of sodium arsenite and sodium sulphite, both of them undergo simultaneous oxidation. Thus sulphite has induced the arsenite and hence is called induced catalyst.

Promoters

The activity of a catalyst can be increased by addition of a small quantity of a second material. A substance which, though itself not a catalyst, promotes the activity of a catalyst is called a promoter. Some examples of the promoters are given below.

i. In the Haber's process for the synthesis of ammonia, traces of molybdenum increase the activity of finely divided iron which acts as a catalyst.

$$N_2 + 3\,H_2 \underset{+\,Mo}{\overset{Fe}{\rightleftharpoons}} 2\,NH_3$$

Catalytic Poisons

A substance which destroys the activity of the catalyst is called a poison and the process is called catalytic poisoning. Some of the examples are

(i) The platinum catalyst used in the oxidation of SO_2 in contact process is poisoned by arsenious oxide.

$$SO_2 + O_2 \underset{\text{Poisoned by } As_2O_3}{\overset{Pt}{\rightleftharpoons}} 2\,SO_3$$

(ii) The iron catalyst used in the synthesis of ammonia in Haber process is poisoned by H_2S

$$N_2 + 3\,H_2 \underset{\text{Poisoned by } H_2S}{\overset{Fe}{\rightleftharpoons}} 2\,NH_3$$

Active Centres

The catalytic surface has unbalanced chemical bonds on it. The reactant gaseous molecules are adsorbed on the surface by these free bonds. This

accelerates the rate of the reaction. The distribution of free bonds on the catalytic surface is not uniform. These are crowded at the peaks, cracks and corners of the catalyst. The catalytic activity due to adsorption of reacting molecules is maximum at these spots. These are, therefore, referred to as the active centres. If a catalyst has more active centres, then its catalytic activity is increased.

12.3 THEORIES OF CATALYSIS

There are two main theories to explain catalysis.

1. Intermediate compound formation theory

2. Adsorption theory

In general, the intermediate compound formation theory applies to homogeneous catalytic reactions and the adsorption theory applies to heterogeneous catalytic reactions.

The Intermediate Compound Formation Theory

According to this theory, the catalyst first forms an intermediate compound with one of the reactants. The compound is formed with less energy consumption than needed for the actual reaction. The intermediate compound being unstable combines with other reactant to form the desired product and the catalyst is regenerated.

For example, a reaction of the type

$$A + B \xrightarrow{C} AB$$

which occurs in presence of a catalyst C, may take place as

$$A + \underset{\text{Catalyst}}{C} \longrightarrow \underset{\text{Intermediate compound}}{AC}$$

$$AC + B \longrightarrow \underset{\text{Product}}{AB} + \underset{\text{Catalyst}}{C}$$

Many catalytic reactions can be explained on the basis of this theory.

The catalytic oxidation of SO_2 to SO_3 in the lead chamber process probably takes place as;

$$\underset{\text{Catalyst}}{2\,NO} + O_2 \longrightarrow \underset{\text{Intermediate compound}}{2NO_2}$$

$$NO_2 + SO_2 \longrightarrow \underset{\text{Product}}{SO_3} + \underset{\text{Catalyst}}{NO}$$

Adsorption Theory

This theory explains the mechanism of heterogeneous catalysis. Here, the catalyst functions by adsorption of the reacting molecules on its surface.

Fig. 12.1 Adsorption

In general, there are four steps involved in the heterogeneous catalysis.

$$A_{(g)} + B_{(g)} \xrightarrow{\text{Catalyst}} C_{(g)} + D_{(g)}$$

Step - 1. Adsorption of reactant molecules

The reactant molecules A and B strike the surface of the catalyst. They are held up at the surface by weak vanderwaal's forces or by partial chemical bonds.

Step - 2. Formation of Activated complex

The particles of the reactants adjacent to one another join to form an intermediate complex (A-B). The activated complex is unstable.

Step - 3. Decomposition of Activated complex

The activated complex breaks to form the products C and D. The separated particles of the products hold to the catalyst surface by partial chemical bonds.

Step - 4. Desorption of Products

The particles of the products are desorbed or released from the surface.

Applications of catalysis

The applications of catalysis are summarised as follows.

Process	Catalyst
1. Haber's process for the manufacture of ammonia.	Finely divided iron. Molybdenum as promoter.
2. Ostwald's process for the manufacture of nitric acid.	Platinished asbestos
3. Lead chamber process for the manufacture of sulphuric acid.	Nitric oxide.
4. Contact process for the manufacture of sulphuric acid.	Platinised asbestos or vanadium pentoxide (V_2O_5).
5. Deacon's process for the manufacture of chlorine.	Cupric chloride ($CuCl_2$)
6. Bosch's process for the manufacture of hydrogen.	Ferric oxide (Fe_2O_3). Chromic oxide as a promoter.
7. Hydrogenation of vegetable oils Oil + $H_2 \rightarrow$ Vanaspati ghee	Nickel (finely divided).
8. Bergius process for the synthesis of petrol from coal.	Ferric oxide (Fe_2O_3)

12.4 COLLOIDS

Thomas Graham, in 1861, during his work on diffusion, found that while certain substances, such as sugars, salts, acids and bases diffused readily through a parchment membrane, others, such as gelatin, albumen and glue, diffused at a very slow rate. The substances belonging to the former category

which generally exist in crystalline state, were called crystalloids while the substances belonging to the second category were given the name colloids. These observations led to the development of a new branch known as colloidal science.

In a true solution as sugar or salt in water, the solute particles are dispersed in the solvent as single molecules or ions. Thus the diameter of the dispersed particles ranges from 1A° to 10A°. On the other hand, in a suspension as sand stirred into water, the dispersed particles are aggregates of millions of molecules. The diameter of these particles is of the order of 2000A° or more. The colloidal solutions are intermediate between true solutions and suspensions. When the diameter of the particles of a substance dispersed in a solvent ranges from about 10A° to 2000A°, the system is termed a colloidal solution.

Types of Colloids

A colloidal system is made up of two phases. The substance distributed as the colloidal particles is called the **dispersed phase.** The second continuous phase in which the colloidal particles are dispersed is called the **dispersion medium.** Depending upon the physical state of dispersed phase and dispersion medium, the following types of colloidal solutions are possible.

Dispersed phase	Dispersion medium	Name	Examples
Solid	Solid	Solid-sol	Ruby glass, alloys
Solid	Liquid	Sol	paint, ink
Solid	Gas	Aerosol	Smoke, haze
Liquid	Solid	Gel	Curd, cheese
Liquid	Liquid	Emulsion	Milk, Cream
Liquid	Gas	Liquid Aerosol	Cloud, mist
Gas	Solid	Solid form	Cork, pumice stone
Gas	Liquid	Foam	Froths of air

A colloidal solution of gas in gas is not possible as gases are completely miscible and always form true solutions.

Lyophobic and Lyophilic Colloids

Colloidal solutions in which the dispersed phase has very little affinity for the dispersion medium are termed as lyophobic (solvent hating) colloids. Colloidal solutions of metals which have negligible affinity for solvents and sulphur in water are examples of this type.

Colloidal solutions in which the dispersed phase has considerable affinity for the dispersion medium are called lyophilic (solvent loving) colloids. Gelatin, protein and starch are examples of this type.

12.5 PREPARATION OF COLLOIDS

1. **Preparation of lyophilic sols:** The colloidal solutions of lyophilic colloids like starch, glue, gelatin etc., can be readily prepared by dissolving these substances in water either in cold or on warming.
2. **Preparation of lyophobic sols :** Lyophobic sols are prepared by special methods. These methods fall into two categories.

i. Dispersion methods: By splitting coarse aggregates of a substance into a colloidal size.

ii. Condensation methods: By aggregating very small particles into the colloidal particles.

Dispersion method	Condensation methods
1. Mechanical dispersion	1. Exchange of solvents
2. Electro-dispersion	2. Change of physical state
3. Ultrasonic dispersion	3. Chemical methods
4. Peptization	i. Double decomposition
	ii. Oxidation
	iii. Reduction
	iv. Hydrolysis

Dispersion Methods

1. Mechanical dispersion using colloidal mill

The solid along with the liquid is fed into a colloidal mill. The colloidal mill consists of two steel plates nearly touching each other and rotating in opposite directions with high speed. The solid particles are ground down to colloidal size and then dispersed in the liquid. Colloidal graphite and printing inks are made by this method.

Fig. 12.2 Colloid mill

2. Electro-dispersion method: (Bredig's Arc Method)

This method is suitable for the preparation of colloidal solution of metals like gold, silver, platinum etc. An arc is struck between the metal electrodes under the surface of water containing some stabilising agent such as trace of alkali. The water is cooled by immersing the container in a cold bath. The intense heat of the arc vapourises some of the metal which condenses under cold water.

Fig. 12.3 Electro-dispersion

3. Ultra-sonic dispersion :

The sound waves of high frequency are usually called ultra-sonic waves. Ultrasonic waves are passed through the solution containing larger particles. They break down to form colloidal solution.

4. Peptisation :

The dispersion of a precipitated material into colloidal solution by the action of an electrolyte in solution is termed as peptisation. The electrolyte used is called a peptizing agent.

A few examples are

i. Silver chloride can be converted into a sol by adding hydrochloric acid

ii. Ferric hydroxide yields a sol by adding ferric chloride

II. Condensation methods

1. By exchange of solvent

If a solution of sulphur or phosphorus in alcohol is poured into water, a colloidal solution of sulphur or phosphorus is obtained due to low solubility in water.

2. By change of physical state

Colloidal solutions of certain elements such as mercury and sulphur are obtained by passing their vapour through cold water containing a stabiliser.

3. Chemical Methods

The chemical methods involve chemical reaction in a medium in which the dispersed phase is sparingly soluble. Some of the methods are

(i) **Double decomposition**: An Arsenic sulphide sol is prepared by passing a slow stream of hydrogen sulphide gas through a cold solution of arsenious oxide. This is continued till the yellow colour of the sol attains maximum intensity.

$$As_2O_3 + 3\,H_2S \longrightarrow \underset{\text{Yellow}}{As_2S_3} + 3\,H_2O$$

Excess hydrogen sulphide is removed by passing in a stream of hydrogen

(ii) **Oxidation :** A colloidal solution of sulphur is obtained by passing H_2S into a solution of sulphur dioxide.

$$2H_2S + SO_2 \longrightarrow 2H_2O + 3\,S$$

(iii) **Reduction:** Silver sols and gold sols can be obtained by treating dilute solution of silver nitrate or gold chloride with organic reducing agents like tannic acid or formaldehyde.

$$AgNO_3 + \text{tannic acid} \longrightarrow \text{Ag Sol}$$

$$AuCl_3 + \text{tannic acid} \longrightarrow \text{Au Sol}$$

(iv) **Hydrolysis:** Colloidal solutions of the hydroxides of Fe, Cr, Al etc can be prepared by hydrolysis of their salts. A colloidal solution of ferric hydroxide is obtained by boiling a dilute solution of ferric chloride.

$$FeCl_3 + 3H_2O \longrightarrow \underset{\text{red sol}}{Fe(OH)_3} + 3HCl$$

PURIFICATION OF SOLS

In the methods of preparation stated above, the resulting sol frequently contains besides colloidal particles appreciable amounts of electrolytes. To obtain the pure sol, these electrolytes have to be removed. This purification of sols can be accomplished by three methods:

(a) Dialysis

(b) Electrodialysis and

(c) Ultrafiltration

Dialysis

Animal membranes (bladder) or those made of parchment paper and cellophane sheet, have very fine pores. These pores permit ions (or small molecules) to pass through but not the large colloidal particles.

Fig. 12.4 Dialysis of a sol containing ions and molecule

When a sol containing dissolved ions (electrolyte) or molecules is placed in a bag of semipermeable membrane dipping in pure water, the ions diffuse through the membrane. By using a continuous flow of fresh water, the concentration of the electrolyte outside the membrane tends to be zero. Thus diffusion of the ions into pure water remains brisk all the time. In this way, practically all the electrolyte present in the sol can be removed easily. The process of removing ions (or molecules) from a sol by diffusion through a permeable membrane is called **Dialysis**. The apparatus used for dialysis is called a **Dialyser.**

Electrodialysis

In this process, dialysis is carried under the influence of electric field. Potential is applied between the metal screens supporting the membranes. This speeds up the migration of ions to the opposite electrode. Hence dialysis is greatly accelerated. Evidently electrodialysis is not meant for non-electrolyte impurities like sugar and urea.

Fig. 12.5 Electrodialysis

Ultrafiltration

Sols pass through an ordinary filter paper. Its pores are too large to retain the colloidal particles. However, if the filter paper is impregnated with collodion or a regenerated cellulose such as cellophane or visking, the pore size is much reduced. Such a modified filter paper is called an ultrafilter.

The separation of the sol particles from the liquid medium and electrolytes by filtration through an ultrafilter is called ultrafiltration.

Ultrafiltration is a slow process. Gas pressure (or suction) has to be applied to speed it up. The colloidal particles are left on the ultrafilter in the form of slime. The slime may be stirred into fresh medium to get back the pure sol. By using graded ultrafilters, the technique of ultrafiltration can be employed to separate sol particles of different sizes.

Fig. 12.6 Ultra filtration

12.6 PROPERTIES OF COLLOIDS

The properties of colloids are discussed under three types

i. Kinetic property
ii. Optical property
iii. Electrical property

(i) Kinetic property

When sol is examined with an ultramicrosope, the suspended particles are seen as shining specks of light. By following an individual particle, it is observed that the particle is undergoing a constant rapid motion. It moves in a series short straight line paths in the medium, changing direction abruptly.

The continuous rapid zig-zag chaotic random and ceaseless movement executed by a colloidal particle in the dispersion medium is called brownian movement. This is due to the unbalanced bombardment of the particles by the molecules of the dispersion medium.

Fig. 12.7 Brownian movement

(ii) Optical property

When a strong beam of light is passed through a sol and viewed at right angles, the path of light shows up as a hazy beam. This is due to the fact that sol particles absorb light energy and then emit it in all directions. This scattering of light illuminates the path of the beam. The phenomenon of the scattering of light by the sol particles is called Tyndall effect.

Fig. 12.8 Tyndall effect

III. ELECTRICAL PROPERTIES

(i) Charge on Colloidal particles

The important property of colloidal dispersions is that all the suspended particles possess either a positive or negative charge. The mutual forces of repulsion between similarly charged particles prevent them from aggregating and settling under the action of gravity. This gives stability to the sol.

Fig. 12.9 Adsorption of ions from dispersion medium gives charge to sol particles which do not settle on account of mutual repulsions

Fig. 12.10 Helmholtz Double layer

The surface of colloidal particle acquires a positive charges by selective adsorption of a layer of positive ions around it. This layer attracts counterions from the medium which form a second layer of negative charges. The combination of the two layers of charges around the sol particle is called **Helmholtz double layer.**

(ii) Electrophoresis

If electric potential is applied across two platinum electrodes immersed in a hydrophilic sol, the dispersed particles move toward one or the other electrode. The movement of sol particles under an applied electric potential is called electrophoresis or cataphoresis. If the sol particles here negatively charged, they migrate toward the positive electrode. On the other hand, if they have positively charged they move toward the negative electrode. From the direction of movement of the sol particles, we can determine the charge of the sol particles.

The phenomenon of electrophoresis can be demonstrated by placing a layer of As_2S_3 sol under two limbs of a U-tube. When a potential difference of about 100 volts is applied across the two platinum electrodes dipping in deionised water, it is observed that the level of the sol drops on the negative electrode side and rises on the positive electrode side (Fig.) This shows that As_2S_3 sol has migrated to the positive electrode, indicating that the particles are negatively charged.

Fig. 12.11 Electrophoresis of a sol

(iii) Electro osmosis

In a sol, the dispersion medium carries an equal but opposite charge to that of the dispersed particles. Thus, the medium will move in opposite direction to the dispersed phase under the influence of applied electric

potential. The movement of the dispersion medium under the influence of applied potential is known as electro-osmosis.

The phenomenon of electro-osmosis can be demonstrated by using a U-tube in which a plug of wet clay (a negative colloid) is fixed. The two limbs of the tube are filled with water to the same level. The platinum electrodes are immersed in water and potential applied across them. It will be observed that water level rises on the cathode side and falls on anode side. This movement of the medium towards the negative electrode, shows that the charge on the medium is positive. Similarly, for a positively charged colloid electro-osmosis will take place in the reverse direction.

Fig. 12.12 Electro-osmosis

12.7 APPLICATIONS OF COLLOIDS

Most of the substances, we come across in our daily life, are colloids. The meal we eat, the clothes we wear, the wooden furniture we use, the houses we live in, the newspapers we read, are largely composed of colloids.

The applications of colloid chemistry are limitless. These can be divided mainly into two classes:

1. Natural applications and
2. Technical applications

1. Natural applications

(i) Blue colour of the sky : Colloidal particles scatter blue light. Dust particles along with water suspended in air scatter blue light which reaches our eyes and the sky looks blue to us.

(ii) Fog, mist and rain : When a large mass of air, containing dust particles, is cooled below its dewpoint, the moisture from the air condenses on the surfaces of these particles forming fine droplets. These droplets being colloidal in nature continue to float in the air in the form of mist or fog.

Clouds are aerosols having small droplets of water suspended in air. On account of condensation in the upper atmosphere, the colloidal droplets of water grow bigger and bigger in size, till they come down in the form of rain. Sometimes, the rainfall occurs when two oppositively charged clouds meet.

It is possible to cause artificial rain by throwing electrified sand or spraying a sol carrying charge opposite to the one on clouds from an aeroplane.

(iii) Food articles : Milk, butter, halwa, ice creams, fruit juices, etc., are all colloids in one form or the other.

(iv) Blood : Blood is a colloidal solution of an albuminoid substance. The styptic action of alum and ferric chloride solution is due to coagulation of blood forming a clot which stops further bleeding.

(v)Soils : Fertile soils are colloidal in nature in which humus acts as a protective colloid. On account of colloidal nature, soils adsorb moisture and nourishing materials.

(iv) Formation of delta : River water is colloidal solution of clay. Sea water contains a number of electrolytes. When river water meets the sea water, the electrolytes present in sea water coagulate the colloidal solution of clay which get deposited with the formation of delta.

2. Technical Applications

(i) Electrical precipitation of smoke : Smoke is a colloidal solution of solid particles such as carbon, arsenic compounds, dust, etc., in air. The smoke, before it comes out from the chimney, is led through a chamber containing plates having a charge opposite to that carried by smoke particles. The particles on coming in contact with these plates lose their charge and

get precipitated. The particles thus settle down on the floor of the chamber. The precipitator is called **Cottrell precipitator.**

Fig. 12.13 Cottrell smoke precipitator

(ii) Purification of drinking water : The water obtained from natural sources often contains bacteria and suspended impurities. Alum is added to such water so as to destroy the bacteria as well as to coagulate the suspended impurities and make water fit for drinking purposes.

(iii) Medicines : Most of the medicines in use are colloidal in nature. For example, argyrol is a silver sol used as an eye lotion. Colloidal antimony is used in curing kalazar. Colloidal gold is used for intramuscular injection. Milk of magnesia, an emulsion, is used for stomach disorders. Colloidal medicines are more effective because these are easily assimilated.

(iv) Tanning : Animal hides are colloidal in nature. When a hide, which has positively charged particles, is soaked in tannin, which contains negatively charged colloidal particles, mutual coagulation takes place, which results in the hardening of leather. The process is termed as **tanning.** Chromium salts have been used in place of tannin.

(v) Photographic plates and films : The photographic plates or films are prepared by coating an emulsion of the light sensitive silver bromide in gelatin over glass plates or celluloid films.

(vi) Rubber industry : Latex is a colloidal solution of rubber particles which are negatively charged. Rubber is obtained by coagulation of latex.

(vii) Industrial products : Paints, inks, synthetic plastics, rubber, graphite lubricants, cement, etc., are all colloidal solutions..

12.8 EMULSIONS

These are liquid-liquid colloidal systems, i.e., the dispersion of finely divided droplets in another liquid. If a mixture of two immiscible or partially miscible liquids is shaken, a coarse dispersion of one liquid in the other is obtained which is called **emulsion**. Generally, one of the two liquids is water. There are two types of emulsions.

(i) Oil dispersed in water (O/W type),

(ii) Water dispersed in oil (W/O type).

In the first system water acts as dispersion medium. Examples of this type of emulsions are milk and vanishing cream. In milk, liquid fat is dispersed in water.

In the second system oil acts as dispersion medium. Common examples of this type are butter and cream.

Emulsions of oil and water are unstable and sometimes they separate into two layers on standing. For the stabilization of an emulsion, a third component called **emulsifying agent** is usually added. The emulsifying agent forms an interfacial film between suspended particles and the medium. The principal agents for O/W emulsions are proteins, gums, natural and synthetic soaps, etc. For W/O emulsions, the principal emulsifying agents are heavy metal salts of fatty acids, long chain alcohols, lampblack, etc.

Emulsions can be diluted with any amount of the dispersion medium. On the other hand, the dispersed liquid when mixed, forms at once a separate layer. The droplets in emulsions are often negatively charged and can be precipitated by electrolytes. They also show Brownian movement and Tyndall effect. Emulsions can be broken into constituent liquids by heating, freezing, centrifuging, etc.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The migration of colloidal particles under the influence of an electric field is known as

   (a) electroosmosis (b) cataphoresis
   (c) electrodialysis (d) electrophoresis

2. Which one is the correct factor that explains the increase of rate of reaction by a catalyst

   (a) shape selectivity (b) particle size
   (c) increase of free energy (d) lowering of activation energy

3. Fog is a colloidal solution of

   (a) gas in liquid (b) liquid in gas
   (c) gas in solid (d) solid in gas.

4. The phenomenon of Tyndall's effect is not observed in

   (a) emulsion (b) colloidal solution
   (c) true solution (d) None

5. The Tyndall's effect associated with colloidal particles is due to

   (a) presence of charge (b) scattering of light
   (c) absorption of light (d) reflection of light

6. In case of physical adsorption, there is desorption when

   (a) temperature increases (b) temperature decreases
   (c) pressure increases (d) concentration increases

7. Colloidal medicines are more effective because

   (a) they are clean
   (b) they are easy to prepare
   (c) the germs more towards, them
   (d) they are easily assimilated and adsorbed

8. Oil soluble dye is mixed with emulsion and emulsion remains colourless then, the emulsion is

   (a) O/W (b) W/O (c) O/O (d) W/W

9. For selective hydrogenation of alkynes into alkene the catalyst used is
   (a) Ni at 250°C
   (b) Pt at 25°C
   (c) Pd, partially inactivated by quinoline
   (d) Raney nickel

10. For chemisorption, which is wrong
   (a) irreversible
   (b) it requires activation energy
   (c) it forms multimolecular layers on adsorbate
   (d) surface compounds are formed

11. An emulsion is a colloidal solution of
   (a) two solids (b) two liquids
   (c) two gases (d) one solid and one liquid

12. Colloids are purified by
   (a) precipitation (b) coagulation
   (c) dialysis (d) filtration

(B) Answer in one or two sentences :

1. Define adsorption.
2. Define colloidal solution.
3. What is electrophoresis?
4. What is catalysis ?
5. What are the two types of catalysis?
6. What are active centers ?
7. Why colloidal system in gas in gas does not exist ?
8. Why colloids are purified ?
9. What are emulsions ?
10. What is Tyndall effect ?

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Distinguish between physical adsorption and chemical adsorption.
2. Discuss the factors affecting adsorption.
3. Write notes on catalytic reactions
4. Write notes on
   i. Positive catalyst
   ii. Negative catalyst
   iii. Auto catalyst
   iv. Induced catalyst
5. Write briefly about the theories of catalysis.
6. Write the applications of catalysis.
7. Write briefly about the preparation of colloids by dispersion methods.
8. Write briefly about the preparation of colloids by condensation methods.
9. Write notes on
   i. Dialysis
   ii. Electrodialysis
   iii. Ultrafiltration
10. Write notes on
    i. Brownian movement
    ii. Tyndall effect
    iii. Helmholtz double layer
11. What is electro osmosis ? Explain.
12. Write the applications of colloids.

SUMMARY :

Adsorption is a phenomenon of concentration of substance on the surface of a liquid or solid. The adsorption is classified into physical adsorption and chemical adsorption.

A catalyst is a substance which alters the speed of a chemical reaction without itself undergoing any chemical change and the phenomenon is known as catalysis. Catalytic reactions are classified into homogeneous catalysis and heterogeneous catalysis. The intermediate compound formation theory and the adsorption theory are the two main theories which explain the catalytic processes.

Colloids are intermediate between true solutions and suspensions. Colloids are classified based on dispersion medium and dispersed phase. Colloids are prepared by dispersion methods and condensation methods. Colloids are purified by dialysis, electrodialysis and ultrafiltration. The properties of colloids are discussed under the types namely, kinetic, optical and electrical properties.

REFERENCES :

1. A text book of physical chemistry - A.S. Negi and S.C.Anand - Fifth Print, 1997.
2. Essentials of physical chemistry - B.S. Bahl, G.D.Tuli and Arun-Bahl - Reprint 2004.
3. Text book of physical chemistry - Louis and Glasstone.

13. ELECTRO CHEMISTRY - I

LEARNING OBJECTIVES

- *To learn and differentiate among conductors, insulators and semi conductors based on the conductivity differences of various substances.*
- *To know about intrinsic and extrinsic semi conductors.*
- *To study about the theory of electrical conductance specially about the Arrhenius theory of weak electrolytes, lilmitations of Arrhenius theory of electrolytic dissociation are also understood.*
- *Onsagar equation will be known and*

  $$\lambda_C = \lambda_\infty - (A + B\lambda_\infty)\sqrt{C},$$

  the relation between equivalent conductance and concentration of strong electrolytes will be studied.
- *Statements of Faraday's laws of electrolysis and their significances will be studied. Quantitative calculations on Faraday's laws will be learnt.*
- Definitions and explanations of specific resistance, equivalent and molar conductances are to be studied.
- *Variations of conductance with dilution of strong and weak electrolytes are to be explained and studied. Graphical representations of conductance against concentrations are explained and understood.*
- *Statement of Kohlraush's law and its significances can be understood.*
- *Buffer action, the nature of acidic and basic buffers, explanation of Henderson equation, examples of buffer solutions in domestic and industrial utilities will be explained and learnt.*
- *Use of pH values, indicators with applications of different pH ranges will be studied.*

The science of electrochemistry deals with the study of interconversion of electrical and chemical energy.

13.1 CONDUCTORS , INSULATORS AND SEMI CONDUCTORS

All substances are classified into three types known as conductors, insulators and semi conductors based on their ability to allow the electrical current to pass through them.

Conductors : Those substances which allow electrical current to pass through them completely are known as **conductors.**

Examples are metals, alloys and fused electrovalent compounds.

Insulators : Those substances which do not allow electrical current to pass through them are known as insulators. Examples of insulators are wood, silk, cotton, glass, rubber, organic compounds like benzene and carbon tetra chloride.

Semiconductors : Those substances that allow the electrical current to pass through them partially (or) possess very low electrical conductivity are known as semi conductors. Examples of semi conductors are Silicon, Germanium, oxides of Manganese, Cobalt oxide, Titanium dioxide etc.

Conductors of electricity are further classified into two types depending on their mode of transport of electrical charges inside them. These are **electronic conductors** and **electrolytic conductors.**

Metallic conductors : Metals and alloys conduct electricitiy due to the movement (mobility) of delocalised outershell electrons present inside them and are known as **electronic conductors** (or) **metallic conductor.** Electrical conduction through metals do not bring about any chemical transformations.

Electrolytic conductor : Electrovalent (or) ionic compounds conduct electrical current in their dissolved state (in solutions) or in their fused state only. These compounds consists of ions of opposite charges and in aqueous solution they exist as ions. In the presence of applied electrical field, these ions migrate to respective electrodes exhibiting electrical conductivity. This mobility of ions is responsible for conduction of electricity through electrolytes and is referred as **electrolytic conduction.** Passage of current

through electrolytes is accompanied by chemical changes also. The differences in the properties of electronic and electrolytic conductors are given below :

S.No.	Electronic conduction	Electrolytic conduction
1.	Pure metals and their solid solutions such as alloys are called as metallic conductors.	Electrovalent (or) ionic compounds conduct electricity through their ions present in fused state or in dissolved state.
2.	Free and mobile electrons of the metallic atoms or alloys are responsible for electrical conductance.	Ions with positive and negative charges conduct electricity and move towards cathode and anode respectively.
3.	Positive holes in the metals move in the opposite direction to electrons.	Electrolysis occurs when electrical current is passed through electrolytic solutions.
4.	There is no chemical change in the material when electricity is passed.	Chemical change occurs.
5.	There is only flow of electrical energy but there is no transfer of matter.	There is actual transfer of matter since ions move towards respective electrodes.
6.	Conductivity of metal decreases with increase in temperature due to the enhanced thermal vibration of metal atoms disrupting the movement of electrons passing through them.	The conductivity of electrolytes increases with increase in temperature. This is due to increase with ionic mobility.

Semi conductors : Certain type of solids like pure silicon and germanium which are poor conductors of electricity at normal temperature become good conductors either at high temperatures or in the presence of impurities like Arsenic or Boron. There are two types of semi conductors known as intrinsic and extrinsic semiconductors.

Intrinsic semi conductors : In the intrinsic type, these solids have very low conductivity at room temperature but at high temperatures one of the

interatomic covalent bonds between Silicon (or) Germanium atoms are broken heterolytically such that free electrons and corresponding positive holes are created. When electrical field is applied these electrons migrate along the direction of the applied electricfield causing electrical conductivity in them. The positive holes move in opposite direction to that of the movement of electrons.

Extrinsic semi conductor : In the extrinsic type of semi conductors addition of impurities like Arsenic or Boron causes appreciable increase in the electrical conductivity. This effect can be obtained as follows :

N-type semi conductor : In silicon and germanium crystals, each atom is covalently bonded to four neighbours so that all its four valence electrons are tied down. Thus in the pure state these elements are poor conductors. Suppose an atom of arsenic is introduced in place of silicon or germanium in the crystal lattice. Arsenic has five valence electrons, four of which will be utilised in the formation of covalent bonds and the remaining electron is free to move through the lattice. This leads to enhanced conductivity.

p-type semi conductor : Now let a Boron atom be introduced in place of Silicon atom in the crystal lattice. A Boron atom has only three valence electrons. It can form only three of the four bonds required for a perfect lattice. Thus it is surrounded by seven electrons (one of Si) rather than eight. Thus electron vacancy or a 'positive hole' in the lattice is produced. Another electron from the bond of the adjacent Si atom moves into this hole, completing the four bonds on the B atom. This electron also leaves a hole at its original site. In this way electrons move from atom to atom through the crystal structure and the holes move in the opposite direction. Therefore the conductivity of the material improves.

Semi conductors which exhibit conductivitiy due to the flow of excess negative electrons, are called ***n*-type semiconductors** (*n* for negative).

Semiconductors which exhibit conductivity due to the positive holes, are called ***p*-type semiconductors** (*p* for positive).

13.2 THEORY OF ELECTROLYTIC CONDUCTANCE

Arrhenius theory of electrolytic conductance is also known as Arrhenius theory of ionisation since electrolytic dissociation into ions is considered here.

Postulates of Arrhenius Theory : 1. When dissolved in water, **neutral electrolyte molecules are split up into two types of charged particles.** These particles were called **ions** and the process was termed **ionisation.** The positively charged particles were called **cations** and those having negative charge were called **anions.**

The theory assumes that the ions are already present in the solid electrolyte and these are held together by electrostatic force. When placed in water, these neutral molecules *dissociate* to form separate anions and cations.

$$A^+ B^- \longrightarrow A^+ + B^-$$

For that reason, this theory may be referred to as the theory of electrolytic dissociations.

2. The ions present in solution constantly reunite to form neutral molecules. Thus there is a state of equilibrium between the undissociated molecules and the ions.

$$AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$$

Applying the Law of Mass Action to the ionic equilibrium we have,

$$\frac{[A^+][B^-]}{[AB]} = K$$

where K is called the **Dissociation constant.**

3. The charged ions are free to move through the solution to the oppositely charged electrode. This is called as migration of ions. This movement of the ions constitutes the electric current through electrolytes. This explains the conductivity of electrolytes as well as the phenomenon of electrolysis.

4. The electrical conductivity of an electrolyte solution depends on the number of ions present in solution. Thus the degree of dissociation of an electrolyte determines whether it is a strong electrolyte or a weak electrolyte.

We know that electrolytes dissociate in solution to form positive ions (cations) and negative ions (anions).

$$AgNO_3 \longrightarrow Ag^+ + NO_3^-$$

$$CuSO_4 \longrightarrow Cu^{2+} + SO_4^{2-}$$

$$H_2SO_4 \longrightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$$

As the current is passed between the electrode of the electrolytic cell, the ions migrate to the opposite electrodes. Thus in the electrolytic solution of $AgNO_3$, the cations (Ag^+) will move to the cathode and anions (NO_3^-) will move to the anode. Usually different ions move with different rates. The migration of ions through the electrolytic solution can be demonstrated by the following experiments.

Fig. 13.1 Migration of ions through electrolytic solution to opposite electrodes

5. The properties of solution of electrolytes are the properties of ions. The solution of electrolyte as a whole is electrically neutral unless an electric field is applied to the electrodes dipped into it. Presence of hydrogen ions (H^+) renders the solution acidic while presence of hydroxide ions (OH^-) renders the solution basic.

6. There are two types of electrolytes. Strong electrolytes are those when dissolved in water are completely dissociated (ionised) into ions of

positive and negative charges. The total number of cations and anions produced are equal to those in the formula of the electrolyte.

(e.g.,) $Al_2(SO_4)_3 \longrightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-}$

NaCl, KCl, $AgNO_3$ etc., are few examples of strong electrolytes.

In the case of weak electrolytes, there is partial dissociation into ions in water and an equilibrium exists between the dissociated ions and the undissociated electrolyte.

(e.g.,) $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$. Acetic acid is a weak electrolyte in water and unionised acetic acid molecules are in equilibrium with the acetate anions and H^+ ions in solution.

Evidences of Arrhenius theory of electrolytic dissociation

1. The enthalpy of neutralisation of strong acid by strong base is a constant value and is equal to –57.32 kJ. gm.equiv^{-1}. This aspect is well explained by adopting Arrhenius theory of electrolytic dissociation. Strong acids and strong bases are completely ionised in water and produce H^+ and OH^- ions respectively along with the counter ions. The net reaction in the acid-base neutralisation is the formation of water from H^+ and OH^- ions.

$$H^+ + OH^- \longrightarrow H_2O \; ; \qquad \Delta H_r^o = -57.32 \text{ kJ.mol}^{-1}.$$

2. The colour of certain salts or their solution is due to the ions present. For example, copper sulphate is blue due to Cu^{2+} ions. Nickel salts are green due to Ni^{2+} ions. Metallic chromates are yellow due to CrO_4^{2-} ions.

3. Ostwalds dilution law, common ion effect and solubility product and other such concepts are based on Arrhenius theory.

4. Chemical reactions between electrolytes are almost ionic reactions. This is because these are essentially the reaction between oppositely charged ions. For example,

$$Ag^+ + Cl^- \longrightarrow AgCl\downarrow$$

5. Electrolytic solutions conduct current due to the presence of ions which migrate in the presence of electric field.

6. Colligative properties depend on the number of particles present in the solution. Electrolytic solution has abnormal colligative properties. For example, 0.1 molal solution of NaCl has elevation of boiling point about twice that of 0.1 molal solution of non-electrolyte. The abnormal colligative properties of electrolytic solutions can be explained with theory of electrolytic dissociation.

Ostwald's dilution law for weak electrolytes

According to Arrhenius theory, weak electrolytes partially dissociate into ions in water which are in equilibrium with the undissociated electrolyte molecules. Ostwald's dilution law relates the dissociation constant of the weak electrolyte with the degree of dissociation and the concentration of the weak electrolyte. Consider the dissociation equilibrium of CH_3COOH which is a weak electrolyte in water.

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$

$$K_a = \frac{[H^+][CH_3COO^-]}{[CH_3COOH]}$$

α is the degree of dissociation which represents the fraction of total concentration of CH_3COOH that exists in the completely ionised state. Hence $(1-\alpha)$ is the fraction of the total concentration of CH_3COOH, that exists in the unionised state. If 'C' is the total concentration of CH_3COOH initially, then at equilibrium $C\alpha$, $C\alpha$ and $C(1-\alpha)$ represent the concentration of H^+, CH_3COO^- and CH_3COOH respectively.

Then $K_a = \frac{C\alpha . C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$

if α is too small, then $K_a = \alpha^2 C$ and

$\alpha = \sqrt{\frac{K_a}{C}}$. Also $[H^+] = [CH_3COO^-] = C\alpha$.

$$[H^+] = C\left(\frac{K_a}{C}\right)^{1/2} = (K_a.C)^{1/2} = \sqrt{K_a.C}$$

$K_a = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$ is known as the Ostwald's dilution law. For weak bases,

$K_b = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$ and $\alpha = \sqrt{\frac{K_b}{C}}$ at α = small values. K_b = dissociation constant for weak base.

This law fails for strong electrolytes. For strong electrolytes, α tends to 1.0 and therefore K_a increases tremendously.

13.4 FARADAY'S LAWS OF ELECTROLYSIS

Electrolysis

When electric current is passed through an electrolyte solution, the ions of electrolyte undergoes chemical changes at the respective electrodes. The chemical reaction carried out by passing electricity is called as electrolysis.

There are two important laws of electrolysis proposed by Faraday and the relation between the amount of products liberated at the electrodes and the quantity of electricity passed through the electrolyte is established based on these laws.

Faraday's First law :

The mass of the substance (*m*) liberated at the electrodes during the electrolysis is directly proportional to the quantity of electricity (Q) that passes through the electrolyte.

Faraday's Second law :

When the same quantity of electricity passes through solutions of different electrolytes, the amounts of the substances liberated at the electrodes are directly proportional to their chemical equivalents.

Electrochemical equivalent defined in First law

If *m* is the mass of substance (in grams) deposited on electrode by passing Q coulombs of electricity, then

$$m \propto Q \qquad \text{... First law}$$

We know that $Q = I \times t$

or $m = Z \times I \times t$

where Z is the constant known as the Electrochemical equivalent of the substance (electrolyte). If I = 1 ampere and t = 1 second, then

$$m = Z$$

Thus, the electrochemical equivalent is the amount of a substance deposited by 1 ampere current passing for 1 second (i.e., one coulomb)

The Electrical unit Faraday

It has been found experimentally that the quantity of electricity required to liberate one gram equivalent of a substance is 96,495 coulombs. This quantity of electricity is known as **Faraday** and is denoted by the symbol F.

It is obvious that the quantity of electricity needed to deposit 1 mole of the substance is given by the expression.

$$\text{Quantity of electricity} = n \times F$$

where *n* is the valency of its ion. Thus the quantity of electricity required to discharge :

one mole of Ag^+ $= 1 \times F = 1F$

one mle of Cu^{2+} $= 2 \times F = 2F$

one mole of Al^{3+} $= 3 \times F = 3F$

We can represent the reactions on the cathode as :

$$Ag^+ + e = Ag$$

$$Cu^{2+} + 2e = Cu$$

$$Al^{3+} + 3e = Al$$

It is clear that the moles of electrons required to discharge one mole of ions Ag^+, Cu^{2+} and Al^{3+} is one, two and three respectively. Therefore it means that the quantity of electricity in one Faraday is one mole of electrons. Now we can say that,

1 Faraday = 96,495 coulombs = 1 Mole electrons

Importance of the First law of Electrolysis

With the help of the first law of electrolysis we are able to calculate :

1. the value of electrochemical equivalents of different substances ; and
2. the mass of different substances produced by passing a known quantity of electricity through their solutions.

96495 coulomb of electricity liberates one gram equivalent weight of the element.

$$\therefore \text{ 1 coulomb current liberates} = \frac{\text{equivalent mass}}{96495} \text{ g.coulomb}^{-1}$$

$$\therefore \text{ Z = electrochemcial equivalent mass}$$

$$= \frac{\text{equivalent mass}}{96495} \times 10^{-3} \text{ kg.coulomb}^{-1}$$

Electronic charge.

1 Faraday equal the quantity of electricity produced by 1 mole of electrons.

$$\therefore \text{ Charge of an electron} = \frac{96495}{6.023 \times 10^{23}}$$

$$= 1.602 \times 10^{-19} \text{ Coulomb.}$$

Example 1. If 50 milli ampere of current is passed through copper coulometer for 60 min, calculate the amount of copper deposited.

Solution : Electrical charge input $= I \times t$ coulombs

$= 50 \times 10^{-3}$ A $\times$ 60 $\times$ 60 sec

= 180 coulombs.

The chemical reaction is, $Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu_{(s)}$

1 gm atom of copper requires 2F current

$\therefore$ amount of copper deposted $= \dfrac{63.5 g.mol^{-1} \times 180 C}{2 \times 96500 C}$

$= 0.0592$ gm.

Example 2. 0.1978 g of copper is deposited by a current of 0.2 ampere in 50 minutes. What is the electrichemical equivalent of copper ?

Solution : Here, t = 50 minutes = 50 $\times$ 60 seconds ; I = 0.2 ampere. Quantity of electricity used is

$$Q = I \times t = 0.2 \times 50 \times 60 = 600 \text{ coulombs}$$

Amount of copper deposited by 600 coulombs = 0.1978 g

Amount of copper deposited by 1 coulomb = $\dfrac{0.1978}{600}$ g = 0.0003296 g

Electrochemical equivalent of copper = 0.0003296 = $3.296 \times 10^{-4} gc^{-1}$

$= 3.206 \times 10^{-7}$ kg c^{-1}

Example 3. What current strength in amperes will be required to liberate 10 g of iodine from potassium iodide solution in one hour ?

Solution : 127 g of iodine (1g eqvt) is liberated by = 96,500 coulomb

10 g of iodine is liberated by $= \dfrac{96,500}{127} \times 10$ coulomb

Let the current strength be = I

Time in seconds = $1 \times 60 \times 60$

We know that the quantity of electricity, Q, used is given by the expression

$$Q = I \times \text{time in seconds}$$

Curernt strength, $I = \dfrac{Q}{t} = \dfrac{96,500 \times 10}{127 \times 60 \times 60}$

$= 2.11$ ampere.

Example 4. An electric current is passed through three cells in series containing respectively solutions of copper sulphate, silver nitrate and potassium iodide. What weights of silver and iodine will be liberated while 1.25 g of copper is being deposited ?

Solution : $\frac{\text{Wt. of copper}}{\text{Wt. of Iodine}} = \frac{\text{Eqvt. wt. copper}}{\text{Eqvt. wt. of Iodine}}$

or $\frac{1.25}{x} = \frac{31.7}{127}$, $x = \frac{1.25 \times 127}{31.7}$

Hence, Wt. of Iodine x = 5.0 g of iodine

Also, $\frac{\text{Wt. of Copper}}{\text{Wt. of Silver}} = \frac{1.25}{y}$

$= \frac{\text{Eqvt. wt. of Cu } (=31.7)}{\text{Eqvt. wt. of Silver } (=108)}$

Wt. of silver (y) $= \frac{108 \times 1.25}{31.7}$

$= 4.26$ g

13.5 ELECTRICAL CONDUCTANCE QUANTITIES

The S.I. unit of electrical current is ampere. The unit of quantity of electricity is coulomb. when one ampere of current is passed for one second, then the quantity of current passed is one coulomb.

(i.e.,) $Q = I \times t$ Coulomb

Ohm's law : This law can be stated as, at constant temperature, the strength of the current flowing through a conductor is directly proportional to the potential difference and inversely proportional to the resistance of the conductor.

Thus, $I = \frac{V}{R}$, $\therefore$ V = RI, V = Volts, I = ampere, R = ohms

Specific resistance : The resistance 'R' ohms offered by the material of the conductor to the flow of current through it is directly proportional to its length (l) and inversely proportional to the area of cross section (a). Thus,

$$R \propto \frac{l}{a} \quad \text{and} \quad R = \rho \frac{l}{a}$$

ρ is called the specific resistance and it is resistance in ohms which one meter cube of material offers to the passage of electricitiy through it, unit of specific resistance is **ohm-meter.**

Specific conductance : The reciprocal of specific resistance is called as specific conductance (or) specific conductivity (κ) [κ is called 'kappa'].

κ is defined as the conductance of one metre cube of an electrolyte solution

$$\therefore \kappa = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{a}$$

Unit of specific conductance is $ohm^{-1}\ m^{-1}$ (or) $mho.m^{-1}$

Since ohm^{-1} = mho

$$\kappa = \frac{1}{ohm} \times \frac{m}{m^2} = ohm^{-1}.m^{-1}$$

Also, 1 siemen = 1 mho. $\therefore$ κ is also expressed as $S.m^{-1}$.

Conductance is the reciprocal of resistance 'R'.

$$\text{Conductance} = \frac{1}{R}$$

$\frac{l}{a}$ is called as the cell constant (m^{-1}) and is constant for a given conductance cell.

Thus specific conductance 'κ' = cell constant × conductance

$$= \frac{\text{Cell constant}}{\text{Resistance}}$$

Equivalent conductance : Equivalent conductance (λ_C) is defined as the conductance of an electrolyte solution containing one gram equivalent of the electrolyte. It is equal to the product of specific conductance (κ) of the solution and the volume (V) of the solution that contains one gram equivalent of the electrolyte.

$$(\lambda_C) = \kappa \times V$$

In general if an electrolyte solution contains N gram-equivalents in 1,000 cc of the solution the volume of the solution containing 1 gram equivalent will be $\frac{1000}{N} \times 10^{-6}\ m^3$ (1 cc = $10^{-6}\ m^3$)

$$\therefore \lambda_C = \kappa \frac{10^{-3}}{N}\ \text{mho.m}^2\ \text{gm.equiv.}^{-1}$$

for 1 : 1 electrolyte normality N equals to molarity 'C'. Then

$$\lambda_C = \frac{\kappa \times 10^{-3}}{C}\ \text{mho.m}^2.(\text{gm.equiv})^{-1}$$

λ_C values depend on the type of the electrolyte, concentration of the solution and temperature.

Molar conductance : Molar conductance 'μ_C' is defined as the conductance of a solution containing one mole of the electrolyte dissolved in it.

$$\therefore \mu_C = \frac{\kappa \times 10^{-3}}{M}\ \text{mho.m}^2.\text{mole}^{-1}$$

where M is the molarity of the electrolyte solution.

For 1 : 1 electrolyte like NaCl, equivalent conductance is equal to molar conductance.

Summary of electrochemical quantities.

Quantity	Symbol	Unit
Resistance	R	ohm (or) Ω
Resistivity (or) specific resistance	ρ	ohm.m.
Conductance	$\frac{1}{R}$	ohm^{-1} (or) Siemen
Specific conductivity (or) specific conductance	κ	$ohm^{-1}\ m^{-1}$
Volume (or) dilution	V	m^3
Equivalent conductance	λ_C	$ohm^{-1}\ m^2\ (gm.equiv)^{-1}$
Molar conductance	μ_C	$ohm^{-1}\ m^2\ mole^{-1}$

13.6 VARIATION OF EQUIVALENT CONDUCTANCE WITH CONCENTRATION

The effect of concentration on equivalent conductance can be studied from the plots of λ_C values versus square root of concentration of the electrolyte. By doing so, it has been found that different types of plots are obtained depending on the nature of electrolyte. For strong electrolytes λ_C decreases linearly with increase in $\sqrt{C}$ while for weak electrolytes, there is a curve type of non linear decrease of λ_C with $\sqrt{C}$.

Fig. 13.2 Variation of equivalent conductivity λ_c with $\sqrt{C}$ for (a) strong electrolytes and (b) weak electrolytes.

For strong electrolytes Debye, Huckel and Onsager equation can be applied.

$\lambda_C = \lambda_\infty - (A + B\,\lambda_\infty)\sqrt{C}$ to the linear plot of λ_C versus $\sqrt{C}$ for strong electrolytes, the intercept value equals to λ_∞ value which is obtained by extrapolating the line to 'y' axis ($\sqrt{C} = 0$). The slope value equals to $(A + B\,\lambda_\infty)$. A and B are called as Debye constants for strong electrolytes.

In case of weak electrolytes, degree of dissociation (α) increases when concentration decreases. Hence, $(1 - \alpha)$ value tends to zero at infinite dilution, such that λ_C increases and tends to λ_∞ value.

λ_∞ of weak electrolytes are experimentally obtained by extrapolating the upper arm of the curve to the Y axis and the intercept value corresponds to λ_∞. In the intermediate concentration range, λ_C is lower than λ_∞ since the weak electrolyte exists in partially ionised state. The degree of dissociation α equals to the ratio of λ_C to λ_∞ value. (i.e., $\alpha = \lambda_C / \lambda_\infty$).

Example 1. The resistance of a 0.01 N solution of an electrolyte was found to 210 ohm at 25°C using a conductance cell with a cell constant 0.88 cm^{-1}. Calculate the specific conductance and equivalent conductance of the solution.

Solution : R = 210 ohm ; $\frac{l}{a} = 0.88\ cm^{-1}$

Specific conductance $\kappa = \frac{l}{a} \times \frac{1}{R}$

$$= \frac{0.88\,cm^{-1}}{210\,ohm} = 4.19 \times 10^{-3}\ mho.cm^{-1}$$

$$= 4.19 \times 10^{-3}\ mho.m^{-1}$$

Equivalent conductance, $\lambda = \kappa \times V$

V has 1 gram equivalent dissolved given is 0.01 N in 1000 ml.

$$\therefore V = \frac{1000}{0.01} = 1,00,000 \text{ ml}$$

$$\lambda = 4.19 \times 10^{-3} \times 1,00,000$$

$$\lambda = 419.05 \text{ mho.cm}^2\text{.gm.equiv.}^{-1}$$

$$= 4.1905 \times 10^{-2} \text{ mho m}^2 \text{ (gm.equiv)}^{-1}$$

Example 2. 0.04 N solution of a weak acid has a specific conductance 4.23×10^{-4} mho.cm^{-1}. The degree of dissociation of acid at this dilution is 0.0612. Calculate the equivalent conductance of weak acid at infinite solution.

Solution : Specific conductance $\kappa = 4.23 \times 10^{-4}$ mho.cm^{-1}

$$\lambda_C = \frac{\kappa 1000}{C} = \frac{4.23 \times 10^{-4} \times 1000}{0.04}$$

$$= 10.575 \text{ mho.cm}^2\text{.eq}^{-1}.$$

$$\alpha = 0.0612 = \frac{\lambda_C}{\lambda_\infty} = \frac{10.575}{\lambda_\infty}$$

$$\therefore \lambda_\infty = 172.79 \text{ mho.cm}^2\text{.gm.equiv.}^{-1}$$

Example 3. Equivalent conductivity of acetic acid at infinite dilution is 39.7 and for 0.1 M acetic acid the equivalent conductance is 5.2 mho.cm^2.gm.equiv.$^{-1}$. Calculate degree of dissociation, H^+ ion concentration and dissociation constant of the acid.

Solution : $\alpha = \frac{\lambda_C}{\lambda_\infty} = \frac{5.2}{390.7} = 0.01333 = 1.33\%$

$$\underset{C(1-\alpha)}{CH_3COOH} \rightleftharpoons \underset{C\alpha}{H^+} + \underset{C\alpha}{CH_3COO^-}$$

$$\therefore [H^+] = C\alpha = 0.1 \times 0.0133 = 0.00133 \text{ M}$$

$$K = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha} = \frac{0.0133^2 \times 0.1}{(1-0.0133)} = 2.38 \times 10^{-5} \text{ M}$$

13.7 KOHLRAUSH'S LAW

This law states that, ''at infinite dilution wherein the ionisation of all electrolytes is complete, each ion migrates independently and contributes a definite value to the total equivalent conductance of the electrolyte''. Consider an electrolyte AB in aqueous solution. It dissociates as

$$A_m B_n \longrightarrow mA^{n+} + nB^{m-}$$

Then at infinite dilution, according to Kohlrausch's law, the total equivalent conductance of the electrolyte, $\lambda_\infty = \frac{1}{n^+}\lambda_{A^+} + \frac{1}{m^-}\lambda_{B^-}$ where λ_∞^+ and λ_∞^- are the cationic and anionic equivalent conductances at infinite dilutions and n^+ and m^- correspond the valency of cations and anions furnished from each molecule of the electrolyte.

$$\lambda_\infty, NaCl = \lambda_\infty Na^+ + \lambda_\infty Cl^-$$

$$\lambda_\infty, BaCl_2 = \frac{1}{2}\lambda_\infty Ba^{2+} + \lambda_\infty Cl^-$$

$$\lambda_\infty, AlCl_3 = \frac{1}{3}\lambda_\infty Al^{3+} + \lambda_\infty Cl^-$$

$$\lambda_\infty, Al_2(SO_4)_3 = \frac{1}{3}\lambda_\infty Al^{3+} + \frac{1}{2}\lambda_\infty SO_4^{2-}$$

For weak electrolytes,

$$\lambda_\infty, CH_3COOH = \lambda^+_\infty H^+ + \lambda_\infty^- CH_3COO^-$$

$$\lambda_\infty, NH_4OH = \lambda_\infty^+ NH_4^+ + \lambda_\infty^- OH^-$$

Application of Kohlrausch's law : The important use of Kohlrausch's law is to deduce the λ_∞ value of the weak electrolytes correctly by arithmetically combining the λ_∞ values of strong electrolyte in appropriate manner.

For example λ_∞ of CH_3COOH which is a weak electrolyte is deduced from λ_∞ values of NaCl, HCl, and CH_3COONa in such a manner that λ_∞ of CH_3COOH is obtained. Sodium acetate (CH_3COONa) is a strong electrolyte and it ionises to acetate (CH_3COO^-) and sodium (Na^+) ions at all concentrations in water. Applying Kohlrausch's law,

$\lambda_\infty CH_3COONa + \lambda_\infty HCl - \lambda_\infty NaCl =$

$\lambda_\infty CH_3COO^- + \lambda_\infty Na^+ + \lambda_\infty H^+ + \lambda_\infty Cl^- - \lambda_\infty Na^+ - \lambda_\infty Cl^-$

$\lambda_\infty CH_3COO^- + \lambda_\infty H^+ = \lambda_\infty CH_3COOH$

This method produces agreeable values of λ_∞ for weak electrolytes.

Similarly $\lambda_\infty NH_4OH$ can be deduced as,

$$\lambda_\infty NH_4OH = \lambda_\infty NH_4^+ + \lambda_\infty OH^-$$

$$= \lambda_\infty NH_4^+ + \lambda_\infty Cl^- + \lambda_\infty Na^+ + \lambda_\infty OH^- - \lambda_\infty Na^+ - \lambda_\infty Cl^-$$

$$= \lambda_\infty NH_4Cl + \lambda_\infty NaOH - \lambda_\infty NaCl$$

Molar conductances at infinite dilution : (μ_∞) when an electrolyte dissociates into γ_+ number of cations and γ_- number of anions then total molar conductance at infinite dilution μ_∞ of the electrolyte is given by

$$A_{\gamma+} B_{\gamma-} \longrightarrow \gamma_+ A^+ + \gamma_- B^-$$

then $\mu_\infty = \gamma_+ \mu_\infty^+ + \gamma_- \mu^-_\infty$

where μ^-_∞ and μ^+_∞ are the ionic conductances at infinite dilution.

$$\therefore \mu_\infty BaCl_2 = \mu_\infty Ba^{2+} + 2\,\mu_\infty Cl^-$$

$$\mu_\infty Na_2SO_4 = 2\,\mu_\infty Na^+ + \mu_\infty SO_4^{2-}$$

Example 4 : Ionic conductances at infinite dilution of Al^{3+} and SO_4^{2-} are 189 ohm^{-1} cm^2 gm.equiv.$^{-1}$ and 160 ohm^{-1} cm^2 gm.equiv.$^{-1}$. Calculate equivalent and molar conductance of the electrolyte at infinite dilution.

The electrolytes $Al_2(SO_4)_3$

$$\lambda_\infty Al_2(SO_4)_3 = \frac{1}{3}\lambda_\infty Al^{3+} + \frac{1}{2}\lambda_\infty SO_4^{2-}$$

$$\lambda_\infty Al_2(SO_4)_3 = \frac{189}{3} + \frac{160}{2} = 63 + 80 = 143 \text{ mho cm}^2 \text{ gm.equi}^{-1}$$

$$\mu_\infty Al_2(SO_4)_3 = 2 \times 189 + 3 \times 160 = 858 \text{ mho cm}^2 \text{ mol}^{-1}$$

The common ion effect

When a soluble salt (say A^+C^-) is added to a solution of another salt (A^+B^-) containing a common ion (A+), the dissociation of AB is suppressed.

$$AB \rightleftharpoons A^+ + B^-$$

By the addition of the salt (AC), the concentration of A^+ increases. Therefore, according to Le Chatelier's principle, the equilibrium will shift to the left, thereby decreasing the concentration of A^+ ions or the degree of dissociation of AB will be reduced.

The reduction of the degree of dissociation of a salt by the addition of a common-ion is called the Common-ion effect.

Let us consider a few examples to illustrate the common-ion effect.

Example 1. In a saturated solution of silver chloride, we have the equilibrium

$$AgCl_{(s)} \rightleftharpoons Ag^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)}$$

When sodium chloride is added to the solution, the concentration of Cl^- ions will increase. The equilibrium shown above will be shifted to the left to form more of solid AgCl. Thus the solubility of AgCl, a typical sparingly soluble salt, will decrease.

Example 2. When solid NH_4Cl is added to NH_4OH solution, the equilibrium

$$NH_4OH \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

shifts to the left. Thereby the equilibrium concentration of OH^- decreases. This procedure of reducing the concentration of OH^- ions is used in qualitative analysis.

Example 3. The common-ion effect can also be applied to the ionic equilibrium of a weak acid as HF.

$$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$$

NaF is added to the equilibrium mixture. The concentration of F^- (common ion) is increased. Thus the equilibrium shits to the left. In other words, the degree of dissociation of HF decreases. It was found by experiment that the degree of dissociation HF in 1M solution is 2.7 while the value reduces to 7.2×10^{-4} after the addition of 1 M NaF.

Example 4. Find the degree of dissociation of HF in 1 M aqueous solution. The value of K for the ionic equilibrium $HF = H^+ + F^-$ is 7.2×10^{-4}.

Solution : HF dissociates in water to form H^+ and F^- ions. On reaching the equilibrium we have

$$HF \rightleftharpoons H^+ + F^-$$

Thus one mole of HF taken initially dissociates to yield 1 mole of H^+ and 1 mole of F^-.

If x be the degree of dissociation, the concentration terms at equilibrium are :

$$[HF] = (1 - x) \text{ mol/L}$$

$$[F^-] = x \text{ mol/L}$$

$$[H^+] = x \text{ mol/L}$$

Substituting these values in the equilibrium expression, we have

$$K = 7.2 \times 10^{-4} = \frac{[H^+][F^-]}{[HF]} = \frac{(x)(x)}{(1-x)}$$

If x is very small compared to 1, we can write :

$$7.2 \times 10^{-4} = \frac{x^2}{1.00}$$

$$\therefore x = (7.2 \times 10^{-4})^{1/2}$$

$$= 2.7 \times 10^{-2}$$

Thus the degree of dissociation of HF in 1 M solution is 2.7×10^{-2}.

13.8 IONIC PRODUCT OF WATER

Water is a weak electrolyte. The dissociation equilibrium of water can be considered as,

$$2H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

According to law of mass action,

$$K_{eq} = \frac{[H_3O^+][OH^-]}{[H_2O]^2}$$

Since water as a solvent is always in excess and change in concentration due its dissociation is negligible. Hence water concentration is assumed to be constant.

$$\therefore \quad K_{eq}\,[H_2O]^2 = [H_3O^+]\,[OH^-] = K_w$$

The constant K_w is called as the ionic product of water and its value is given by the product of concentrations of hydronium (H_3O^+) and hydroxide (OH^-) ions. At 298 K, $K_w = 1 \times 10^{-14}$ $mol^2.dm^{-6}$.

The pH of solutions

A knowledge of the concentration of hydrogen ions (more specifically hydronium ions) is of the greatest importance in chemistry. Hydrogen ion concentrations are typically quite small numbers. Therefore, chemists report the hydrogen ion concentration of a solution in terms of pH. It is defined as **the negative of the base-10 logarithm (log) of the H^+ concentration.** Mathematically it may be expressed as

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

where $[H^+]$ is the concentration of hydrogen ions in moles per litre

Alternative and more useful forms of pH definition are :

$$pH = \log \frac{1}{[H^+]}$$

and $$[H^+] = 10^{-pH}$$

The pH concept is very convenient for expressing hydrogen ion concentration. It was introduced by Sorensen in 1909. It is now used as a general way of expressing other quantities also, for example.

(a) Concentration of OH^- ions in aqueous solution of a base is expressed as

$$p\,[OH^-] = -\log_{10}[OH^-]$$

(b) Equilibrium constant for water is written as

$$pK_w = -\log_{10}[K_w]$$

For any quantity X, we can write

$$pX = -\log X$$

The 'p' in these expressions means ''–log of the quantity''.

The pH of a given solution can be measured with the help of an apparatus called pH meter.

Knowing the pH of the solution its hydrogen ion concentration can be calculated.

pH Scale

In order to express the hydrogen ion concentration or acidity of a solution, a pH scale was evolved. The pH is defined as

$$pH = -\log[H^+] \quad \text{or} \quad [H^+] = 10^{-pH}$$

The hydrogen ion concentrations of different acidic solutions were determined experimentally. These were converted to pH values using the above relations. Then these pH values were computed on a scale taking water as the reference substance. **The scale on which pH values are computed is called the pH scale.**

Water dissociates to H^+ and OH^- ions to a very small degree so that we have the equilibrium.

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

Since $K_w = 1 \times 10^{-14}$ mol^2.dm^{-6}.

$[H_3O^+] = [H^+] = [OH^-] = \sqrt{1\times10^{-14}} = 1 \times 10^{-7}$ mol.dm^{-3}

Thus the H^+ ion and OH– ion concentrations in pure water are both 10^{-7} mol.dm^{-3} at 25°C and it is said to be neutral. In acidic solution, however, the concentration of H^+ ions must be greater than 10^{-7} mol. L^{-1}. Similarly in a basic solution, the concentration of OH^- ions must be greater than 10^{-7} mol L^{-1}. Thus we can state :

neutral solution	$[H^+] = [OH^-]$
acidic solution	$[H^+] > [OH^-]$
basic solution	$[H^+] < [OH^-]$

Expressing the $[H^+]$ in terms of pH for the different solutions cited above, we get what we call the pH scale. On this scale the values range from 0 to 14. Since pH is defined as –log $[H^+]$ and the hydrogen ion concentration of water is 10^{-7}, the pH of water is 7. All solutions having pH less than 7 are acidic and those with pH greater than 7 are basic.

	ACID	NEUTRAL	BASE	
1	⟷	7	⟷	14
	pH < 7		pH > 7	

As shown by the pH scale, pH decreases with the increase of $[H^+]$. The lower the pH, higher is the $[H^+]$ or acidity.

To calculate $[H^+]$ and $[OH^-]$ from K_w. In any aqueous solution, the product of $[H^+]$ and $[OH^-]$ always equal to Kw. This is so irrespective of the solute and relative concentrations of H^+ and OH^- ions. However, the value of Kw depends on temperature. At 25°C it is 1.0×10^{-14}. Thus,

$$[H^+]\,[OH^-] = 1.0 \times 10^{-14}$$

Each of $[H^+]$ and $[OH^-]$ in pure water at 25°C is 10^{-7}. The concentrations of $[H^+]$ and OH^- ions are expressed in gram moles per litre.

The concentrations $[H^+]$ and $[OH^-]$ ions can be calculated from the expressions :

$$[H^+] = \frac{K_w}{[OH^-]}$$

$$[OH^-] = \frac{K_w}{[H^+]}$$

Relation between pH and pOH

pH concept can be used to express small quantities as $[OH^-]$ and K_w. Thus

$$pOH = -\log_{10} [OH^-]$$

$$pK_w = -\log_{10} K_w$$

Let us consider the log form of the expression

$$K_w = [H^+]\,[OH^-]$$

That is $\log K_w = \log [H^+] + \log [OH^-]$

or $-\log K_w = -\log [H^+] - \log [OH^-]$

Thus $pK_w = pH + pOH$

Since $K_w = 1.0 \times 10^{-14}$

$$pK_w = -\log (1.0 \times 10^{-14}) = 14.00$$

Hence, for any aqueous solution at 25°C, pH and pOH add up to 14.00. That is,

$$pH + pOH = 14.00$$

In general, the pH problems may be of the following tpes :

Example 1. The hydrogen ion concentration of a fruit juice is 3.3×10^{-2} M. What is the pH of the juice ? Is it acidic or basic ?

Solution : The definition of pH is

We are given $[H^+] = 3.3 \times 10^{-2}$

Substituting into the definition of pH, we get

$$pH = -\log(3.3 \times 10^{-2})$$

$$= -(-1.48) = 1.48$$

Since the pH is less than 7.00, the solution is acidic.

Example 2. If a solution has a pH of 7.41, determine its H^+ concentration.

Solution : $pH = -\log[H^+]$

$\therefore [H^+] = \text{antilog}[-pH] = \text{antilog}[-7.41]$

$\therefore [H^+] = 3.9 \times 10^{-8}$ M

Example 3. pH of a solution is 5.5 at 25°C. Calculate its $[OH^-]$

Solution : $pH + pOH = 14.0 \quad \therefore pOH = 14.0 - pH$

$= 14.0 - 5.5 = 8.50$

$pOH = 8.5 \quad \therefore \text{antilog}[-pOH]$

$\therefore [OH^-] = \text{antilog}[-8.5] = 3.2 \times 10^{-9}$ M

Example 4. Calculate the pH of 0.001 M HCl solution

$$HCl \longrightarrow H^+ + Cl^-. \quad \text{HCl is a strong acid.}$$

$[H^+]$ from HCl is very much greater than [H+] from water which is 1×10^{-7} M.

$\therefore [H^+] = [HCl] = 0.001$ M

$\therefore pH = -\log(0.001) = 3.0$

$\therefore$ That is acidic solution.

Example 5. Calculate the pH of 0.1 M CH_3COOH solution. Dissociation constant of acetic acid is 1.8×10^{-5} M.

For weak acids,

$$[H^+] = \sqrt{K_a \times C}$$

$$= \sqrt{1.8\times10^{-5}\times0.1} = \sqrt{1.8\times10^{-6}}$$

$$= 1.34 \times 10^{-3} \text{ M}$$

$$\therefore \quad pH = -\log [H^+] = \log (1.34 \times 10^{-3})$$

$$\therefore \quad pH = 2.87$$

Example 6. Calculate the pH of 0.02 m $Ba(OH)_2$ aqueous solution assuming $Ba(OH)_2$ as a strong electrolyte.

$$Ba(OH_2) \longrightarrow Ba^{2+} + 2OH^-$$

$$\therefore \quad [OH^-] = 2\,[Ba(OH)_2] = 2 \times 0.02 = 0.04 \text{ M}$$

$$\therefore \quad pOH = -\log [OH^-] = 1.398 = 1.40$$

$$\therefore \quad pH = 14 - 1.4 = 12.6$$

13.9 BUFFER SOLUTIONS

It is often necessary to maintain a certain pH of a solution in laboratory and industrial processess. This is achieved with the help of buffer solutions, buffer systems or simply buffers.

A buffer solution is one which maintains its pH fairly constant even upon the addition of small amounts of acid or base.

In other words, a buffer solution resists (or buffers) a change in its pH. That is, we can add a small amount of an acid or base to a buffer solution and the pH will change very little. Two common types of buffer solutions are :

1. a weak acid together with a salt of the same acid with a strong base. These are called Acid buffers. (e.g.,) $CH_3COOH + CH_3COONa$.
2. a weak base and its salt with a strong acid. These are called Basic buffers. (e.g.,) $NH_4OH + NH_4Cl$.

Buffer action : Let us illustrate buffer action by taking example of a common buffer system consisting of a solution of acetic acid and sodium acetate (CH_3COOH/CH_3COONa).

$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$$

$$CH_3COONa \longrightarrow Na^+ + CH_3COO^-$$

since the salt is completely ionised, it provides the common ions CH_3COO^- in excess. The common ion effect suppresses the ionisation of acetic acid. This reduces the concentration of H^+ ions which means that pH of the solution is raised.

It is stated that a buffer solution containing equimolar amounts (0.10 M) of acetic acid and sodium acetate has pH 4.74. Now we proceed to discuss how the addition of a small amount of HCl or NaOH to the buffer solution affects its pH.

The pH of the buffer is governed by the equilibrium

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+ \qquad \text{... (1)}$$

The buffer solution has a large excess of CH_3COO^- ions produced by complete ionisation of sodium acetate,

$$CH_3COONa \longrightarrow CH_3COO^- + Na^+ \qquad \text{... (2)}$$

1. Addition of HCl. Upon the addition of HCl, the decrease of H^+ ions is counteracted by association with the excess of acetate ions to form unionised CH_3COOH. Thus the added H^+ ions are neutralised and the pH of the buffer solution remains unchanged. However owing to the increased concentration of CH_3COOH, the equilibrium (1) shifts slightly to the right to increase H^+ ions. This explains the marginal increase of pH of the buffer solution on addition of HCl.

Fig. 13.3 Mechanism of Buffer action of an acid buffer.

2. Addition of NaOH. When NaOH is added to the buffer solution, the additional OH^- ions combine with CH_3COOH to give CH_3COO^- and H_2O. Thus pH of the buffer solution is maintained almost constant. The buffer NH_4OH/NH_4Cl can also be explained on the same lines as of an acid buffer upon addition of HCl the H^+ ions combine with NH_4OH to form NH_4^+ and H_2O. pH is retained. Similarly when NaOH is added, the OH^- ions combine with NH_4^+ ions present in the buffer solution to give NH_4OH and hence pH is maintained.

Fig. 13.4 Mechanism of buffer action of a basic buffer

Henderson equation : The pH of an acid buffer can be calculated from the dissociation constant, K_a, of the weak acid and the concentrations of the acid and the salt used.

The dissociation expression of the weak acid, HA, may be represented as

$$HA \rightleftharpoons H^+ + A^-$$

and $$K_a = \frac{[H^+][A^-]}{[HA]}$$

or $$[H^+] = \frac{[HA]K_a}{[A^-]} \quad \text{... (1)}$$

The weak acid is only slightly dissociated and its dissociation is further depressed by the addition of the salt ($Na^+ A^-$) which provides A^- ions (Common ion effect). As a result the equilibrium concentration of the unionised acid is nearly equal to the initial concentration of the acid. The equilibrium concentration $[A^-]$ is presumed to be equal to the initial concentration of the salt added since it is completely dissociated. Thus we can write the equation (1) as

$$[H^+] = K_a \times \frac{[\text{acid}]}{[\text{salt}]} \quad \text{... (2)}$$

where [acid] is the initial concentration of the added acid and [salt] that of the salt used.

Taking negative logs of both sides of the equation (2), we have

$$-\log [H^+] = -\log K_a - \log \frac{[\text{acid}]}{[\text{salt}]} \quad \text{... (3)}$$

But $-\log [H^+] = pH$ and $-\log K_a = pK_a$

Thus from (3) we have

$$pH = pK_a - \log \frac{[acid]}{[salt]} = pKa + \log \frac{[salt]}{[acid]}$$

Hence, $$pH = pK_a + \log \frac{[salt]}{[acid]}$$

This relationship is called the **Henderson-Hasselbalch equation** or **simply Henderson equation.**

In a similar way, the Henderson-Hasselbalch equation for a basic buffer can be derived. This can be stated as :

$$pOH = pK_b + \log \frac{[salt]}{[base]}$$

Significance of the Henderson-Hasselbalch equation. With its help

1. The pH of a buffer solution can be calculated from the initial concentrations of the weak acid and the salt provided K_a is given.

However, the Henderson-Hasselbalch equation for a basic buffer will give pOH and its pH can be calculated as (14 – pOH).

2. The dissociation constant of a weak acid (or weak base) can be determined by measuring the pH of a buffer solution containing equimolar concentrations of the acid (or base) and the salt.

$$pH = pK_a + \log \frac{[salt]}{[acid]}$$

Since, $[salt] = [acid]$, $\log \frac{[salt]}{[acid]} = \log 1 = 0$

$$pK_a = pH$$

The measured pH, therefore, gives the value of pK_a of the weak acid.

Likewise we can find the pK_b of a weak base by determining the pOH of equimolar basic buffer.

3. A buffer solution of desired pH can be prepared by adjusting the concentrations of the salt and the acid added for the buffer.

It is noteworthy that buffer solutions are most effective when the concentrations of the weak acid (or weak base) and the salt are about equal. This means that pH is close to the value of pK_a of the acid (or pK_b of the base).

Example 1 : Find the pH of a buffer solution containing 0.20 mole per litre CH_3COONa and 0.15 mole per litre CH_3COOH, K_a for acetic acid is 1.8×10^{-5}

Solution :

$$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$$

$$pK_a = -\log (1.8 \times 10^{-5}) = 4.7447$$

$$pH = pK_a + \log \frac{[salt]}{[acid]}$$

... Henderson - Hasselbalch equation

$$= 4.7447 + \log \frac{0.20}{0.15}$$

$$pH = 4.7447 + \log \frac{4}{3}$$

$$= 4.7447 + 0.6021 - 0.4771 = 4.8697$$

Example 2 : The K_a of propionic acid is 1.34×10^{-5}. What is the pH of a solution containing 0.5 M propionic and 0.5 M sodium proportionate ? What happens to the pH of the solution when volume is doubled by adding water ?

Solution : Ka of propionic acid = 1.34×10^{-5}

$$\therefore \quad pK_a = -\log K_a = -\log (1.34 \times 10^{-5})$$

$$= 4.87$$

By Herderson - Hasselbalch equation

$$pH = pK_a + \log \frac{[salt]}{[acid]}$$

$$= 4.87 + \log \frac{0.5}{0.5}$$

$$pH = 4.87$$

Alternative solution : The dissociation equilibrium of propionic acid will be

$$C_2H_5COOH \longrightarrow C_2H_5COO^- + H^+$$

$$K_a = \frac{[C_2H_5COO^-][H^+]}{[C_2H_5COOH]} = \frac{0.5\times[H^+]}{0.5}$$

$$= [H^+]$$

$$\therefore \quad pH = -\log [H^+]$$

$$= -\log K_a = -\log (1.34 \times 10^{-5})$$

$$\therefore \quad pH = 4.87$$

13.10 pH INDICATORS

An indicator is a substance which indicates the completion of a reaction by sharp colour change at the end point without taking part in the reaction. The substances which are used to indicate the end point in acid-base reactions are called as acid-base indicators. (e.g.,) phenolphthalein and methyl orange.

Those substances which change to specific colours in different pH range values of the medium are called as pH indicators. Incidentally pH indicators are used as acid-base indicators also.

Selection of pH indicators

Every pH indicator changes its colour specifically in a ranging pH which is called as indicator range. For some of the indicators, the indicator ranges are given as below.

		Colour of the indicator	
Indicator	**pH range**	**Acidic solution**	**Basic solution**
Methyl orange	3.1 - 4.4	Pink	Yellow
Methyl red	4.4 - 6.2	Red	Yellow
Phenol red	6.8 - 8.4	Yellow	Red
Phenolphthalein	8.3 - 10	Colourless	Pink

When a base is added to a solution of an acid, the H^+ ions will be slowly neutalised by the OH^- ions of the base. Hence, there is a steady decrease in the H^+ ion concentration and pH value increases uniformly. At the end point there is a steep rise in the pH value. The pH values can be plotted against the volume of the base added and the curve so obtained is called titration curve. The titration curves are useful in the choice of a suitable indicator in an acid-base titration. A suitable indicator in an acid-base titration is one whose range is well within the sharp rising portion of the titration curve. Thus the choice of a suitable indicator for any titration depends on the nature of the acid and base involved and the working range of the indicator.

1. Titration of a strong acid against a strong base :
(Example, HCl vs NaOH)

In this type of titration, the change in the pH value at the end point is roughly from 4 to 10. Therefore any indicator which changes its colour within this range may be used as a suitable indicator in the titration of strong acid against strong base and phenolphthalein can be used as indicators for this type of titrations.

2. Titration of a weak acid against a strong base :
(Example, Oxalic acid vs NaOH)

There is a little change in the pH value at the end point in this type of titration. The pH value changes from 6.5 to 10. Thus phenolphthalein is the suitable indicator for this titration as its working range is 8.3 – 10. Methyl orange is not a suitable indicator. Since it has a working range below pH 5.

3. Titration of strong acid against weak base :
(Example, HCl vs Na_2CO_3]

When a strong acid like HCl is titrated against a weak base like Na_2CO_3, the pH changes from 3.5 to 7.5 at the end point. The best indicator for this type of titration is methyl orange which changes its colour within this pH range.

Volume of base
(a) strong acid vs strong base

Volume of base
(b) weak acid vs strong base

Volume of base
(c) strong acid vs weak base

E-end point

4. Titration of weak acid against weak base : (Example, CH_3COOH vs NH_4OH)

In this sypte of titration there is no sharp change in the pH value at the end point. Therefore, in the titration of a weak acid against a weak base none of the indicators shown in the table are quite satisfactory.

There are two theories to explain the function of acid-base indicators.

1. Ostwald's theory

This theory was proposed by Ostwald's in 1891. It is based on Arrhenius theory. According to this theory, the acid-base indicator is either a weak acid or a weak base. They are partially ionised in solution. The ionised and unionised forms have different colours. The indicator exists predominantly in one of the two forms depending on the nature of the medium and hence there is colour change when the nature of the medium changes. Phenolphthalein is a weak acid and it is partially ionised in solutions.

$$\underset{\substack{\text{Unionised form}\\ \text{(colourless)}}}{HPh} \rightleftharpoons H^+ + \underset{\substack{\text{ionised form}\\ \text{(pink)}}}{Ph^-}$$

In acidic medium, excess H^+ ions are present which suppress the dissociation of HpH due to common ion effect. Hence the indicator exists predominantly in unionised form and it is colourless. In alkaline medium, the OH^- ion neutralises H^+ ion to form water. Consequently the dissociation of HpH is favoured and the indicator is predominantly in the ionised form and it is pink in colour.

Methyl orange is a weak base and its ionisation can be written as

$$\underset{\substack{\text{Unionised form}\\ \text{(yellow)}}}{MeOH} \rightleftharpoons Me^+ + \underset{\substack{\text{ionised form}\\ \text{(pink)}}}{OH^-}$$

In the presence of a base excess OH^- ions suppress the dissociation of MeOH due to common ion effect. Hence in basic medium, the indicator is mostly in unionised form which is yellow.

In acidic solution the H^+ ions combine with OH^- ions to form unionised water. Hence in acidic solution, the indicator is mostly in ionised form and has pink colour.

This theory also explains why phenolphthalein is not a suitable indicator in the titration of a strong acid against a weak base. The reason is the OH^- ions produced by the weak base at the end point is too low to cause the ionisation of phenolphthalein. Hence, the pink colour does not appear exactly at the equivalence point. The pink colour appears only after a sufficient excess of the weak base is added.

For a similar reason, methyl orange is not a suitable indicator in the titration of a strong base against a weak acid. The weak acid does not furnish sufficient H^+ ions to shift the equilibrium towards the right. A sufficient excess of the weak acid has to be added to get the colour change.

Quinonoid Theory

According to this theory the colour change of an acid-base indicator arises as a result of structural change. It is supposed that an indicator exists as an equilibrium mixture of two tautomeric forms namely, benzenoid and quinonoid forms.

benzenoid form quinonoid form

One form exists in acidic solution and the other form in basic solution. At least one of the tautomers is a weak acid or a weak base. The two forms possess two different colours and as the pH of the solution containing the indicator is changed, the solution shows a change of colour. The colour change is due to the fact that one tautomer changes over to the other.

For example, phenolphthalein is tautomeric mixture of the two forms.

Benzenoid form, colourless, exists predominantly in acidic medium

Quinonoid form, pink, exists predominant in basic medium

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The process in which chemical change occurs on passing electricity is termed as .....

   (a) neutralisation (b) hydrolysis
   (c) electrolysis (d) ionisation

2. The laws of electrolysis were enunciated first by .....

   (a) Dalton (b) Faraday (c) Kekule (d) Avogadro

3. When one coulomb of electricity is passed through an electrolytic solution, the mass deposited on the electrode is equal to .....

   (a) equivalent weight (b) molecular weight
   (c) electrochemical equivalent (d) one gram

4. Faraday's laws of electrolysis are related to .....

   (a) atomic number of the cation (b) atomic number of the anion
   (c) equivalent weight of the electrolyte (d) speed of the cation

5. The specific conductance of a 0.01 M solution of KCl is 0.0014 ohm^{-1} cm^{-1} at 25°C. Its equivalent conductance is .....

   (a) 14 ohm^{-1} cm^2 eq^{-1} (b) 140 ohm^{-1} cm^2 eq^{-1}
   (c) 1.4 ohm^{-1} cm^2 eq^{-1} (d) 0.14 ohm^{-1} cm^2 eq^{-1}

6. The equivalent conductivity of CH_3COOH at 25°C is 80 ohm^{-1} cm^2 eq^{-1} and at infinite dilution 400 ohm^{-1} cm^2 eq^{-1}. The degree of dissociation of CH_3COOH is .....

   (a) 1 (b) 0.2 (c) 0.1 (d) 0.3

7. When sodium acetate is added to acetic acid, the degree of ionisation of acetic acid .....

   (a) increases (b) decreases
   (c) does not change (d) becomes zero

8. NH_4OH is a weak base because .....

   (a) it has low vapour pressure (b) it is only partially ionised
   (c) it is completely ionised (d) it has low density

9. Which one of the following formulae represents Ostwald's dilution law for a binary electrolyte whose degree of dissociation is α and concentration C.

(a) $K = \frac{(1-\alpha)C}{\alpha}$ (b) $K = \frac{\alpha^2 C}{1-\alpha}$ (c) $K = \frac{(1-\alpha)C}{\alpha^2}$ (d) $K = \frac{\alpha^2 C}{(1-\alpha)C}$

10. Ostwald's dilution law is applicable in the case of the solution of .....

(a) CH_3COOH (b) NaCl (c) NaOH (d) H_2SO_4

11. Which one of the following relationship is correct ?

(a) $pH = \frac{1}{[H^+]}$ (b) $pH = \log_{10} [H^+]$

(c) $\log_{10} pH = [H^+]$ (d) $pH = \log_{10} \frac{1}{[H^+]}$

12. When 10^{-6} mole of a monobasic strong acid is dissolved in one litre of solvent, the pH of the solution is .....

(a) 6 (b) 7 (c) less than 6 (d) more than 7

13. When pH of a solution is 2, the hydrogen ion concentration in moles litre-1 is .....

(a) 1×10^{-12} (b) 1×10^{-2} (c) 1×10^{-7} (d) 1×10^{-4}

14. The pH of a solution containing 0.1 N NaOH solution is .....

(a) 1 (b) 10^{-1} (c) 13 (d) 10^{-13}

15. A solution which is resistant to changes of pH on addition of small amounts of an acid or a base is known as .....

(a) buffer solution (b) true solution
(c) isohydric solution (d) ideal solution

16. The hydrogen ion concentration of a buffer solution consisting of a weak acid and its salt is given by .....

(a) $[H^+] = K_a \frac{[Acid]}{[Salt]}$ (b) $[H^+] = K_a [Salt]$

(c) $[H^+] = K_a [Acid]$ (d) $[H^+] = K_a \frac{[Salt]}{[Acid]}$

17. Indicators used in acid-base titrations are .....
    (a) strong organic acids
    (b) strong organic bases
    (c) weak organic acids or weak organic bases
    (d) non-electrolysis
18. For the titration between oxalic acid and sodium hydroxide, the indicator used in .....
    (a) potassium permanganate (b) phenolphthalein
    (c) litmus (d) methyl orange

(B) Answer in one or two sentences :

1. Differentiate between electrolytic conductor and metallic conductor.
2. Define Faraday.
3. Define electrochemical equivalent.
4. What are insulators. Give examples.
5. State Ostwald's dilution law.
6. What is common ion effect. Give examples.
7. What is a buffer action ?
8. What are indicators ?
9. Define specific and equivalent conductance. How are they related ?
10. What is Henderson equation ?

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Write an account of the Arrhenius theory of electrolytic dissociation.
2. Explain Faraday's laws of electrolysis.
3. Explain Ostwald's dilution law.
4. Explain buffer action with example.
5. Derive Henderson equation.
6. Write notes on (i) Ostwald's theory of indicators, (ii) Quinonoid theory of indicators.

7. Define molar, equivalent and specific conductance and describe the effect of dilution.
8. State and explain Kohlrausch's law.
9. State and explain Debye-Huckel-Onsager equation.

(D) Solve the problems :

1. What is the electrochemical equivalent of a substance when 150 gm of it is deposited by 10 ampere of current passed for 1 sec ? [**Ans.** 15.0]
2. The electrochemical equivalent of an electrolyte is 2.35 gm. amp^{-1} sec^{-1}. Calculate the amount of the substance deposited when 5 ampere is passed for 10 sec ? [**Ans.** 117.5 gm]
3. To 1 M solution of $AgNO_3$, 0.75 F quantity of current is passed. What is the concentration of the electrolyte, $AgNO_3$ remaining in the solution ?
4. 0.5 F of electric current was passed though 5 molar solutions of $AgNO_3$, $CuSO_4$ and $AlCl_3$ connected in series. Find out the concentration of each of the electrolyte after the electrolysis ?
   [**Ans.** $AgNO_3$, 4.5 M ; $CuSO_4$; 4.75 M ; $AlCl_3$; 4.839 M]
5. To one molar solution of a trivalent metal salt, electrolysis was carried out and 0.667 M was the concentration remaining after electrolysis. Calculate the quantity of electricity passed. [**Ans.** 1F]
6. A conductance cell has platinum electrodes, each with 5 cm^2 area and separated by 0.5 cm distance. What is the cell constant?[**Ans.** 0.1 cm^{-1}]
7. Using a conductivity cell with 0.9 cm^{-1} cell constant, the conductance was observed to be 2.5×10^{-3} mho for 0.07 M KCl solution. What is the specific conductance of the solution ? [**Ans.** 2.25×10^{-3} $mho.cm^{-1}$]
8. Specific conductance of 1 M KNO_3 solution is observed to be 5.55×10^{-3} $mho.cm^{-1}$. What is the equivalent conductance of KNO_3 when one litre of the solution is used ?[**Ans.** 5.55 $mho.cm^2.gm.equiv^{-1}$]
9. Explain why on dilution does the conductivity decrease whereas molar conductivity increases for an electrolytic solution.

10. The equivalent conductances at infinite dilution of HCl, CH_3COONa and NaCl are 426.16, 91.0 and 126.45 ohm^{-1} cm^2 gm.$equivalent^{-1}$ respectively.. Calculate the λ_∞ of acetic acid.

[**Ans.** 390.71 ohm^{-1}. cm^2 gm $equiv^{-1}$]

SUMMARY :

- ☞ Differences between electronic, electrolytic and semiconductors are studied. Intrinsic and extrinsic semi conductors are learnt.
- ☞ Arrhenius theory of weak electrolytes and its limitations are known.
- ☞ Onsager's equation for equivalent conductors of strong electrolytes is learnt and its dependence with $\sqrt{C}$ is studied.
- ☞ Statements of Faraday's laws of electrolysis and their significances are studied.
- ☞ Quantitative calculation on amount of electricity and mass deposited at the electrodes are learnt.
- ☞ Definitions and mathematical expressions of resistance, conductance, specific, equivalent and molar conductances are learnt and studied.
- ☞ Variations of conductances with dilution for strong and weak electrolytes are leant and understood.
- ☞ Kohlrausch's law is defined and studied. It's significances are also understood.
- ☞ Buffer action, nature of acidic and basic buffers, Henderson equation are studied.
- ☞ Use of pH values, indicators with applications of different pH ranges are studied.

REFERENCES :

(i) Electrochemistry By S. Glasstone Tata McGraw Hill publication.

(ii) Physical Chemistry by S.W. Castellan.

14. ELECTROCHEMISTRY - II

LEARNING OBJECTIVES

- *Properties and nature of cells will be understood. The differences between electrolytic and electrochemical cells will be learnt. Interconversion of electrical and chemical energy will be emphasized.*
- *Metal - metal ion electrode and standard hydrogen electrode construction and the electrode potential will be learnt. Nernst equation will be learnt. $\Delta G = -nFE$ and the interconversion of change in free energy and electrode potentials will be explained.*
- *Construction of cells with specific electrodes and the EMF calculations will be studied. Daniel cell, and its representation, EMF of cell from two half cell potentials will also be calculated.*
- *Complete electrochemical cell representation and writing oxidation and reduction half cell reactions will be studied with suitable example.*

14.1 CELLS

In electrochemistry, the interconversion of chemical energy and electrical energy is an important aspect that possesses numerous applications. For example, batteries supply electrical energy stored in the form of chemical energy for the operation of torch, radio, calculators etc. Conversely, electrical energy is used to bring about certain chemical reactions which are industrially important such as purification of metals like copper, aluminium, generation

of gaseous chlorine, oxygen, hydrogen, electroplating, metal coatings etc. The electrochemical or electrolytic processes are carried out in a device known as a cell. An electrolytic (or) electrochemical cell consists of two conducting metal electrodes in contact with an electrolyte solution which separates them (or) placed separately in compartments containing suitable electrolytes. The electrolyte may be an aqueous solution containing mostly the salt of the metal with which the electrode is made of (or) it may be an ionically conducting solid.

There are two types of cells known as electrolytic cell and electrochemical cell. Each of them possesses different characteristics and used in different application.

Generally at the anode oxidation reaction occurs and at the cathode reduction reaction occurs. When the electrodes are connected externally through a wire and electrons flow through them, the electrical circuit is said to be an open circuit. If the electrodes are not connected externally and the electrons do not flow from one electrode into the other, the electrical circuit is said to be a closed circuit.

Daniel cell : Daniel cell or a galvanic cell is an example of electrochemical cell. The overall reaction taking place in the cell is the redox reaction given as

$$Zn_{(s)} + Cu^{2+}{}_{(aq)} \longrightarrow Zn^{2+}{}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

This overall reaction is made of the summation of two half reactions such as oxidation half reaction and reduction half reaction.

The oxidation half reaction occurring at the zinc electrode in contact with the aqueous electrolyte containing Zn^{2+}, accumulates the electrons at the zinc rod.

$$Zn_{(s)} \longrightarrow Zn^{2+}{}_{(aq)} + 2e^{-}$$

The reduction half reaction occurring at the copper electrode in contact with the aqueous electrolyte containing Cu^{2+} ions receives the electrons from the zinc electrode when connected externally, to produce metallic copper according to the reaction as,

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu_{(s)}$$

The decrease in the energy which appears as the heat energy when a zinc rod is directly dipped into the zinc sulphate solution, is converted into electrical energy when the same reaction takes place indirectly in an electrochemical cell. The zinc sulphate is placed in the porous pot while copper sulphate is placed in a glass vessel.

The Daniel cell is also called as the voltaic cell. However for continuous supply of current for a long period, the two half cells each comprising the metal electrode and its aqueous electrolyte kept in separate containers and can be connected externally as below :

Fig. 14.3 A simple voltaic (galvanic) cell

When the cell is set up, electrons flow from zinc electrode through the wire to the copper cathode. As a result, zinc dissolves in the anode solution to form Zn^{2+} ions. The Cu^{2+} ions in the cathode half cell pick up electrons and are converted to Cu atoms on the cathode.

Cell Terminology

Before taking up the study of the electrochemical cells, we should be familiar with a few common terms.

Current is the flow of electrons through a wire or any conductor.

Electrode is the material : a metallic rod/bar/strip which conducts electrons into and out of a solution.

Anode is the electrode at which oxidation occurs. It sends electrons into the outer circuit. It has negative charge and is shown as (–) in cell diagrams.

Cathode is the electrode at which electrons are received from the outer circuit. It has a positive charge and is known as (+) in the cell diagrams.

Electrolyte is the salt solution in a cell.

Anode compartment is the compartment of the cell in which oxidation half-reaction occurs. It contains the anode.

Cathode compartment is the compartment of the cell in which reduction half-reaction occurs. It contains the cathode.

Half-cell. Each half of an electrochemical cell, where oxidation occurs and the half where reduction occurs, is called the half cell.

Cell diagram or Representation of a Cell

A cell diagram is an abbreviated symbolic depiction of an electrochemical cell. For this purpose, we will consider that a cell consists of two half-cells. Each half-cell is again made of a metal electrode in contact with metal ion in solution.

IUPAC Conventions. In 1953 IUPAC recommended the following conventions for writing cell diagrams. We will illustrate these with reference to Zinc-Copper cell.

(1) a single vertical line (|) represents a phase boundary between metal electrode and ion solution (electrolyte). Thus the two half-cells in a voltaic cell are indicated as

It may be noted that the metal electrode in anode half-cell is on the left, while in cathode half-cell it is on the right of the metal ion.

(2) A double vertical line represents the salt bridge, porous partition or any other means of permitting ion flow while preventing the electrolyte from mixing.

(3) Anode half-cell is written on the left and cathode half-cell on the right.

(4) In the complete cell diagram, the two half-cells are separated by a double vertical line (salt bridge) in between. The zinc-copper cell can now be written as

Salt Bridge

$$Zn \mid Zn^{2+} \quad || \quad Cu^{2+} \mid Cu$$

ANODE HALF-CELL **CATHODE HALF-CELL**

(5) The symbol for an inert electrode, like the platinum electrode is often enclosed in a bracket. For **example**,

Inert Electrode

$$Mg \mid Mg^{2+} \quad || \quad H^{+} \mid H_2(Pt)$$

ANODE HALF-CELL **CATHODE HALF-CELL**

(6) The value of emf of a cell is written on the right of the cell diagram. Thus a zinc-copper cell has emf 1.1 V and is represented as

$$Zn \mid ZnSO_4 \quad || \quad CuSO_4 \mid Cu \qquad E = +1.1\ V$$

$\longrightarrow$ **Direction of electron flow**

If the emf acts in the opposite direction through the cell circuit it is denoted as a negative value.

$$Cu \mid CuSO_4 \quad || \quad ZnSO_4 \mid Zn \qquad E = -1.1\ V$$

$\longleftarrow$ **Direction of electron flow**

The negative sign also indicates that the cell is not feasible in the given direction and the reaction will take place in the reverse direction only. The

overall cell reaction for E = –1.1 V of the daniel cell is

$$Cu_{(s)} + Zn_{(aq)}^{2+} \longrightarrow Cu_{(aq)}^{2+} + Zn_{(s)}$$

The reversal of the cell current is accompanied by the reversal of direction of the cell reaction. Thus a reversible cell is defined as that operates by reversal of cell reactions when the direction of flow of current is reversed. The reversible behaviour operates only for infinitesimal changes in e.m.f. of the cell on the positive and negative sides from the balance point which corresponds to the actual emf of the cell.

14.2 SINGLE ELECTRODE POTENTIAL

An electrochemical cell consists of two half-cells. With an open-circuit, the metal electrode in each half-cell transfers its ions into solution. Thus an individual electrode develops a potential with respect to the solution. The potential of a single electrode in a half-cell is called the **Single electrode potential.** Thus in Daniel cell in which the electrodes are not connected externally, the anode Zn/Zn^{2+} develops a negative charge and the cathode Cu/Cu^{2+}, a positive charge. The amount of the charge produced on an individual electrode determines its single electrode potential.

The single electrode potential of a half-cell depends on : (a) concentration of ions in solution ; (b) tendency to form ions ; and (c) temperature.

Standard emf of a cell

The emf generated by an electrochemical cell is given by the symbol E. It can be measured with the help of a potentiometer. The value of emf varies with the concentration of the reactants and products in the cell solutions and the temperature of the cell. When the emf of a cell is determined under standard conditions, it is called the standard emf. The standard conditions are : (a) 1 M solutions of reactants and products ; and (b) temperature of 25° C. Thus standard emf may be defined as the emf of a cell with 1 M solutions of reactants and products in solution measured at 25° C. Standard emf of a cell is represented by the symbol E^o. For gases 1 atm. pressure is a standard condition instead of concentration. For Zn-Cu voltaic cell, the standard emf, E^o is 1.10V.

$$Zn \mid Zn^{2+}_{(aq,\ 1M)} \parallel Cu^{2+}_{(aq,\ 1M)} \mid Cu \qquad E^o = 1.10\ V$$

Determination of emf of a half-cell

By a single electrode potential, we also mean the emf of an isolated half-cell or its half-reaction. The emf of a cell that is made of two half-cells can be determined by connecting them to a voltmeter. However, there is no way of measuring the emf of a single half-cell directly. The emf of the newly constructed cell, E is determined with a voltmeter. The emf of the unknown half-cell E^o can then be calculated from the expression

$$E_{measured} = E_R - E_L$$

If the standard half-cell acts as anode, the equation becomes

$$E_R = E_{measured} \qquad (\because E_L = 0)$$

On the other hand, if standard half-cell is cathode, the equation takes the form

$$E_L = -E_{measured} \qquad (\because E_R = 0)$$

The standard hydrogen half-cell or Standard Hydrogen Electrode (SHE), is selected for coupling with the unknown half-cell. It consists of a platinum electrode immersed in a 1 M solution of H^+ ions maintained at 25°C. Hydrogen gas at one atmosphere enters the glass hood and bubbles over the platinum electrode. The hydrogen gas at the platinum electrode passes into solution, forming H^+ ions and electrons.

Fig. 14.4 The standard hydrogen electrode

The emf of the standard hydrogen electrode is arbitrarily assigned the value of zero volts. So, SHE can be used as a standard for other electrodes.

The half-cell whose potential is desired, is combined with the hydrogen electrode and the emf of the complete cell determined with a voltmeter. The emf of the cell is the emf of the half-cell.

For example, it is desired to determine the emf of the zinc electrode, $Zn \mid Zn^{2+}$. It is connected with the SHE. The complete electrochemical cell may be represented as :

$$Zn \mid Zn^{2+} \parallel H^+ \mid H_2 \text{ (1 atm), Pt}$$

The emf of the cell has been found to be –0.76 V which is the emf the zinc half-cell. Similarly, the emf of the copper electrode, $Cu^{2+} \mid Cu$ can be determined by pairing it with the SHE when the electrochemical cell can be represented as :

$$Pt, H_2 \text{ (1 atm)} \mid H^+ \parallel Cu^{2+} \mid Cu$$

The emf of this cell has been determined to be 0.34 V which is the emf of the copper half-cell.

$$E^o_{cell} = E^o_{Cu/Cu^{2+}} - E^o_{SHE}$$
$$= 0.34 - \text{Zero}$$
$$= 0.34 \text{ V}$$

The two situations are explained as follows :

When it is placed on the right-hand side of the zinc electrode, the hydrogen electrode reaction is

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2$$

The electrons flow to the SHE and it acts as the cathode.

When the SHE is placed on the left hand side, the electrode reaction is

$$H_2 \longrightarrow 2H^+ + 2e^-$$

The electrons flow to the copper electrode and the hydrogen electrode

as the anode. Evidently, the SHE can act both as anode and cathode and, therefore can be used to determine the emf of any other half-cell electrode (or single electrode).

According to IUPAC convention, the standard reduction potentials alone are the standard potentials. The values of the standard potentials at 25°C (298 K) for some common Reduction Half-reactions are listed in Table below.

Standard Reduction Potentials at 25°C (298K)

Reduction Half - reaction	E°V
$F_2 + 2e^- \longrightarrow 2F^-$	2.87
$H_2O_2 + 2H^+ + 2e^- \longrightarrow 2H_2O$	1.78
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$	1.69
$Au^{3+} + 3e^- \longrightarrow Au$	1.50
$Cl_2 + 2e^- \longrightarrow 2Cl^-$	1.36
$Ag^+ + e^- \longrightarrow Ag(s)$	0.80
$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu(s)$	0.34
$2\,H^+ + 2e^- \longrightarrow H_2(g)$	0.00
$Pb^{2+} + 2e^- \longrightarrow Pb(s)$	–0.13
$Zn^{2+} + 2e^- \longrightarrow Zn(s)$	–0.76

Predicting Cell EMF

The standard emf E°, of a cell is the standard reduction potential of right-hand electrode (cathode) minus the standard reduction potential of the left-hand electrode (anode). That is,

$$E^o_{cell} = E^o_{right} - E^o_{left}$$
$$= \text{Cathode potential} - \text{Anode potential}$$

Let us predict the emf of the cell

$$Zn_{(s)} \mid Zn^{2+}_{(aq)} \mid\mid Ag^+_{(aq)} \mid Ag$$

by using the Eo values from the table.

$$E^o_{cell} = E^o_R - E^o_L$$

$$= 0.80 - (-0.763)$$

$$= 0.80 + 0.763 = 1.563 \text{ V}$$

Predicting Feasibility of Reaction

The feasibility of a redox reaction can be predicted with the help of the electrochemical series. The net emf of the cell reaction, E_{cell}, can be calculated from the expression

$$E^o_{cell} = E^o_{cathode} - E^o_{anode}$$

In general, if E^o_{cell} = + ve, the reaction is feasible

E^o_{cell} = –ve, the reaction is not feasible.

Example 1 : Predict whether the reaction

$$2Ag_{(s)} + Zn^{2+}_{(aq)} \longrightarrow 2Ag^+_{(aq)} + Zn_{(s)}$$

is feasible or not.

Solution : The cell half reactions are

Anode : $2Ag_{(s)} \longrightarrow 2Ag^+_{(aq)} + 2e^-$ $E^o = 0.80$ V

Cathode : $Zn^{2+}_{(aq)} + 2e^- \longrightarrow Zn_{(s)}$ $E^o = -0.763$ V

$$E^o_{cell} = E^o_{cathode} - E^o_{anode}$$

$$E^o_{cell} = -0.763 \text{ V} - 0.80 \text{ V}$$

$$= -1.563 \text{ V}$$

Since E^o_{cell} is negative, the given reaction is not feasible.

Example 2 : Determine the feasibility of the reaction

$$2Al_{(s)} + 3Sn^{4+}_{(aq)} \longrightarrow 2Al^{3+} + 3Sn^{2+}_{(aq)}$$

Solution : The given reaction consists of the following half reactions

Anode : $2Al_{(g)} \longrightarrow 2Al^{3+} + 6e^-$

Cathode : $3Sn^{4+} + 6e^- \longrightarrow 3Sn^{2+}$ $E^o = -1.66$ V

$E^o_{cell} = 0.15 - (-1.66)$ $E^o = +0.15$ V

$= 1.81$ V

Since E^o_{cell} is positive, the reaction is feasible.

Metal displacement : (Predicting whether a metal will displace another metal from its salt solution or not).

As already shown, the metals near the bottom of the electrochemical series are strong reducing agents and are themselves oxidised to metal ions. On the contrary, the metal lying higher up in the series are strong oxidising agents and their ions are readily reduced to the metal itself. For **example**, zinc lying down below the series is oxidised to Zn^{2+} ion, while copper which is higher up in the series is produced by reduction of Cu^{2+} ion.

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

$$Cu^{2+} + 2e^- \longrightarrow Cu\downarrow$$

Thus when zinc is placed in $CuSO_4$ solution, Cu metal gets precipitated. In general we can say that a metal lower down the electrochemical series can precipitate the one higher up in the series.

Silver cannot precipitate Cu from $CuSO_4$ solution, since both metals have positions higher up in the series and are strong oxidising agents.

Hydrogen displacement : (Predicting whether a metal will displace hydrogen from a dilute acid solution.)

Any metal above hydrogen in the electrochemical series is a weaker reducing agent than hydrogen and will not convert H^+ to H_2. This explains why Zn lying below hydrogen reacts with dil. H_2SO_4 to liberate H_2, while Cu lying above hydrogen does not react.

$$Zn + 2H^+ (dil.H_2SO_4) \longrightarrow Zn^{2+} + H_2\uparrow$$

$$Cu + 2H^+ (dil.\ H_2SO_4) \not\longrightarrow Cu^{2+} + H_2$$

Example 1 : Calculate the standard e.m.f. of the cell : Cd, Cd^{2+} || Cu^{2+}, Cu and determine the cell reaction. The standard reduction potentials of Cu^{2+}, Cu and Cd^{2+}, Cd are 0.34V and –0.40 volts respectively. Predict the feasibility of the cell reaction.

E^o_{cell} = Standard EMF of the cell

$= E^o_{right} - E^o_{left}$

= [Std. reduction potential of Cu^{2+}, Cu]
– [Std. reduction potentials of Cd^{2+}, Cd]

$= E^oCu^{2+}, Cu - E^o_{Cd^{2+},Cd}$

= 0.34 V – (– 0.4 V)

= + 0.74 Volts.

Left hand electrode (oxidation half cell) reaction is

$$Cd_{(s)} \longrightarrow Cd^{2+} + 2e$$

Right hand electrode (reduction half cell) reaction is

$$Cu^{2+} + 2e \longrightarrow Cu_{(s)}$$

The cell reaction is

$$Cd_{(s)} + Cu^{2+}_{(aq)} \longrightarrow Cd^{2+}_{(aq)} + Cu_{(s)}$$

E^ocell is positive. ∴ The cell reaction is feasible.

Example 2 : Determine the standard emf of the cell and predict its feasibility.

$$Ag, Ag^+ || H^+, H_{2(g)1atm}, Pt.$$

The standard reduction potential of Ag^+, Ag is 0.80 volts.

The right hand side electrode is SHE.

$\therefore E^o_{cell} = E^o_{Right} - E^o_{Left}$

E^o_{cell} = [Std. reduction potential of SHE]
– [Std. reduction potential of Ag^+, Ag]

= 0 – (+ 0.8 V) = – 0.8 Volts.

Since E^o_{cell} is negative, the cell reaction is not feasible.

Relation between EMF and free energy

When a cell produces a current, the current can be used to do work - to run a motor, for instance. Thermodynamic principles can be employed to derive a relation between electrical energy and the maximum amount of work, W_{max}, obtainable from the cell. The maximum amount of work obtainable from the cell is the product of charge flowing per mole and maximum potential difference, E, through which the charge is transferred.

$$W_{max} = -nFE \qquad \text{... (1)}$$

where *n* is the number of moles of electrons transferred and is equal to the valence of the ion participating in the cell reaction. F stands for Faraday and is equal to 96,495 coulombs and E is the emf of the cell.

According to thermodynamics, the maximum work that can be derived from a chemical reaction is equal to the free energy (ΔG) for the reaction,

$$W_{max} = \Delta G \qquad \text{... (2)}$$

Therefore, from (1) and (2), we can write

$$\Delta G = -nFE \qquad \text{... (3)}$$

Thus only when E has a positive value, ΔG value will be negative and the cell reaction will be spontaneous and the e.m.f. of the cell can be measured.

Here E refers to the E_{cell}.

Thus, the electrical energy supplied by the cell is (*n*FE) equal to the free energy decrease ($-\Delta G$) of the cell reaction occurring in the cell.

Example : Determine the standard emf of the cell and standard free energy change of the cell reaction.

Zn, Zn^{2+} || Ni^{2+}, Ni. The standard reduction potentials of Zn^{2+}, Zn and Ni^{2+}, Ni half cells are – 0.76 V and – 0.25 V respectively.

$$E^o_{cell} = E^oR - E^oL = -0.25 - (-0.76)$$

$$= +0.51 \text{ V} \quad E^o_{cell} \text{ is + ve. } \therefore \Delta G^o = -\text{ve.}$$

$$\therefore \Delta G^o = -n FE^o_{cell}$$

$$n = 2 \text{ electrons}$$

$$\therefore \Delta G^o = -2 \times 96495 \times 0.51 = -97460 \text{ Joules} = -97.46 \text{ kJ.}$$

Thermodynamics of a reversible cell

Nernst equation : Suppose the reaction occurring in a reversible cell is represented by the equation

$$A + B \rightleftharpoons C + D$$

The decrease in free energy, $-\Delta G$, accompanying the process is given by the well known thermodynamic equation

$$-\Delta G = -\Delta G^o - RT \ln J$$

where $-\Delta G^o$ is the decrease in free energy accompanying the same process when all the reactants and products are in their standard states of unit activity and J stands for the reaction quotient of the activities of the products and reactants at any given stage of the reaction.

Substituting the value of J, we have

$$-\Delta G = -\Delta G^o - RT \ln \frac{a_C \times a_D}{a_A \times a_B}$$

If E is the E.M.F. of the cell in volts and the cell reaction involves the passage of '*n*' faradays (i.e.,) nF coulombs, the electrical work done by the cell is in nFE volt-coulombs or Joules. Hence free energy decrease of the system, $-\Delta G$, is given by the expression

$$-\Delta G = nFE$$

$$nFE = -\Delta G^o - RT \ln \frac{a_C \times a_D}{a_A \times a_B}$$

$$= nFE^o - RT \ln \frac{a_C \times a_D}{a_A \times a_B}$$

$$E = E^o - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_C \times a_D}{a_A \times a_B}$$

where E^o is the E.M.F. of the cell in which the activity, or as an approximation, the concentration of each reactant and each product of the cell reaction is equal to unity. Eo is known as the standard E.M.F. of the cell.

$$E = E^o - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_C \times a_D}{a_A \times a_B}$$ is often referred to as the Nernst equation

Replacing activities by concentrations, as an approximation, the Nernst equation may be written as

$$E = E^o - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

where the quantities in parantheses represent the concentration of the species involved. Replacing [C] [D]/[A] [B] as equal to K, the equilibrium constant in the molar concentration units,

$$E = E^o - \frac{RT}{nF} \ln K.$$

This equation is known as Nernst equation.

$$E = E^o - 2.303 \frac{RT}{nF} \log K,$$

where E^o = standard electrode potential

R = gas constant

T = Kelvin temperature

n = number of electrons transferred in the half-reaction

F = Faraday of electricity

K = equilibrium constant for the half-cell reaction as in equilibrium law.

Calculation of Half-cell potential

For an oxidation half-cell reaction when the metal electrode M gives M^{n+} ion,

$$M \longrightarrow M^{n+} + ne^- \qquad ...(1)$$

the Nernst equation takes the form

$$E = E^o - \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[M^{n+}]}{[M]} \quad ... (2)$$

The activity of solid metal [M] is equal to unity. Therefore, the Nernst equation can be written as

$$E = E^o - \frac{2.303RT}{nF} \log [M^{n+}] ... (3)$$

Substituting the values of R, F and T at 25°C, the quantity 2.303 RT/F comes to be 0.0591. Thus the Nernst equation (3) can be written in its simplified form as

$$E = E^o - \frac{0.0591}{n} \log [M^{n+}] \quad ... (4)$$

This is the equation for a half-cell in which oxidation occurs. In case it is a reduction, the sign of E will have to be reversed.

Example 1 : What is the potential of a half-cell consisting of zinc electrode in 0.01 M $ZnSO_4$ solution 25°C. E^o = 0.763 V.

Solution : The half-cell reaction is

$$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$$

The Nernst equation for the oxidation half-cell reaction is

$$E = E^o - \frac{0.0591}{n} \log [Zn^{2+}]$$

The number of electrons transferred n = 2 and E^o = 0.763 V.

Substituting these values in the Nernst equation we have

$$E = 0.763 - \frac{0.0591}{2} (-2)$$

$$= 0.763 + 0.0591 = 0.8221 \text{ V}$$

Calculation of Cell potential

The Nernst equation is applicable to cell potentials as well. Thus,

$$E_{cell} = E^o_{cell} - \frac{0.0591}{n} \log K$$

K is the equilibrium constant of the redox cell reaction.

Example 2 : Calculate the emf of the cell.

$$Zn \mid Zn^{2+} (0.001\ M) \mid\mid Ag^+ (0.1\ M) \mid Ag$$

The standard potential of Ag/Ag^+ half-cell is + 0.80 V and Zn/Zn^{2+} is –0.76 V.

Solution :

Step 1 : Write the half-cell reactions of the anode and the cathode. Then add the anode and cathode half reactions to obtain the cell reaction and the value of E^o_{cell}.

Cathode : $2Ag^+ + 2e^- \longrightarrow 2Ag$ $\quad E^o = +0.80$

Anode : $Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e^-$ $\quad E^o = -0.76$ V

Cell : $Zn + 2Ag^+ \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2Ag$ $\quad E^o = 1.56$ V

Step 2. K for the cell reaction = $\frac{[Zn^{2+}]}{[Ag^+]^2}$

Substituting the given values in the Nernst equation and solving for E_{cell}, we have

$$E_{cell} = E^o_{cell} - \frac{0.0591}{n} \log K$$

$$= 1.56 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[Zn^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

$$= 1.56 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[10^{-3}]}{[10^{-1}]^2}$$

$$= 1.56 - 0.02955 (\log 10^{-1})$$

$$= 1.56 + 0.02955$$

$$= 1.58955 \text{ V}$$

Calculation of Equilibrium constant for the cell reaction

The Nernst equation for a cell is

$$E_{cell} = E^o_{cell} - \frac{0.0591}{n} \log K$$

or $$\log K = \frac{n E^o_{cell}}{0.0591}$$

Example 3 : Calculate the equilibrium constant for the reaction between silver nitrate and metallic zinc.

Solution :

Step 1 : Write the equation for the reaction

$$2Ag^+ + Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2Ag \qquad E^o_{cell} = 1.56 \text{ V}$$

Step 2 : Substitute values in the Nernst equation at equilibrium

$$\log K = \frac{n E^o_{cell}}{0.0591}$$

$$0 = 2 \times 1.56 - 0.03 \log K$$

$$-1.56 \times 2 = -0.03 \log K$$

$$\log K = \frac{-1.56 \times 2}{-0.03} = 52.79$$

$$K = 6.19 \times 10^{52}$$

Example 4 : Calculate the E.M.F. of the zinc - silver cell at 25°C when $[Zn^{2+}] = 0.10$ M and $[Ag^+] = 10$ M. (E^o cell at 25°C = 1.56 volt]

Solution : The cell reaction in the zinc - silver cell would be

$$2Ag^+ + Zn \rightleftharpoons 2Ag + Zn^{2+}$$

The Nernst equation for the above all reaction may be written as :

$$E_{cell} = E^{o}cell - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Ag]^2[Zn^{2+}]}{[Ag^+]^2[Zn]}$$

(since concentrations of solids are taken as unity)

$$= E^{o}_{cell} - \ln \frac{[Zn^{2+}]}{[Ag^+]^2}$$

Substituting the various values in Nernst equation, we have

$$E_{cell} = 1.56 - \frac{2.303 \times 8.314 \times 298}{2 \times 96495} \log \frac{0.1}{(10)^2}$$

$$= 1.648 \text{ volts.}$$

Example 5 : Write the cell reactions for the following cells.

(i) $Zn \mid ZnO_2^{2-}, OH^- \mid HgO \mid Hg$

(ii) $Pb \mid PbSO_4 \mid H_2SO_4 \mid PbSO_4 \mid PbO_2 \mid Pt$

(iii) $Pt \mid H_2 \mid HCl \mid Hg_2Cl_2 \mid Hg \mid Pt$

Solution : (i) The electrode reactions are

$$Zn_{(s)} + 4OH^- + 2e^- \longrightarrow ZnO_2^{2-} + 2H_2O$$

$$HgO_{(s)} + H_2O + 2e^- \longrightarrow Hg_{(s)} + 2OH^-$$

Cell reaction is

$$Zn_{(s)} + HgO_{(s)} + 2OH^- \longrightarrow ZnO_2^{2-} + Hg_{(s)} + H_2O$$

(ii) The electrode reactions are

$$Pb_{(s)} + SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_{4(s)} + 2e^-$$

$$PbO_{2(s)} + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \longrightarrow PbSO_{4(s)} + 2H_2O$$

Cell reaction is

$$Pb_{(s)} + PbO_{2(s)} + 4H^+ + 2SO_4^{2-} \longrightarrow 2PbSO_{4(s)} + 2H_2O$$

(iii) The electrode reactions are

$$2H^+ + 2e^- \longrightarrow H_{2(g)}$$

$$Hg_2Cl_{2(s)} + 2e^- \longrightarrow 2Hg_{(l)} + 2Cl^-$$

The cell reaction is

$$Hg_2Cl_{2(s)} + H_2 \longrightarrow 2Hg_{(l)} + 2H^+ + 2Cl^-$$

Example 6 : Calculate the potential of the following cell at 298 K

Zn/Zn^{2+} (a = 0.1) // Cu^{2+} (a = 0.01) / Cu

$$E^o_{Zn^{2+}/Zn} = -0.762 \text{ V}$$

$$E^o_{Cu^{2+}/Cu} = +0.337 \text{ V}$$

Compare the free energy change for this cell with the free enegy of the cell in the standard state.

Solution : The overall cell reaction is

$$Zn + Cu^{2+} (a = 0.01) \longrightarrow Zn^{2+} (a = 0.1) + Cu$$

The cell potential given by nernst equation

$$E_{cell} = E^o_{cell} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{Zn^{2+}} a_{Cu}}{a_{Zn} a_{Cu^{2+}}}$$

$$= E^o_{cell} - \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{Zn^{2+}}}{a_{Cu^{2+}}}$$

(Since activity of a pure metal is unity)

$$E^o_{cell} = 0.337 - (-0.762) = 1.099 \text{ V}$$

$$E_{cell} = 1.099 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{0.1}{0.01}$$

$$= 1.099 - \frac{0.0591}{2} \log 10$$

$$= 1.099 - 0.02956$$

$$= 1.0694 \text{ V}$$

The free energy change ΔG is given by $\Delta G = -nFE$

$$\Delta G = -(2 \text{ equi/mol})(1.0694 \text{ V})(96495 \text{ coulombs equiv}^{-1})$$
$$= -206.4 \text{ kJ mol}^{-1}$$

The standard free energy change :

$$\Delta G^o = -(2 \text{ equi/mol})(1.099\text{V})(96495 \text{ coulomb/equiv})$$
$$= -212.1 \text{ kJ/mol.}$$

Example 7 : Calculate the standard e.m.f. of the reaction

$Fe^{3+} + 3e^- \longrightarrow Fe_{(s)}$. Given the e.m.f. values of

$Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$ and $Fe^{2+} + 2e \longrightarrow Fe_{(s)}$ as + 0.771V and – 0.44 V respectively.

Solution : Let $E_1 = 0.771\text{V}$ for $Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$

$E_2 = -0.44\text{V}$ for $Fe^{2+} + 2e \longrightarrow Fe_{(s)}$

then $E_1 + E_2 = 0.331$ V and this e.m.f. corresponds to

$$Fe^{3+} + 3e \longrightarrow Fe_{(s)}.$$

Example 8 : The standard electrode potentials of the half cells Ag^+ / Ag and Fe^{3+}, Fe^{2+} / Pt are 0.7991 V and 0.771 V respectively. Calculate the equilibrium constant of the reaction :

$$Ag_{(s)} + Fe^{3+} \rightleftharpoons Ag^+ + Fe^{2+}$$

Solution : The cell formed is $Ag / Ag^+ ; Fe^{3+}, Fe^{2+} / Pt$

At anode : $Ag(s) \longrightarrow Ag^+ + e$

At cathode : $Fe^{3+} + e \longrightarrow Fe^{2+}$

Overall reaction : $Ag_{(s)} + Fe^{3+} \longrightarrow Fe^{2+} + Ag^+$

emf of the cell is given by $(E_R - E_L)$

$$E^o_{cell} = 0.771 - 0.7991 = -0.0281 \text{ V}$$

At equilibrium, $E_{cell} = E^o_{cell} - \dfrac{RT}{nF} \ln \dfrac{a_{Ag^+} a_{Fe^{2+}}}{a_{Fe^{3+}}}$

Since activity of solid silver is 1.0.

$$\therefore n = 1 \text{ and } K_{eq} = \frac{a_{Ag^+}\, a_{Fe^{2+}}}{a_{Fe^{3+}}}$$

$$\therefore E^o_{cell} = \frac{0.0591}{n} \log K_{eq}$$

$$\therefore \log K_{eq} = \frac{0.0281 \times 1}{0.0591} = 0.4751$$

$$\therefore K_{eq} = 0.335$$

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The potential of a single electrode is a half cell is called the
   (a) Reduction potential (b) Half-wave potential
   (c) Single electrode potential (d) cell potential
2. The relationship between free energy change and e.m.f. of a cell is
   (a) $\Delta G = -nFE$ (b) $\Delta H = -nFE$ (c) $\Delta E = nFG$ (d) $\Delta F = nEG$
3. The feasibility of a redox reaction can be predicted with the help of
   (a) Electronegativity (b) Electrochemical series
   (c) Electron affinity (d) Equivalent conductance
4. The metals near the bottom of the electrochemical series are
   (a) strong reducing agents (b) strong oxidising agents
   (c) weak reducing agents (d) weak oxidising agents
5. The emf of a cell with 1 M solutions of reactants and products in solution at 25° C is called
   (a) Half cell potential (b) Standard emf
   (c) Single electrode potential (d) Redox potential
6. The relationship between equilibrium constant and standard emf of a cell is
   (a) $E^o = 0.0591 \log K$ (b) $0.0591\, E^o = \log K$
   (c) $nE^o = 0.0951 \log K$ (d) $nE^o = 0.0591 \log K$

(B) Answer in one or two sentences :

1. The standard reduction potentials of Fe^{3+}/Fe and Fe^{2+}/Fe electrode systems are –0.035 V and –0.44V respectively. Predict which of the two oxidations is easy : Fe^{3+}/Fe and Fe^{2+}/Fe. [**Ans.** Fe^{2+}/Fe]
2. What are the types of changes in the cathode and anode in electrolytic and electrochemical cells.
3. Write the electrochemical cell for the overall cell reaction

   $Zn_{(s)} + 2AgNO_3 \longrightarrow 2Ag_{(s)} + Zn(NO_3)_2$.
4. The standard reduction potential of Fe3+, Fe2+/Pt is + 0.771V. This half cell is connected with another half cell such that e.m.f. of the cell is 0.771V. What is the other half cell ? [**Ans.** SHE]
5. Write the cell reaction for the half cell $Cl^-_{(aq)}$ / $AgCl_{(s)}$ Ag.
   [**Ans.** $AgCl_{(s)} + e^- \longrightarrow Ag_{(s)} + Cl^-$]
6. What are two types of cells ?
7. What is single electrode potential ?
8. Define standard emf of a cell.
9. How to predict the feasibility of a cell reaction ?
10. Write the Nernst equation.

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Write the differences between electrolytic and electrochemical cells.
2. How emf of a cell is determined ?

(D) Solve the problems :

1. The standard reduction potential for the reaction $Sn^{4+} + 2e \longrightarrow Sn^{2+}$ is + 0.15 V. Calculate the free energy change of the reaction.

   [**Ans.** 28.95 kJ]
2. Write the Nernst equation for the half cell $Zn^{2+}_{(aq)}$ / $Zn_{(s)}$.

   [**Ans.** $E_{Zn^{2+}/Zn} = E^o_{Zn^{2+}/Zn} - \frac{RT}{2F} \ln [Zn^{2+}]$

3. The emf of the cell : $Cd/CdCl_2 . 25H_2O / AgCl_{(s)}$ Ag is 0.675 V. Calculate ΔG of the cell reaction. [**Ans.** $n = 2$; $\Delta G = -130.335$ kJ]

4. The standard free energy change of the reaction $M^+_{(aq)} + e \longrightarrow M_{(s)}$ is –23.125 kJ. Calculate the standard emf of the half cell. [**Ans.** $E^o = + 0.25$ V]

5. The emf of the half cell $Cu^{2+}_{(aq)}/Cu_{(s)}$ containing 0.01 M Cu^{2+} solution is + 0.301 V. Calculate the standard emf of the half cell. [**Ans.** $n = 2$, $E^o_{Cu^{2+}/Cu} = 0.359$ V]

   [Hint : $E_{Cu^{2+}/Cu} = E^o_{Cu^{2+}/Cu^-} \frac{0.0591}{2} \log \frac{1}{[Cu^{2+}]}$]

6. If $E_1 = 0.5$ V corresponds to $Cr^{3+} + 3e^- \longrightarrow Cr_{(s)}$ and $E_2 = 0.41$ V corresponds to $Cr^{3+} + e \longrightarrow Cr^{2+}$ reactions, calculate the emf (E_3) of the reaction $Cr^{2+} + 2e \longrightarrow Cr_{(s)}$ [**Ans.** 0.955V]

   [Hint : $E_3 = \frac{3E_1 - E_2}{2}$]

7. Calculate the standard emf of the cell having the standard free energy change of the cell reaction is –64.84 kJ for 2 electrons transfer. [**Ans.** $E^o = 0.336$ V]

8. Calculate the emf of the cell $Zn/ZnO_2^-, OH^-_{(aq)}, HgO/Hg$ given that E^o values of $OH^-, ZnO_2^- / Zn$ and OH^-, HgO/Hg half cells are –1.216 V and 0.098 V respectively.

   [Hint : $E^o = E^o_R - E^o_L$; $E^o = 1.314$V]

9. The equilibrium constant of cell reaction :

   $Ag_{(s)} + Fe^{3+} \rightleftharpoons Fe^{2+} + Ag^+$ is 0.335, at 25°C. Calculate the standard emf of the cell $Ag/Ag^+ ; Fe^{3+}, Fe^{2+}$ / Pt. Calculate Eo of half cell Fe^{3+}, Fe^{2+}/Pt if E^o of half cell Ag^+/Ag is 0.7991V. Calculate E^o of Fe^{3+}, Fe^{2+}/ Pt half cell. [**Ans.** $E^o Fe^{3+}/Fe^{2+} = 0.771$V]

10. Calculate the emf of the cell having the cell reaction

    $2Ag^+ + Zn \rightleftharpoons 2Ag + Zn^{2+}$ and $E^o_{cell} = 1.56$ V at 25°C when concentration of $Zn^{2+} = 0.1$ M and $Ag^+ = 10$ M in the solution.

    [Hint : $E_{cell} = E^o_{cell} - \frac{RT}{nF} \ln \frac{[Zn^{2+}]}{[Ag^+]^2}$ [**Ans.** 1.648 V]

11. The emf values of the cell reactions $Fe^{3+} + e^- \longrightarrow Fe^{2+}$ and $Ce^{2+} \longrightarrow Ce^{3+} + e^-$ are 0.61V and –0.85 V respectively. Construct the cell such that the free energy change of the cell is negative. Calculate the emf of the cell. [**Ans.** E_{cell} = 0.24 V]

12. A zinc rod is placed in 0.095 M zinc chloride solution at 25°C. emf of this half cell is –0.79V. Calculate $E^o_{Zn^{2+}/Zn}$. [**Ans.** –0.76 V]

SUMMARY :

The interconversion of chemical energy and electrical energy is an important aspect that possesses numerical applications. The differences between electrolytic and electrochemical cells are discussed. Standard hydrogen electrode construction and its electrode potential is given. The relationship between free energy change and emf of a cell is obtained. IUPAC convention for representation of a cell is discussed.

REFERENCES :

1. Electrochemistry for chemists by S. Glasstone, TMH publications.
2. Physical Chemistry by G.M. Barrow E.E.C. Publications
3. Physical Chemistry by P.W. Atkins, Oxford University Press.

15. ISOMERISM IN ORGANIC CHEMISTRY

15.1 ISOMERISM

Isomers are compounds having same molecular formula but differ in physical or chemical or both physical and chemical properties. This phenomenon is known as **isomerism.**

Isomerism is of two types - (i) Structural isomerism (ii) Stereoisomerism.

Structural isomerism arises out of the difference in the arrangement of atoms in a molecule, (without referring to space), type of linkage and the atoms which are linked to each other in the moelcule. Stereoisomerism arises out of the **difference** in the arrangement of atoms in the molecule, with reference to each other in space.

Stereoisomers (have the same structure) differ in the way the atoms are oriented in space. They have the same structure and hence do not differ much in properties.

There are **two types** of Stereoisomerism. They are (i) Geometrical isomerism and (ii) Optical isomerism.

(i) Geometrical Isomerism :

Isomerism that arises out of difference in the spatial arrangement of atoms or groups about the doubly bonded carbon atoms is called **Geometrical isomerism**. These isomers are not mirror images of each other. Rotation about C=C is not possible at normal conditions and hence the isomers are isolable.

If different atoms or groups are bonded to the 'C=C' bond in a molecule, more than one spatial arrangement is possible. For example, 2-butene exists in two isomeric forms.

Cis isomer ***Trans isomer***

The isomer in which **similar groups** lie on the same side is called **'cis isomer' (I)**. The other in which similar groups lie in **opposite direction** is called **'Trans isomer' (II)**. This isomerism is called 'Cis-Trans' isomerism.

The two groups attached to the carbon atoms need not be same, it may be different also. e.g.,

2-pentene

Cis *Trans*

This isomerism arises out of the hindrance to rotation about the C=C bond in such molecules.

The cis-trans isomers do not differ much in chemical properties. They differ in physical properties like boiling point, melting point, crystal structure, solubility and refractive index. Highly substituted olefin is more stable than less substituted olefin. Among substituted olefins, trans olefin is more stable than cis olefin. In the cis isomer because similar groups are very near each other, Vander Waals repulsion and steric hindrance make the molecule much unstable. In the trans isomer, similar groups are diagonally opposite to each other. Hence there is no such steric interaction. Generally trans isomer is more stable than cis isomer. Hence reactivity of cis isomer may be little higher than the trans isomer. The energy of the cis isomer is greater than that of trans isomer.

Though at room temperature, cis and trans isomers are stable and are not interconvertible, on heating to a certain temperature, trans isomer can be converted to cis isomer and vice-versa. 'Breaking of carbon-carbon π-bond and its reformation is responsible for the interconversion.'

$$\text{Trans isomer} \underset{}{\overset{\Delta}{\rightleftharpoons}} \text{Cis isomer}$$

Consider unsaturated dicarboxylic acid - Maleic acid and Fumaric acid. These are geometrical isomers.

Cis
[Maleic acid]

Trans
[Fumaric acid]

'Cis-trans' system of nomenclature may not be suitable for many substituted olefins.

For example,

A newer system based on the priority of groups is the Cahn-Ingold-Prelog convention. This system is called the (E-Z) system, applies to alkene diastereomers of all type. If the two groups of higher priority are on the same side of the double bond, the alkene is designated 'Z' (from the German word Zusammen-meaning together). If the two groups of high priority are on opposite sides of the double bond, the alkene is designated 'E' (from the German, entgegen, meaning opposite)

The priorities follow the order of decreasing atomic number of the atom directly bonded to the carbon.

For some compounds the priority is shown by numbers as

Z-isomer

E-isomer

E-isomer

Z-isomer

Dipolemoment studies is one of the best methods of identifying cis-trans isomers. Generally cis isomers have larger dipolemoment than trans isomers. Often DPM of trans isomer is zero. e.g., Trans 2-butene and Trans 2,3-dibromo-2-butene. (Refer Chapter on disubstituted benzene)

1,3 - butadiene

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2$$

This molecule can exist in two forms.

$$\begin{array}{l} CH_2 = CH \\ \quad\quad\;\; | \\ \quad\quad\;\; CH = CH_2 \end{array} \qquad \text{and} \qquad \begin{array}{l} CH_2 = CH \\ \quad\quad\;\; | \\ CH_2 = CH \end{array}$$

I II

Though these two forms do not differ very much in their energy and stability, the (I) form, which is similar to 'trans' is more stable than (II) form which is similar to 'cis'. These two forms do not arise out of the hindrance to rotation about C=C, instead the restricted rotation about C–C. In order to indicate that, this cis-trans isomerism is due to restricted rotation about C–C bond, they are named as,

S-trans

S-cis

These are easily interconvertible and exist in equilibrium.

S-trans form is also called 'transoid form'

S-cis form is also called 'cisoid form'.

The energy of S-trans form is 3 Kcals less than the S-cis form.

These two forms differ in chemical reactivity. Very often they give different products in reactions.

Conformation in cyclic systems :

The different forms that arises out of the rotation about C–C single bond are called conformers. Free rotation about C–C single bond is not always possible. Very often the rotation is restricted depending upon the nature and the size of atoms or groups bonded to each carbon atom. The different conformers differ in energy though not appreciably.

Restriction to free rotation about C–C single bond is much pronounced in cyclic systems. In these cases, the restriction to rotation is so appreciable as to make the different forms isolable or identifiable.

Thus cyclopropane is flat, cyclobutane can form butterfly shape while cyclopentane can form an open-envelope shape.

Cyclopropane [Planar conformation] ***Cyclo butane*** [non planar conformation] ***Cyclo pentane*** [non planar conformation]

Cyclohexane :

As early as 1890, Sachse suggested that cyclohexane ring exists in two non planar forms (i.e.,) boat and chair conformations. The energy difference between these two forms was found to be only 6.5 K.cal/mole by Pitzer. The energy difference is small enough for interconversion to take place.

Both the boat form and chair form are free of angle strain called Baeyer's strain (i.e., the valence bond angle is 109°28']

Chair conformation
a = axial, *e* = equatorial

Boat conformation
f = flagpole, *s* = bowspirit,
x-*x* = pair of eclipsing hydrogen atoms

Chair conformation :

There are two types of C–H bonds.

Types of C–H bonds

- Axial [Six C–H bonds parallel to the axis of the molecule]
  - 3-axial bonds facing upward β-axial
  - 3-axial bonds facing downward α-axial
- Equatorial [Six C–H bonds subtending an angle of about 70° and 110° with the axis
  - 3-equatorial bonds facing upward β-equatorial
  - 3-equatorial bonds facing downward α-equatorial

Every pair of carbon atoms (Two carbon atoms directly bonded to each other) in chair form exists in skew form.

Boat conformation

This form has two pairs of carbon atoms with eclipsing bonds. This eclipsing interaction destabilies boat form.

Though the chair form is stable, it is sufficiently flexible to turn itself upside down called ring flipping so that all bonds which are axial originally become equatorial and vice versa.

There exists an equilibrium between these two chair forms with boat form as intermediate.

A mono substituted cyclohexane like cyclohexanol exists in the two chair forms. These two forms are interconvertible and exist in equilibrium.

In one form (I) the –OH group is axially oriented. In the other form (II) the –OH group is equatorially oriented. The energy of the axial conformer is little higher than that of the equatorial conformer. Because the axial substituent experiences steric interaction with the axial H-atoms present at the third carbon atoms. This decreases the stability of the axial conformer. This is called 1 : 3-diaxial interaction. This interaction is absent in the equatorial conformer. Hence equatorial cyclohexanol is present to an extent of about 90% in the equilibrium mixture. The axial isomer is present only to 10%.

Energy level diagram for axial and equatorial alcohols

Optical activity and optical isomerism :

Light is propagated in the form of waves. Ordinary monochromatic light is supposed to consist of waves vibrating in all planes. If such a light is passed through a Nicol prism, the emergent light is found to consist of waves vibrating in only one plane. Such a light is called plane polarised light.

When the plane polarised light is passed through certain substances or solutions (such as lactic acid), the emergent light is found to be vibrating in a different plane. This is called optical rotation.

Such substances are called optically active substances. This property of such substances is called 'Optical activity'.

If the rotation is towards the right side [clockwise] it is called dextro-rotation and the substance is said to be dextrorotatory. Dextrorotation is indicated by the symbol (+) or '*d*'.

If the rotation is towards the left side [Anticlockwise] it is called laevo-rotation and the substance is said to be laevo rotatory. Laevorotation is indicated by the symbol (–) or '*l*'.

Conditions of optical activity :

Not all substances are optically active. For example substances like $CHCl_3$, CH_3CH_2OH, $CH_3CH_2CH{=}CH_2$, $CH_3CH_2COCH_3$ are not optically active. On the other hand substances like CHIBrCl, $CH_3CHBr{-}CH{=}CH_2$, $CH_3CH(OH)COCH_3$, CH_3CHDOH are found to be optically active.

When the structures of the compounds which are optically inactive and optically active, are compared, one thing is clear. All the optically active compounds, mentioned above have atleast one carbon atom that is bonded to four different atoms or groups.

A carbon atom attached to four different atoms or groups is called ‘‘asymmetric carbon atom’’.

Pasteur suggested that optical activity arises from molecular dissymmetry which is supported by Vant-Hoff and LeBel. According to them, a carbon atom has its four valencies directed towards the four corners of a regular tetrahedron. In this situation a molecule with an ‘asymmetric carbon atom’ becomes asymmetric.

It so happens that an asymmetric molecule is not superimposable on its mirror image. That means an optically active molecule has more than [atleast two] one configuration. [configuration refer to three dimensional arrangement of atoms in a molecule] that is, an optically active molecule exhibits isomerism which is called optical isomerism.

Consider ethanol and deuterated ethanol

CH_3CH_2OH $\qquad$ CH_3CHDOH

(ethanol-symmetric molecule) $\qquad$ (deuterated ethanol-asymmetric and non-superimposable)

The isomers-called optical isomers have configurations which are non super imposable.

Hence the criteria for a molecule to be asymmetric (hence optically active) is that its configuration is non superimposable on its mirror image. Such molecules are also called 'chiral' molecules.

'Chirality' is 'the essential and the sufficient' condition for a molecule to be optically active.

Chirality means handedness or non superimposability. Right hand and left hand, Right leg shoe and left leg shoe are examples of objects having handedness or the property of chirality and non superimposability.

The molecules which are optically inactive are 'achiral'.

Simple optically active molecules like lactic acid, are said to have ''chiral carbon'' or ''chiral center''.

e.g.,

The carbon with ''astreik'' is called the chiral carbon.

All the α-amino acids (except glycine) have chiral centres (chiral carbon) and are optically active.

α-amino acid

d,l pair of lactic acid

Optical isomers :

Chiral molecules can have two different configurations. Each configuration stands for one optical isomer. Thus dextrorotatory isomer has configuration which is the mirror image of the laevorotatory isomer. Such optical isomers which differ only in the sign of (or direction of) optical rotation are called ''enantiomers''.

When equal amounts of d-isomer and l-isomer are mixed one gets a "racemic mixture" and this process is called racemisation. A racemic mixture becomes optically inactive. Because, in this mixture rotation towards clockwise direction by the dextro isomers is compensated by the rotation towards the anticlockwise direction by the laevo isomers. The optical inactivity of a racemic mixture is said to be due to 'external compensation'. Any how an optically inactive racemic form can be separated into two active forms. This process of separation is called "resolution of the racemic mixture".

A molecule with more than one chiral carbon

A molecule can have more than one chiral centres. Correspondingly the number of isomers is increased. In general for a molecule with *n*-different chiral centres, 2^n-isomers are possible. A molecule can have more than one identical asymmetric carbon atoms. (e.g.,) butane -2,3-diol and tartaric acid.

Diol Tartaric acid

In such cases the number of optical isomers is not $2^2 = 4$, it is less than 4 (i.e.,) 3.

Isomerism in Tartaric acid :

Tartaric acid is dihydroxy dioic acid, having two identical chiral carbon atoms.

(*d*, *l* pair of tartaric acid)

The enantiomers of tartaric acid, have the same magnitude but different sign of optical rotation. They have object-mirror image relationship.

In the *d*-isomer, each of the two asymmetric carbon atoms rotate the plane of the polarised light towards right leading to overall dextro rotation. In the same way in the *l* - isomer, the overall rotation is laevo.

There is another optical isomer for tartaric acid in which one asymmetric carbon atom is dextrorotatory and the other laevorotatory-both rotating to the same extent in opposite directions. The net result is, that this isomer becomes optically inactive and is called the ‘‘Meso’’ isomer.

Though the Meso isomer has two asymmetric carbon atoms the configuration of one carbon is the mirror image of the other, the net result being the molecule as a whole becomes symmetric. This molecule is said to have a symmetric plane, which divides the molecule into two equal halves. The molecule becomes ‘‘achiral’’. It has configuration which is superimposable on its mirror image.

The optical inactivity of the ‘Meso’ isomer is due to the internal compensation. It is due to the inherent symmetry in the molecule. Mesoform cannot be separated into optically active enantiomeric pairs. This form is a single substance and not a mixture.

Racemic form	**Meso form**
1. It is a mixture that can be separated into two optically active forms.	It is a single compound and hence cannot be separated.
2. Optically inactive due to external compensation.	Optically inactive due to internal compensation.
3. Molecules of isomers present are chiral.	Molecules are achiral.

When equal amounts of *d*-tartaric acid and *l*-tartaric acid are mixed, we get racemic tartaric acid which is an optically inactive mixture. This can be separated into two optically active forms.

d- and *l*-isomers have the same magnitude but different sign of optical rotation, hence they are called enantiomers. The Meso tartaric acid differs in the magnitude of optical rotation from the *d*- or *l*- isomer. Hence Mesoform is said to be a ‘‘diastereomer’ of the active form.

Enantiomer	Diastereomer
1. Optical isomers having the same magnitude but different sign of optical rotation.	Differ in the magnitude of optical rotation.
2. They have configuration with non-super imposable object mirror image relationship.	They are never mirror images.
3. Enantiomers are identical in all properties except the sign of optical rotation.	Diastereomers differ in all physical propeties.
4. Separation of enantiomers is a tedious process.	Separation from the other pairs of enantiomers is easy.

Representation of configurations of the molecule :

In order to indicate the exact spatial arrangement of atoms or groups in a molecule having asymmetric carbon atom, Fischer proposed DL-system of nomenclature. Glyceraldehyde was taken as the standard. The dextro isomer and laevo isomer of glyceraldehyde are designated as D and L as follows. These are Fischer’s projection formulae.

Sign of rotation : *d* or (+) glyceraldehyde *l* or (–) glyceraldehyde

Designation of configuration : D L

In general more oxidised group is shown at the top and the reduced group at the bottom. The chiral molecule is viewed in such a way that H, X-lie above the plane of the paper and R_1, R_2-lie below the plane of the paper. The D, L-configurations are shown as :

D L

R_2 = Oxidised group - COOH, CHO, CO...

R_1 = Reduced group CH_3, CH_2OH ...

X = a heteroatom or a group with hetero atom (i.e.,) Cl, Br, I, –OH, $–NH_2$, etc.,

(In the projection formula, the broken lines indicate the bonds that are going below and thick lines, the bonds coming above the plane of the paper)

The above projection formulae can be understood from the following diagram.

D L

Thus D and L lactic acids are

D L

and tartaric acid - (R-stands for the remaining half portion of the molecule)

D-configuration

R = –CH(OH)COOH

L-configuration

This system of designating configuration is of limited applicability.

In Fischer's projection formula any two exchanges of groups attached to the asymmetric carbon atom, are allowed, then the configuration is not changed.

i.e.,

I II

Though I and II appears to be different but both represent the same configuration. Both are identical.

Disubstituted benzene :

When any two hydrogen atoms of the benzene ring are replaced by any other atoms or groups disubstituted benzene is obtained.

(e.g.,) $C_6H_4Cl_2$, $C_6H_4\ (OH)_2$, $CH_3\ C_6H_4Br$, $HOC_6H_5NO_2$

The disubstituted benzenes can exist in three isomeric forms.

X = any substituent

These are three distinct forms differing in many properties though they have the same formula. Hence they are said to exhibit isomerism. In these three structures the isomers differ in the relative position of the substitutents. Hence they are called position isomers.

When the substituents are in adjacent positions in the benzene ring, it is called ortho isomer.

When the two substituents are exactly opposite to each other, it is a para isomer.

When the angle between two substituents is 120°. It is a meta isomer.

Example,

Ortho dichloro benzene | Meta dichloro benzene | Para-dichloro benzene

Isomers can also be named using the number of the carbon atom thus

Ortho isomer	is	1,2-dichloro benzene
Meta isomer	is	1,3-dichloro benzene
Para isomer	is	1,4-dichloro benzene

It should be remembered that there are two ortho and two meta and only one para position to the substituent already present in a molecule of benzene.

These two are identical and are not isomers. Similarly the following two represent one and the same compound and are not non-superimposable mirror images.

Ortho, meta and para isomers differ mainly in physical properties like melting point, refractive index, solubility. Their behaviour under an applied electric field differs widely. This behaviour is measured by a quantity called 'Dipole moment'. For disubstituted benzenes the magnitude of DPM depends on the angle between the two substituents. For example, for dichloro benzene.

angle $\theta = 60^o$ $\theta = 120^o$ $\theta = 180^o$

Their DPM, is in the order.

Ortho isomer > Meta isomer > Para isomer

for para dichloro benzene DPM = 0.

Hence dipole moment measurement is the best method of distinguishing the three isomers of disubstituted benzenes.

SELF EVALUATION

Choose the correct answer :

1. Identify chiral molecule among the following :
   (a) isopropyl alcohol (b) isobutyl alcohol
   (c) 2-pentanol (d) 1-bromo-3-butene
2. Which among the following is not having an asymmetric carbon atom ?
   (a) 2-chloro butane (b) 2-bromo-3-butene
   (c) 2-hydroxy propanal (d) isobutyric acid
3. Which among the following can be a chiral center ?
   (a) C^+ of a cabocation (b) carbon of a radical
   (c) an sp^2 carbon (d) an sp^3 carbon
4. Give the structural formulae for the simplest chiral.
   (a) alkane (b) alkene (c) alkyne (d) alcohol
   (e) aldehyde (f) ketone (g) carboxylic acid (h) amine.

GEOMETRICAL ISOMERISM

1. Which among the following exhibit geometrical isomerism ?
   (a) isobutyraldehyde (b) 1-butene
   (c) 1,1-dichloro ethylene (d) 1-chloro-2-bromo ethylene
2. Which among the following does not exhibit geometrical isomerism ?
   (a) $CH_3CH{=}CHBr$ (b)

   (c) $(CH)_3C = CHC_2H_5$ (d) $CH_3CH = CHCHO$
3. Give E/Z-designation for
   (a)

   (b)

(c)

(d)

4. Arrange the following in the increasing order of stability.

$CH_3CH_2CH{=}CH_2$, $CH_3CH{=}CHCH_3$ (cis), $CH_3CH{=}CHCH_3$ (trans)

5. How many linear chain isomers are possible for each of the following olefins ?

Practice Questions

(a) C_4H_8 (b) C_5H_{10} (c) C_3H_6 (d) C_6H_{12}

6. Draw the cis, trans isomers for the following and designate them as E or Z.

(a) $HOH_2C–CH = CHCH_2CH_3$ (b) $CH_3CH{=}CHCO_2H$

(c) $CH_3CH = CH – CHO$ (d) $CHCl = CHBr$

7. Identify each of the following alkenes as being either cis or trans.

(a)

(b)

(c)

(d)

8. Which of the following can exist as geometric isomers ?

(a) $ClCH_2C \equiv CCH_3$ (b) $ClCH_2–CH = CH–CH_2Cl$

(c) $CH_2 = CHCHO$ (d) $CH_2 = C(CH_3)–CH_2CH_3$

9. Label the following as, E, Z isomers.

(a)

(b)

(c)

(d)

10. Give the structure of Z and E forms of cinnamic acid.

CONFORMATION

1. Which among the following can have different conformations ?
   (a) CH_4 (b) $CHCl_3$ (c) CH_3COOH (d) CH_3CH_2OH
2. Arrange the following conformation of n-butane with increasing order of energy, staggared (anti), partially eclipsed, eclipsed and skew conformations.
3. The eclipsed form of which of the following has the highest energy.
   Ethane, propane, n-butane, ethylene dibromide.
4. What is the relative composition of the equilibrium mixture of all the conformers of n-butane ?
5. Draw the different conformation of cyclohexane clearly indicating the various C–H bonds.
6. Explain the energy level diagram for axial-equitorial cyclo hexanol conformational changes.
7. Describe the conformations of cyclohexanol. Comment on their stability.

Short answer questions.

1. Explain the following with examples.
   (a) cis-trans isomerism (b) optical isomerism.

2. Distinguish enantiomers and diasteromers ?
3. What is a racemic mixture ? Explain with suitable example.
4. Mesotartaric acid is an optically inactive compound with chiral carbon atoms. Justify.
5. Distinguish racemic form from Mesoform.
6. Describe the D, L-system of designation of configurations.

OPTICAL ACTIVITY - KEY

1. (b) $CH_3CH_2CH_2–CH(OH)CH_3$
2. (d)
$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3–CH–COOH \end{array}$$
3. (d) sp^3 carbon
4. (a) $CH_3CH_2–CH\ (CH_3)CH_2\ CH_2\ CH_3$

   (b) $CH_3CH_2–CH\ (CH_3) – CH=CH_2$

   (c)
$$\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3CH_2CH – C\equiv CH \end{array}$$

   (d) $CH_3CH_2– CH\ (OH)\ CH_3$

   (e) $CH_3CH_2–CH\ (CH_3)CHO$

   (f) $CH_3COCH(CH_3)CH_2CH_3$

   (g) $CH_3CH_2CH(CH_3)COOH$

   (h) $CH_3CH_2CH\ (CH_3)NH_2$

Geometrical isomerism

1. (d) CHCl=CHBr
2. (c)
$$\begin{array}{ccc} CH_3 \diagdown & & \diagup H \\ & \diagup C = C \diagdown & \\ H_3C & & C_2H_5 \end{array}$$

3. (a) Z (b) E (c) E (d) Z

4. $CH_3CH_2CH=CH_2$ < (CH_3) $CH=CH_2CH_3$ (cis)

< $(CH_3)_2$ C $=CH_2$ < $CH_3CH=CHCH_3$ (trans)

5. (a) $CH_3CH_2CH=CH_2$

$CH_3CH=CHCH_3$ (cis, trans)

(b) $CH_3CH_2CH_2CH=CH_2$, $CH_3CH_2CH=CH\ CH_3$ (cis, trans)

(c) $CH_3CH=CH_2$ one

(d) $CH_3CH_2CH_2CH_2CH=CH_2$(1), $CH_3CH_2CH_2CH=CHCH_3$ (cis, trans)

$CH_3CH_2CH=CHCH_2CH_3$ (cis, trans)

CONFORMATIONS

1. (d)

2. Staggard < skew < partially eclipsed < eclipsed.

3. Ethylene dibromide (Br has larger size than CH_3- group).

4. eclipsed < partially eclipsed < skew < staggard.

5. refer energy level diagram of equitorial - axial cyclohexanol

SUMMARY :

ISOMERISM IN ORGANIC CHEMISTRY

Isomerism - Stereoisomerism - Geometrical isomerism and optical isomerism

Geometrical isomerism - difference in the relative orientation of groups attached to C = C Condition.

Stereoisomers which are not mirror images - Cis and trans isomers - E, Z nomenclature - examples.

Conformation - rotation about C – C bond - Conformation of cyclopropane, cyclobutane and cyclopentane.

Non-coplanar arrangement of carbon atoms in cyclo-hexane - chair and boat conformation - relative stability

Cyclohexanol - conformation - axial and equitorial alcohol - energy level diagram.

Optical isomerism - the phenomenon of optical activity - cause of optical activity - asymmetric carbon atom

Chirality - Chiral centre - Chiral molecules - isomers with nonsuper-imposable object - mirror image relationship - dextro rotatory and laevorotatory isomers - enantiomers -

Racemic mixture - mixture of enantiomers - optically inactive.

Optical isomers with more than one asymmetric carbon atom - Tartaric acid - enantiomers and diastereomer - mesoform - optically inactive.

Designation of configuration - D, L - notation.

Position isomerism - disubstituted benzene - ortho, meta and para isomers - Identification - Dipole moment.

REFERENCES :

1. Problems in sterochemistry and conformations by Samuel Delvin.
2. Stereochemistry of organic compounds by Eliel.
3. Organic chemistry by Morrison Boyd.

16. HYDROXY DERIVATIVES

LEARNING OBJECTIVES

- *Alcohols - structure - isomerism.*
- *Nomenclature - Common system, Carbinol system, IUPAC system of naming alcohols.*
- *Classification - monohydric, dihydric and trihydric alcohols - Recognising primary, secondary and tertiary alcohols.*
- *Learning general methods of preparation.*
- *Uses of Grignard reagent in the preparation of alcohols.*
- *Physical and Chemical properties - related to structure - uses.*
- *Distinction between primary, secondary and tertiary alcohols.*
- *To learn the methods of preparation, physical and chemical properties and uses of dihydric and trihydric alcohols - ethylene glycol and glycerol.*
- *Oxidation of glycol and glycerol - different methods.*
- *Learning the methods of preparation, properties and uses of aromatic alcohol - benzyl alcohol.*
- *Phenols - classification - preparation, properties*
- *Resonance in phenol - acidic property, difference from alcohol - uses.*

16.1 HYDROXY COMPOUNDS

These are compounds having hydroxyl group directly linked to a carbon atom. These comprise a variety of organic compounds starting from simple alcohols and phenols to complex naturally occuring substances like starch and cellulose.

Alcohol is one of the most important class of compounds. Nearly every other kind of aliphatic compounds like - alkenes, ethers, aldehydes, ketones, acids, esters and a host of other compounds can be made from alcohol. They are not only used as raw materials but frequently as solvents in which reactions are carried out and from which products are crystallised.

This chapter on alcohol deals with the study of (a) structure and classification, (b) nomenclature, (c) isomerism, (d) general methods of preparation, (e) properties - physical and chemical - relating to structure and (f) uses of alcohols.

16.2 CLASSIFICATIONS AND STRUCTURE

Alcohols are compounds having hydroxy group directly bonded to a saturated carbon atom, having the general formula R–OH.

'R' can be	(i) aliphatic saturated	-	ethyl alcohol
	(ii) unsaturated	-	allyl alcohol
	(iii) aralkyl	-	benzyl alcohol

A compound can have more than one hydroxy group such as ethylene glycol, a dihydric alcohol and

$$\begin{array}{ccc} CH_2 & - & CH_2 \\ | & & | \\ OH & & OH \end{array}$$

Glycerol a trihydric alcohol.

$$\begin{array}{ccccc} CH_2 & - & CH & - & CH_2 \\ | & & | & & | \\ OH & & OH & & OH \end{array}$$

Alcohols can be further classified as primary, secondary and tertiary according to the kind of carbon to which the –OH group is linked.

$R-CH_2OH$	$(R)_2CHOH$	$(R)_3C-OH$
Primary	Secondary	Tertiary
1°	2°	3°

They differ in the rate and mechanism of reaction, often in reactions which directly involve the hydrogen atom attached to the carbon bearing the –OH group an entirely different course for each class of alcohol take place.

16.2.1 NOMENCLATURE

Alcohols are named by three systems of nomenclature.

1. For simple alcohols common names are often used. A common name consists of the name of the alkyl group followed by the word alcohol.
2. The carbinol system of nomenclature considers alcohols as being derived from methanol (called carbinol) by the replacement of one or more hydrogen by alkyl group.
3. In the IUPAC system a set of rules is followed.
   (a) the longest carbon chain that contains the –OH group is taken as the parent structure.
   (b) The name is arrived at by replacing the terminal '*e*' of the corresponding alkane by *-ol*.
   (c) Indicate the number and position of the –OH group in the parent chain using the lowest possible number.

M.F	Common name	Carbinol name	IUPAC name
CH_3CH_2OH	ethyl alcohol	methyl carbinol	ethanol
$CH_3CH_2CH_2OH$	n-propyl alcohol	ethyl carbinol	1-propanol
$CH_3–CHOHCH_3$	isopropyl alcohol	dimethyl carbinol	2-propanol
$CH_3CH_2–CH(CH_3)–OH$	secondary butyl alcohol	ethyl methyl carbinol	2-butanol

$CH_3–CH(CH_3)–CH_2OH$	Isobutyl alcohol	isopropyl carbinol	2-methyl-1-propanol
$H_3C–C(CH_3)_2–OH$	tert-butyl alcohol	trimethyl carbinol	2-methyl-2-propanol
$C_6H_5CH_2OH$	Benzyl alcohol	phenyl carbinol	phenyl methanol
$CH_3CH_2CHOHCH_2CH_2CH_3$	---	ethyl, propyl carbinol	3-hexanol
$CH_3–C(CH_3)(H)–C(OH)–CH_3$	----	dimethyl isopropyl carbinol	2,3- dimethy1-2 butanol

Isomerism : Alcohols exhibit three kinds of isomerism.

1. Chain isomerism : arising out of the difference in the carbon chain structure of the parent hydrocarbon.

$\overset{4}{C}H_3–\overset{3}{C}H_2–\overset{2}{C}H_2–\overset{1}{C}H_2OH$
1-butanol
(linear chain)

$CH_3–CH(CH_3)–CH_2OH$
2-methyl-1-propanol
(branched chain)

2. Position isomerism : arising out of the difference in the position of –OH group, the hydrocarbon chain being the same.

$CH_3CH_2 – CHOH – CH_2CH_3$
3-pentanol

$CH_3CH_2CH_2CHOHCH_3$
2-pentanol

$CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2OH$
1-pentanol

3. Functional isomerism :

Alcohols are isomeric with ethers, having the same formula with different functional groups.

$CH_3CH_2CH_2OH$
n-propyl alcohol

$CH_3OCH_2CH_3$
ethyl methyl ether

16.3 GENERAL METHODS OF PREPARATION

Simple alcohols are obtained from natural sources. Thus methyl alcohol is obtained from the liquid formed by the destructive distillation of wood. Hence it is called wood spirit.

Ethyl alcohol is manufactured by the fermentation of sugar present in grains and fruits and hence called 'grain alcohol'. Other alcohols can be prepared by using any one of the following methods.

In the light of mechanism involved, alcohol can be prepared by (1) addition reaction, (2) substitution reaction.

(1) Addition reactions

(a) Markownikoff's addition of water to olefins in presence of dilute sulphuric acid.

$$\underset{\text{propylene}}{CH_3CH = CH_2} + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} CH_3 - CHOH - CH_3$$

Hydration normally proceeds by protonation of olefins to form carbocation, followed by nucleophilic attack by water.

$$R - CH = CH_2 \xrightarrow{H^+} R - \overset{+}{C}H\,CH_3 \xrightarrow{H_2O} \begin{array}{c} {}^{+}OH_2 \\ | \\ R - CH - CH_3 \\ \downarrow -H^+ \\ OH \\ | \\ R - CH - CH_3 \end{array}$$

Simple alcohol (C_2H_5OH) can be prepared by absorbing olefin in con. H_2SO_4 with the formation of ethyl hydrogen sulphate, which undergoes hydrolysis to give alcohol.

$$C_2H_4 + H_2SO_4 \xrightarrow{353K} C_2H_5\,HSO_4$$

$$H_2O : + C_2H_5HSO_4 \longrightarrow HOC_2H_5 + H_2SO_4$$

(b) Grignard addition : Grignard reagent adds to carbonyl compounds forming adducts which on hydrolysis form alcohols.

Primary alcohols from formaldehyde.

It is a nucleophilic addition where the nucleophile is the carbanion (R^-) generated by the Grignard reagent (RMgX).

(c) By catalytic hydrogenation of aldehydes and ketones

(d) By the reduction of aldehydes and ketones using hydrides.

(2) Nucleophilic substitution

(a) Alkyl halides undergo the nucleophilic substitution reaction. Thus alkyl halides are converted to alcohols by aqueous alkaline solution or silver oxide suspended in water. The nucleophile is OH^- ion and the leaving group is the halide ion.

$$RX + NaOH \xrightarrow{H_2O} R\text{–}OH + NaX$$

$$RX + AgOH \longrightarrow R\text{–}OH + AgX$$

(b) Aliphatic primary amines react with Nitrous acid forming alcohols. Diazonium ion is formed as an intermediate.

$$RNH_2 + HONO \xrightarrow{-H_2O} \underset{\text{unstable}}{[R\text{–}N{=}N^+]} \xrightarrow{H_2O} N_2 + R\text{–}OH$$

The nucleophile is water and the leaving group is Nitrogen molecule.

(c) Hydrolysis of esters by either acid or alkali.

$$R'COOR + H_2O \xrightarrow{H^+} R'COOH + ROH$$

$$R'COOR + NaOH \xrightarrow{OH^-} R'COONa + R–OH$$

The above reactions proceed with nucleophilic addition to carbonyl carbon atom by water or OH^- ion followed by elimination of ROH.

(d) Ethers can be cleaved to alcohols and alkyl iodide by treating with HI.

$$R–O–R + HI \longrightarrow R–\overset{+}{O}(H)–R \xrightarrow{I^-} R–OH + R–I$$

First step involves protonation which is followed by nucleophilic displacement by Iodide ion.

Ethers can also be hydrolysed by treating with dilute H_2SO_4 under pressure.

$$C_2H_5–O–C_2H_5 + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4} C_2H_5–\overset{+}{O}(H)–C_2H_5 \xrightarrow{H_2O} 2C_2H_5OH + H^+$$

Protonation of ether oxygen, followed by nucleophilic displacement of ethyl alcohol by water.

16.3.1 Physical Properties

(a) Alcohols are neutral substances whereas inorganic hydroxides are basic in nature. Physical properties of an alcohol are best understood if we recognise that structurally an alcohol is a composite of an alkane and water.

R–H H–OH R–OH

Hence alcohol contains alkane like alkyl group and water like hydroxyl group. The OH^- group gives the alcohol its characteristic properties and the alkyl group modifies it.

The hydroxy group contains highly electro negative element oxygen bonded to hydrogen. Hence this group is polar. This is capable of forming hydrogen bond as shown.

```
R          R                    R         H
|          |                    |         |
O–H ......O–H        ,           O–H .....O–H
```

Many of the physical properties are affected by hydrogen bonding.

1. The boiling point of alcohols are far higher than the hydrocarbons having the same molecular weight and structure.

Compound	**Mol.wt.**	**Boiling point. K**
CH_3OH	32	333
CH_3CH_3	30	184.4
C_2H_5OH	46	351.5
C_3H_8	44	228.5

This is because alcohols are associated liquids. Their abnormal boiling points are due to the greater energy needed to break the hydrogen bonds that hold the molecules together.

Hence lower members are colourless mobile liquids. Higher members are oils, liquids or waxy solids.

(b) Solubility

Alcohols are soluble in water and other hydroxy compounds in contrast to hydrocarbons. This is also explained on the basis of intermolecular hydrogen bonding. The energy required to break intermolecular forces between alcohol molecules is provided by the formation of hydrogen bond between a water molecule and an alcohol molecule. Lower members are completely miscible with water and the solubility decreases with increase in molecular weight. This is because of the increase in size of the hydrophobic alkyl group in the alcohol.

Chemical Properties

Alcohols can be considered to be derived from alkane as well as water.

$$CH_3H \longrightarrow CH_3OH \longleftarrow HOH$$

This is easily seen as the alcohols have properties in between methane and water.

Properties	Methane	Methanol	Water
m.p	89 K	176.8 K	273 K
b.p	159 K	338 K	373 K
Solubility in water	insoluble in water	soluble in water and slightly soluble in hydro carbon.	insoluble in hydro carbon

Similar to water forming hydrate with salts, lower alcohols also form addition compounds with salts (e.g.,) $CaCl_2 \cdot 4C_2H_5OH$, $MgCl_2 . 6CH_3OH$

In chemical reactions also alcohols bear striking resemblance to water and alkane.

Properties due to the acidic nature of hydrogen of the –OH group.

1. Alcohols are weaker acid than water because of +I effect of alkyl groups. Hence alcohols react only with electro positive metals evolving hydrogen.

$$R–OH + Na \longrightarrow \underset{\text{(Sodium alkoxide)}}{RONa} + \tfrac{1}{2} H_2$$

$$2C_2H_5OH + 2Na \longrightarrow \underset{\text{(Sodium ethoxide)}}{2C_2H_5ONa} + H_2$$

The acid strength decreases in the order $1^o > 2^o > 3^o$ because of the electron releasing effect of the alkyl groups.

2. Strongly basic substances like organometallic compounds are decomposed by alcohol.

$$R–OH + CH_3MgBr \longrightarrow RO–Mg–Br + CH_4$$

Hence alcohols cannot be used as a solvent for Grignard's reagents.

3. Alcohols react with acid chlorides and acid anhydrides to form esters. This involves nucleophilic attack by alcohol on the carbonyl carbon. The leaving groups are Cl^- or CH_3COO^-

Reactions in which the –OH group is involved.

1. Alcohols react with carboxylic acids in presence of con. sulphuric acid. Alcohol molecule brings forth a nucleophilic attack on the carbonyl carbon to form ester.

$$C_2H_5OH + CH_3COOH \xrightarrow{H^+} \underset{\text{(ethyl acetate)}}{CH_3COOC_2H_5} + H_2O$$

2. Alcohols form alkyl chlorides. When treated with anhydrous zinc chloride and hydrogen chloride.

$$R–OH + HCl \xrightarrow{ZnCl_2} R–Cl + H_2O$$

This reaction involves protonation of the alcohol followed by nucleophilic attack by chloride ion. Protonation weakens the C–O bond considerably.

The removal of water from the protonated species is facilitated by anhydrous zinc chloride. Reactivitiy in this reaction with respect to alcohols is $3^o > 2^o > 1^o$. This reaction is used in Lucas Test.

$$\underset{3^o \text{ alcohol}}{(CH_3)_3\,COH} \xrightarrow[\text{anhyd. } ZnCl_2]{\text{con.HCl}} \underset{\substack{\text{(Turbidity appears immediately)} \\ \text{at room temperature}}}{(CH_3)_3\,C{-}Cl + H_2O}$$

$$\underset{2^o \text{ alcohol}}{(CH_3)_2\,CHOH} \xrightarrow[\text{anhyd. } ZnCl_2]{\text{con.HCl}} \underset{\substack{\text{(Turbidity appears after 5-10 minutes)} \\ \text{at room temperature}}}{(CH_3)_2CHCl + H_2O}$$

$$\underset{1^o \text{ alcohol}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[\text{anhydrous } ZnCl_2]{\text{Conc. HCl}} \underset{\substack{\text{(No turbidity appears easily)} \\ \text{but only on heating}}}{CH_3CH_2Cl + H_2O}$$

3. Similarly alcohols are converted to alkyl chlorides by thionyl chloride in presence of pyridine.

$$RCH_2OH + SOCl_2 \xrightarrow{\text{Pyridine}} RCH_2Cl + SO_2 + HCl$$

HCl is removed by pyridine and sulphur dioxide, being a gas escapes. Hence there is no separation problem in this method.

This reaction involves the formation of alkyl chloro sulphite as intermediate.

$$RCH_2OH + ClSOCl \longrightarrow RCH_2{-}O{-}SO{-}Cl$$

Intramolecular nucleophilic attack by the chlorine in the intermediate, on the carbinol carbon atom, results in the removal of sulphur dioxide forming alkyl chloride with retention of configuration.

$$R{-}CH_2{-}O{-}SO{-}Cl \longrightarrow RCH_2Cl + SO_2$$

This reaction belongs to S_Ni (Nucleophilic substitution internal)

4. Alcohols are converted to their halides by the action of phosphorous halides.

$$R{-}OH + PCl_5 \longrightarrow RCl + POCl_3 + HCl$$

$$3C_2H_5OH + PCl_3 \longrightarrow 3C_2H_5Cl + H_3PO_3$$

Similarly alkyl bromide by phosphorous and bromine, alkyl iodide by phosphorous and iodine can be made.

In all these cases an intermediate is formed, which undergoes nucleophilic displacement reaction with halide ion.

5. Dehydration

(a) Alcohols undergo intermolecular dehydration by treating with con. H_2SO_4 acid to give ethers. In the first step alkyl hydrogen sulphate is formed which with excess alcohols undergoes nucleophilic displacement reaction.

$$C_2H_5OH + H_2SO_4 \xrightarrow{410K} C_2H_5 . HSO_4 + H_2O$$

(b) Intramolecular dehydration takes place leading to the formation of olefins. This reaction involves β-elimination. It is E_1 reaction and the intermediate is carbonium ion.

$$(CH_3)_3\,COH \xrightarrow{H^+} (CH_3)_3\,\overset{+}{C} + H_2O$$

$$(CH_3)_3\,C^+ \longrightarrow (CH_3)_2\,C = CH_2 + H^+$$

It follows E_2 mechanism if the ethyl hydrogen sulphate is involved as shown.

Thus ethyl alcohol gives ethylene on treating with excess con. H_2SO_4 acid at 440 K.

(c) Dehydration can also be carried out by passing the alcohol vapour over alumina at 620 K.

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[620\ K]{Al_2O_3} CH_2{=}CH_2$$

(d) Alcohols react with ammonia in presence of heated Alumina or thoria catalyst at 633 K to form mixture of amines.

$$R{-}OH + NH_3 \xrightarrow[633\ K]{Al_2O_3} RNH_2 \xrightarrow{ROH} R_2NH \xrightarrow{ROH} R_3N$$

Heated alumina removes the water formed.

16.3.2 Methods of distinction between three classes of alcohols (1°, 2° and 3°)

Reaction involving hydrogen α- to the –OH group.

Since primary, secondary and tertiary alcohols differ in the number of α-hydrogen atoms, these reactions can be used to distinguish them.

1. Oxidation

Oxidation of alcohols with acidified potassium dichromate gives different oxidation products.

$$CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{CH}-\underset{\underset{H}{|}}{O} + (O) \xrightarrow[-H_2O]{} \underset{\text{aldehyde}}{CH_3-CH=O} \xrightarrow{(O)} CH_3-COOH$$

(primary alcohol)

$$CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-\underset{\underset{H}{|}}{O} + (O) \xrightarrow[-H_2O]{} \underset{\text{(Ketone)}}{CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=O} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{(acid with lesser carbon atoms)}}{CH_3COOH}$$

(secondary alcohol)

$$H_3C-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}}-OH \xrightarrow{H^+} CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{C}=CH_2 \xrightarrow{(O)} CH_3COCH_3 + HCOOH$$

$$CH_3COCH_3 \downarrow CH_3COOH$$

(tertiary alcohol)

As the number of α-hydrogen decreases, reactivity with respect to oxidation also decreases.

Hence the presence of α-hydrogen is essential for normal oxidation reactions of alcohols.

Acidified potassium permanganate oxidises the alcohols directly to the carboxylic acid.

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow{(O)} CH_3CHO \xrightarrow{(O)} CH_3COOH$$

The breath analysis test for the detection of ethanol involves the oxidation of alcohol in the breath of a person who has consumed alcohol, by acidic potassium dichromate and observing the change in the colour of the chromium ion (Cr^{VI}) from yellow orange to $Cr^{(III)}$ which is blue green colour.

2. Reaction with chlorine water

When alcohols are treated with chlorine water, or sodium hypochlorite or bleaching powder solution, they are oxidised.

Primary alcohols are oxidised to aldehydes

$$\underset{\text{Ethyl alcohol}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{Acetaldehyde}}{CH_3CHO} + H_2O$$

Secondary alcohols are oxidised to ketones.

$$\underset{\text{Isopropyl alcohol}}{\begin{matrix} CH_3 \diagdown \\ \qquad CHOH \\ CH_3 \diagup \end{matrix}} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{Acetone}}{\begin{matrix} CH_3 \diagdown \\ \qquad CO \\ CH_3 \diagup \end{matrix}} + H_2O$$

Tertiary alcohols do not undergo this reaction because it does not contain α-hydrogen which is involved.

The carbonyl compounds formed undergo further chlorination forming chlorinated aldehydes and ketones.

$$CH_3CHO \xrightarrow{Cl_2} CCl_3\,CHO \text{ (chloral)}$$

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{\text{Trichloro acetone}}{CCl_3\,COCH_3}$$

When alcohols containing CH_3CHOH- group is treated with iodine and potassium hydroxide, yellow crystals of iodoform is formed. The tri-iodo carbonyl compound formed is decomposed by the alkali to give iodoform and potassium salt of an acid.

$$C_2H_5OH \xrightarrow{I_2/KOH} CH_3CHO \xrightarrow{I_2} CI_3CHO \xrightarrow{KOH} CHI_3 + HCOOK$$

$$CH_3CHOHCH_3 \xrightarrow{I_2/KOH} CH_3COCH_3 \xrightarrow{I_2} CI_3COCH_3 \xrightarrow{KOH} CHI_3 + CH_3COOK$$

The formation of haloform in general by this procedure is called haloform reaction. Since methanol does not contain CH_3CHOH group, it does not undergo haloform reaction.

2. Catalytic dehydrogenation :

Dehydrogenation of alcohols by passing the vapours over heated copper at 573 K.

$$\underset{\text{Primary alcohol}}{CH_3\underset{H}{\underset{|}{C}}H-\underset{H}{\underset{|}{O}}} \xrightarrow{Cu/573K} \underset{\text{(aldehyde)}}{CH_3CHO} + H_2$$

$$\underset{\text{Secondary alcohol}}{CH_3-\overset{CH_3}{\overset{|}{\underset{H}{\underset{|}{C}}}}-\underset{H}{\underset{|}{O}}} \xrightarrow{Cu/573\ K} \underset{\text{(acetone)}}{CH_3-\overset{CH_3}{\overset{|}{C}}=O} + H_2$$

Tertiary alcohol Isobutylene

Absence of α-hydrogen in tertiary alcohol under the above condition leads to only dehydration to olefin.

3. Victor Meyers Test

This test consists of the following steps.

(a) Alcohol is converted into alkyl iodide by treatment with P/I_2

(b) The alkyl iodide is then converted into nitro alkane by silver nitrite ($AgNO_2$).

(c) The nitro alkane is treated with Nitrous acid (HNO_2) and then with aqueous KOH.

The alcohols are identified from the colour of the product.

(a) Primary alcohol:

$$\underset{\text{primary alcohol}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{P/I_2} CH_3CH_2I \xrightarrow{AgNO_2} CH_3-\underset{\underset{NO_2}{|}}{C}H_2 \xrightarrow{O=N-OH}$$

$$CH_3-\underset{\underset{NO_2}{|}}{C}=NOH \xrightarrow{KOH} CH_3-\underset{\underset{NO_2}{|}}{C}=N-OK^+$$

(Nitroxime or nitrolic acid) Potassium salt of nitrolic acid (red colour)

(b) Secondary alcohol :

$$\underset{\text{Secondary alcohol}}{(CH_3)_2CHOH} \xrightarrow{P/I_2} (CH_3)_2CHI \xrightarrow{AgNO_2} (CH_3)_2C(NO_2)H + HON=O$$

$$\underset{\text{(Pseudo nitrol) blue colour}}{(CH_3)_2C(NO_2)(N=O)} \xrightarrow{KOH} \text{No Reaction but blue colour remains.}$$

(c) Tertiary alcohol :

$$(CH_3)_3C-OH \xrightarrow{P/I_2} (CH_3)_2(H_3C)C-I \xrightarrow{AgNO_2} \underset{\text{Nitro compound colourless}}{(CH_3)_3C-NO_2} \xrightarrow{HNO_2} \text{No reaction}$$

Absence of α-H in tertiary alcohol makes it inactive to nitrous acid.

USES OF ALCOHOLS

(a) Methyl alcohol is used as an industrial solvent (b) as an antifreeze in automobile radiators, (c) for the manufacture of formaldehyde.

Methanol is poisonous in nature and when taken orally can cause blindness and even death. Ethanol which contains 5% methanol is known as methylated or denatured spirit. It is used as a fuel in spirit lamp and as a solvent for wood polish, methanol is used as a motor fuel along with petrol.

Ethyl alcohol one of the most extensively used organic compound (a) in alcoholic beverage, (b) industrial solvent, (c) in pharmaceutical preparation, (d) as a preservative for biological specimens, (e) in the preparation of large number of other organic compounds like ether, iodoform, acetaldehyde etc., and (f) as a good solvent for recrystallisation and extraction of plant materials etc.

16.4 DIHYDRIC ALCOHOLS

Compounds having two hydroxyl groups are known as dihydric alcohols or diols. If two hydroxyl groups are linked to the same carbon atom, it is called **'gem diols'. These are unstable.** The relative position of the two hydroxyl groups can be 1, 2 or 1, 3 or 1, 4 and so on.

Example,

$$\underset{\text{'Gemdiol'}}{CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{C}}-OH} \longrightarrow CH_3-\underset{\underset{H}{|}}{C}=O + H_2O$$

$$\underset{\text{1,2 ethane diol}}{\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array}} \qquad \underset{\text{1,3 propane diol}}{\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_2OH \end{array}}$$

Nomenclature of 1,2-diols

1. In the common system, the name is arrived at by adding the word 'glycol' to the name of the olefin from which it is derived.

$HOCH_2 – CH_2OH$ — ethylene glycol

$CH_3CH(OH)CH_2OH$ — propylene glycol

2. In the IUPAC system, the suffix 'diol' is added to the name of parent alkane.

$HOCH_2 – CH_2OH$ — ethane-1,2-diol

$CH_3CH(OH)CH_2OH$ — propane-1,2-diol

ISOMERISM

Position Isomerism

Diols having the same molecular formula differ in the position of the hydroxyl groups.

$CH_3CH(OH)CH_2OH$	propane-1,2-diol
$CH_2(OH)CH_2CH_2OH$	propane 1,3-diol

Functional Isomerism

Diols are **isomeric** with ethers or hydroxy ethers.

$CH_3CH(OH)CH_2OH$ is isomeric with

$CH_3OCH_2OCH_3$ (Dimethoxy methane) and $CH_3OCH_2CH_2OH$ (2-methoxy-ethanol)

16.4.1 GENERAL METHODS OF PREPARATION OF GLYCOLS

1. By addition reactions

(a) **Dihydroxylation**

By the action of cold dilute alkaline potassium permanganate solution which is known as Baeyer's reagent on olefins, diols are formed.

$$RCH = CH_2 + H_2O + (O) \longrightarrow RCHOH – CH_2OH$$

(b) Addition of oxygen to form olefin oxide from olefin followed by acid hydrolysis to give glycol.

$$RCH = CH_2 + \tfrac{1}{2} O_2 \longrightarrow R–\underset{\underset{O}{\diagdown\ \diagup}}{CH–CH_2} \xrightarrow{H_3O^+} R – \underset{\underset{OH}{|}}{CH} – \underset{\underset{OH}{|}}{CH_2}$$

Thus ethylene forms ethylene epoxide.

$$CH_2 = CH_2 + \tfrac{1}{2} O_2 \xrightarrow[473\text{-}673\ K]{Ag} \underset{\diagdown\ \diagup}{CH_2 - CH_2}\ O$$

This is hydrolysed to ethylene glycol by dil. HCl or sulphuric acid at 333 K.

$$\underset{\diagdown\ \diagup}{CH_2 - CH_2}\ O \xrightarrow{H_3O^+} CH_2OH - CH_2OH$$

This reaction proceeds via the nucleophilic attack by water on the **protonated epoxide.**

$$H_2O : \curvearrowright \begin{matrix} CH_2 \diagdown \\ | \\ CH_2 \end{matrix} \overset{+}{OH} \longrightarrow \overset{+}{H_2O} - \begin{matrix} CH_2 - OH \\ | \\ CH_2 \end{matrix} \xrightarrow{-H^+} \begin{matrix} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}$$

(c) Olefins are converted to chlorohydrins and are then hydrolysed with **milk of lime.** Ethylene glycol itself is prepared as follows :

$$\begin{matrix} CH_2 \\ \| \\ CH_2 \end{matrix} + HOCl \longrightarrow \begin{matrix} CH_2OH \\ | \\ CH_2Cl \end{matrix} \xrightarrow{Ca(OH)_2} \begin{matrix} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}$$

In the above, first step involves **addition across** the double bond and the **second step** a S_N2 attack by the **OH– ion.**

The latter two methods are of **commercial** importance.

2. By substitution reactions :

1,2-dihaloalkanes are hydrolysed with **aqueous sodium carbonate.**

(a) Ethylene dibromide is heated with moist silver oxide or aqueous sodium carbonate solution to form ethylene glycol.

$$\begin{array}{c} CH_2Br \\ | \\ CH_2Br \end{array} \xrightarrow[Na_2CO_3]{H_2O} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + 2\ NaBr + CO_2$$

This reaction involves **S_N2 attack by OH^- and the leaving group is Br^-.**

(b) Action of nitrous acid on ethylene diamine leads to ethylene glycol.

$$\begin{array}{c} CH_2NH_2 \\ | \\ CH_2NH_2 \end{array} \xrightarrow{2HNO_2} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + 2N_2 + 2H_2O$$

An unstable diazonium ion is formed in the first step, which undergoes **nucleophilic attack** by OH^- to form glycol.

3. By Reduction reactions

This procedure is similar to the preparation of alcohol by **'Bouveault-Blanc Reduction'** where aldehyde or ketone or ester can be reduced to alcohol by **sodium and ethanol.** Thus ethylene glycol is prepared from diethyl oxalate.

$$\begin{array}{c} COOC_2H_5 \\ | \\ COOC_2H_5 \end{array} \xrightarrow{8(H)} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + 2\ C_2H_5OH$$

$$\underset{\text{glyoxal}}{\begin{array}{c} CHO \\ | \\ CHO \end{array}} \xrightarrow{4\ (H)} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xleftarrow{2\ (H)} \underset{\text{glycolic aldehyde}}{\begin{array}{c} CHO \\ | \\ CH_2OH \end{array}}$$

16.4.2 PROPERTIES

Because of the presence of two hydroxyl groups the **intermolecular hydrogen bonding is made much stronger.** Hydrogen bond can be formed between both OH groups resulting in a polymeric structure.

This leads to high viscosity and boiling point (470 K). This is miscible with water and alcohol in all proportions but immiscible with ether. Water or alcohol forms stronger H-bonding with glycol, breaking the polymeric structure. This explains the **'hygroscopic'** nature of glycol. It is a colourless liquid with sweet taste, but toxic in effect.

CHEMICAL PROPERTIES

The molecule of ethylene glycol contains two primary alcoholic groups. It exhibits the general chemical characteristics of primary alcohols twice over. However in most of the reactions both these groups are not equally reactive. One hydroxyl group reacts completely before the other one participates in the reaction. In general this resembles a primary alcohol in all chemical reactions.

1. Replacement of acidic hydrogen

The hydrogen atom of the –OH group is replaced by electropositive metals like sodium step by step, with evolution of hydrogen.

2. Reactions in which –OH group is replaced

(a) Reaction with organic and inorganic acids to form esters.

(i) In all these reactions, protonation of the –OH is followed by nucleophilic attack by the anion of the acid.

Ethylene glycol reacts with hydrogen chloride gas as follows :

(ii) On heating with nitric acid in presence of catalytic amount of con. sulphuric acid, ethylene glycol forms ethylene dinitrate, an explosive liquid.

(iii) Ethylene glycol reacts with organic acids like acetic acid in presence of mineral acid, forming glycol mono and diacetate.

Acetyl chloride, acetic anhydride also form the same products with ethylene glycol.

(iv) Reaction of ethylene glycol with dicarboxylic acid.

Both glycol and dicarboxylic acid being molecules with two functional groups, react forming condensation polymers. Thus with Terephthalic acid, ethylene glycol forms the polymer 'Terylene' (**also known as dacron or terene**), which is extensively used as a synthetic fibre.

(v) With phosphorous halides

Ethylene glycol forms ethylene chlorohydrin and ethylene dichloride with either PCl_5 or PCl_3.

$$\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} CH_2Cl \\ | \\ CH_2OH \end{array} \longrightarrow \begin{array}{c} CH_2Cl \\ | \\ CH_2Cl \end{array}$$

Similarly PBr_3 forms mono and dibromide.

$$\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \longrightarrow \underset{\text{ethylene bromohydrin}}{\begin{array}{c} CH_2Br \\ | \\ CH_2OH \end{array}} \longrightarrow \underset{\text{ethylene dibromide}}{\begin{array}{c} CH_2Br \\ | \\ CH_2Br \end{array}}$$

With PI_3, it forms ethylene diiodide, which being **unstable decomposes to form ethylene.**

$$\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \longrightarrow \left[\begin{array}{c} CH_2I \\ | \\ CH_2I \end{array}\right] \xrightarrow[\text{unstable}]{-I_2} \begin{array}{c} CH_2 \\ \| \\ CH_2 \end{array}$$

3. DEHYDRATION

Ethylene glycol undergoes dehydration under different conditions to form different products.

(i) When heated alone up to 773 K it forms ethylene oxide or ethylene epoxide. This is an intra molecular reaction in which a water molecule is eliminated from the two –OH groups.

(ii) When heated with anhydrous zinc chloride, ultimately acetaldehyde is formed. This involves β-elimination.

In the second step hydrogen migrates from –OH group to CH_2 carbon.

(iii) Intermolecular dehydration

When heated with conc. phosphoric acid, ethylene glycol eliminates a molecule of water forming diethylene glycol.

This involves the nucleophilic attack by the –OH group of one molecule, to displace the protonated –OH group of another molecule.

(iv) Concentrated sulphuric acid being more powerful acid and dehydrating agent removes two molecules of water forming **dioxan.**

4. OXIDATION REACTION

Ethylene glycol contains two primary alcohol groups, hence number of oxidation products are possible. That depends on

(i) The nature of the oxidising agent.

(ii) The quantity of the oxidising agent used.

(iii) Whether one or both the primary alcoholic groups are oxidised.

(a) Acidified potassium dichromate or potassium permanganate is very powerful oxidising agent. Hence they are capable of cleaving the C–C bond forming formic acid.

$$\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow{3(O)} \begin{array}{c} HCOOH \\ + \\ HCOOH \end{array} + H_2O$$

(b) Periodic acid is a specific reagent to bring about such a C–C bond cleavage by oxidation.

$$\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow[HIO_4]{3(O)} \begin{array}{c} HCOOH \\ + \\ HCOOH \end{array} + H_2O$$

This undergoes cleavage at carbon-carbon single bond forming two molecules of aldehyde. This further gets oxidised to acids.

Both these reactions involve the formation of cyclic diester with the reagent, as intermediate.

(c) Dilute nitric acid or alkaline $KMnO_4$ oxidises ethylene glycol to the following oxidation products. The first step involves the formation of aldehyde by the oxidation of one $–CH_2OH$ group. The second step may involve (i) oxidation of the other $–CH_2OH$ group to aldehyde or (ii) the further oxidation of –CHO group to –COOH group. Ultimately oxalic acid is formed.

16.4.3 Uses :

(i) As an antifreeze in automobile radiators.

(ii) As a coolant in aeroplane engines.

(iii) As an explosive.

(iv) In the preparation of synthetic fibre, terylene.

(v) As a solvent and preservative.

(vi) In the preparation of numerous compounds like dioxan.

16.5 TRIHYDRIC ALCOHOLS

The compounds containing three hydroxyl groups are known as **Trihydric alcohols.** These three hydroxyl groups are attached to three different carbon atoms for stability of the compound. The most important compound of the series is glycerol.

$$\overset{3}{CH_2OH} - \overset{2}{CHOH} - \overset{1}{CH_2OH}$$

This is also known as propane-1,2,3-triol in IUPAC system. This was first discovered by Scheele in 1779 who obtained it by the hydrolysis of olive oil.

It occurs in the combined state as glyceryl ester of higher fatty acids in almost all vegetable and animal oils and fats. The higher fatty acids present in glyceryl esters (oils or fats) are usually palmitic acid ($C_{15}H_{31}COOH$), olecic acid ($C_{17}H_{33}COOH$) and stearic acid ($C_{17}H_{35}COOH$).

The general formula of triester of glycerol is

$$\begin{array}{l} CH_2OCOR \\ | \\ CHOCOR' \\ | \\ CH_2OCOR'' \end{array}$$

R, R' and R'' can be same or different.

The triester is called triglyceride. If R=R'=R'' it is called simple triglyceride, if different it is called mixed triglyceride.

Saponification Reaction

Glycerol is prepared in a large scale by the hydrolysis of oils or fats either by using alkali (in soap industry) or by super heated steam (in candle industry). Hydrolysing with alkali, forms sodium or potassium salt of higher fatty acids as solids. These are called soaps.

In general hydrolysis of esters using alkali is called **'Saponification' reaction.**

$$\begin{array}{l} CH_2OCOR \\ | \\ CHOCOR \\ | \\ CH_2OCOR \end{array} + 3NaOH \longrightarrow \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + \underset{\text{(soap)}}{3RCOONa} \downarrow$$

Glycerol is formed as byproduct in the soap industry. When the oil is hydrolysed using steam, higher fatty acids are formed as solids. These are used in candle industry.

$$\begin{array}{l} CH_2OCOR \\ | \\ CHOCOR \\ | \\ CH_2OCOR \end{array} + 3H_2O \xrightarrow[\text{Steam}]{H_2SO_4} \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + \underset{\text{(solid)}}{3RCOOH}$$

Glycerol is the other product formed in this.

3. Synthesis of Glycerol

Starting from propylene (obtained in the cracking of petroleum) glycerol is synthesised as given below :

$$\underset{\text{propylene}}{\begin{array}{l} CH_2 \\ \| \\ CH \\ | \\ CH_3 \end{array}} \xrightarrow[\text{773 K}]{Cl_2} \underset{\text{allyl chloride}}{\begin{array}{l} CH_2 \\ \| \\ CH \\ | \\ CH_2Cl \end{array}} \xrightarrow[\text{773 K/12 atm}]{Na_2CO_3} \underset{\text{allyl alcohol}}{\begin{array}{l} CH_2 \\ \| \\ CH \\ | \\ CH_2OH \end{array}} \xrightarrow{HOCl} \underset{\text{glycerol chlorohydrin}}{\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHCl \\ | \\ CH_2OH \end{array}}$$

$$\xrightarrow[\Delta]{NaOH} \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + NaCl$$

I step involves the (chlorination) substitution of the methyl hydrogen forming allyl chloride.

II step involves hydrolysis - Nucleophilic substitution reaction.

III step addition of hypochlorous acid to olefinic part of allyl alcohol.

IV step hydrolysis with Nucleophilic displacement of chlorine by hydroxyl group.

16.5.1 Physical Properties :

It is a colourless and odourless liquid. It is a highly viscous and hygroscopic liquid with high boiling point (536 K). The latter properties can be explained on the basis of **intermolecular** hydrogen bond leading to complex polymeric structure. It is miscible with water and alcohol in all proportions but insoluble in organic solvents.

Chemical Properties

Glycerol molecule contains **two primary alcoholic groups** and **one secondary alcoholic group.** However both alcoholic groups are not equally reactive though in many of the reactions it resembles alcohol and glycol.

1. Reaction with electropositive metals like sodium :

Monosodium glycerolate is readily obtained and the disodium glycerolate at higher temperature. The secondary alcoholic group does not react.

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow{Na} \left[\begin{array}{l} CH_2ONa \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array}\right] \xrightarrow{Na} \begin{array}{l} CH_2ONa \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2ONa \end{array}$$

2. Reaction with hydrogen halides :

Glycerol reacts with hydrogen chloride at 383 K to give both α and β-mono chloro derivative.

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow[383K]{HCl} \begin{array}{l} CH_2Cl \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHCl \\ | \\ CH_2OH \end{array}$$

glycerol α-chlorohydrin glycerol β-chlorohydrin

With excess of hydrogen chloride, α, α' - and α, β dichlorohydrins are obtained.

3. Phosphorous pentachloride forms glyceryl trichloride :

Hydrogen bromide and phosphorous tribromide react in the same way.

With hydrogen iodide or phosphorous triiodide, allyl iodide is formed. An unstable triiodide is formed as an intermediate which loses iodine to give allyl iodide.

With excess of the reagent allyl iodide further reacts giving ultimately isopropyl iodide.

The first and the third step involves Markownikoff's addition of HI to the carbon-carbon double bond. The second step involves β-elimination of iodine.

5. With a **well cooled mixture of concentrated sulphuric acid** and fuming nitric acid, nitroglycerine is formed.

$$\begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2OH \end{array} + 3HONO_2 \xrightarrow{conc.H_2SO_4} \begin{array}{l} CH_2ONO_2 \\ | \\ CHONO_2 \\ | \\ CH_2ONO_2 \end{array} + 3H_2O$$

Nitroglycerine
or
Glyceryl trinitrate

Similarly with acetic acid, acetic anhydride (or) acetyl chloride mono, di and tri acetates are formed depending upon the amount of reagent used.

CH_2OCOCH_3	CH_2OCOCH_3	CH_2OCOCH_3
|	|	|
CHOH	CHOH	$CHOCOCH_3$
|	|	|
CH_2OH	CH_2OCOCH_3	CH_2OCOCH_3
Glycerol	Glycerol	Glycerol
Monoacetate	Diacetate	Triacetate

6. Dehydration :

When glycerol is heated with potassium bisulphate or **conc. sulphuric acid or phosphorous pentoxide** dehydration takes place. Two β-elimination reaction takes place to give acrolein or acrylic aldehyde.

$$\begin{array}{l} H-CH-OH \\ \quad | \\ H-C-OH \\ \quad | \\ H-CH-OH \end{array} \xrightarrow{KHSO_4} \left[\begin{array}{l} CH_2 \\ \| \\ C \\ \| \\ CHOH \end{array} \right] \longrightarrow \begin{array}{l} CH_2 \\ \| \\ CH \\ | \\ CHO \end{array}$$

unstable acrolein

7. Action with oxalic acid :

Depending upon the temperature, glycerol is converted to allyl alcohol or formic acid. At 383 K glycerol mono formate is formed.

This on hydrolysis gives formic acid.

In this reaction glycerol acts as a catalyst.

(b) At 533 K, glyceryl dioxalate is formed which eliminates two molecules of carbondioxide forming **allyl alcohol.**

The elimination of two molecules of carbondioxide takes place by the cyclic reorganisation of bonds in the diester.

8. Oxidation :

Theoretically glycerol can give rise to a large variety of oxidation products. The actual product obtained depends upon the nature of the oxidising agent and their concentration.

(a) With dil. Nitric acid glyceric acid is formed.

(b) With con. Nitric acid glyceric acid and tartronic acids are formed.

(c) Bismuth nitrate converts glycerol to **Mesoxalic** acid.

(d) Milder oxidising agents like bromine water or Fenton's reagent [$FeSO_4 + H_2O_2$] or sodium hypobromite-oxidises glycerol to **'glycerose'** - a mixture of glyceraldehyde and **dihydroxy acetone.**

(e) Strong oxidising agents like warm acidified permanganate convert glycerol to oxalic acid and carbondioxide.

Note :

$$\underset{\text{primary alcohol}}{-CH_2OH} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{aldehyde}}{-CHO} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{acid}}{-COOH}$$

$$\underset{\text{Secondary alcohol}}{-CHOH-} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{Ketone}}{>C=O} \xrightarrow{[O]} -COOH + \underset{\text{etc.}}{CO_2}$$

Oxidation reaction of glycerol

16.5.1 Uses :

1. In the manufacture of explosives like TNG.
2. as an antifreeze in automobile radiators.
3. as a sweetening agent in beverages.
4. in moisturising creams and other cosmetics.
5. in copying inks and stamp pad inks.

16.6 AROMATIC ALCOHOL

Benzyl alcohol :

Aromatic compounds containing hydroxyl group in the side chain are called aromatic alcohols. A typical example is Benzyl alcohol $-C_6H_5CH_2OH$. It is also called **'phenyl carbinol'** or in the IUPAC system phenyl methanol.

The structure is

It can be considered as an arylated aliphatic alcohol. Benzyl alcohol occurs in nature either in free form or in the form of esters in jasmine oil. It is **isomeric with cresols and anisole.**

16.6.1 Methods of preparation :

1. By the hydrolysis of benzyl chloride

Obtained by the chlorination of Toluene followed by hydrolysis with aqueous NaOH.

$$\underset{\text{Toluene}}{C_6H_5CH_3} \xrightarrow[-HCl]{Cl_2} \underset{\text{Benzyl chloride}}{C_6H_5CH_2Cl} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{Benzyl alcohol}}{C_6H_5CH_2OH} + NaCl$$

The formation of benzyl alcohol from benzyl chloride **involves nucleophilic substitution.**

This method is used in the large scale preparation of benzyl alcohol.

2. Reduction of benzaldehyde

Benzaldehyde is reduced to benzyl alcohol on treatment with sodium amalgam and water or zinc and hydrochloric acid or Lithium aluminium hydride.

$$C_6H_5CHO + 2\,[H] \longrightarrow C_6H_5CH_2OH$$

3. By Cannizzaro Reaction :

Simple Cannizzaro reaction of benzaldehyde or a crossed Cannizzaro reaction of a mixture of benzaldehyde and formaldehyde is effected by treating them with 50% caustic soda solution.

(i) $C_6H_5CHO + C_6H_5CHO$ (simple) $+ H_2O \xrightarrow{OH^-} C_6H_5CH_2OH + C_6H_5COOH$ — Benzyl alcohol + Benzoic acid

(ii) $C_6H_5CHO + HCHO$ (crossed) $+ H_2O \xrightarrow{OH^-} C_6H_5CH_2OH + HCOOH$ — Benzyl alcohol + Formic acid

This reaction involves oxidation of one aldehyde molecule to acid, while the other aldehyde molecule is reduced to alcohol.

In the crossed Cannizzaro reaction of benzaldehyde with formaldehyde, it is the formaldehyde that is converted to the acid and benzaldehyde to alcohol. Because formaldehyde can be more easily oxidised than benzaldehyde.

4. Grignard's synthesis

Since benzyl alcohol is a primary alcohol, it is prepared by the action of phenyl magnesium bromide on formaldehyde.

16.6.2 Properties :

It is a colourless pleasant smelling liquid with b.p. 478 K. It is sparingly soluble in water, because of the presence of hydrophobic phenyl group (larger in size when compared to methyl or ethyl group). But it is soluble in organic solvents like benzene and alcohol.

Chemically it resembles aliphatic primary alcohol.

1. It is not so acidic as to dissolve in sodium hydroxide but reacts with sodium metal forming sodium benzylate or sodium benzoxide.

$$2C_6H_5CH_2OH + 2Na \longrightarrow 2C_6H_5CH_2ONa + H_2$$

Sodium benzoxide brings about nucleophilic substitution at methyl carbon atom of the methyl iodide forming ethers.

$$\begin{array}{l} C_6H_5CH_2O\ Na \\ \quad + \\ \qquad CH_3\ I \end{array} \longrightarrow C_6H_5CH_2 - O - CH_3 + NaI$$

2. Reagents like PCl_5, $SOCl_2$ and HCl readily forms benzyl chloride with benzyl alcohol.

$$\begin{array}{l} C_6H_5 - CH_2 - O - H \\ \qquad\qquad / \quad | \\ \qquad Cl - PCl_3 - Cl \end{array} \longrightarrow C_6H_5 - CH_2Cl + POCl_3 + HCl$$

$$\begin{array}{l} C_6H_5 - CH_2 - O - H \\ \qquad\qquad / \quad | \\ \qquad Cl - SO - Cl \end{array} \longrightarrow C_6H_5\ CH_2\ Cl + SO_2 + HCl$$

4. On heating with phosphorous and hydriodic acid, it is reduced to Toluene. Benzyl iodide is the intermediate in this reaction.

$$\begin{array}{l} C_6H_5CH_2 - OH \\ \qquad I \quad | \\ \qquad\quad H \end{array} \xrightarrow{-H_2O} \begin{array}{l} C_6H_5 - CH_2 - I \\ \qquad\qquad H \quad | \\ \qquad\qquad\quad I \end{array} \longrightarrow C_6H_5CH_3 + I_2$$

Iodine is removed by **phosphorous.**

Hydrogen in presence of Palladium is the other reagent that can reduce benzyl alcohol to Toluene.

5. Benzyl alcohol forms esters with carboxylic acids in presence of conc. sulphuric acid, and also with acid chlorides and acid anhydrides.

$$C_6H_5CH_2\boxed{OH + H}OCOCH_3 \xrightarrow[-H_2O]{H^+} \underset{\text{benzyl acetate}}{C_6H_5CH_2OCOCH_3}$$

$$\underset{\underset{\underset{\text{Acetylchloride}}{CH_3CO-Cl}}{+}}{C_6H_5CH_2-O-H} \xrightarrow{-HCl} C_6H_5CH_2OCOCH_3$$

$$C_6H_5CH_2-O-H + O\begin{matrix} CO-CH_3 \\ CO-CH_3 \end{matrix} \longrightarrow C_6H_5CH_2OCOCH_3 + CH_3COOH$$

Acetic anhydride

6. Oxidation :

(i) With mild oxidising agents like copper nitrate or lead nitrate, benzyl alcohol is converted to benzaldehyde.

$$C_6H_5CH_2OH \xrightarrow[\text{or } Cu(NO_3)_2]{Pb(NO_3)_2} C_6H_5CHO + H_2O$$

Decomposition of the metallic nitrate provide the source for the above oxidation.

(ii) In the oxidation with acidified potassium dichromate or alkaline potassium permanganate, benzaldehyde is first formed which undergoes further oxidation to benzoic acid.

$$C_6H_5CH_2OH \xrightarrow[Na_2CO_3/KMnO_4]{Na_2Cr_2O_7/H^+ \text{ or}} \underset{\text{Benzaldehyde}}{C_6H_5CHO} \longrightarrow \underset{\text{Benzoic acid}}{C_6H_5COOH}$$

7. In addition to the above reactions, it undergoes reactions characteristic of the benzene ring-namely electrophilic substitution reactions like halogenation, nitration, sulphonation etc. In all these cases substitution takes place in the benzene ring. Like CH_3– and CH_2Cl– groups, CH_2OH– is also **ortho, para directing** group. Hence ortho or para substituted products are formed.

o- and p- chloro substituted compounds

o- and p- sulphonic acid derivatives

16.6.3 Uses

(i) Used as a local anaesthetic in intravenus subcutaneous injections.

(ii) as an antiseptic in ointments.

(iii) as esters in perfumery. (Benzyl acetate has fragrance of Jasmine)

(iv) as benzyl benzoate in the treatment of asthma and whooping cough.

(v) in the manufacture of synthetic resins.

16.7 PHENOLS

Phenols : These form a class of compounds in which one or more hydrogen atom of the benzene nucleus are replaced by hydroxyl group. The simplest members are phenol [C_6H_5OH] and cresols [$CH_3–C_6H_4–OH$].

Classification and Nomenclature

1. Phenols may be classified as monohydric, dihydric and trihydric according to the number of hydroxyl groups.

(i) Monohydric phenols :

Hydroxy benzene (Phenol) | o-hydroxy toluene (o-cresol) | m-hydroxy toluene (m-cresol) | p-hydroxy toluene (p-cresol)

(ii) Subsituted phenols :

These are named as derivatives of phenol or as hydroxy compounds.

o-aminophenol

o-hydroxy benzaldehyde

2,4,6-trinitro phenol

p-hydroxy benzoic acid

(iii) Dihydric phenols :

1,2-dihydroxybenzene or ortho dihydroxy benzene or Catechol

1,3-dihydroxybenzene or meta dihydroxy benzene or Resorcinol

1,4-dihydroxybenzene or p-dihydroxy benzene or p-quinol

3,5-dihydroxytoluene or Orcinol

(iv) Trihydric phenols :

1,2,3-trihydroxybenzene (Pyrogallol)

1,2,4-trihydroxybenzene (Hydroxy quinol)

1,3,5-trihydroxybenzene (Phluroglucinol)

Occurence :

Coal tar is the most important source of phenols like phenol, cresol etc., from which they are obtained industrially. Some substituted phenols occur in essential oil of plants like eugenol in clove oil, thymol in mint oil.

16.7.1 Preparation

1. From aryl halides : Phenols can be prepared by heating aryl halide, with caustic soda at high temperature and pressure.

$$\text{Ar-Cl} + \text{NaOH} \xrightarrow[\text{300 atm.}]{\text{623K}} \text{ArOH} + \text{NaCl}$$

$$\underset{\text{Chloro benzene}}{C_6H_5Cl} + \text{NaOH} \xrightarrow[\text{300 atm.}]{\text{623K}} \underset{\text{phenol}}{C_6H_5OH} + \text{NaCl}$$

This reaction is an example of aromatic nucleophilic substitution. The replacement of nuclear halogen is difficult because of the stronger C–Cl bond compared to that in alkyl halides. Yet, this reaction is used for the large scale preparation and is known as **Dow's process.**

2. Phenol is also **manufactured** by heating chlorobenzene with steam in presence of silica as catalyst.

$$C_6H_5Cl + H_2O \xrightarrow{SiO_2} C_6H_5OH + HCl$$

3. From sulphonic acids

Sodium salt of sulphonic acids when fused with sodium hydroxide yield phenoxides. These on treatment with dil. hydrochloric acid give phenols.

$$ArSO_3H + NaOH \longrightarrow ArSO_3Na + H_2O$$

$$ArSO_3Na + 2NaOH \xrightarrow{\text{573 K}} \underset{\text{Sodium phenoxide}}{Ar-ONa} + Na_2SO_3$$

$$ArONa + HCl \longrightarrow ArOH + NaCl$$

4. By boiling weakly acidic aqueous solution of diazonium chloride, phenol is formed.

$$\underset{\text{Benzene diazonium chloride}}{C_6H_5N_2Cl} + H_2O \xrightarrow{H^+} C_6H_5OH + HCl + N_2$$

This method is useful for the preparation of phenols which cannot be prepared by other methods.

5. By the decarboxylation of phenolic acids. This is carried out by heating sodium salt of phenolic acids with sodalime.

Sodium salicylate Phenol

6. Industrially phenol is prepared from cumene. Cumene is prepared from benzene and propylene in presence of Lewis acid like anhydrous aluminium chloride.

Cumene

This is oxidised to hydro peroxide by oxygen of the air.

Cumene hydro peroxide

This is cleaved to phenol and acetone by aqueous hydrochloric acid.

Phenol Acetone

16.7.2 Properties

1. Pure phenols are colourless liquids or crystalline solids. They turn pink or red on exposure to air and light due to oxidation.
2. Lower phenols have characteristic 'Carbolic acid' - odour.
3. They are insoluble or sparingly soluble in water but dissolve readily in alcohol and ether. Relatively high boiling point of phenols and solubility in alcohols can be explained by intermolecular hydrogen bonding. Insolubility in water is explained by the presence of hydrophobic phenyl group.

16.7.3 General chemical properties

Phenols exhibit reactions of both the hydroxyl group and aromatic ring. They differ from alcohols in having weakly acid character and in not undergoing elimination and substitution reactions.

Reactions of hydroxyl group

In some reactions phenols resemble alcohols. In many others they differ from alcohols.

Reactions different from alcohols

1. They form water soluble coloured complexes with neutral ferric chloride. The colour of the complex vary from violet, red, blue or green. Since different phenols give different colours.

   Phenol itself gives violet colour. It is a characteristic test for phenol.

2. Acidic character

   Phenols are weakly acidic. These are stronger acids than alcohols but weaker than all mineral acids, carboxylic acids and even carbonic acid.

   Hence phenols dissolve in sodium hydroxide (a strong base) but not in sodium bicarbonate (weaker base). This property is used in the separation of phenols from carboxylic acids.

$$C_6H_5OH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{Sodium phenoxide}}{C_6H_5ONa} + H_2O$$

Similarly phenols evolve hydrogen on reaction with electropositive metals like sodium.

$$2C_6H_5OH + 2Na \longrightarrow 2C_6H_5ONa + H_2\uparrow$$

16.7.4 Acidic nature of phenols

Factors that enhance the stability of the anion of acid and that increase the ease of release of proton, enhance the strength of an acid.

Thus in the case of phenol, the phenolateion is more stabilised by resonance than phenol itself.

Phenol Phenolate ion

Resonance in phenolate ion

In the case of alcohols there is no stabilisation of the anion.

$$RCH_2\text{–}OH \longrightarrow RCH_2\text{–}O^{(-)}$$

Presence of –I, –M groups in benzene ring enhances its acid strength.

At para position the resonance effect effectively operates.

Resonance in p-nitrophenol and its anion

Phenolate ion has no +ve charge on oxygen and hence is more stabilised by resonance than phenol itself.

Consequence of this Resonance

1. Phenols are stronger acid than alcohols (because the RO^--alkoxide ions are not stabilised by resonance).
2. The electron density is increased in the benzene ring and hence the benzene ring is activated towards electrophilic substitution reaction.
3. Ortho and para positions are more electron dense, and the electrophilic substitution takes place at ortho and para positions.
4. Oxygen is strongly bound to the nucleus hence it is not easily removed.

The acid strength of phenols depend on the nature of the substituent present in the benzene ring. Electron withdrawng groups like -Nitro, cyano groups increase the acid strength. Electron donating substituents like $–NH_2$, CH_3- groups decrease the acid strength. (e.g.,) strength of phenol varies in the order.

Reaction with zinc dust

Phenols on distillation with zinc dust give aromatic hydrocarbons.

$$ArOH + Zn \longrightarrow ArH + ZnO$$

$$C_6H_5OH + Zn \longrightarrow C_6H_6 + ZnO$$

This reaction is useful in the identification of aromatic ring present in a natural product.

1) Reactions similar to alcohols

The hydrogen of the –OH group of phenol can be replaced by acyl group forming esters.

Direct esterification of phenol using carboxylic acid in presence of dehydrating agent like con. sulphuric acid forms phenol esters but the reaction does not go to completion.

$$C_6H_5OH + CH_3COOH \overset{H^+}{\rightleftharpoons} \underset{\text{Phenyl acetate}}{C_6H_5COOCH_3} + H_2O$$

Acid chlorides and acid anhydrides react with phenols giving esters more easily, especially in presence of a base.

$$C_6H_5 - OH + CH_3 - COCl \xrightarrow{OH^-} C_6H_5OCOCH_3 + HCl$$

$$C_6H_5 - OH + CH_3COOCOCH_3 \xrightarrow{OH^-} C_6H_5OCOCH_3 + CH_3COOH$$

The reaction of phenols with benzoyl chloride in presence of sodium hydroxide to form benzoates is known as **Schotten-Baumann** reaction.

$$C_6H_5OH + C_6H_5COCl \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{Phenyl benzoate}}{C_6H_5OCOC_6H_5} + HCl$$

2) Etherification

Phenols react with alkyl halides or alkyl sulphates in presence of alkali to form phenolic ethers. Aryl halides do not react with phenols. This alkylation of phenol is a nucleophilic substitution reaction. This reaction is known as Williamsons synthesis.

$$ArOH \xrightarrow{NaOH} ArO^{(-)} + Na^+$$

$$ArO^{(-)} + R - X \longrightarrow Ar{-}O{-}R + X^-$$

$$C_6H_5OH + \underset{\text{Dimethyl sulphate}}{(CH_3)_2\,SO_4} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{Anisole}}{C_6H_5OCH_3} + \underset{\text{Methyl hydrogen sulphate}}{CH_3OSO_2OH}$$

$$C_6H_5OH + C_2H_5Br \xrightarrow{OH^-} \underset{\text{Phenetole or ethoxy benzene}}{C_6H_5O\,C_2H_5} + HBr$$

3) Reaction with phosphorous halide

The oxygen of the hydroxyl group in phenol is strongly bound to the benzene ring hence it cannot be easily replaced. Though phenols react with PCl_5 to give chloro benzene, other reagents like HCl, PCl_3, do not give chloro benzene.

$$\begin{array}{l} C_6H_5 - O - H \\ \quad\;\; | \qquad\;\; | \\ \quad Cl - PCl_3 - Cl \end{array} \longrightarrow C_6H_5Cl + POCl_3 + HCl$$

The yield of chloro benzene is very small and the main product is triphenyl phosphate $(C_6H_5O)_3PO$. (Compare this reaction with alcohol)

4) Diazomethane directly converts phenol to anisole in alkaline medium.

$$C_6H_5OH + \underset{\text{diazomethane}}{CH_2N_2} \xrightarrow{OH^-} \underset{\text{Anisole}}{C_6H_5OCH_3} + N_2$$

5) Reaction with Ammonia

When heated with NH_3 under pressure in presence of catalysts like anhydrous zinc chloride or calcium chloride, hydroxyl groups of phenols are replaced by amino groups.

$$ArOH + NH_3 \xrightarrow{ZnCl_2/473\,K} ArNH_2 + H_2O$$

$$\underset{\text{Phenol}}{C_6H_5OH} + NH_3 \xrightarrow{ZnCl_2/473\,K} \underset{\text{Aniline}}{C_6H_5NH_2} + H_2O$$

Reactions characteristic of the benzene ring

The phenolic –OH group increases the reactivity of benzene especially with respect to electrophilic substitution reaction. Also it is ortho and para directing group. But due to greater reactivity, phenols undergo poly substitution and oxidation. Hence only under milder conditions mono substitution is expected.

1. HALOGENATION

Halogens directly react with phenols, substituting the hydrogen at ortho and para positions. When phenol is treated with bromine water the colour of bromine disappears with the formation of white precipitate. The white precipitate consists of 2, 4, 6-tribromo phenol.

2, 4, 6-tribromo phenol.

This is one of the tests for phenols.

Mono bromoderivative can be prepared at lower temperature and in the presence of non polar solvents like CCl_4 and CS_2.

ortho bromo phenol para bromo phenol

2. NITRATION

Reaction with nitrating mixture - con. H_2SO_4 acid and con. Nitric acid mixture-gives picric acid.

2, 4, 6-trinitro phenol (Picric acid)

With dilute nitric acid, a mixture of ortho and para nitro phenols are formed.

ortho nitro phenol para nitro phenol

NO_2^+ (nitronium ion) is the electrophile in the reaction.

SULPHONATION

Reaction with con. H_2SO_4. It forms a mixture of ortho and para phenol sulphonic acid.

Ortho hydroxy benzene Sulphonic acid — Para hydroxy benzene Sulphonic acid

NITROSATION

It reacts with nitrous acid (a mixture of sodium nitrite and sulphuric acid) to give *p*-nitrosophenol.

para nitroso phenol

This reaction involves electrophilic attack by NO^+ (nitrosonium ion).

Coupling with diazonium chloride :

Phenol couples with benzene diazonium chloride in alkaline medium to form *p*-hydroxy azobenzene. Diazonium ion $C_6H_5N = N^+$ is the electrophile in this reaction.

(Benzene diazonium chloride) — (p-hydroxy azobenzene- a red orange dye)

This is also called dye test, which is Characteristic of phenol.

Kolbe schmidt or Kolbe's reaction

When sodium phenoxide is heated with carbon dioxide at 400 K under pressure, sodium salicylate is formed. This is decomposed by dilute hydrochloric acid, when salicylic acid is formed. CO_2 is the electrophile in this reaction.

Riemer-Tiemann reaction

This reaction is an example of formylation reaction. When phenol is refluxed with chloroform and sodium hydroxide, a formyl group –CHO is introduced at the ortho or para position to –OH group.

Similarly with CCl_4 and NaOH, hydroxy benzoic acid is formed.

Phthalein fusion

Phenols are heated with phthalic anhydride and con. H_2SO_4 to give Phenolphthalein. This can be tested by the formation of pink colour when it is treated with sodium hydroxide.

Phenolphthalein

Oxidations

Phenol undergoes oxidation to quinone on treatment with chromyl chloride (CrO_2Cl_2).

Catalytic hydrogenation

Phenol on hydrogenation in presence of nickel forms cyclohexanol.

(Cyclohexanol)

Condensation :

Phenol, when treated with formaldehyde and sodium hydroxide, undergoes condensation reaction.

p-hydroxy phenyl methanol

This is called **'Lederer-Manasse reaction'.**

In presence of excess of formaldehyde, three dimensional polymer called 'Bakelite' is formed.

Bakelite

16.7.4 Uses

Phenol is of much industrial importance. It is used in the manufacture of dyes, drugs, plastics, explosives, pesticides etc. Phenol is an antiseptic and germicide. It is used in some soaps and lotions.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. Which has the highest boiling point ?
   (a) CH_3CH_3 (b) CH_3OH (c) C_2H_5OH (d) C_3H_8
2. Which is soluble in H_2O ?
   (a) Phenol (b) Alkanes (c) Alcohols (d) Alkenes
3. Order of reactivity of alcohol towards sodium metal is
   (a) primary < secondary > tertiary
   (b) primary > secondary > tertiary
   (c) primary < secondary < tertiary
   (d) primary > secondary < tertiary
4. The boiling point of ethyl alcohol should be less than that of
   (a) propane (b) formic acid
   (c) dimethyl ether (d) None of the above
5. Ethyl alcohol cannot be used as a solvent for CH_3MgI because
   (a) CH_3MgI reacts with alcohol giving methane
   (b) The reaction between them is explosive in nature
   (c) CH_3MgI is converted to C_2H_5MgI
   (d) Alcohol is immicible with CH_3MgI

6. When alcohols are converted to alkyl chlorides by thionyl chloride in presence of pyridine the intermediate formed is
   (a) sulphonium ion (b) chlorosulphonic acid
   (c) alkyl chlorosulphite (d) chlorosulphite
7. On oxidation of an alcohol gives an aldehyde having the same number of carbon atoms as that of alcohol. The alcohol is
   (a) 1° alcohol (b) 2° alcohol (c) 3° alcohol (d) None
8. A compound that gives a positive iodoform test is
   (a) 1-pentanol (b) 2-pentanone (c) 3-pentanone (d) pentanal
9. The compound that reacts fastest with Lucas reagent is
   (a) butan-1-ol (b) butan-2-ol
   (c) 2-methyl propan-1-ol (d) 2-methyl propan-2-ol
10. The ionization constant of phenol is higher than that of ethanol because
   (a) phenoxide ion is bulkier than ethoxide
   (b) phenoxide ion is stronger base than ethoxide
   (c) phenoxide ion is stablized through delocalisation
   (d) phenoxide ion is less stable than ethoxide ion
11. Among the following compounds strongest acid is
   (a) $HC \equiv CH$ (c) C_6H_6 (c) C_2H_6 (d) CH_3OH
12. The most unlikely representation of resonance structures of p-nitrophenoxide ion is

(a)

(b)

(c)

(d)

13. p-nitrophenol is having lower pK_a value than phenol because

(a) phenol is more acidic than p-nitro phenol
(b) anion of p-nitrophenol is more stabilised by resonance than that of phenol
(c) degree of ionisation of p-nitro phenol is less than that of phenol
(d) anion of p-nitrophenol is less stable than that of phenol

14. The reaction of Lucas reagent is fast with

(a) $(CH_3)_3COH$ (b) $(CH_3)_2CHOH$
(c) $CH_3(CH_2)_2OH$ (d) CH_3CH_2OH

15. When phenol is distilled with Zn dust it gives

(a) benzaldehyde (b) benzoic acid
(c) toluene (d) benzene

16. A compound that undergoes bromination easily is

(a) benzoic acid (b) benzene
(c) phenol (d) toluene

17. Isomerism exhibited by ethylene glycol is

(a) position isomerism (b) chain isomerism
(c) functional isomerism (d) both (a) and (c)

18. Ethylene diamine is converted to ethylene glycol using

(a) Na_2CO_3 solution (b) nitrous acid
(c) $NaHCO_3$ (aqueous) (d) Baeyer's reagent

19. Ethylene glycol forms terylene with

(a) adipic acid (b) phthalic anhydride
(c) terephthalic acid (d) oxalic acid

20. 1-propanol and 2-propanol can be best distinghished by

(a) oxidation with $KMnO_4$ followed by reaction with Fehling solution
(b) oxidation with acidic dichromate followed by reaction with Fehling solution
(c) oxidation by heating with copper followed by reaction with Fehling solution
(d) oxidation with concentrated H_2SO_4 followed by reaction with Fehling solution

21. Glycerol is used

(a) as a sweeteing agent
(b) in the manufacture of good quality soap
(c) in the manufacture of nitro glycerin
(d) in all the above

22. The alcohol obtained by the hydrolysis of oils and fats is

(a) pentanol (b) propanol (c) glycerol (d) glycol

23. The number of secondary alcoholic group in glycerol is

(a) 1 (b) 2 (c) 3 (d) 0

24. The active component of dynamite is

(a) Keiselghur (b) Nitro glycerine
(c) Nitro benzene (d) Trinitro toluene

25. The reaction of ethylene glycol with PI_3 gives

(a) ICH_2CH_2I (b) $CH_2 = CH_2$
(c) $CH_2 = CHI$ (d) $ICH = CHI$

(B) Pick Out the incorrect statements :

1. (a) Secondary alcohol with heated copper at 570 K gives ketone
(b) Isobutyl alcohol in Victor Meyer's test gives blue colour.
(c) Methyl alcohol is more toxic than ethyl alcohol
(d) Methyl alcohol is used in alcoholic beverages

2. (a) The intermediate compound in the preparation of ethylene from ethyl alcohol and con.H_2SO_4 is $C_2H_5.HSO_4$.
(b) An organic acid reacts with alcohol to form an ester.
(c) The acidity of phenol is due to the presence of benzene ring
(d) Tertiary alcohols can not be easily oxidised

3. (a) Benzyl alcohol and phenol can be distinguished by using Br_2/H_2O reagent.
(b) Formation of phenol from chlorobenzene is an example of electrophilic aromatic substitution.
(c) The IUPAC name of ethylene glycol is ethane 1,2-diol
(d) when ethylene glycol is heated to 773 K dehydration reaction takes place.

4. (a) Ethylene glycol reacts with con.H_2SO_4 to form ethylene oxide.
   (b) When acidified potassium permanganate reacts with ethylene glycol C–C bond cleavage takesplace.
   (c) Glycerol on dehydration forms CH_2=CH–CHO
   (d) Ethylene decolourises bromine water.

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. What are alcohols ? How do they differ from inorganic hydroxides ?
2. Account for the following :
   (a) lower members of alcohols are soluble in water but higher members are not
   (b) Alcohols cannot be used as solvent for grignard reagent.
3. Give reason.
   Methanol is miscible with water while iodo methane is not.
4. Give chemical test to distinguish between ethanol and methanol.
5. Compare the acid strength in 1°, 2° and 3° alcohol giving reason.
6. Write the mechanism briefly when alcohols are treated with anhydrous zinc chloride and HCl.
7. Why is that tertiary alcohols show greater reactivity towards hydrogen halides than secondary and primary alcohols ?
8. How do primary, secondary and tertiary alcohols differ in terms of their oxidation ?
9. How will you convert C_2H_5OH to $C_2H_5OC_2H_5$?
10. Complete the reaction and write the names of products.

$$C_2H_5OH \quad + \quad NH_3 \xrightarrow[360^oC]{Al_2O_3}$$

11. Explain the mechanism of acid catalysed dehydration of ethanol at high temperature.
12. How do primary, secondary and tertiary alcohols differ in terms of their dehydrogenation ?

13. Give chemical tests to distinguish between propan-2-ol and 2-methyl-propan-2-ol.

14. Explain 'esterification' reaction with an example.

15. Why is glycol more viscous than ethanol ?

16. What happens when ethylene reacts with alkaline $KMnO_4$ solution ?

17. Explain oxidation reactions of ethylene glycol.

18. How is terylene prepared from glycol ?

19. Write the conversion of ethylene glycol to 1,4-dioxan ?

20. How is glycerol obtained commercially ? State its two uses.

21. How does glycerol react with (i) PCl_5 (ii) $KHSO_4$.

22. Give a brief account of the following reaction. (i) esterification, (ii) Riemer Tiemann reaction.

23. Explain Kolbe's reaction.

24. Account for the following :

    (i) Phenol has a smaller dipole moment than methanol.

    (ii) Phenols do not give protonation reaction readily.

25. Explain why phenol does not undergo substitution of the –OH group like alcohol.

26. Complete the following reaction giving names of products.

27. Give chemical test to distinguish between methanol and phenol.

28. Give a brief account of coupling reaction.

29. What happens when phenol is treated with diazonium chloride in presence of NaOH ?

30. Explain Dow's process.

31. Identify the product A and B.

Ans.

A =

B =

32. Identify C and D.

Ans.

C =

D =

33. Identify the product. A and B

Ans. A =

34. What are monohydric alcohols ? How are they classified ? Give any three methods of preparing ethyl alcohol.

35. How will you distinguish the primary, secondary and tertiary alcohols by Victor Meyer's method ?

36. Write equation for the following conversions.

(a) Ethyl alcohol $\longrightarrow$ ethylene

(b) Ethyl alcohol $\longrightarrow$ diethyl ether

(c) Ethyl alcohol $\longrightarrow$ ethyl amine

37. Explain the mechanism of esterification.

38. Give short notes on the following :

(a) Kolbe's reaction

(b) Riemer Tiemann reaction

(c) Coupling reaction

39. Explain the action of glycerol with

(i) oxalic acid at 383 K
(ii) oxalic acid at 530 K
(iii) concentrated HNO_3 and H_2SO_4.

40. What are the oxidation products of glycerol ?

41. How is ethylene glycol prepared ? Give three methods.

42. Starting from phenol how would you obtain the following compounds ? (a) p-quinone, (b) picric acid and (c) Anisole.

43. How would you distinguish between

(i) methyl alcohol and ethyl alcohol
(ii) benzyl alcohol and phenol
(iii) ethyl alcohol and benzyl alcohol

44. Give any four methods of preparing benzyl alcohol.

45. Write a note on the 'Acidic nature of phenol'.

Problem.

1. How is the following conversion effected ?

   Ethyl alcohol $\longrightarrow$ Ethylene glycol

   Ans.

$$CH_3CH_2OH \xrightarrow[620K]{Al_2O_3} CH_2 = CH_2 \xrightarrow[KMnO_4]{\text{cold alkaline}}$$

(Baeyer's reagent)

$$\begin{array}{ll} CH_2 - & CH_2 \\ | & | \\ OH & OH \end{array}$$

2. Give the IUPAC names of

   (i) $CH_3CH(OH)CH_2OH$

   (ii) $HO–CH_2–CH_2–OH$

   (iii) $CH_3–\underset{\underset{OH}{|}}{CH}–COOH$

   Ans. (i) propane-1, 2-diol

   (ii) ethane-1,2-diol

   (iii) 2-hydroxy propanoic acid

3. Identify the isomerism in each of the following pairs.

   (i) $CH_3OCH_2OCH_3$ and $CH_3OC_2CH_2OH$

   (ii) $CH_3CH(OH)CH_2OH$ and $CH_2OHCH_2CH_2OH$

   (iii) $CH_3–\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}–CH_2–OH$ and $CH_3–CH_2–CH_2–CH_2OH$

Ans. (i) functional isomerism

(a) dimethoxy methane

(b) 2-methoxy ethanol

(ii) position isomerism -diol position is changed

(a) propane-1,2-diol

(b) propane-1,3-diol

(iii) chain isomerism - carbon chain is changed.

(a) isobutyl alcohol

(b) n-butyl alcohol

4. Complete the following equations by writing the missing A, B, C, D etc.

(i) $CH \equiv CH \xrightarrow[HgSO_4]{dil.H_2SO_4} A \xrightarrow{[O]} B \xrightarrow{SOCl_2} C$

Ans. $A = CH_3CHO$

$B = CH_3COOH$

$C = CH_3COCl$

(ii) $C_2H_5OH \xrightarrow{PCl_5} A \xrightarrow{KCN} B \xrightarrow{H_2O/H^+} C \xrightarrow[\Delta]{sodalime} D$

Ans. $A = C_2H_5Cl$

$B = C_2H_5CN$

$C = C_2H_5COOH$

$D = C_2H_6$

5. Why alcohols cannot be used as solvents with (a) Grignard reagent and (b) $LiAlH_4$.

Ans. Alcohols are sufficiently acidic to react with strong bases R^- : and H^- :

$$CH_3OH + H-\underset{\underset{H}{|}}{\overset{\overset{H}{|}}{C}}-MgX \longrightarrow CH_4 + (CH_3O)-MgX$$

$$4CH_3OH + LiAlH_4 \longrightarrow 4H_2 + LiAl(OCH_3)_4$$

6. When tertiary butyl alcohol and 1-butanol are separately treated with a few drops of $KMnO_4$, in one case only the purple colour disappears and a brown precipitate is formed. Which of the two alcohols gives the above reaction and what is that brown precipitate.

Ans. 1-butanol, being primary alcohol gets oxidised by dilute $KMnO_4$. The brown precipitate is due to the formation of manganese dioxide.

$$2KMnO_4 + H_2O \longrightarrow 3KOH + \underset{\substack{\text{manganese dioxide}\\ \text{(brown precipitate)}}}{2MnO_2} + 3(O)$$

$$\underset{\text{1-butanol}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}OH} + \xrightarrow[\text{room temp.}]{2(O)} \underset{\text{butanoic acid}}{CH_3\,CH_2\,CH_2\,COOH} + H_2O$$

7. Write the conversion of acetic acid to t-butyl alcohol.

$$CH_3COOH \xrightarrow{Ca(OH)_2} \underset{\text{calcium acetate}}{(CH_3COO)_2Ca} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{acetone}}{CH_3COCH_3}$$

$$\downarrow CH_3MgBr$$

$$\underset{\text{Tert. butyl alcohol}}{CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}}-OH}$$

8. Compound (A) $C_6H_{12}O_2$ on reduction with $LiAlH_4$ yields two compounds B and C. The compound (B) on oxidation gave (D) which on treatment with aqueous alkali and subsequent heating furnished E. The latter on catalytic hydrogenation gave (C). Compound (D) on oxidation gave monobasic acid (molecular formula weight = 60). Deduce the structure of (A), (B), (C), (D) and (E).

Ans. E is monobasic acid (RCOOH) having molecular weight 60 and it is formed from D on oxidation. So E must be acetic acid and D must be acetaldehyde. (B) on oxidation gives CH_3CHO. So (B) must be alcohol (CH_3CH_2OH).

Acetaldehyde (D) on treating with aqueous alkali (NaOH) gives aldol which on heating gives 2-butenal (E).

$$\underset{(D)}{CH_3CHO} \xrightarrow{NaOH} \underset{aldol}{CH_3CHOHCH_2CHO} \xrightarrow[-H_2O]{heat} \underset{2\text{-butenal (E)}}{CH_3 - CH = CH\ CHO}$$

Compound E on catalytic hydrogenation gives butyl alcohol.

$$CH_3 - CH = CHCHO \xrightarrow{H_2} \underset{1\text{-butanol (C)}}{CH_3\ CH_2 - CH_2 - CH_2\ OH}$$

Hence compound (A) must be an ester. Ester (A) on reduction with $LiAlH_4$ yields two alcohols (B) and (C).

A is ethyl butyrate

$$CH_3CH_2CH_2COOCH_2CH_3 \xrightarrow{LiAlH_4} \underset{\substack{\text{ethyl alcohol} \\ (B)}}{CH_3CH_2OH} + \underset{\substack{\text{butyl alcohol} \\ (C)}}{CH_3CH_2CH_2\ CH_2OH}$$

'A' can also be $CH_3CO\text{-}O\text{-}CH_2CH_2CH_2CH_3$. This structure will be answering all the above reactions.

PRACTICE

1. Write the IUPAC names of (i) $CH_3OCH_2CH_2OH$ (ii) $CH_3OCH_2OCH_3$ and (iii)

   Ans. (i) 2-methoxy ethanol ; (ii) dimethoxy methane and (iii) phenyl methanol

2. Why sodium metal cannot be used to dry alcohols but it can be used to dry ethers ?

   Ans. Alcohols are acidic enough to react with sodium but ethers are inert.

3. An organic compound has the formula $C_4H_{10}O$. It reacts with metallic sodium liberating hydrogen.

   (i) Write down the formula of three possible isomers of the compound which are similar and react with sodium.

   (ii) What will be the product if any one of the isomers reacts with acetic acid ?

   Ans. The three isomers are

   (i) $CH_3CH_2CH_2CH_2OH$

   $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$

   $$CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2OH$$

   (ii) $CH_3CH_2CH_2CH_2OH + CH_3COOH \longrightarrow CH_3CH_2CH_2CH_2OOCCH_3$

PRACTICE QUESTIONS.

1. Give the IUPAC names of each of the following and classify them as 1°, 2° and 3°.

   (a) $CH_3(CH_2)_3CHOHCH(CH_3)_2$ (b) $(CH_3)_3C–CH_2OH$

   (c) $(CH_3)_2\underset{\underset{C_6H_5}{|}}{C} – OH$ (d) $BrCH_2CH_2 – \underset{\underset{OH}{|}}{CH} – C(CH_3)_3$

   (e) $CH_2 = CH–CHOHCH_3$ (f) $PhCH_2OH$

   (g) $HOCH_2CH_2CH_2CH_2C_6H_5$ (h) $(C_2H_5)_3COH$

2. Give all the isomers of alcohols differing only in the position of –OH with molecular formula $C_5H_{10}O$.

3. Give the structure of all primary alcohols with molecular formula $C_5H_{10}O$.

4. Give the Grignard reagent and carbonyl compound that can be used to prepare

   (a) $CH_3CH_2CH_2OH$ (b) $(CH_3)_2C(OH)CH_2CH_2CH_3$

(c) $C_6H_5\ CH_2CH(OH)CH_3$

(d) $$\begin{array}{c} C_6H_5 \\ | \\ CH_3CH_2 - C - CH_3 \\ | \\ C_6H_5 \end{array}$$

5. Why dry ether is to be used as a solvent for Grignard reagent ?
6. Which of the following does not give Iodoform reaction ?

   CH_3CH_2OH, $CH_3CH(OH)CH_2CH_3$, $CH_3CH(OH)CH_3$, $(CH_3)_3COH$
7. How can ethyl alcohol be converted to isopropyl alcohol ?
8. How can isobutyl alcohol be converted to t-butyl alcohol ?
9. How can 1-butanol be converted to 2-butene ?
10. An organic compound $C_3H_8O_3$ yields on acetylation with acetic anhydride $C_9H_{14}O_6$. How many –OH groups are present in the substance ? What is the possible structure ?
11. Assign $\delta+$ and $\delta-$ to each atom joined by the covalent bond shown in the following structures.

    (a) $CH_3 - Br$, (b) CH_3OCH_3, (c) CH_3NH_2, (d) $CH_3 - O - SO_2 - OCH_3$
12. Predict the species produced during heterolytic fission of the following:

    (a) $(CH_3)_2CHOH$ (b) $(CH_3)_3CBr$

    (c) CH_3CH_2Li (d) $(CH_3)_3C - \underset{\underset{H}{|}}{O^+} - CH_3$
13. Which member of the following pairs would you expect to be more water soluble ?

    (a) $CH_3\ CH_2\ OH$ or $CH_3\ CH_2\ OCH_3$

    (b) $CH_3\ COOH$ or $HCOOCH_3$

14. Which member of the following pairs would you expect to have higher boiling point ?

    $CH_3\ O\ CH_2\ CH_2\ O\ CH_3$ or $CH_2\ OH\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ OH$

    $Cl\ CH_2\ CH_2\ OH$ or $CH_2\ OH - CH_2\ OH$

GLYCOLS & GLYCEROLS

1. What happens when - give equation.

   (i) ethylene + alkaline permanganate $\longrightarrow$

   (ii) glycerol $\xrightarrow[\Delta]{KHSO_4}$

   (iii) Ethylene + chlorine $\longrightarrow$ product $\xrightarrow{KOH\ (aq)}$

2. How can the following conversion be effected ?

   (i) glycerol $\longrightarrow$ acrolein

   (ii) glycol $\longrightarrow$ dioxan

   (iii) oxalic acid $\longrightarrow$ formic acid

3. What is the action of

   (i) anhydrous $ZnCl_2$ on glycol

   (ii) Con.HI on glycerol

   (iii) heat on a mixture of glycerol and oxalic acid (533 K)

4. Complete the following :

   (i) $C_2H_4 \xrightarrow[523\ K]{O_2/Ag} A \xrightarrow[473K]{H_2SO_4/H_2O} B$

   (ii) glycerol $\xrightarrow[(O)]{HNO_3} A \xrightarrow[(O)]{HNO_3} B$

   (iii) Allyl chloride $\xrightarrow{Na_2CO_3/H_2O} \xrightarrow{HOCl} \xrightarrow{NaOH}$

5. Convert the following :

   (i) glycol $\longrightarrow$ Formaldehyde

   (ii) glycerol $\longrightarrow$ TNG

   (iii) glycerol $\longrightarrow$ Glycerol Triacetate

Phenols

1. How can the following be obtained ?
   (a) phenol from benzene diazonium chloride
   (b) 2, 4, 6-tribromo phenol from phenol
2. How will you convert
   (a) chloro benzene to phenol
   (b) phenol to 2-acetoxybenzoic acid
3. How can the following conversion be effected ?
   (a) phenol to phenolphthalein
   (b) phenol to benzene
4. Write the reaction which takes place when
   (i) Sodium phenoxide is treated with CO_2 and the product is acidified
   (ii) Phenol is heated with chloroform and NaOH
   (iii) Phenol is reacted with dilute HNO_3.
5. Account for the following :
   (i) Phenol exhibits acidic character
   (ii) Phenol does not get protonated readily
   (iii) Phenol, Benzendiazonium chloride, NaOH solution gives red dye.
6. How are the following conversions done ?
   (i) phenol to phenyl ethanoate
   (ii) aniline to phenol and (iii) phenol to anisole
7. Arrange the following in the decreasing order of acid strength ?

8. Account for the following :
   (i) phenol is soluble in NaOH and regenerated on adding HCl.
   (ii) phenol is insoluble in $NaHCO_3$ solution while acetic acid is soluble
   (iii) Ethyl alcohol and phenol are miscible in all proportions

9. (i) What happens when phenol is warmed with CCl_4 in presence of NaOH ?

(ii) When phenol is treated with benzoyl chloride in presence of NaOH.

(iii) When phenol is treated with con. H_2SO_4.

10. Distinguish between

(a) Ethanal and phenol

(b) Phenol and acetic acid

(c) Phenol and aniline

(d) Phenol and anisole

SUMMARY :

Structure and isomerism of alcohols - chain isomerism, position isomerism and functional isomerism.

Nomenclature - common system, carbinol system and IUPAC - system of naming alcohols. Classification of hydroxy compounds - alkyl, aryl and aralkyl hydroxy compounds. Classification as primary, secondary and tertiary alcohols.

General methods of preparation - Hydration of olefins, hydrolysis of alkyl halides, reduction of carbonyl compounds and use of Grignard reagents.

Properties : Hydrogen bonding and molecular association and abnormal boiling point.

Chemical properties of alcohols - acidic property, elimination to form olefins, substitution of hydroxy group, to form ethers, alkyl halides, esters and oxidation to carbonyl compounds. Distinction between 1°, 2° and 3° alcohols - uses of methyl alcohol and ethyl alcohol. Preparation and properties of benzyl alcohol. Differences between aliphatic alcohol and benzyl alcohol.

Dihydric alcohol - ethylene glycol

Trihydric alcohol - glycerol - oil and fat - preparation - physical and chemical properties. Special emphasis on oxidation reactions - reaction with HI and dehydration - uses.

Phenols - Substituted phenols - structure and nomenclature - methods of preparation - physical properties - presence of hydrogen bonding. Chemical properties - Acidic property and resonance - properties of hydroxyl group. Properties of benzene ring - activation of benzene ring towards electrophilic substitution - formation of azo dyes and phenolpthalein.

REFERENCES :

1. Organic Chemistry - Graham Solomons, Craig Fryhle & Robert Johnson, John Wiley & Sons - 7th edition.
2. Solutions Manuel - Graham Solomons, Craig Fryhle & Robert Johnson, John Wiley & Sons - 7th edition.
3. Schaum's Solved Problems Series in Organic Chemistry - Tata McGraw-Hill Edition - 2003.
4. Problems in Organic Chemistry - Mrs. Rosenbe, Raja & Publication.
5. Keynotes in Organic Chemistry - Andrew. F. Pearson. Black Well Publishers.

17. ETHERS

LEARNING OBJECTIVES

- *Ethers - structure, classification, isomerism and nomenclature.*
- *General methods of preparation - properties - physical and chemical properties - uses.*
- *Aromatic ethers - nomenclature.*
- *The methods of preparation of anisole - its physical and chemical properties - uses.*

17.1 ETHERS

These are compounds of the type R–O–R, where oxygen atom is linked to both sides by either saturated, unsaturated or aromatic carbon. Their general formula is R–O–R'.

CLASSIFICATION

Simple ethers :

If the two alkyl groups attached to the oxygen atom are the same (R = R') then it is called **a simple** or **symmetrical ether.**

$CH_3 – O – CH_3$ (dimethyl ether) $\qquad$ $C_2H_5 – O – C_2H_5$ (diethyl ether)

Mixed ethers :

If the two alkyl groups are different then they are called as **mixed** or **unsymmetrical ethers.**

(e.g.,) $CH_3 – O – C_2H_5$ (ethyl methyl ether)

If one or two aryl groups are attached to the oxygen atom then they are called as aromatic ethers. For example

$C_6H_5–O–CH_3$ (anisole) $\qquad$ $C_6H_5–O–C_6H_5$ (diphenyl ether)

Nomenclature :

Common system - Ethers are named by prefixing the names of alkyl groups attached to the oxygen atom before the word 'ether'. Thus $CH_3–O–CH_3$ is dimethyl ether $CH_3–O–C_2H_5$ is ethyl methyl ether.

IUPAC name - Here ethers are named as alkoxy derivatives of alkanes.

Formula	IUPAC name	Common name
$CH_3 – O – CH_3$	Methoxy methane	Dimethyl ether
$CH_3 – O – C_2H_5$	Methoxy ethane	Ethyl methyl ether
$CH_3 – O – CH_2–CH_2 – CH_3$	1-methoxy propane	methyl n-propyl ether
$CH_3– O – CH(CH_3) – CH_3$	2-methoxy propane	methyl iso propyl ether

Isomerism :

Ethers are functional isomers of alcohols as both have the same general formula $C_nH_{2n+2}O$.

The C_2H_6O stands for both CH_3CH_2OH and $CH_3– O – CH_3$.

Functional Isomerism

Molecular formula	Ethers	Alcohols
C_3H_8O	$CH_3–O–CH_2–CH_3$ ethyl methyl ether	$CH_3CH_2CH_2OH$ n-propyl alcohol
		$CH_3 – CH(OH) – CH_3$ isopropyl alcohol
$C_4H_{10}O$	$CH_3CH_2–O–CH_2CH_3$ diethyl ether	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–OH$ n-butyl alcohol
	$CH_3–O–CH_2–CH_2–CH_3$ methyl-n-propyl ether	$CH_3–CH(CH_3)–CH_2OH$ isobutyl alcohol
	$CH_3–O–CH(CH_3)–CH_3$ methyl isopropyl ether	$CH_3–CH_2–CH(OH)–CH_3$ sec.butyl alcohol
		$CH_3–C(CH_3)_2–OH$ tert. butyl alcohol

Metamerism :

It is a special isomerism in which molecules with same formula, same functional group, differing only in the nature of the alkyl group attached to oxygen.

$CH_3 - O - CH_2CH_2CH_3$	$CH_3 - CH_2 - O - CH_2CH_3$	$CH_3 - O - CH(CH_3) - CH_3$
methyl-n-propyl ether	diethyl ether	methyl isopropyl ether

17.2 GENERAL METHODS OF PREPARATION

1. **Intermolecular dehydration of alcohol.** When excess of alcohol is heated with con. H_2SO_4 or H_3PO_4, two molecules condense losing a molecule of water forming ether.

$$R{-}OH + H - OR \xrightarrow{H_2SO_4} R - O - R + H_2O$$

$$C_2H_5 - O - H + H - O - C_2H_5 \xrightarrow[\text{con. } H_2SO_4]{413K} C_2H_5 - O - C_2H_5$$

This reaction proceeds by a nucleophilic substitution mechanism. The nucleophile alcohol, brings about **nucleophilic attack** on protonated alcohol.

Dehydration can also be brought about by passing vapours of alcohol over heated Alumina or Thoria.

$$2C_2H_5OH \xrightarrow[Al_2O_3]{250^oC} C_2H_5 - O - C_2H_5 + H_2O$$

2. Williamson's synthesis

This is the most important method. It consists of heating alkyl halides with **sodium** or **potassium alkoxide.**

$$RX + NaOR' \longrightarrow R{-}O{-}R' + NaX$$

$$C_2H_5Br + NaOC_2H_5 \longrightarrow C_2H_5 - O - C_2H_5 + NaBr$$

$$\underset{\text{methyl bromide}}{CH_3Br} + \underset{\text{sodium ethoxide}}{NaOC_2H_5} \longrightarrow \underset{\text{ethyl methyl ether}}{CH_3 - O - C_2H_5} + NaBr$$

This involves **nucleophilic attack** by RO^- on the carbon atom attached to the halogen.

$$R - \bar{O} + R' - Br \longrightarrow R - O - R' + Br^-$$

This method is suitable to prepare all kinds of ethers - simple and mixed ethers.

3. From alkyl halides

By heating alkyl halides with dry silver oxide, ethers may be prepared.

$$R - X + Ag_2O + X - R \xrightarrow{\Delta} R - O - R + 2AgX$$

$$C_2H_5 - I + Ag_2O + I - C_2H_5 \xrightarrow{\Delta} C_2H_5 - O - C_2H_5 + 2AgI$$

Mixed ethers can be prepared by taking different alkyl halide with dry silver oxide.

$$\underset{\text{methyl iodide}}{CH_3I} + Ag_2O + \underset{\text{ethyl iodide}}{I - C_2H_5} \longrightarrow \underset{\text{ethyl methyl ether}}{CH_3 - O - C_2H_5} + 2AgI$$

$R - O - Ag$ Silver alkoxide may be an intermediate.

4. Using Grignard reagent.

Using Grignard reagent **lower halogenated ether** may be converted to higher ethers.

$$R - O - CH_2\ X + X - Mg\ R' \longrightarrow R - O - CH_2R' + MgX_2$$

$$\underset{\text{monochloro dimethyl ether}}{CH_3{-}O{-}CH_2Cl} + BrMgCH_3 \longrightarrow \underset{\text{ethyl methyl ether}}{CH_3{-}O{-}CH_2CH_3} + Mg\begin{matrix} Br \\ Cl \end{matrix}$$

17.2.1 Properties

(i) Lower members are gases, higher members are pleasant smelling volatile liquids.

(ii) insoluble in water, soluble in organic solvents. These can be explained on the basis of the absence of hydrogen bonding.

(iii) Ethers are lighter than water. Lower members are inflammable.

(iv) Lower ethers act as anaesthetics.

Chemical Properties :

These are chemically almost inert and do not react with acids, alkalies, electro positive metals like sodium.

(i) Reaction of the alkyl radicals (substitution reactions)

(ii) Ether oxygen-capable of donating a pair of non bonding electrons.

(iii) The C–O bond which is not as stable as C–C bond, is cleaved.

Reaction of alkyl groups :

1. Halogenation

Ethers undergo substitution at the alkyl group when treated with chlorine or bromine **in absence of sunlight.** Usually **α-hydrogen** is substituted more readily.

$$R-O-\overset{\alpha}{C}H_2\,\overset{\beta}{C}H_3 \xrightarrow{Cl_2} \underset{\alpha\text{-chloro ether}}{R-O-\overset{\overset{Cl}{|}}{C}H-CH_3}$$

$$C_2H_5-O-C_2H_5 \xrightarrow[\text{dark}]{Cl_2} \underset{\alpha\text{-chloro diethyl ether}}{CH_3-CHCl-O-CH_2CH_3} \xrightarrow{Cl_2}$$

$$\underset{\alpha,\ \alpha'\text{-dichloro diethyl ether}}{CH_3CHCl-O-CHCl-CH_3}$$

In sunlight, substitution is complete. Thus diethyl ether forms perchloro diethyl ether.

$$C_2H_5 - O - C_2H_5 + 10Cl_2 \xrightarrow{\text{light}} C_2Cl_5 - O - C_2Cl_5$$

2. Reaction of ether oxygen :

(i) Formation of peroxide :

Ether oxygen is capable of forming a coordinate covalent bond with electron deficient species. Thus it forms peroxide by the action of air or oxygen.

Ether forms Diethyl peroxide

$$C_2H_5 - O - C_2H_5 \xrightarrow{(O)} \underset{\text{diethyl peroxide}}{(C_2H_5)_2O_2}$$

These peroxides are unstable and decomposes violently with explosion on heating. Hence ether should not be evaporated to dryness.

(ii) Formation of oxonium salt.

Strong mineral acids protonate the ethereal oxygen forming **oxonium salts.** In this reaction diethyl ether acts as Lewis base.

diethyl oxonium chloride

$$R-O-R + H_2SO_4 \longrightarrow (R-\overset{\overset{H}{|}}{\underset{+}{O}}-R)\ HSO_4^-$$

dialkyl oxonium hydrogen sulphate

$$C_2H_5-O-C_2H_5 + H_2SO_4 \longrightarrow (C_2H_5-\overset{\overset{H}{|}}{\underset{+}{O}}-C_2H_5)\ HSO_4^-$$

diethyl oxonium hydrogen sulphate

(iii) Reaction with Lewis acids.

Similarly with Lewis acids like BF_3, $AlCl_3$.

$$R-\ddot{O}-R + BF_3 \longrightarrow \begin{matrix} R \\ \\ R \end{matrix}\!\!>O \rightarrow BF_3$$

(Boron trifluoride etherate)

$$\underset{\text{diethyl ether}}{C_2H_5-O-C_2H_5} + BF_3 \longrightarrow \begin{matrix} C_2H_5 \\ \\ C_2H_5 \end{matrix}\!\!>O: \rightarrow BF_3$$

(iv) With Grignard reagent

An ether solution of Grignard reagent contains the following complex of ether. Thus the Grignard reagent is stabilised in dry ether.

$$2R_2O + R'MgX \longrightarrow \begin{matrix} R & & OR_2 \\ & Mg & \\ R_2O & & X \end{matrix}$$

$$\underset{\text{diethyl ether}}{2\,C_2H_5-O-C_2H_5} + \underset{\text{methyl magnesium iodide}}{CH_3MgI} \longrightarrow \begin{matrix} CH_3 & & O(C_2H_5)_2 \\ & Mg & \\ O(C_2H_5)_2 & & I \end{matrix}$$

Hence ether is used as a solvent for Grignard's reagent.

3. Reaction involving C–O bond : Hydrolysis

(i) Ethers on boiling with water in presence dilute acids are hydrolysed to form alcohols.

$$R-O-R + H-O-H \xrightarrow{H^+} 2R-OH$$

$$C_2H_5-O-C_2H_5 + H-O-H \xrightarrow{H_2SO_4} 2C_2H_5OH$$

This reaction proceeds with **protonation** of ether oxygen.

(ii) Reaction with HX

On treating with HBr or HI ether gets cleaved to form alcohol and alkyl halide.

Halogen prefers to attack the carbon atom of **the smaller alkyl group.**

$$C_2H_5-O-CH_3 \xrightarrow{HI} C_2H_5OH + CH_3I$$

(iii) With excess hot concentrated hydroidic acid, alkyl iodides are formed.

$$CH_3-O-C_2H_5 \xrightarrow{2HI} CH_3I + C_2H_5I + H_2O$$

This reaction also follows the mechanism mentioned in the previous reaction.

This reaction is used in the **Zeisel's method of detection and estimation of alkoxy (especially methoxy) group** in natural products like alkaloids.

4. With PCl_5

Phosphorous pentachloride cleaves the ether into alkyl chlorides.

$$\begin{array}{c} R - O - R' \\ Cl \quad PCl_3 \quad Cl \end{array} \longrightarrow RCl + R'Cl + POCl_3$$

$$C_2H_5–O–C_2H_5 + PCl_5 \longrightarrow 2C_2H_5Cl + POCl_3$$

17.2.2 Uses of diethyl ether

Diethyl ether is used as a **refrigerant**, as an **anaesthetic**, as a medium for the preparation of **Grignard reagent,** as a solvent for the **extraction of organic compounds,** mixed with ethanol as **substitute for petrol.**

17.3 AROMATIC ETHERS

Aromatic ethers or phenolic ethers are a class of compounds obtained by the replacement of the phenolic hydrogen by an alkyl or aryl group. The general formula can be Ar–O–R or Ar–O–Ar.

Nomenclature :

Formula	Name in common system	Name in IUPAC system
$C_6H_5OCH_3$	methyl phenyl ether (or) anisole	methoxy benzene
$C_6H_5OC_2H_5$	ethyl phenyl ether (or) phenetole	ethoxy benzene
$C_6H_5 – O – C_6H_5$	diphenyl ether	phenoxy benzene

17.3.1 Preparation

1. Williamsons synthesis :

By heating sodium phenoxide with methyl iodide. This reaction follows **S_N^2 pathway.** The nucleophile is $C_6H_5O–$ (phenoxide ion) and the substrate is methyl iodide.

$$C_6H_5O^- \; Na^+ + CH_3 – I \longrightarrow C_6H_5 – O – CH_3 \text{ (Anisole)} + I^- + Na^+$$

$$C_6H_5O^- + C_2H_5I \longrightarrow \underset{\text{(phenetole)}}{C_6H_5 – O – C_2H_5} + I^-$$

In this preparation Iodobenzene as a substrate and sodium ethoxide as the reagent cannot be used to prepare anisole. **Iodine is strongly bonded** to carbon atom of benzene hence it cannot be easily replaced.

2. Using diazomethane :

Phenolic –OH has **acidic hydrogen** atom hence diazomethane could convert this to methyl group.

$$C_6H_5 – \ddot{O} – H + \underset{\text{diazomethane}}{CH_2 – N_2} \longrightarrow C_6H_5 – O – CH_3 + N_2$$

3. Manufacture of ether :

Large scale methylation of phenol is carried out using dimethyl sulphate in presence of sodium hydroxide.

$$C_6H_5OH + (CH_3)_2SO_4 \xrightarrow{NaOH} C_6H_5OCH_3 + CH_3.HSO_4$$

$$C_6H_5\bar{O} + CH_3 – O – SO_2 – OCH_3 \longrightarrow C_6H_5–OCH_3 + \bar{O}–SO_2–OCH_3$$

This reaction involves nucleophilic attack by the phenoxide ion on dimethyl sulphate.

17.3.2 Properties

It is a pleasant smelling liquid insoluble in water, soluble in organic solvents, it gives general reaction of ether though differing in a few reaction.

It is not as reactive as phenol or methyl alcohol.

Chemical Properties

1. It forms oxonium compounds with Lewis acids

$$C_6H_5\ddot{O}CH_3 \xrightarrow{AlCl_3} C_6H_5 - \underset{+}{O}(^{-}AlCl_3) - CH_3$$

$$C_6H_5\ddot{O}CH_3 \xrightarrow{BF_3} C_6H_5 - \underset{+}{O}(^{-}BF_3) - CH_3$$

2. Heating with hydroiodic acid cleaves the ether linkage.

Anisole reacts with hydroiodic acid to give phenol and methyl iodide.

$$\underset{\text{anisole}}{C_6H_5 - O(H) - CH_3} + H - I \longrightarrow C_6H_5\,OH + CH_3I$$

$$I^- + CH_3 - \underset{\text{(protonated ether}}{\underset{H}{O^+}} - C_6H_5 \longrightarrow I - CH_3 + \underset{\text{phenol}}{HOC_6H_5}$$

Here iodide is the nucleophile and the leaving group is 'phenol'.

Because of the strong C–O bond in anisole, cleavage of the C–O bond does not occur and iodobenzene, methyl alcohol are never formed.

3. **Reaction due to the benzene ring :**

Similar to –OH group, –OMe, group increase the reactivity of the benzene ring with respect to electrophilic attack and is **ortho, para - directing.** With a mixture of con.HNO_3 and con. H_2SO_4 it gives a mixture of ortho and para nitro anisole.

Bromination yields ortho bromo anisole and p-bromo anisole.

17.3.3 Uses of anisole

It is used in perfumery.

It is used as a starting material in organic synthesis.

Distinction between Aromatic and aliphatic ethers.

Aromatic ethers (Anisole)	**Aliphatic ethers (Diethyl ether)**
1. Comparatively high boiling liquid.	Volatile liquid
2. Used in perfumery.	Used as anaesthetic.
3. Not used as solvent.	Used as a solvent.
4. Can not be used as a substitute for petrol.	Mixed with alcohol, used as a substitute for petrol.
5. On heating with HI forms phenol and CH_3I only.	It forms C_2H_5OH, and C_2H_5I.
6. With nitrating mixture forms nitro anisoles.	Nitration does not take place.
7. Does not form peroxide easily.	Forms peroxide in air.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The isomerism exhibited by $C_2H_5OC_2H_5$ and $CH_3 - O - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_3$ is
   (a) Functional (b) metamerism
   (c) position (d) chain
2. Which one of the following is simple ether ?
   (a) $CH_3 - O - C_2H_5$ (b) $C_2H_5 - O - CH_3$
   (c) $C_2H_5 - O - C_2H_5$ (d) $C_3H_7 - O - C_2H_5$
3. Diethyl ether can be decomposed with
   (a) HI (b) $KMnO_4$ (c) NaOH (d) H_2O
4. Oxygen atom of ether is
   (a) very active (b) Replacable
   (c) oxidising (d) Comparatively inert
5. According to Lewis concept of acids and bases, ethers are
   (a) Neutral (b) Acidic (c) Basic (d) Amphoteric
6. Intermolecular hydrogen bonds are not present in
   (a) CH_3COOH (b) $C_2H_5OC_2H_5$
   (c) CH_3CH_2OH (d) $C_2H_5NH_2$
7. When ethyl Iodide is treated with dry silver oxide it forms
   (a) Ethyl alcohol (b) diethylether
   (c) silver ethoxide (d) ethylmethyl ether
8. Williamson's synthesis is an example of
   (a) nucleophilic addition (b) electrophilic addition
   (c) electrophilic substitution (d) Nucleophilic substitution reaction
9. When ether is exposed to air for sometime an explosive substance produced is
   (a) peroxide (b) oxide (c) TNT (d) superoxide
10. Ether is formed when alkylhalide is treated with sodium alkoxide. This method is known as
   (a) Hoffmann reaction (b) Williamson's synthesis
   (c) Wurtz synthesis (d) Kolbe's reaction

(B) Pickout the incorrect statement :

1. (a) An example of unsymmetrical ether is $CH_3OC_2H_5$
   (b) Ethers exhibit functional isomerism with alcohols
   (c) Halogenated ether on treating with alcohols forms higher ether
   (d) Ether is lighter than water

2. (a) Diethylether with chlorine in presence of sunlight forms $(C_2Cl_5)_2O$.
   (b) The formula of diethyl oxonium chloride is $(C_2H_5)_2–O^+Cl^-$
   (c) In anisole oxygen is strongly bonded to benzene ring.
   (d) Ether is used as solvent for Grignard reagent.

3. (a) $CH_3OCH_3 \xrightarrow{\text{dry HI}} CH_3I + CH_3OH$
   (b) Ether is used as substitute for petrol
   (c) In Williamson synthesis, ether is formed using alkoxide and alcohol
   (d) Ethers act as Lewis base due to the presence of non-bonding electrons on oxygen.

(C) Answer in one or two sentences :

1. Write the IUPAC names of
   (a) $C_2H_5OCH_3$ (b) $C_6H_5OC_2H_5$
2. Ethers should not be heated to dryness. Why ?
3. Ethers are the best solvents of Grignard reagents- Account for this statement.
4. Write a note on williamson synthesis.
5. Complete and balance

$$C_2H_5OH \xrightarrow[Al_2O_3]{250^oC} ?$$

6. Why are ethers not soluble in water ?
7. Mention the uses of diethyl ether.
8. What happens when anisole is treated with Lewis acid ?
9. What happens when anisole is nitrated ?
10. Write equation for the conversion of phenol to anisole

(D) Answer not exceeding sixty words :

1. Write all possible isomers with the molecular formula $C_4H_{10}O$ and name them.
2. Give any three methods of preparing diethyl ether.
3. Mention the methods of preparation of anisole.
4. How does diethyl ether react with the following reagents ?

   (a) O_2 / long contact (b) HI in excess
   (c) PCl_5 (d) dilute H_2SO_4
5. Give any two chemical differences between anisole and an aliphatic ether.
6. Illustrate electrophilic substitution reactions of anisole.
7. Explain the formation of CH_3I and phenol when anisole is heated with HI.
8. Diethyl ether forms peroxide easily while anisole does not form peroxide easily - Explain.

SUMMARY :

Ethers - aliphatic and aromatic ethers.

Structure - nomenclature - common and IUPAC system.

Preparation - From alcohol, alkoxide and alkyl halide.

Properties - absence of hydrogen bonding - inert nature - formation of oxonium salt - cleavage of ether linkage.

Diethyl ether and anisole - Distinction.

Uses.

REFERENCE :

1. Text Book of Organic Chemistry - P.L. Soni.

18. CARBONYL COMPOUNDS

ALDEHYDES AND KETONES

- *Introduction*
- *Structure and classification*
- *Nomenclature and isomers*
- *General methods of preparation*
- *Properties - physical and chemical related to structure*
- *Knowledge of Carbanion addition reactions.*
- *Learn about Condensation reactions.*
- *Distinction between aldehydes and ketones.*
- *Uses.*
- *General methods of preparation of aromatic aldehydes and aromatic ketones.*
- *Properties - Physical and Chemical - related to structure.*
- *Distinction between aliphatic aldehyde and aromatic aldehyde.*
- *Distinction between aliphatic ketones and aromatic ketones.*
- *Uses of aromatic aledhydes and ketones.*

Aldehydes and **ketones** are compounds with the oxidation state of carbon lying in between –2 in alcohol and +2 in carboxylic acid. Hence they are chemically and even biochemically an important class of compounds. Because they can either be oxidised or reduced.

Thus **"Pyridoxal"** an aldehyde derived from the vitamin B_6 (pyridoxine) functions as a coenzyme, because of the dual nature.

Aldehydes and ketones come under the class of compounds called ''carbonyl compounds''. They have the carbonyl group.

Aldehydes differ from ketones in the presence of a hydrogen atom directly bonded to the carbonyl group.

Aldehydes Ketones

Example

(Acetaldehyde) (Acetone)

The general formula can be

When R = R' = H that represents formaldehyde, the simplest member of this series. R and R' can be alkyl or aryl.

If R is an aralkyl group we have an aralkyl aldehyde (e.g.,) phenyl acetaldehyde

18.1 NOMENCLATURE

Common names of aldehydes are derived from the common names of carboxylic acid or by adding the suffix "aldehyde" to the prefix that indicates the chain length.

CH_3COOH	CH_3CHO	C_4H_9CHO
Acetic acid	Acetaldehyde	Pentanalehyde

In the IUPAC system, the prefix indicating the length of the carbon chain is followed by the suffix **al** in place of **'e'.**

$CH_3CH_2CH_2CHO$
Butane + al = butanal

Since the aldehyde group is always present in the end it is not shown by any number.

Common name for ketones is arrived at by adding the suffix **"ketone"** to the name of alkyl groups present

$CH_3COCH_2CH_3$
Ethyl methyl ketone

A ketone is named by adding the suffix **'one'** in place of **'e'** in the name of the parent hydrocarbon.

$$CH_3CH_2COCH_2CH_3 \longrightarrow \text{3-pentanone}$$

The number of carbon forming the keto group should be mentioned.

For example, ethyl methyl ketone is named as 2-butanone in the IUPAC name.

Formula	**Common name**	**IUPAC name**
HCHO	Formaldehyde	Methanal
CH_3CHO	Acetaldehyde	Ethanal
$CH_3-\overset{\overset{\displaystyle CH_3}{\vert}}{C}HCHO$	Isobutyraldehyde	2-methyl propanal
$CH_2 = CH–CHO$	Acrolin or acraldehyde	2-propenal
$CH_3\ CH = CH\ CHO$	Crotonaldehyde	2-butenal
C_6H_5CHO	Benzaldehyde	Phenyl methanal
$C_6H_5CH = CH–CHO$	Cinnamaldehyde	3-phenyl-2-propenal
$CH_3CHOH – CH_2\ CHO$	aldol	3-hydroxy butanal

KETONES

Formula	Common name	IUPAC name
CH_3COCH_3	Acetone	Propanone
$CH_3COCH_2CH_3$	Ethyl methyl ketone	2-butanone
$CH_3CH_2COCH_2CH_3$	Diethyl ketone	3-pentanone
$CH_3\ COCH_2CH_2CH_3$	methyl, n-propyl ketone	2-pentanone
$CH_3 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}CH_2\ CH = CH_2$	Allyl methyl ketone	4-pentene-2-one

ISOMERISM

Aldehydes exhibit (i) chain isomerism and (ii) functional isomerism.

Chain Isomerism arises due to changes in carbon chain.

(i) $\underset{\text{butanal}}{CH_3 - CH_2 - CH_2 - CHO}$ and $\underset{\text{2-methyl propanal}}{CH_3 - \overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH} - CHO}$

(ii) $\underset{\text{Pentanal}}{CH_3\ CH_2\ CH_2\ CH_2\ CHO}$ $\underset{\text{2,2-dimethyl propanal}}{H_3C - \underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{\overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}} - CHO}$

Functional isomerism :

Aldehydes are functional isomers of ketones and unsaturated alcohols.

$\underset{\text{propanaldehyde}}{CH_3\ CH_2\ CHO}$ $\underset{\text{acetone}}{CH_3 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - CH_3}$ $\underset{\text{2-propen-1-ol}}{\underset{\text{unsaturated alcohol}}{CH_2 = CH - CH_2OH}}$

Ketones exhibit chain isomerism and metamerism.

Chain isomerism :

$\underset{\text{2-pentanone}}{CH_3\ CH_2\ CH_2\ \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - CH_3}$ $\underset{\text{3-methyl-2-butanone}}{CH_3 - \underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH} - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - CH_3}$

Positional Isomerism :

The carbonyl group may occupy different positions in the carbon chain to give Positional Isomers.

$$CH_3 - CH_2 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - CH_2 - CH_3$$

3-pentanone

$$CH_3\,CH_2\,CH_2 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - CH_3$$

2-pentanone

18.3 GENERAL METHODS OF PREPARATION

1. (a) Oxidation of alcohols with acid dichromate :

Primary alcohols give aldehydes

Secondary alcohols give ketones.

$$CH_3 - CH - O \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} CH_3\,CH = O + H_2O$$

$$\boxed{H \quad H \quad (O)}$$

acetaldehyde

primary alcohol
ethyl alcohol

$$(CH_3)_2\,C - O \quad + \xrightarrow{K_2Cr_2O_7/H^+} (CH_3)_2\,C = O + H_2O$$

$$\boxed{H \quad H \quad (O)}$$

acetone

secondary alcohol (isopropyl alcohol)

(b) Catalytic oxidation : By passing a mixture of alcohol vapours and air over silver catalyst at 520 K aldehyde or ketone is formed.

$$CH_3\,CH_2\,OH \xrightarrow[520K]{O_2/Ag} CH_3CHO$$

acetaldehyde

$$(CH_3)_2\,CHOH \xrightarrow[520K]{O_2/Ag} (CH_3)_2\,CO$$

acetone

(c) By the catalytic dehydrogenation of alcohols. The vapours of alcohol are passed over heated copper at 573 K gives aldehyde or ketone.

1º alcohol

Ethyl alcohol

2º alcohol

Isopropyl alcohol acetone

2. Dry Distillation. By the distillation of calcium salt of fatty acids with calcium formate - aldehyde is formed.

Calcium acetate Calcium formate Acetaldehyde

By the distillation of calcium salt of fatty acid, ketone is formed.

$$\begin{array}{l} CH_3COO \diagdown \\ \qquad\quad Ca \\ CH_3COO \diagup \end{array} \xrightarrow{\Delta} \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ CH_3 - C = O \end{array} + CaCO_3$$

calcium acetate acetone

3. Use of acid chloride :

(i) Rosenmund Reduction. Acid chlorides are reduced to aldehydes by hydrogen in presence of palladium suspended in barium sulphate as catalyst.

$$\begin{array}{c} R - C = O \\ | \\ Cl \end{array} + H - H \xrightarrow[BaSO_4]{Pd} \begin{array}{c} R - C = O \\ | \\ H \end{array} + HCl$$

$$\begin{array}{c} CH_3 - C = O \\ | \\ Cl \end{array} + H_2 \xrightarrow[BaSO_4]{Pd} \begin{array}{c} CH_3 - C = O \\ | \\ H \end{array} + HCl$$

acetyl chloride acetaldehyde

As formyl chloride is unstable at room temperature, formaldehyde cannot be prepared by this method.

This is called **Rosenmund's reduction.** $BaSO_4$ is used as a catalytic poison, to stop the reduction at the stage of aldehyde. **Otherwise**, the aldehyde formed will be further reduced to primary alcohol.

(ii) Using Dialkyl cadmium. Ketones can be prepared by the action of organometallic reagent on acid chlorides. (e.g.,) **Dialkyl cadmium** is the reagent of choice.

4. By the hydrolysis of gem dihalides

(i) A **gem dihalide** is a compound in which two halogen atoms are attached to the same carbon. Aldehydes are prepared by hydrolysis of gem dihalides in which two halogen atoms are attached to the terminal carbon atom using alkali.

ethylidene chloride acetaldehyde

(ii) Ketones are prepared by hydrolysis of a gemdihalides in which two halogens are attached to non terminal carbon atom.

2,2-dichloro propane acetone

5. By ozonolysis :

Ozone forms addition product with olefin called ozonide, which on reductive cleavage gives aldehyde or ketone.

(Ozonide) (Aldehyde)

(ozonide) (ketone)

Thus if formaldehyde is obtained, that indicates the **presence of double bond** at the terminal carbon. Hence to **locate the position** of double bond, ozonolysis is helpful.

6. By the **oxidative cleavage** of 1, 2-diols using periodic acid.

   C–C bond in 1,2-diols is cleaved by periodic acid.

$$\begin{array}{c} \text{R-CHOH} \\ \cdots\cdots|\cdots\cdots \\ \text{R'-CHOH} \end{array} \xrightarrow{HIO_4} \underset{\text{Aldehydes}}{\text{RCHO + R'CHO}}$$

$$\begin{array}{c} CH_3 - CHOH \\ \cdots\cdots|\cdots\cdots \\ CH_3 - CHOH \end{array} \xrightarrow{HIO_4} \underset{\text{acetaldehyde}}{2CH_3CHO}$$

butane-2,3-diol

$$\begin{array}{c} R_2 - C\ OH \\ \cdots\cdots|\cdots\cdots \\ R'_2 - C\ OH \end{array} \xrightarrow{HIO_4} \underset{\text{(ketone)}}{R_2CO + R'_2CO}$$

$$\begin{array}{c} (CH_3)_2 - C - OH \\ \cdots\cdots|\cdots\cdots \\ (CH_3)_2 - C - OH \end{array} \xrightarrow{HIO_4} \underset{\text{acetone}}{2CH_3\ COCH_3}$$

butane-2,3-dimethyl-2,3-diol

7. **Hydration of Alkynes**

   By the hydration of alkynes in 42% sulphuric acid containing $HgSO_4$ as a catalyst. Acetaldehyde is obtained when acetylene is used. Acetone is obtained using propyne.

(Acetylene) $\begin{array}{c} CH \equiv CH \\ | \\ H_2 \vdash O \end{array} \xrightarrow[Hg^{2+}]{H^+} CH_3CHO$ (acetaldehyde)

(Propyne) $\begin{array}{c} CH_3C \equiv CH \\ | \\ O \dagger H_2 \end{array} \xrightarrow[Hg^{2+}]{H^+} CH_3COCH_3$ (acetone)

8. Stephen's reaction :

Aldehyde can be prepared by **Stephen's reaction,** by the reduction of alkyl cyanide dissolved in ether with Stannous chloride and hydrochloric acid.

18.3.1 PROPERTIES

Physical properties

Except formaldehyde (a gas) the other lower members of aldehydes and ketones are volatile liquids and the higher members are waxy solids. Ketones have pleasant odour. They have boiling points higher than hydrocarbons (polar nature of carbonyl group) and lower than alcohols (absence of –OH group). Solubility of carbonyl compounds decreases with the increase in their molecular masses. Because with the increase in the length of carbon chain the capacity of the carbonyl group to form hydrogen bonds with water decreases.

Chemical Characteristics

Aldehydes and ketones contain the carbonyl group >C = O. Oxygen being more electro negative, the >C = O bond is polarised so that oxygen becomes negatively charged and carbon positively charged.

1. Therefore the nucleophilic reagents attack the electron deficient carbonyl carbon.

Both charged and uncharged nucleophiles can attack the carbonyl carbon to form addition products. This is the most common reaction for aldehydes and ketones.

2. Another kind of reaction of aldehydes and ketones which contain atleast one α-hydrogen atom.

(Deprotonation of α-hydrogen forming carbanion)

α-hydrogen is the hydrogen attached to the α-carbon of the carbonyl group. This hydrogen is acidic, hence a strong base (NaOH, C_2H_5ONa) can remove this hydrogen as a proton, generating a carbanion of the aldehyde or ketone. The carbanion being nucleophile brings forth nucleophilic attack on any **electron deficient carbon**, normally carbonyl carbon leading to condensation reaction.

Reactivity :

Aldehydes are more reactive than ketones for both steric and electronic reasons.

The presence of alkyl group **increases the crowding** near carbonyl group and also increases the electron density at the carbonyl carbon by **Inductive effect**. (+I effect)

Reactions common to aldehydes and ketones.

(a) Reactions of alkyl group. (b) Reaction of carbonyl group.

(a) Reactions of alkyl group :

In aldehydes the **α-hydrogen atoms** are more easily replaced than in ketones.

$$\underset{\text{(Acetaldehyde)}}{CH_3CHO} + 3Cl_2 \longrightarrow \underset{\text{(Trichloro acetaldehyde)}}{CCl_3CHO} + 3HCl$$

$$\underset{\text{(Acetone)}}{CH_3COCH_3} + 3Cl_2 \longrightarrow \underset{\text{(Trichloro acetone)}}{CCl_3COCH_3} + 3HCl$$

This reaction proceeds with the formation of carbanion.

(b) Addition reactions.

The carbon of the carbonyl group is **the site of** nucleophilic attack. (X^- is a nucleophile).

The negative part of the addendum adds to the carbon and the positive part to the oxygen.

In the addition of sodium bisulphite to give bisulphite compound $-OSO_2Na$ anion is the nucleophile.

$$CH_3CHO + HOSO_2Na \longrightarrow$$

acetaldehyde bisulphite compound

acetone bisulphite

Aldol Condensation :

This reaction is catalysed by base. The carbanion generated is nucleophilic in nature. Hence it can bring about nucleophilic attack on carbonyl group.

Step 1 :

The carbanion is formed as the **α-hydrogen atom** is removed as a proton by the base.

Step 2 :

The carbanion attacks the carbonyl carbon of another unionised aldehyde molecule.

Step 3 :

The alkoxide ion formed is protonated by water to give **'aldol'.**

Acetone also undergoes this type of condensation as shown.

(Nucleophilic attack)

When an aldehyde and a ketone react in the same way it is called **'crossed aldol condensation'.**

Characteristics of Aldol condensation :

(i) It is an irreversible change.

(ii) It is an addition reaction with or without elimination of water.

(iii) A new carbon to carbon linkage is set up.

(iv) The aldols formed easily eliminate water to form unsaturated

compounds. For example aldol on heating gives crotonaldehyde.

$$CH_3-\underset{OH}{CH}-\underset{H}{CH}.CHO \xrightarrow[-H_2O]{\Delta} \underset{\text{Crotonaldehyde}}{CH_3-CH=CH-CHO}$$

(v) This reaction is characteristic of carbonyl compounds having α-hydrogen atom. If there is **no α-hydrogen** atom in the carbonyl compound, aldol condensation does not take place.

$$\underset{\text{Formaldehyde,}}{HCHO,} \quad \underset{\text{Benzaldehyde}}{C_6H_5CHO,} \quad \underset{\text{Benzophenone}}{C_6H_5COC_6H_5.}$$

(ii) Addition of hydrogen cyanide

Aldehydes and ketones react with hydrogen cyanide to form cyanohydrin. The reaction is carried out in the presence of **base as a catalyst.**

Mechanism : The mechanism involves the following steps :

Step 1 : The base removes a proton from hydrogen cyanide to produce cyanide ion.

$$HCN + \bar{O}H \longrightarrow H_2O + \underset{\text{Nucleophile}}{C\bar{N}}$$

Step 2 : The cyanide ion attacks the carbonyl carbon to form an anion.

Step 3 : The proton from the solvent combines with the anion to give cyanohydrin.

Cyano hydrin

Like other nitriles cyanohydrin can be hydrolysed to give carboxylic acid.

Acetaldehyde cyanohydrin Lactic acid

This is a very efficient method of preparing lactic acid and other α-hydroxy acids like Mandelic acid ($C_6H_5CHOH\ COOH$).

Grignard addition

Grignard addition to aldehydes and ketones are nucleophilic addition. The addition product formed is hydrolysed to alcohols.

Formaldehyde gives primary alcohol and other aldehydes give secondary alcohol with Grignard reagent. Ketones give tertiary alcohol.

(i)

formaldehyde primary alcohol (ethyl alcohol)

(ii)

acetaldehyde

Secondary alcohol

Iso propyl alcohol

(iii)

acetone

tertiary butyl alcohol

Addition of ammonia

Formaldehyde and ketones do not form addition compounds with ammonia. They yield complex condensation products. Other aldehydes form addition product with complex structure.

Examples : Acetaldehyde forms simple product while others form products with complex structure with ammonia.

Acetaldehyde ammonia

Aldimine

Formaldehyde forms hexamethylene tetramine with NH_3.

$$6CH_2O + 4NH_3 \longrightarrow (CH_2)_6 N_4 + 6H_2O$$

hexa methylene tetramine

This is used as Urinary antiseptic in medicine, in the name of 'Urotropine'.

Benzaldehyde undergoes condensation reaction with ammonia to form hydrobenzamide.

Acetone with ammonia forms acetone ammonia initially at room temperature. On heating it forms diacetone amine.

1. Reaction with hydroxylamine : Aldehydes and ketones react with hydroxylamine to form oximes.

(a)

(b)

2. Reaction with hydrazine (NH_2–NH_2)

Aldehydes and ketones react with hydrazine to form hydrazones.

3. Reaction with phenyl hydrazine $C_6H_5NHNH_2$

Aldehydes and ketones react with phenyl hydrazine to form phenyl hydrazones.

(a)

(b)

4. Reaction with semicarbazide $NH_2NHCONH_2$

Aldehydes and ketones react with semicarbazide to form semicarbazone.

(a)

(b)

Reduction of aldehydes and ketones

The products of reduction depends upon the reagents used and the conditions of reactions. Hence a variety of reagents are used for reduction.

(i) Catalytic reduction : Aldehydes are reduced to primary alcohols by hydrogen gas in presence of platinum metal as a catalyst.

Ketone on catalytic reduction gives secondary alcohol.

It is an example of heterogeneous reaction.

Reduction using metal hydrides :

Metal hydrides like Lithium aluminium Hydride ($LiAlH_4$) Sodium borohydride ($NaBH_4$) reduce them to alcohols.

These are **'Hydride ion'** (H^-) donors. Hydride ion is a nucleophile. Hence it is nucleophilic addition reaction.

(b) Reduction of carbonyl compounds to hydrocarbons.

(i) Clemmension Reduction :

Aldehydes and ketones can be reduced to hydrocarbons by zinc amalgam and con.HCl.

This reaction proceeds by electron addition to carbonyl carbon followed by protonation. **Zinc metal** is the electron source.

In the absence of mercury, hydrogen gas will be evolved and the reduction is incomplete. This reduction is called **Clemmenson reduction.**

(ii) Reduction under strongly basic condition :

Wolff-Kishner Reduction

Aldehydes and ketones are reduced to hydrocarbons by heating with hydrazine and sodium ethoxide.

$$\begin{array}{l} CH_3 \diagdown \\ \quad\quad C = O \\ H \diagup \end{array} \xrightarrow[C_2H_5ONa]{N_2H_4} \begin{array}{l} CH_3 \diagdown \\ \quad\quad CH_2 + N_2 + H_2O \\ H \diagup \end{array}$$

Hydrazones are formed as intermediates. The base removes the $-NH_2$ hydrogen atoms as protons generating carbanion. Proton addition to carbanion gives alkanes.

$$\begin{array}{l} CH_3 \diagdown \\ \quad\quad C = NNH_2 \\ H \diagup \end{array}$$

Hydrazone

This is called **Wolff-Kishner** reduction.

Oxidation :

Aldehydes have $\begin{array}{c} -C=O \\ | \\ H \end{array}$ bond which is responsible for their reducing properties. Ketones do not have such a structure and are not reducing agents.

All the oxidising agents like acidified potassium dichromate or acidified or alkaline potassium permanganate (powerful oxidising agents) and even milder oxidising agents like **'Tollen's reagent'** and **'Fehling's solution'** oxidise aldehydes to monocarboxylic acids having the same number of carbon atoms.

$$\underset{\text{Aldehyde}}{RCHO} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{Acid}}{RCOOH}$$

Ketones are oxidised only by the strong oxidising agents (acidified potassium dichromate or permanganate) to mono carboxylic acids having lesser number of carbon atoms.

$$\underset{(3c)}{CH_3COCH_3} \longrightarrow \underset{(2c)}{CH_3COOH}$$

Popott's Rule :

During oxidation of unsymmetric ketones with oxidising agent which brings about the cleavage of C–C bond, the smaller alkyl group goes preferentially with the carbonyl group resulting in the carboxylic acids.

Because aldehydes are easily oxidised, they are reducing agents. They reduce ammonical silver nitrate (Tollen's reagent) to metallic silver and Fehling's solution (copper sulphate, sodium potassium tartrate) to red cuprous oxide.

$$\underset{\text{Acetaldehyde}}{CH_3CHO} + 2Ag^+ + 3OH^- \longrightarrow \underset{\text{Acetate ion}}{CH_3COO^-} + \underset{\text{(silver mirror)}}{2Ag} + 2H_2O$$

$$CH_3CHO + \underset{\substack{\text{(blue)}\\ \text{cupric ion}}}{2Cu^{2+}} + 5OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + \underset{\substack{\text{(red precipitate)}\\ \text{cuprous ion}}}{Cu_2O} + 3H_2O$$

Aliphatic aldehydes restore the original colour (red-pink) of the **Schiff's reagent.** (when SO_2 is passed through intensely pink coloured Schiff's reagent in water. It forms a colourless solution. This colourless solution is used for this test). This is characteristic test for aldehydes. Ketones do not restore this colour.

Polymerisation :

(i) When aqueous solution of formaldehyde is evaporated to dryness it forms a white crystalline polymer called **paraformaldehyde.**

(ii) Acetaldehyde polymerises to a cyclic structure called paraldehyde when a drop of concentrated sulphuric acid is added to it.

Paraldehyde

Benzaldehyde does not undergo polymerisation.

18.3.2 Uses of Aldehydes :

(a) 40% aqueous solution of formaldehyde is known as formalin and is used as a preservative for biological specimens and in leather tanning.

(b) A condensation product with ammonia, known as **'urotropine'** is used in medicine for urinary infection.

(c) In the process of 'Vat dyeing' to decolourise vat dyes by reduction.

(d) In the manufacture of polymeric resin called Bakelite (a condensation polymer with phenol).

Acetaldehyde :

(i) For silvering of mirror.

(ii) Its trimer 'paraldehyde' is hypnotic.

(iii) In the preparation of large number of organic compounds such as chloroform, acetic acid, ethanol, lactic acid etc.

Questions.

1. Which among the following reduces (a) Tollen's reagent only (b) Tollen's and Fehling solution (c) None

C_6H_5CHO, CH_3CHO, CH_3COCH_3, HCHO

Answers. (a) C_6H_5CHO (b) CH_3 CHO, HCHO (c) CH_3COCH_3

2. How can the following be prepared ? Give equations.

2-butenal from acetaldehyde.

Clue :

$$CH_3CHO \xrightarrow{OH^-} CH_3CHOH\ CH_2CHO \xrightarrow[H_2O]{\Delta} CH_3CH = CHCHO$$

18.4 AROMATIC ALDEHYDES

In aromatic aldehydes, the aldehyde group is directly attached to benzene ring.

Names of Aromatic aldehydes

Formula	Common Name	IUPAC name
C_6H_5CHO	Benzaldehyde	Phenyl methanal
$C_6H_5CH_2CHO$	Phenyl acetaldehyde	Phenyl ethanal
	Salicylaldehyde	2-hydroxy benzaldehyde
$C_6H_5CH = CH–CHO$	Cinnamaldehyde	3-phenyl prop-2-enal

Benzaldehyde : ***Phenyl methanal*** **(IUPAC)**

18.5 PREPARATION

1. Toluene is oxidised by chromium trioxide and acetic anhydride or chromyl chloride or air in presence of V_2O_5 at 773 K.

$$\underset{\text{Toluene}}{C_6H_5CH_3} \xrightarrow[\text{air}/V_2O_5\ 773K]{(O)} \underset{\text{Benzaldehyde}}{C_6H_5CHO} + H_2O$$

2. Benzyl chloride is oxidised by aqueous lead nitrate.

$$Pb(NO_3)_2 \xrightarrow{H_2O} HNO_3$$

$$\underset{\text{Benzyl chloride}}{C_6H_5CH_2Cl} \xrightarrow{HNO_3} \underset{\text{Benzaldehyde}}{C_6H_5CHO}$$

3. By the hydrolysis of benzal chloride. (gem dihalides)

$$C_6H_5CHCl_2 \xrightarrow{2H_2O} \underset{\text{(unstable)}}{\left[C_6H_5CH\begin{matrix}OH\\OH\end{matrix}\right]} \xrightarrow{-H_2O} C_6H_5CHO$$

Distillation of calcium benzoate with calcium formate gives benzaldehyde.

$$\underset{\text{Calcium benzoate}}{\begin{matrix}C_6H_5COO\\C_6H_5COO\end{matrix}}Ca + Ca\underset{\text{(calcium formate)}}{\begin{matrix}OCOH\\OCOH\end{matrix}} \xrightarrow{\Delta} 2C_6H_5CHO + 2CaCO_3$$

18.5.1 Properties :

Colourless liquid with boiling point 452 K. It has the smell of bitter almond and known as oil of bitter almonds.

Chemical Properties :

$$\begin{matrix}C_6H_5\\H\end{matrix}\!\!>C = O$$

It resembles aliphatic aldehydes in many properties.

Because of the presence of benzene ring the reactivity towards nucleophilic attack on carbonyl carbon is decreased.

Absence of α-hydrogen atom indicates that a carbanion cannot be generated at the α-carbon. So aldol type of condensation cannot be expected.

Presence of benzene ring makes possible the aromatic electrophilic substitution reaction.

1. It is oxidised to benzoic acid by alkaline permanganate.

$$C_6H_5CHO \xrightarrow{[O]} C_6H_5COOH$$

It does not reduce Fehling's solution, though it reduces Tollens reagent. Because Ag^+ is more easily reduced to Ag than Cu^{2+} to Cu^+

2. It is reduced to benzyl alcohol by $NaBH_4$ or $LiAlH_4$.

$$C_6H_5CHO \xrightarrow{[H^-]} C_6H_5CH_2OH$$

3. It can be reduced to toluene by Clemmenson or Wolff Kishner procedure.

$$C_6H_5CHO \xrightarrow[\text{or } N_2H_4 / KOH]{Zn/Hg/HCl} C_6H_5CH_3$$

4. It condenses with ammonia forming hydrobenzamide.
5. It undergoes addition and addition elimination reactions with HCN, $NaHSO_3$, RMgX and with NH_2OH, $C_6H_5NHNH_2$, $NH_2CONHNH_2$.
6. Benzaldehyde reacts with primary amines to form **"aldimine"** type of compound called Schiffs base.

$$C_6H_5CH{=}O + RNH_2 \longrightarrow C_6H_5CH\begin{matrix}/OH\\ \backslash NHR\end{matrix} \xrightarrow{[-H_2O]} C_6H_5CH{=}NR$$

$$C_6H_5CH{=}O + C_6H_5NH_2 \longrightarrow C_6H_5CH\begin{matrix}/OH\\ \backslash NHC_6H_5\end{matrix} \xrightarrow{[-H_2O]} C_6H_5CH{=}NC_6H_5$$

Recognise the nucleophilic addition followed by elimination - pathway in this reaction.

7. In **the absence of catalyst,** chlorine displaces aldehydic hydrogen forming benzoyl chloride.

8. **Cannizaro reaction :** Benzaldehyde undergoes Cannizaro reaction because of the **absence α-hydrogen.** It involves self oxidation and reduction of benzaldehyde when heated with concentrated NaOH.

$$\underset{\text{Benzaldehyde}}{C_6H_5CHO} + \underset{\text{Benzaldehyde}}{C_6H_5CHO} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{Sodium benzoate}}{C_6H_5COONa} + \underset{\text{Benzyl alcohol}}{C_6H_5CH_2OH}$$

The mechanism involves the transfer of hydride ion from one molecule of benzaldehyde to the other molecule.

I step.

Nucleophilic attack by $\overline{OH}$ ion on carbonyl carbon.

II step.

Transfer of hydride ion from the anion to carbonyl carbon of another molecule.

III step.

The benzyloxide ion picks up the acidic proton from benzoic acid to give benzyl alcohol.

9. **Claisen or Claisen Schmidt reaction**

It reacts with aliphatic aldehydes or ketones in presence of NaOH forming α, β unsaturated aldehyde or ketone.

$$CH_3CHO \xrightarrow{NaOH} \bar{C}H_2CHO \text{ (Carbanion)}$$

$$C_6H_5CH = O \xrightarrow{NaOH} C_6H_5\underset{\underset{CH_2CHO}{|}}{CH}{-}O^- \xrightarrow{H^+} C_6H_5\underset{\underset{CH_2CHO}{|}}{CHOH}$$

$^{(-)}CH_2CHO$

(Nucleophilic attack)

$$C_6H_5-\underset{\underset{\underset{CHO}{|}}{CH-H}}{\underset{|}{CH-OH}} \xrightarrow[-H_2O]{\beta\text{-elimination}} C_6H_5-\underset{\underset{CH-CHO}{\|}}{CH}$$

(Cinnamaldehyde)

Similarly,

$$C_6H_5CHO + CH_3COCH_3 \xrightarrow{NaOH} C_6H_5CH = CHCOCH_3$$

The carbanion formed from acetaldehyde or acetone brings forth a nucleophilic attack on the carbonyl carbon of benzaldehyde. The aldol type of product undergoes **β-elimination** (of water). This reaction is known as **Claisen Schmidt reaction.**

10. Benzoin Condensation :

This is another reaction, which is characteristic of aromatic aldehydes. When benzaldehyde is refluxed with aqueous alcoholic potassium cyanide - α-hydroxy ketone called benzoin is formed. Cyanide ion (CN^-) is the specific catalyst in this reaction.

Benzoin can be considered as dimer of benzaldehyde.

$$C_6H_5CH = O + H - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - C_6H_5 \xrightarrow[KCN]{alc} C_6H_5CHOH - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - C_6H_5$$

(Benzoin)

In presence of cyanide ion, one molecule of benzaldehyde **behaves as a carbanion.** That brings forth nucleophilic attack on the carbonyl group of another molecule of benzaldehyde. This results to Benzoin.

11. Perkins reaction :

When benzaldehyde is heated with sodium salt of acetic acid in presence of acetic anhydride, it forms cinnamic acid.

$$C_6H_5CH = O \;+\; \underset{\text{Acetic anhydride}}{CH_3{-}CO{-}O{-}COCH_3} \xrightarrow[\Delta]{CH_3COONa} \underset{\text{Cinnamic acid}}{C_6H_5CH = CH{-}COOH} + CH_3COOH$$

Sodium acetate is the base that generates a carbanion at the α-carbon in the acetic anhydride. This brings forth nucleophilic attack on the carbonyl carbon forming **β-hydroxy acid,** water gets removed from this by β-elimination.

12. Knoevenagal reaction :

Benzaldehyde condenses with malonic acid in presence of pyridine forming cinnamic acid, pyridine is the basic catalyst here. This mechanism is quite similar to the previous reaction, involving carbanion, from the malonic acid.

$$C_6H_5CH = O \;+\; \underset{\text{Malonic acid}}{H_2C(COOH)_2} \xrightarrow{\text{Pyridine}} C_6H_5CH = C(COOH)_2$$

$$\xrightarrow[\Delta]{CO_2} \underset{\text{(Cinnamic acid)}}{C_6H_5CH{=}CHCOOH}$$

Reactions of the benzene ring :

The reaction characteristic of benzene ring is electrophilic substitution. The aldehyde group (CHO) reduces the activity of benzene with respect to the attack by an electrophile. It is a **meta-directing group.** Hence meta substituted products are formed.

Nitration :

(The electrophile being NO_2^+)

Sulphonation :

(The electrophile $\overset{+}{SO_3H}$) (m-benzaldehyde sulphonic acid)

In presence of con. H_2SO_4 benzaldehyde condenses with two molecules of N,N-dimethyl aniline forming triphenyl methane dye called **Malachite green.**

Triphenyl methane dye

Halogenation :

($FeCl_3$ is the Lewis acid catalyst that forms the electrophile Cl^+)

Comparison of Formaldehyde and Acetaldehyde

Reactions	HCHO	CH_3CHO
1. Iodoform test	does not undergo	gives iodoform
2. With Ammonia	forms 'urotropine' a condensation product	gives simple addition product.
3. With alkaline solution	undergoes Cannizzaro reaction	undergoes aldol condensation.
4. With phenol	forms thermosetting plastic-bakelite	does not form resin.
5. With RMgX	forms RCH_2OH	$R-\underset{\underset{CH_3}{\vert}}{CH}-OH$ is formed.

Comparison of Aliphatic aldehyde and aromatic aldehyde

Reactions	CH_3CHO	C_6H_5CHO
1. Heating with Fehling's solution.	gives a red precipitate	no reaction.
2. With ammonia	forms simple addition product.	forms complex condensation product.
3. With caustic soda	undergoes Aldol condensation	undergoes Cannizzaro reaction.
4. With primary amines	does not form Schiff's base	forms Schiff's base.
5. With chlorine	does not form acetyl chloride	forms benzoyl chloride.
6. Polymerisation	undergoes polymerisation.	does not polymerise.
7. Electrophilic substitution.	does not undergo.	undergoes at the meta position.
8. With Schiff's reagent.	gives pink colour in cold.	gives pink colour.

Uses

Benzaldehyde is used

(a) In the preparation of cinnamaldehyde, cinnamic acid and mandelic acid.

(b) Benzoin prepared from benzaldehyde is used as **'tincture benzoin'** in medicine for throat infection.

(c) With phenols and aromatic tertiary amines, it forms triphenyl methane dyes.

(d) In perfumery, as a flavouring agent.

Questions.

1. What happens when the following is heated with 50% NaOH ?

(a) HCHO (b) C_6H_5CHO (c) a mixture of (a) and (b)

Ans. (a) $CH_3OH + HCOOH$

(b) $C_6H_5CH_2OH + C_6H_5COOH$

(c) $C_6H_5CH_2OH + HCOOH$ (HCHO is more easily oxidised than benzaldehyde) Crossed Cannizzaro reaction.

18.6 KETONES

Preparation of ketones - Acetone

1. By the oxidation of isopropyl alcohol with acid dichromate acetone is formed.

$$(CH_3)_2\underset{\underset{H}{|}}{C}-\underset{\underset{H}{|}}{O} \xrightarrow[K_2Cr_2O_7/H+]{(O)} (CH_3)_2C=O$$

2. Dry distillation of calcium acetate.

$$\underset{\text{(Calcium acetate)}}{\begin{matrix} CH_3COO \\ CH_3COO \end{matrix}\!\!>Ca} \xrightarrow[\text{Distillation}]{\Delta} \underset{\text{(Acetone)}}{\begin{matrix} CH_3 \\ H_3C \end{matrix}\!\!>C=O} + CaCO_3$$

3. Passing the vapours of isopropyl alcohol over heated copper - catalytic dehydrogenation takes place.

$$\underset{\text{(Isopropyl alcohol)}}{(CH_3)_2-\underset{H}{\underset{|}{C}}-\underset{H}{\underset{|}{O}}} \xrightarrow[\text{Cu}]{573\ K} \underset{\text{Acetone}}{(CH_3)_2C=O} + H_2$$

4. By the hydrolysis of isopropylidene chloride.

18.6.1 Properties :

Colourless, volatile liquid, soluble in water and solubility is explained by its polar nature.

Chemical properties :

It resembles acetaldehyde in many reactions - especially reactions due to $CH_3-\underset{|}{C}=O$ group.

1. It is not easily oxidised - hence it does not reduce Tollen's reagent and Fehling's solution. It does not restore the colour of Schiff's reagent.
2. Strong oxidising agents ($H_2SO_4 + K_2Cr_2O_7$) oxidise acetone to acetic acid.

$$CH_3COCH_3 \xrightarrow{(O)} CH_3COOH$$

3. It can be reduced to isopropyl alcohol by sodium amalgam and water or Lithium Aluminium Hydride.

Lithium aluminium hydride donates hydride ion (a nucleophile).

4. **Clemmenson reduction or Wolff-kishner reduction** converts acetone to propane.

5. **Haloform reaction**

The compounds having $CH_3CHOH–$ or $CH_3CO–$ group undergoes haloform reaction.

It undergoes halogenation at α-carbon atom.

$$CH_3–CO–CH_3 + 3\ Cl_2 \longrightarrow CCl_3 – CO – CH_3 + 3\ HCl$$

In the presence of NaOH, chloroform is formed.

6. It undergoes addition reaction with HCN, $NaHSO_3$, RMgX and condensation (addition followed by elimination) with NH_2OH, $NH_2–NH_2$, $C_6H_5NHNH_2$, $NH_2\ NHCONH_2$.

7. With ammonia its forms an addition product.

8. With chloroform acetone forms an addition products.

9. With dry hydrogen chloride first it forms mesityl oxide and then phorone. This reaction follows aldol type condensation followed by dehydration.

In presence of con. H_2SO_4 three molecules of acetone condense to give mesitylene (1, 3, 5 trimethyl benzene)

18.6.2 Uses.

1. A very good laboratory and industrial solvent.
2. In the preparation of Tranquilizers like sulphonal, in medicine.
3. In the manufacture of cordite.

Comparison of Aldehyde and Ketone.

Reactions	CH_3CHO	CH_3COCH_3
1. With Fehling's solution.	gives a red precipitate	does not react.
2. With Tollen's reagent.	gives silver mirror.	no silver mirror.
3. Oxidation	gives acetic acid	gives acetic acid with loss of one carbon atom.
4. Reduction with $NaBH_4$	ethanol (primary alcohol)	isopropyl alcohol (secondary alcohol)
5. With NH_3	simple addition product is formed.	forms complex ketonic amine.
6. Iodoform reaction	forms iodoform and formic acid.	forms iodoform and acetic acid.
7. Polymerisation	forms paraldehyde	forms condensation products.
8. With Schiff's reagent.	pink colour appears in cold.	no pink colour in cold.
9. Warming with NaOH	a brown resinons mass.	no resinous mass.

18.7 AROMATIC KETONES

IUPAC name of acetophenone and benzophenone

Formula	Common name	IUPAC name
$CH_3COC_6H_5$	methyl phenyl ketone	acetophenone
$C_6H_5COC_6H_5$	diphenyl ketone	benzophenone

Methyl phenyl ketone: $CH_3COC_6H_5$

IUPAC name : Acetophenone

18.7.1 ACETOPHENONE

Preparation

1. Friedel Crafts acetylation of benzene with CH_3COCl / $AlCl_3$.

This is an electrophilic substitution reaction. The electrophile $CH_3C\overset{+}{O}$ is generated by the Lewis acid $AlCl_3$ from acetyl chloride.

2. Dry distillation of calcium benzoate with calcium acetate.

18.7.2 Properties

Colourless liquid, sparingly soluble in water readily soluble in ethanol and ether.

Chemical properties :

1. Oxidation :

Acid permanganate oxidises aceto phenone to benzoic acid.

$$\underset{\text{(Acetophenone)}}{C_6H_5COCH_3} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{Phenyl glyoxalic acid}}{C_6H_5COCOOH} \longrightarrow \underset{\text{benzoic acid}}{C_6H_5COOH} + CO_2$$

2. **Reduction :** Reagents like sodium and ethanol, sodium borohydride, lithium aluminium hydride reduce acetophenone to phenyl methyl carbinol.

(a) $C_6H_5COCH_3 \xrightarrow{2(H)} C_6H_5CHOHCH_3$

(b) Clemmenson reduction or Wolff-kishner reduction converts aceto phenone to ethyl benzene.

$$C_6H_5COCH_3 \xrightarrow{4(H)} C_6H_5CH_2CH_3 + H_2O$$

Halogenation :

At 273 K bromine in ether reacts with acetophenone to form phenacyl bromide.

One α-hydrogen is removed as a proton to the remaining carbanion, bromine addition takes place.

$$C_6H_5COCH_2{-}H + Br - Br \longrightarrow \underset{\text{Phenaceylbromide}}{C_6H_5COCH_2\,Br} + HBr$$

A small amount of anhydrous aluminium chloride catalyses this reaction.

Haloform reaction :

Because of the presence of CH_3CO- group it undergoes haloform reaction.

$$CH_3COC_6H_5 \xrightarrow[NaOH]{Cl_2} CHCl_3 + C_6H_5COONa$$

Electrophilic substitution :

Acetyl group deactivates the benzene ring and is meta directing group.

Nitration :

m-nitroacetophenone

18.7.3 Uses

1. Used as a hypnotic (sleep inducing) by name hypnone

2. In perfumary.

18.8 Benzophenone :

Diphenyl ketone

$$C_6H_5 - \overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - C_6H_5$$

1. **By Friedel Crafts reaction :** Benzoylation of benzene takes place in presence of **anhydrous aluminium chloride** as a catalyst. Benzoyl cation ($C_6H_5CO^+$) is the electrophile.

2. By the reaction of excess of benzene with carbonyl chloride (phosgene) in presence of anhydrous aluminium chloride as a catalyst, Benzoyl chloride may be formed initially.

$$\underset{\text{Benzene}}{C_6H_6} + \underset{\text{Phosgene}}{Cl - CO - Cl} + \underset{\text{Benzene}}{C_6H_6} \xrightarrow{4(H)} \underset{\text{Benzophenone}}{C_6H_5COC_6H_5}$$

Thus involves two Friedel craft's acylation reactions.

3. By the dry distillation of calcium benzoate.

$$\underset{\text{(Calcium Benzoate)}}{\begin{matrix} C_6H_5COO \\ C_6H_5COO \end{matrix}\!\!>Ca} \xrightarrow[\text{Distillation}]{\Delta} \underset{\text{Benzophenone}}{C_6H_5COC_6H_5} + CaCO_3$$

18.8.1 Properties

1. It is a colourless, sweet smelling solid (m.pt. 323 K).
2. It is insoluble in water but soluble in alcohol and ether.
3. Though it gives all reactions of carbonyl compound, it does not form addition product with sodium bisulphite because of steric hindrance and lowered reactivity due to the presence of two phenyl groups.
4. Oxidation with $K_2Cr_2O_7$ and con. H_2SO_4, it gives benzoic acid.

$$\underset{\text{Benzophenone}}{C_6H_5COC_6H_5} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{Benzoic acid}}{C_6H_5COOH}$$

5. Reduction with sodium amalgam and water or lithium aluminium hydride, diphenyl carbinol is formed.

$$\underset{\text{Benzophenone}}{C_6H_5COC_6H_5} \xrightarrow{2(H)} \underset{\text{diphenyl carbinol}}{C_6H_5CHOHC_6H_5}$$

Diphenyl carbinol is also called **'benzhydrol'**. Reduction wtih zinc amalgam and con. HCl gives Diphenyl methane.

$$\underset{\text{Benzophenone}}{C_6H_5COC_6H_5} \xrightarrow{4(H)} \underset{\text{diphenyl methane}}{C_6H_5CH_2C_6H_5}$$

6. On fusion with potassium hydroxide, it undergoes disproportionation reaction.

18.8.2 Uses :

Benzophenone is used in perfumery and in the preparation of benzhydrol drop and diphenyl methane.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The chain isomer of 2-methyl propanal is
   (a) 2-butanone (b) butanal
   (c) 2-methyl propanol (d) but-3-ene-2-ol
2. Schiffs reagent gives pink colour with
   (a) acetone (b) acetaldehyde
   (c) ethyl alcohol (d) methyl acetate

3. Isopropyl alcohol vapours with air over silver catalyst at 520 K give

(a) tert.butyl alcohol (b) acetaldehyde
(c) acetone (d) 2-propanol

4. Methyl ketones are usually characterised by

(a) the Fehling's solution (b) the iodoform test
(c) the Schiff's test (d) the Tollen's reagent

5. Which of the following compounds is oxidised to give ethyl methyl ketone ?

(a) 2-propanol (b) 2-pentanone
(c) 1-butanol (d) 2-butanol

6. Formaldehyde polymerises to give

(a) paraldehyde (b) paraformaldehyde
(c) formalin (d) formic acid

7. Tollen's reagent is

(a) ammoniacal cuprous chloride (b) ammoniacal cuprous oxide
(c) ammoniacal silver nitrate (d) ammoniacal silver chloride

8. When acetaldehyde is heated with Fehling solution, it gives a precipitate of

(a) Cu_2O (b) CuO (c) CuO + Cu_2O (d) Cu

9. The compound that does not undergo Cannizzaro reaction is

(a) formaldehyde (b) acetaldehyde
(c) benzaldehyde (d) trimethyl acetaldehyde

10. The formation of cyanohydrin from a ketone is an example of

(a) electrophilic addition (b) nucleophilic addition
(c) nucleophilic substitution (d) electrophilic substitution

11. Hydrogenation of benzoyl chloride in the presence of Pd on $BaSO_4$ gives

(a) phenol (b) benzoic acid
(c) benzyl alcohol (d) benzaldehyde

12. From which of the following, tertiary butyl alcohol is obtained by the action of methyl magnesium iodide ?

(a) HCHO (b) CH_3CHO (c) CH_3COCH_3 (d) CO_2

13. During reduction of aldehydes with hydrazine and C_2H_5ONa the product formed is

(a) $R–CH = N–NH_2$ (b) $R–C \equiv N$

(c) $R – \underset{\underset{O}{\|}}{C} – NH_2$ (d) $R–CH_3$

14. Aldol is

(a) 2-hydroxy butanol (b) 3-hydroxy butanol

(c) 3-hydroxy butanal (d) 2-hydroxy butanal

15. In the reduction of acetaldehyde using $LiAlH_4$ the hydride ion acts as

(a) electrophile (b) nucleophile

(c) both (a) and (b) (d) a free radical

16. Which of the following statement is wrong ?

(a) 2-pentanone and 3-pentanone are position isomers

(b) aqueous solution of formaldehyde is known as formalin

(c) aldehydes and ketones undergo nucleophilic substitution

(d) aldehydes act as reducing agents

17. A cyanohydrin of a compound X on hydrolysis gives lactic acid. The X is

(a) HCHO (b) CH_3CHO (c) $(CH_3)_2$ CO (d) $C_6H_5CH_2CHO$

18. The IUPAC name of $CH_3 – \underset{\underset{CH_3}{|}}{C} = CH – \underset{\underset{O}{\|}}{C} – CH_3$ is

(a) 4-methylpent-3-en-2-one (b) 2-methylpent-3-en-2-one

(c) 3-methyl pent-2-en-1-one (d) None of these

19. Which of the following does not give iodoform test ?

(a) aceto phenone (b) benzophenone

(c) $CH_3 – \underset{\underset{CH_3}{|}}{CHOH}$ (d) $CH_3 – \underset{\underset{OH}{|}}{CH} – CH_2\ CH_2 – CH_3$

20. The compound which does not reduce Fehling solution is

(a) formaldehyde (b) acetaldehyde

(c) benzaldehyde (d) propionaldehyde

21. $CH_3COCH_3 \xrightarrow{\text{Conc. } H_2SO_4}$ The product is

(a) mesitylene (b) mesityl oxide
(c) phorone (d) paraldehyde

22. Which compound on strong oxidation gives propionic acid ?

(a) $CH_3 - \underset{\underset{OH}{|}}{CH} - CH_3$ (b) $CH_3 - CO - CH_3$

(c) $CH_3 - \overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{CH_3}{|}}{C}} - OH$ (d) $CH_3\ CH_2\ CH_2\ OH$

23. The compound used in the preparation of the tranquilizer, sulphonal is

(a) acetone (b) acetophenone
(c) isopropyl alcohol (d) glycol

24. Calcium acetate + calcium benzoate $\xrightarrow{\text{distillation}}$ gives

(a) benzophenone (b) benzaldehyde
(c) acetophenone (d) phenyl benzoate

25. Bakelite is a product of reaction between

(a) formaldehyde and NaOH (b) phenol and methanal
(c) aniline and NaOH (d) phenol and chloroform

(B) Answer in one or two sentences :

1. Give the structural formulae of
   (a) mesitylene (b) phorone and (c) mesityl oxide
2. What is Rosenmund's reduction ? What is the purpose of adding $BaSO_4$ in it ?
3. Name one reagent used to distinguish acetaldehyde and acetone.
4. Give four examples of carbonyl compounds ?

5. Does formaldehyde undergo aldol condensation ? Justify your answer.
6. What type of aldehydes undergo Cannizzaro reaction ?
7. What is urotropine ? Give its use.
8. What happens when calcium acetate is dry distilled ?
9. What is formalin - write its use.
10. Ethanal is more reactive towards nucleophilic addition reaction than propanone. Why ?
11. How is acetophenone prepared by Friedel-Crafts method ?
12. Write a note on haloform reaction.
13. How will you convert acetophenone to phenacyl bromide ?
14. Though benzophenone gives all reactions of carbonyl compounds, it does not form addition product with $NaHSO_3$ - give reasons.
15. Arrange the following in increasing order of reactivity towards nucleophilic addition. HCHO ; CH_3CHO and CH_3COCH_3
16. Predict the formulae of the products in the following reactions.

    (i) $CH_3COCH_3 + HCN \longrightarrow$

    (ii) $C_6H_5COCH_3 + NH_2OH \longrightarrow$
17. Formaldehyde and benzaldehyde give Cannizzaro reaction but acetaldehyde does not - Account for this
18. Give two tests for aldehydes.
19. Mention the industrial uses of formaldehyde.
20. How will you distinguish between formaldehyde and acetaldehyde.

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Write any three methods of preparing formaldehyde from alcohol.
2. How does formaldehyde react with (i) NH_3, (ii) CH_3MgI followed by hydrolysis and (iii) NaOH.
3. Illustrate the reducing property of acetaldehyde with examples.

4. How is acetone converted to
   (i) mesitylene (b) mesityl oxide, (iii) phorone and (iv) isopropyl alcohol.
5. Write giving chemical equations, a brief account of the following :
   (i) Rosenmund Reduction, (ii) Cannizzaro reaction
   (iii) Clemmenson reduction, and (iv) Aldol condensation
6. Give nucleophilic addition reaction of acetaldehyde with (a) $NaHSO_3$, and (b) $LiAlH_4$.
7. Discuss aldol condensation.
8. How are the following conversions carried out ?

   (i) benzaldehyde from Toluene, (ii) acetophenone from benzene, and (iii) benzoin from benzaldehyde.
9. Distinguish acetaldehyde from acetone.
10. Write a note on (i) Perkins reaction, and (ii) Knoevenagal reaction.
11. How will you distinguish between formaldehyde and acetaldehyde.
12. Write the differences between acetophenone and benzophenone.
13. Identify (B), (C) and (D)

$$\underset{\text{Acetone}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3} \quad (A) \xrightarrow{LiAlH_4} (B) \xrightarrow{SOCl_2} (C) \xrightarrow{alc.KOH} (D)$$

Answers (B) $CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_3$: Isopropyl alcohol

(C) $CH_3-\overset{\overset{Cl}{|}}{CH}-CH_3$: Isopropyl chloride

(D) $CH_3-CH=CH_2$: propylene

14. How will you synthesise acetaldehyde from formaldehyde ?

Answers :

$$\underset{\text{formaldehyde}}{H-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H} \xrightarrow[H_2O/H^+]{CH_3MgBr} \underset{\text{ethyl alcohol}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow[H_2SO_4]{K_2Cr_2O_7} \underset{\text{acetaldehyde}}{CH_3CHO}$$

15. How will you distinguish between 2-pentanone and 3-pentanone.

Answers : Since 2-pentanone contains methyl ketone $(CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-)$ it undergoes iodoform test with an alkaline solution of iodine and forms yellow precipitate of iodoform But-3-pentanone does not give this test.

$$\underset{\text{2-pentanone}}{CH_3-CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3} + 4\,NaOH + 3\,I_2 \longrightarrow CH_3\,CH_2-CH_2-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-ONa + \underset{\substack{\text{Iodoform}\\ \text{(yellow precipitate)}}}{CHI_3} + 3H_2O + 3NaI$$

16. How will you synthesise acetone from acetaldehyde ?

Answers:

$$\underset{\text{acetaldehyde}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H} \xrightarrow{CH_3MgI} \underset{\text{isopropyl alcohol}}{CH_3-\overset{\overset{OH}{|}}{CH}-CH_3} \xrightarrow[H_2SO_4]{K_2Cr_2O_7} \underset{\text{acetone}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-CH_3}$$

17. Give the IUPAC names of

(i) $CH_3-\underset{\underset{OCH_3}{|}}{CH}-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-OCH_2\,CH_3$ and

(ii) $CH_3-CO-\underset{\underset{C_2H_5}{|}}{CH}-CH_2-CH_2-Cl$

Answers :

(i) 2-ethoxy-4-methoxy-3-pentanone and

(ii) 3-ethyl-5-chloro-2-pentanone.

18. An organic compound, C_2H_4O gives a red precipitate when warmed with Fehling's solution. It also undergoes aldol condensation in presence of alkali.

(i) Write IUPAC name of the compound.

(ii) What is the hybridization of carbon atoms in the compound ?

(iii) Write equation for the reaction.

Answers : (i) Ethanal

(ii) sp^2 and

(iii) $CH_3CHO + 2Cu^{2+} + 3OH^- \longrightarrow CH_3COO^- + 2Cu^+ + 2H_2O$

$$CH_3CHO + CH_3CHO \xrightarrow{NaOH} \begin{array}{c} H \\ | \\ H_3C - C - CH_2 - CHO \\ | \\ OH \end{array}$$

aldol

19. Write the structural formula of the main product formed when ; (i) The compound obtained by hydration of ethyne is treated with dilute alkali. (ii) Methanal reacts with ammonia.

Answers: (i) $\underset{\text{Ethyne}}{HC{\equiv}CH} + H_2O \xrightarrow{Hg^{2+}} \underset{\text{Ethanal}}{CH_3CHO} \xrightarrow{OH^-} CH_3 - \underset{\underset{OH}{|}}{CH} - CH_2 - CHO$

aldol

(ii) $6CH_2O + 4NH_3 \longrightarrow (CH_2)_6 N_4 + 6H_2O$

20. How will you synthesise 2-butanone from ethyl alcohol ?
Clue : Steps are (i) $SOCl_2$ (ii) Mg/ether (iii) CH_3CHO, (iv) H_2O/H^+ and (v) $Na_2Cr_2O_7$ / H_2SO_4.

21. What happens when the following alcohol vapours are passed over heated copper ? (a) n-butyl alcohol, (b) isobutyl alcohol, (c) 2-butanol and (d) 2-methyl-2-propanol.

22. How can the following conversions be effected ?

(a) $CH_3COCl \longrightarrow CH_3CHO$

(b) $CH_3COCl \longrightarrow CH_3COCH_3$

(c) $CH_3CN \longrightarrow CH_3CHO$

(d) $CH_3CN \longrightarrow CH_3CH_2OH$

23. Which compounds on Clemmenson reduction give (a) 2-methyl propane, (b) ethyl benzene, (c) propane and (d) diphenyl methane.

24. What happens when the following compounds are treated with dilute NaOH solution in cold ?

(a) propanal, (b) $(CH_3)_3C\text{-}CHO$, (c) mixture of $(CH_3)_3$ CCHO and acetone.

25. Identify the atoms that has undergone change in hybridisation in the following reactions.

(a) $CH_3\ CHO + HCN \longrightarrow CH_3COOH$

(b) $CH_3C \equiv N \longrightarrow CH_3CH_2CH_3$

(c) $CH_3COCH_3 \longrightarrow CH_3CH_2CH_3$

(d) $CH \equiv CH \longrightarrow CH_2 = CH_2$

26. Draw resonance structures for the following :

(a) CH_3COO^-, (b) CH_3CONH_2, (c) C_6H_5CHO, (d) $C_6H_5COO^-$

27. Which of the following pairs is more resonance stabilised ?

(a) C_6H_5CHO and $C_6H_{13}CHO$

(b) CH_3COCH_3 and $CH_3\ COC_6H_5$,

(c) p-hydroxy benzaldehyde and m-hydroxy benzaldehyde,

(d) $C_6H_5CH_2OH$ and $CH_3–C_6H_4–OH$ (para)

SUMMARY :

Functional group of aldehyde and ketone.

Structure, isomerism involved and nomenclature - common name and IUPAC name.

Preparation - by the oxidation or dehydrogenation of alcohols ozonolysis of olefins, hydration of alkynes, catalytic reduction of acid chloride, distillation of calcium salt of fatty acid and hydrolysis of gem dihalide.

Properties - Higher boiling point of polar molecules than hydro carbons - carbon of the carbonyl group is the site of nucleophilic attack - Most of the addition reactions - nucleophilic - addition product eliminates water forming condensation product. Reactions with $NaHSO_3$, HCN, NH_3, RMgX, NH_2OH, $C_6H_5NHNH_2$, $NH_2NHCONH_2$, reductions with $NaBH_4$, $LiAlH_4$, also nucleophilic in nature, that give alcohols.

Some reductions - Zn/Hg/HCl or heating with $N_2H_4/NaOC_2H_5$ - gives hydrocarbon.

Mild oxidising agents like Fehling's solution, Tollen's reagent - oxidise aldehydes to mono carboxylic acids. Ketones require more powerful oxidising agents like acidified $K_2Cr_2O_7$ or $KMnO_4$ in which carbon-carbon bond is cleaved to give carboxylic acids having lesser number of carbon atoms.

Aldehydes and ketones having α-hydrogen atom form carbanions in presence of base. These take part in condensation reactions with other carbonyl compounds. Aldehydes and ketones having CH_3CO- group undergo haloform reaction.

Formaldehyde undergoes condensation with Ammonia to form urotropine and phenol to form Bakelite.

Acetone and acetaldehyde undergo aldol condensation while formaldehyde undergoes Cannizaro reaction.

Distinction between formaldehyde and acetaldehyde and acetaldehyde and acetone.

Structure and nomenclature of aromatic aldehydes - preparation and properties - Reactivity of carbonyl group - decreased by benzene ring.

Absence of α-hydrogen - cannot form carbanion. But carbanion formed from other carbonyl compounds attack the carbonyl group of benzaldehyde. Hence it takes part in all the nucleophilic addition reactions and condensation reactions.

In addition it undergoes aromatic electrophilic substitution reactions. The benzene ring - deactivated and meta-products formed.

Distinction between aliphatic and aromatic aldehydes.

Aromatic ketones - acetophenone and benzophenone, preparation - Friedel Crafts acylation.

Properties - Resemblance of acetophenone with acetone. Benzophenone - least reactive - absence of α-hydrogen - uses.

Name reactions

Rosenmund reduction
Clemmenson reduction
Wolff-kishner reduction
Aldol condensation
Cannizaro reaction
Fehling's test
Tollen's test
Claisen condensation
Perkins reaction
Knoevenagel reaction
Benzoin condensation
Friedel Crafts acylation

REFERENCES :

1. Organic Chemistry by Finar (Vol. I)
2. Text book of Organic Chemistry by P.L. Soni.
3. Text book of Organic Chemistry by Cram, Hammond & Hendrickson

19. CARBOXYLIC ACIDS

LEARNING OBJECTIVES

- *To know about carboxylic acids and their derivatives.*

19.1 CARBOXYLIC ACIDS

Organic compounds containing the carboxyl group, $-C(=O)OH$ are called carboxylic acids. The acid may be monocarboxylic acid, if it contains one –COOH group ; a dicarboxylic acid if it contains two –COOH groups ; a tricarboxylic acid if it contains three –COOH groups etc.

The aliphatic mono carboxylic acids are called fatty acids and the higher members like Stearic acid ($C_{17}H_{35}COOH$), palmitic acid ($C_{15}H_{31}COOH$), oleic acid ($C_{16}H_{33}COOH$) etc., occur as glycerides in oils and fats.

Nomenclature :

(a) Trivial system :

The names of lower members are derived from the **source** of individual acids.

Formula	Source	Trivial name
HCOOH	Red ant (formica)	formic acid
CH_3COOH	Vinegar (acetum)	acetic acid
C_3H_7COOH	Butter (Butyrum)	butyric acid
C_4H_9COOH	Root of valarion plant	valeric acid
$C_{11}H_{23}COOH$	Laurel oil	lauric acid

In case of substituted acids the **position of the substituent** is represented by α, β, γ, δ etc. Thus

$$\overset{\gamma}{CH_3} - \overset{\beta}{CH}(CH_3) - \overset{\alpha}{CH_2} - COOH$$

β-methyl butyric acid

Derived names :

Sometimes fatty acids are named as alkyl derivatives of acetic acid.

(e.g.,)	$MeCH_2COOH$	Methyl acetic acid
	$Me_2CHCOOH$	Dimethyl acetic acid
	$Me_2CH.CH_2COOH$	Isopropyl acetic acid

IUPAC names :

Acids are named after the alkane by replacing the ending ***'e'*** by ***'oic'*** acid.

$HCOOH$	Methanoic acid
CH_3COOH	Ethanoic acid
CH_3CH_2COOH	Propanoic acid
$CH_3CH_2CH_2COOH$	Butanoic acid
$CH_3CH_2CH_2CH_2COOH$	Pentanoic acid

In case of substituted acid the longest carbon chain including the carboxyl group is taken as the parent chain.

Position of the substituent is indicated by either 1, 2, 3, etc., (or) **α, β, γ, ...**

When it is done by numbers the carbon of the carboxyl group is numbered as (1) when it is done by Greek letters the carbon next to the –COOH group is **designated as 'α'.**

$$\overset{4}{\underset{\gamma}{CH_3}} - \overset{3}{\underset{\beta}{CH_2}} - \overset{2}{\underset{\alpha}{CH}}\overset{CH_3}{|} - \overset{1}{COOH}$$

2-methyl butanoic acid (IUPAC)

α-methyl butyric acid (Common)

Isomerism :

1. Chain isomerism :

This arises due to the difference in the carbon chain of alkyl group attached to carboxyl group.

$CH_3\,CH_2\,CH_2\,CH_2\,COOH$ (pentanoic acid)

$CH_3 - \underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} - CH_2\,COOH$ (3-methyl butanoic acid)

2. Functional isomerism :

Carboxylic acids may be functional isomers of esters.

$CH_3\,CH_2\,COOH$ propanoic acid and $CH_3\,COOCH_3$ methyl acetate $HCOOC_2H_5$ ethyl formate

19.2 Preparation of monocarboxylic acids :

1. **Oxidation :** Carboxylic acids are prepared by the oxidation of alcohols, aldehydes or ketones with $K_2Cr_2O_7$ and H_2SO_4. Primary alcohol is first oxidised to aldehyde and then to carboxylic acid. On the otherhand secondary alcohols are first oxidised to ketone and then to acid with lesser number of carbon atoms.

$$RCH_2OH \xrightarrow{(O)} RCHO \xrightarrow{(O)} RCOOH$$

$$\begin{matrix} R \diagdown \\ \quad CHOH \\ R \diagup \end{matrix} \xrightarrow{(O)} \begin{matrix} R \diagdown \\ \quad C = O \\ R \diagup \end{matrix} \xrightarrow{(O)} RCOOH$$

(i) $\underset{\text{ethyl alcohol}}{CH_3CH_2OH} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{acetaldehyde}}{CH_3CHO} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{acetic acid}}{CH_3COOH}$

(ii) $\underset{\text{Isopropyl alcohol}}{\begin{matrix} CH_3 \diagdown \\ \quad CHOH \\ CH_3 \diagup \end{matrix}} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{acetone}}{\begin{matrix} CH_3 \diagdown \\ \quad C = O \\ CH_3 \diagup \end{matrix}} \xrightarrow{(O)} \underset{\text{acetic acid}}{CH_3COOH + CO_2}$

2. Hydrolysis methods :

(a) Hydrolysis of cyanides, amides and esters : Alkyl cyanides, amides, esters are hydrolysed with aqueous acid or alkali to give carboxylic acid.

(i)

$$\underset{\text{alkyl cyanide}}{R-C\equiv N \,\vert\, O-H_2} \longrightarrow \underset{\text{amide}}{R-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-NH_2} \xrightarrow{H_2O} RCOOH$$

$$\underset{\text{methyl cyanide}}{CH_3-C\equiv N} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{acetamide}}{CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-NH_2} \xrightarrow{H_2O} CH_3COOH + NH_3$$

$$\underset{\text{Hydrogen cyanide}}{H-C\equiv N} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{Formamide}}{H-\underset{\underset{NH_2}{|}}{C}=O} \xrightarrow{H_2O} H-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-OH + NH_3$$

(ii)

$$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2 \,\vert\, HO-H \xrightarrow{H_2O} RCOOH + NH_3$$

Example,

$$\underset{\text{acetamide}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-NH_2} \xrightarrow{H_2O} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + NH_3$$

(iii)

$$\underset{\text{ester}}{R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3} + HO-H \xrightarrow{H^+ \text{ or } OH^-} R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + CH_3OH$$

Example,

$$\underset{\text{methyl acetate}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OCH_3} \xrightarrow[H^+ \text{ or } OH^-]{HOH} \underset{\text{acetic acid}}{CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH} + CH_3OH$$

(acid or alkaline hydrolysis)

(b) Hydrolysis of trihalides : By the hydrolysis of trihalides containing three halogen atoms attached to the same carbon atom, carboxylic acids are formed.

$$R-C(X)_3 \xrightarrow{3KOH} \underbrace{\left[R-C(OH)_3\right]}_{\text{unstable}} \xrightarrow{-H_2O} R-\underset{\underset{OH}{|}}{C}=O$$

$$\underset{\text{trichloro ethane}}{CH_3-CCl_3} \xrightarrow{3KOH} \left[CH_3-C(OH)_3\right] \xrightarrow{-H_2O} CH_3-\underset{\underset{OH}{|}}{C}=O$$

3. From Grignard reagent :

$$RMgI + CO_2 \longrightarrow R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OMgI \xrightarrow{+H_2O} R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + Mg\begin{matrix}OH\\I\end{matrix}$$

Methyl magnesium iodide with carbondioxide gives acetic acid.

$$CH_3MgI + CO_2 \longrightarrow CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OMgI \xrightarrow{H_2O} CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH + Mg\begin{matrix}OH\\I\end{matrix}$$

Formic acid cannot be prepared by Grignard reagent since the acid contains only one carbon atom.

Preparation of formic acid

4. From CH_3OH or HCHO

By the oxidation of methyl alcohol or formaldehyde with $K_2Cr_2O_7/H_2SO_4$.

$$CH_3OH \xrightarrow{3(O)} HCOOH$$

$$HCHO \xrightarrow{(O)} HCOOH$$

5. From glycerol

By heating glycerol with oxalic acid at 373 K – 383 K

19.2.1 Properties

1. Lower members are pleasant smelling liquids with higher boiling points. The higher members are waxy solids. The higher boiling points are explained on the basis of **association by hydrogen bonding.**

2. The first few members are highly soluble in water and higher members are insoluble. This can also be explained on the basis of hydrogen bonding between acids and water. With higher members the size of the alkyl group is increased which repels the hydrophilic groups.

Chemical Properties :

1. Fatty acids react with alkalies to form salt and water and liberates CO_2 with carbonates (stronger than carbonic acid).

$$CH_3COOH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{(sodium acetate salt)}}{CH_3COONa} + H_2O$$

$$2\,HCOOH + 2Na_2CO_3 \longrightarrow \underset{\text{(sodium formate)}}{2\,HCOONa} + H_2O + CO_2$$

2. They liberate hydrogen, when react with electropositive metals like zinc or magnesium.

$$2CH_3COOH + Zn \longrightarrow \underset{\text{(zinc acetate)}}{(CH_3COO)_2\,Zn} + H_2$$

$$2HCOOH + Mg \longrightarrow \underset{\text{(magnesium formate)}}{(HCOO)_2\,Mg} + H_2$$

3. **Reaction involving - hydroxyl group :** carboxylic acid reacts with alcohols in presence of mineral acid as catalyst and forms esters. This reaction is called **esterification.**

$$CH_3COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+} \underset{\text{(ethyl acetate)}}{CH_3COOC_2H_5} + H_2O$$

$$HCOOH + CH_3OH \xrightarrow{H^+} \underset{\text{(methyl formate)}}{HCOOCH_3} + H_2O$$

Mechanism of esterification

Protonation of the –OH group of the acid, enhances the nucleophilic attack by alcohol to give the ester.

Step 1. Protonation of carboxylic acid

$$CH_3 - CO - OH \xrightarrow{H^+} CH_3\,CO - \overset{+}{O}\begin{matrix} H \\ H \end{matrix}$$

Step 2. Attack by nucleophile.

4. Dehydration

Except formic acid others undergo intermolecular dehydration on heating with P_2O_5 forming anhydride.

HCOOH on dehydration forms carbon monoxide.

5. With phosphorous pentachloride or thionyl chloride.

(i) Acid chloride is formed.

(ii) Formic acid forms formyl chloride.

Formyl chloride being unstable decomposes to carbon monoxide and hydrogen chloride.

The carboxyl group is involved in resonance.

Hence reactions characteristic of **>C=O is almost absent with acids.** They do not form addition product with HCN, N_2H_4 etc.

6. Reduction

(i) Carboxylic acid group is not reduced easily. But it is reduced to primary alcoholic group by $LiAlH_4$ or H_2/Ru under pressure. This reaction works under higher pressure.

(ii) Heating with HI/P converts the carboxylic acid to alkane.

7. **Decarboxylation :** When anhydrous sodium salt of carboxylic acids are heated with sodalime, carboxyl group is removed with the formation of hydrocarbon containing one carbon atom less.

$$RCOONa \xrightarrow[\Delta]{NaOH/CaO} \underset{\text{(Hydrocarbon)}}{RH} + Na_2CO_3$$

$$\underset{\text{sodium acetate}}{CH_3COONa} \xrightarrow{NaOH/CaO} \underset{\text{methane}}{CH_4} + Na_2CO_3$$

Formic acid gets decarboxylated on heating.

8. Halogenation :

(i) Fatty acids having α-hydrogen atoms, can be **converted** to **α-halo acids** by halogen in presence of **halogen carrier** like red phosphorous.

$$\underset{\text{propionic acid}}{CH_3CH_2COOH} \xrightarrow{Br_2/P} \underset{\alpha\text{-bromo propionic acid}}{CH_3CHBr\ COOH} \longrightarrow \underset{\alpha,\ \alpha,\ \text{di bromopropionic acid}}{CH_3CBr_2COOH}$$

(ii) **HVZ - reaction :** When the halogenation is carried out with halogen and phosphorous trihalide, this reaction is known as **Hell-Volhard Zelinsky** reaction. (HVZ-reaction).

$$RCH_2COOH \xrightarrow{Br_2/PBr_3} RCH_2COBr \longrightarrow RCHBrCOBr \xrightarrow{H_2O} RCHBrCOOH$$

9. **Reactions with ammonia :** Carboxylic acid reacts with NH_3 to form

ammonium salt which on heating undergoes dehydration to amides, ultimately alkyl cyanide results.

$$RCOOH + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{(Ammonium Salt)}}{RCOONH_4} \xrightarrow[\Delta]{-H_2O} \underset{\text{(Amide)}}{RCONH_2} \xrightarrow[-H_2O]{P_2O_5} \underset{\text{(Cyanide)}}{RCN}$$

$$HCOOH + NH_3 \longrightarrow \underset{\text{(Ammonium formate)}}{HCOONH_4} \xrightarrow[-H_2O]{\Delta} \underset{\text{(Formamide)}}{HCONH_2}$$

10. **Kolbe's electrolytic reaction :** Electrolysis of concentrated aqueous solution of sodium salt of acids gives hydrocarbon.

$$\begin{array}{l} CH_3 - COO - Na \\ CH_3 - COO - Na \end{array} \xrightarrow{\text{Electrolysis}} \underset{\text{ethane}}{\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}} + 2CO_2 + \underset{\text{sodium}}{2Na}$$

Under this condition Formic acid gives hydrogen.

11. Dry distillation of calcium salt of fatty acids.

Calcium acetate on dry distillation gives acetone.

$$\underset{\text{Calcium acetate}}{\begin{array}{l} CH_3 - COO \diagdown \\ \qquad\qquad\quad Ca \\ CH_3 - COO \diagup \end{array}} \xrightarrow[\Delta]{} \underset{\text{acetone}}{CH_3COCH_3} + CaCO_3$$

12. Reducing property

Formic acid is unique because it contains both an aldehyde group and carboxyl group also. Hence it **can act as a reducing** agent. It reduces Fehling's solution, Tollens reagent and decolourises pink coloured $KMnO_4$ solution.

$$\boxed{H - \overset{\overset{O}{\|}}{C} - OH} \qquad H - \boxed{\overset{\overset{O}{\|}}{C} - OH}$$

In all cases formic acid is oxidised to CO_2 and water.

$$\begin{array}{l} H \diagdown \\ \quad C = O \\ HO \diagup \end{array} + (O) \longrightarrow H_2O + CO_2$$

(a) Formic acid reduces ammoniacal silver nitrate solution (Tollen's reagent) to metallic silver.

$$HCOOH + Ag_2O \longrightarrow H_2O + CO_2 + 2Ag\downarrow \text{ (metallic silver)}$$

(b) Formic acid reduces Fehling's solution. It reduces blue coloured cupric ions to red coloured cuprous ions.

$$HCOO^- + \underset{\text{(blue)}}{2Cu^{2+}} + 5OH^- \longrightarrow CO_3^{2-} + \underset{\text{(red)}}{Cu_2O} + 3H_2O$$

(c) On the otherhand when sodium formate is heated to 360°C it decomposes to hydrogen and sodium oxalate.

$$\underset{\text{Sodium formate}}{\begin{matrix} H - COONa \\ H - COONa \end{matrix}} \xrightarrow[\Delta]{360^oC} H_2 + \underset{\text{Sodium oxalate}}{\begin{matrix} COONa \\ | \\ COONa \end{matrix}}$$

Problems for Practice

Formic acid gives a red precipitate when heated with Fehling solution but acetic acid does not - reason out.

Answer.

Formic acid has $\begin{matrix} H \diagdown \\ \diagup \end{matrix} C = O$ group an aldehyde group but **acetic acid has no aldehydic group.** Hence formic acid reduces - Fehling's solution.

19.2.2 Uses of formic acid

(a) In Textile Industry for preparing **"mordants".**

(b) In leather tanning for removing lime from the hides.

(c) In coagulating rubber latex.

(d) Nickel formate as hydrogenation catalyst.

(e) As a stimulant for the growth of yeast.

(f) As an antiseptic and in preservation of fruits.

(g) In the treatment of gout.

19.2.3 Tests for carboxylic acid

1. Aqueous solution of carboxylic acids turn blue litmus into red colour.
2. Carboxylic acids give **brisk effervescence** with sodium bi-carbonate due to the evolution of carbon-di-oxide.
3. On warming carboxylic acids with alcohol and concentrated sulphuric acid it forms ester which is identified from its **fruity odour.**

19.3 Monohydroxy carboxylic acids

$CH_3CH(OH)\ COOH$	$CH_2(OH)CH_2COOH$
α-hydroxy propionic acid (or) lactic acid	β-hydroxy propionic acid

19.3.1 Lactic acid

Lactic acid is the main constituent of milk that has gone sour.

Natural Source : Pyruvic acid is the precursor in organism. It is also present in gastric juice, cucumbers, or opium.

19.3.2 Manufacture

Industrially it is made by the Fermentation of solution of cane sugar (or) glucose.

(a) To a dilute solution of cane sugar (or) glucose (or) maltose a little of sour milk (or) decayed cheese is added. Temperature is maintained at 40 – 45° C for six days. The **Bacillus acidi lacti** brings forth fermentation. Methyl glyoxal forms as intermediate compound. Acid is removed by the addition of $CaCO_3$ which precipitates calcium lactate. It is filtered and decomposed with dilute sulphuric acid. The filterate is distilled under reduced pressure.

$$\underset{\text{cane sugar}}{C_{12}H_{22}O_{11}} \xrightarrow{H_2O} \underset{\text{(glucose)}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{(fructose)}}{C_6H_{12}O_6}$$

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{BAL} \underset{\text{Methyl glyoxal}}{2CH_3COCHO} \longrightarrow \underset{\text{Lactic acid}}{2CH_3CHOHCOOH}$$

(b) Synthesis from acetylene

Acetylene is prepared by striking an electric arc using carbon electrodes in an atomsphere of hydrogen. This is passed through dilute sulphuric acid containing mercuric ion catalyst. Acetaldehyde is formed. It is converted to cyanohydrin on treatment with HCN, which is then hydrolysed to get lactic acid.

$$2C + H_2 \xrightarrow[\text{Arc}]{\text{electric}} CH{\equiv}CH \xrightarrow[\text{1\%Hg}]{\text{dil. } H_2SO_4} CH_3CHO \xrightarrow{HCN}$$

80

$$\underset{\text{(acetaldehyde cyano hydrin)}}{CH_3CH(OH)CN} \xrightarrow{\text{dil. HCl}} \underset{\text{lactic acid}}{CH_3CH(OH)COOH}$$

(c) From propene :

Propene is treated with chlorine to get 1,2-dichloropropane. This on treatment with aqueous alkali solution gives propane 1,2-diol. This on oxidation with mild oxidising agent, gives lactic acid.

$$\underset{\text{propylene}}{CH_3CH = CH_2} \xrightarrow{Cl_2} \underset{\text{1,2-dichloro propane}}{CH_3CHCl - CH_2Cl} \xrightarrow{\text{dil/NaOH}} \underset{\text{propane 1,2-diol}}{CH_3CH(OH)CH_2OH}$$

$$\xrightarrow{(O)} \underset{\text{lactic acid}}{CH_3CH(OH)COOH}$$

(d) Hydrolysis of α-bromo propionic acid :

Hydrolysis of α-bromo propionic acid using moist Ag_2O gives lactic acid.

$$\underset{\text{α-bromo propionic acid}}{2CH_3CH(Br)COOH} \xrightarrow[H_2O]{Ag_2O} \underset{\text{lactice acid}}{2CH_3CH(OH)COOH}$$

Properties :

Colourless syrupy liquid, hygroscopic and extremely soluble in water.

Chemical properties :

Reactions characteristic of both –OH and –COOH group.

1. Oxidation :

(i) Mild oxidising agent like Fenton's reagent Fe^{2+}/H_2O_2 forms **pyruvic acid** with lactic acid

$$\underset{\text{Lactic acid}}{CH_3CH(OH)COOH} \xrightarrow[H_2O_2/Fe^{2+}]{(O)} \underset{\text{Pyruvic acid}}{CH_3COCOOH}$$

(ii) With dilute acidified permanganate it decomposes forming acetaldehyde.

$$CH_3CH(OH)COOH + (O) \longrightarrow CH_3CHO + H_2O + CO_2$$

2. With dilute H_2SO_4 :

With dil. H_2SO_4 acid it dissociates to acetaldehyde and formic acid.

$$CH_3CH(OH)COOH \xrightarrow{\text{dil. } H_2SO_4} CH_3CHO + HCOOH$$

3. Haloform reaction :

It undergoes **haloform** reaction with I_2 and caustic soda.

$$CH_3CH(OH)COOH \xrightarrow{(O)} \underset{\text{pyruvic acid}}{CH_3COCOOH} \xrightarrow{I_2} \underset{\text{tri iodo pyruvic acid}}{CI_3COCOOH}$$

$$\xrightarrow{NaOH} \underset{\text{iodoform}}{CHI_3} + \underset{\text{sodium oxalate}}{(COONa)_2}$$

4. With PCl_5

With PCl_5 it forms lactyl chloride.

$$CH_3CH(OH)COOH + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{lactyl chloride}}{CH_3 - \underset{\underset{Cl}{|}}{CH} - COCl}$$

5. Formation of cyclic ester :

Formation of cyclic diester - by heating in presence of catalytic amount of con. H_2SO_4.

Uses of lactic acid :

1. In tanning industry.
2. In soft drinks.
3. In the treatment of digestive disorder in children.
4. Preparation of lactates, ethyl lactate as a solvent.
5. Silver lactate as an antiseptic and astringent.

19.4 Dicarboxylic acids

They contain two carboxyl groups, one at each end of a saturated hydrocarbon chain. Their general formula is

$HOOC - (CH_2)_n - COOH$ where n = 0, 1, 2, 3, etc.

Dicarboxylic acids are named as Alkane dioic acid in IUPAC system. Most simple dicarboxylic acids have common names.

Formula	Common name	IUPAC name
HOOC – COOH	Oxalic acid	Ethane dioic acid
$HOOC - CH_2 - COOH$	Malonic acid	Propane dioic acid
$HOOC-(CH_2)_2-COOH$	Succinic acid	Butane dioic acid
$HOOC\ (CH_2)_4\ COOH$	Adipic acid	Hexane dioic acid

19.4.1 Methods of preparation

Oxalic acid : ethane dioic acid, HOOC – COOH

1. **Laboratory method.** Oxalic acid is made by oxidation of sucrose or molasses with concentrated nitric acid in the presence of vanadium pentoxide as catalyst.

$$C_{12}H_{22}O_{11} + 18\,[O] \xrightarrow[V_2O_5]{HNO_3} 6 \begin{array}{l} COOH \\ | \\ COOH \end{array} + 5H_2O$$

The –CHOH–CHOH - units present in sucrose molecule are split and oxidised to oxalic acid.

2. Manufacture : Oxalic acid is made industrially by heating sodium formate to 673 K.

$$\underset{\text{sodium formate}}{2HCOONa} \xrightarrow{673\ K} \underset{\text{sodium oxalate}}{NaOOC - COONa} + H_2$$

The sodium oxalate thus formed is dissolved in water and calcium hydroxide added to precipitate calcium oxalate. The solution is filtered and the precipitate is treated with calculated quantity of dilute sulphuric acid to liberate the oxalic acid.

$$\underset{\text{sodium oxalate}}{\begin{matrix} COONa \\ | \\ COONa \end{matrix}} + Ca(OH)_2 \longrightarrow \underset{\text{calcium oxalate}}{\begin{matrix} COO \diagdown \\ | \qquad Ca \\ COO \diagup \end{matrix}} + 2\ NaOH$$

$$\begin{matrix} COO \diagdown \\ | \qquad Ca \\ COO \diagup \end{matrix} + H_2SO_4 \longrightarrow \underset{\text{oxalic acid}}{\begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}} + CaSO_4 \downarrow$$

Calcium sulphate precipitates and oxalic acid is crystallised as the hydrate $(COOH)_2.2H_2O$.

3. From glycol :

It is prepared by oxidising glycol with con.HNO_3.

$$\underset{\text{glycol}}{\begin{matrix} CH_2OH \\ | \\ CH_2OH \end{matrix}} \xrightarrow{[O]} \begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}$$

4. From Cyanogen :

By passing **cyanogen** through an aqueous solution of acid or alkali.

$$\underset{\text{cyanogen}}{\begin{matrix} C \equiv N \\ | \\ C \equiv N \end{matrix}} \xrightarrow{2H_2O} \underset{\text{oxamide}}{\begin{matrix} CONH_2 \\ | \\ CONH_2 \end{matrix}} \xrightarrow{2H_2O} \begin{matrix} COOH \\ | \\ COOH \end{matrix}$$

Succinic acid, Butanedioic acid HOOC–CH_2–CH_2–COOH

Preparation : Succinic acid is prepared from ethylene dibromide by treating with sodium cyanide and subsequent hydrolysis of ethylene dicyanide.

$$\underset{\text{Ethylene di bromide}}{\begin{array}{c} CH_2Br \\ | \\ CH_2Br \end{array}} \xrightarrow{2NaCN} \underset{\text{ethylene dicyanide}}{\begin{array}{c} CH_2CN \\ | \\ CH_2CN \end{array}} \xrightarrow[HCl]{H_2O} \underset{\text{succinic acid}}{\begin{array}{c} CH_2COOH \\ | \\ CH_2COOH \end{array}}$$

19.4.2 Properties

Oxalic acid occurs as potassium hydrogen oxalate in the wood sorrel, and tomatoes. The insoluble calcium oxalate is found in some stony deposits in kidneys and bladder in human body. Oxalic acid is an active poison depressing the central nervous system.

Chemical Properties

Dicarboxylic acid gives all the usual reactions of COOH group twice.

1. **With alkali :** With NaOH it gives two kinds of salts.

(e.g.,)

(i) $$\underset{\text{oxalic acid}}{\begin{array}{c} COOH \\ | \\ COOH \end{array}} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{mono sodium oxalate}}{\begin{array}{c} COONa \\ | \\ COOH \end{array}} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{disodium oxalate}}{\begin{array}{c} COONa \\ | \\ COONa \end{array}}$$

(ii) $$\underset{\text{Succinic acid}}{\begin{array}{c} CH_2COOH \\ | \\ CH_2COOH \end{array}} + NaOH \longrightarrow \underset{\text{mono sodium succinate}}{\begin{array}{c} CH_2COONa \\ | \\ CH_2COOH \end{array}} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{disodium succinate}}{\begin{array}{c} CH_2COONa \\ | \\ CH_2COONa \end{array}}$$

2. **With ammonia :** Dicarboxylic acid gives ammonium salts first which then loses water molecule to give amide.

$$\begin{array}{c}COOH\\|\\COOH\end{array} + 2NH_3 \longrightarrow \underset{\text{ammonium oxalate}}{\begin{array}{c}COONH_4\\|\\COONH_4\end{array}} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{oxamide}}{\begin{array}{c}CONH_2\\|\\CONH_2\end{array}} + 2H_2O$$

Succinic acid forms its ammonium salt. On strong heating it forms succinimide.

$$\underset{\text{Succinic acid}}{\begin{array}{c}CH_2–COOH\\|\\CH_2–COOH\end{array}} + 2NH_3 \longrightarrow \underset{\text{Ammonium succinate}}{\begin{array}{c}CH_2COONH_4\\|\\CH_2COONH_4\end{array}} \xrightarrow{\Delta} \underset{\text{Succinimide}}{\begin{array}{c}CH_2CO\\|\\CH_2CO\end{array}\!\!>NH}$$

3. With PCl_5 :

With PCl_5, these form the acid chlorides.

(i) $$\underset{\text{oxalic acid}}{\begin{array}{c}COOH\\|\\COOH\end{array}} + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{oxalylchloride}}{\begin{array}{c}COCl\\|\\COCl\end{array}} + \underset{\text{phosphorous oxy chloride}}{POCl_3} + H_2O$$

$$\begin{array}{c}CH_2–COOH\\|\\CH_2–COOH\end{array} + PCl_5 \longrightarrow \underset{\text{succinoyl chloride}}{\begin{array}{c}CH_2COCl\\|\\CH_2COCl\end{array}} + POCl_3 + H_2O$$

4. Action of heat :

(i) Oxalic acid on heating at 373 K – 378 K loses water of hydration. On further heating it decomposes to formic acid and carbon dioxide.

$$\begin{array}{c}COOH\\|\\COOH\end{array} \xrightarrow{473K} \underset{\text{formic acid}}{HCOOH} + CO_2$$

(ii) Succinic acid on heating to 300ºC loses a molecule of water to form anhydride.

$$\begin{array}{c}CH_2 – COOH\\|\\CH_2 – COOH\end{array} \xrightarrow{300^oC} \underset{\text{succinic anhydride}}{\begin{array}{c}CH_2 – CO\\|\\CH_2 – CO\end{array}\!\!>O} + \underset{\text{(a cyclic compound)}}{H_2O}$$

5. **Oxidation :** On warming oxalic acid with acidified potassium permanganate, it is oxidised to carbon dioxide.

$$\begin{array}{l} COOH \\ | \\ COOH \end{array} + [O] \longrightarrow 2CO_2 + H_2O$$

Uses :

Oxalic acid is used

1. for removing ink stains and iron stains.
2. as mordant in dyeing and calico printing.
3. in manufacture of ink and metal polishes.
4. Redox titration

Succinic acid is used :

1. in the manufacture of lacquers and dyes.
2. It is a very important laboratory reagent.

19.5 STRENGTH OF CARBOXYLIC ACIDS

An acid is a proton donor. The base with which a proton can be released determines the strength of an acid. Organic acids are weak acids. **Greater the stability of the anion of the acid, higher is its strength.** Thus, for a carboxylic acid, say acetic acid.

When the bonding pair of electrons between oxygen and hydrogen in –O–H group, is shifted towards oxygen, easier the hydrogen is released as a proton.

Thus when chloroacetic acid is taken, the (–I) effect of chlorine increases its strength.

Thus the strength of the chloro acetic acids varies.

Trichloro acetic acid Dichloro acetic acid Monochloro acetic acid

On the other hand comparing the strength of carboxylic acids they vary as follows :

CH_3CH_2COOH < CH_3COOH < $HCOOH$

propionic acid acetic acid formic acid

Since alkyl groups are +I groups, they increase the strength of the –O–H bond making the release of hydrogen difficult. (i.e.,) **it becomes a weak acid.**

In the case of aromatic acids, presence of chlorine, nitro group, carbonyl group especially at ortho position increases its strength due to –I effect.

Presence of –OH, Cl^- at para positions **decreases** the strength by resonance effect. (+M effect).

19.6 AROMATIC ACIDS :

When a carboxylic acid group is **directly linked** to the benzene ring they are called aromatic carboxylic acids.

Benzoic acid | o-toluic acid | salicylic acid (o-hydroxy benzoic acid) | anthranilic acid (o-amino benzoic acid)

Benzoic acid is the simplest of aromatic acids.

19.6.1 Preparation

By oxidation

By the oxidation of **'side chain'** of benzene derivatives (side chain - any aliphatic portion linked to benzene ring) The **side chain** oxidation can be carried out by acid dichromate or permanganate or alkaline permanganate etc.

Toluene | Ethyl benzene | Benzyl chloride | Benzyl alcohol | Benzaldehyde

The underlined portion indicates the side chain.

Toluene is oxidised by acidified $KMnO_4$.

(i) $C_6H_5CH_3 \xrightarrow{H^+/KMnO_4} C_6H_5COOH$ Benzoic acid

(ii) $C_6H_5CH_2Cl \xrightarrow{NaOH} C_6H_5CH_2OH \xrightarrow[KMnO4]{(O)} C_6H_5COOH$

(iii) $C_6H_5CHO \xrightarrow{H^+/KMnO_4} C_6H_5COOH$

2. Hydrolysis of phenyl cyanide :

$$C_6H_5CN \xrightarrow[H_2O]{H^+} \underset{\text{Benzamide}}{(C_6H_5CONH_2)} \xrightarrow[H_2O]{H^+} C_6H_5COOH$$

3. Carbonation of Grignard reagent followed by hydrolysis.

$$C_6H_5MgBr + O=C=O \longrightarrow (C_6H_5)(BrMgO)C=O \xrightarrow{H_2O} C_6H_5C(OH)=O + Mg(Br)(OH)$$

19.6.2 Properties

Physical properties

White crystalline solid-soluble in hot water, alcohol and ether and slightly soluble in cold water.

Chemical Properties

Reactions of both –COOH group and benzene ring.

1. Acidic properties :

(a) Benzoic acid dissolves in NaOH and NH_4OH forming salts.

$$C_6H_5COOH + NaOH \longrightarrow \underset{\text{(sodium benzoate)}}{C_6H_5COONa} + H_2O$$

$$C_6H_5COOH + NH_4OH \longrightarrow \underset{\text{(Ammonium benzoate)}}{C_6H_5COONH_4} \xrightarrow[\Delta]{-H_2O} C_6H_5CONH_2$$

(b) It forms esters with alcohol in presence of catalytic amount of Con. H_2SO_4.

$$C_6H_5COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+} \underset{\text{(ethyl benzoate)}}{C_6H_5COOC_2H_5} + H_2O$$

2. Replacement of OH group.

By the action of phosphorous pentachloride or thionyl chloride, benzoyl chloride is formed.

$$C_6H_5COOH + PCl_5 \longrightarrow C_6H_5COCl + POCl_3 + HCl$$

$$C_6H_5COOH + \underset{\text{Thionyl chloride}}{SOCl_2} \longrightarrow C_6H_5COCl + SO_2 + HCl$$

3. Decarboxylation :

Heating with sodalime gives benzene.

$$C_6H_5COOH \xrightarrow[\text{CaO } \Delta \text{ soda lime}]{NaOH} C_6H_6 + CO_2$$

4. Reduction :

Lithium Aluminium hydride reduces Benzoic acid to Benzyl alcohol.

$$\underset{\text{Benzoic acid}}{C_6H_5C(=O)OH} \xrightarrow{LiAlH_4} [C_6H_5CHO] \xrightarrow{LiAlH_4} \underset{\text{Benzyl alcohol}}{C_6H_5CH_2OH}$$

5. Reaction of benzene ring :

Benzoic acid undergoes electrophilic substitution. The –COOH group decreases the activity of benzene ring with respect to electrophilic substitution and is **meta directing** group.

Nitration :

m-nitro benzoic acid

6. Chlorination :

m-chloro benzoic acid

Anhydrous ferric chloride is a Lewis acid - a catalyst in this reaction.

7.Sulphonation :

m-sulphonyl benzoic acid

19.6.3 Uses of benzoic acid :

1. Benzoic acid is used as an urinary antiseptic
2. Sodium benzoate is used as food preservative
3. Benzoic acid vapours are used to disinfect bronchial tube.
4. It is used for the manufacture of dyes.

19.7 SALICYLIC ACID

It is o-hydroxy benzoic acid, and isomeric with meta and para hydroxy benzoic acids.

(o-hydroxy benzoic acid)

(m-hydroxy benzoic acid)

(p-hydroxy benzoic acid)

19.7.1 Preparation :

Salicylic acid can be prepared by heating phenol with NaOH to get sodium phenoxide.

This is heated with carbondioxide at 403K under pressure to form sodium salicylate.

Mechanism :

This reaction is called **'Kolbe's reaction'**. The sodium salt on treatment with dilute hydrochloric acid gives salicylic acid.

(Salicylic acid)

19.7.2 Properties

Physical Properties

It is a white crystalline solid - soluble in hot water, ethanol and ether.

Test for salicylic acid :

1. An aqueous solution of salicylic acid gives violet colour with neutral ferric chloride.
2. It gives effervescence with the sodium bicarbonate.
3. It is soluble in sodium hydroxide and reprecipitated on acidification.

4. With Bromine water the colour is discharged with the formation of white precipitate.

Mechanism :

Reaction of bromine with salicylic acid.

Chemical Properties :

Properties of phenolic function.

1. Salicylic acid undergoes acetylation by heating with acetic anhydride to form aspirin which is used as an analgesic and antipyretic.

Acetyl salicylic acid or Aspirin

Instead of acetic anhydride, acetyl chloride can also be used.

2. Reaction with bromine water gives a white precipitate of tribromo phenol. This reaction involves bromination with decarboxylation.

(2,4,6 Tribromo phenol)

Reaction due to –COOH group.

1. With $NaHCO_3$

It gives brisk effervescence with a solution of sodium bicarbonate or sodium carbonate and dissolves forming sodium salicylate.

(sodium salicylate)

The solution on treatment with HCl gives salicylic acid.

2. With CH_3OH

On heating with methyl alcohol in presence of con. H_2SO_4 a pleasant smelling liquid-**methyl salicylate is formed.**

(Methyl salicylate)

Methyl salicylate is present in the **oil of winter green** and other essential oils.

19.7.3 Uses

Salicylic acid is used (i) It is an antiseptic and disinfectant (ii) as a food preservative (iii) as a medicine for rheumatic pain, (iv) in the manufacture of aspirin, salol, methyl salicylate, (v) in the preparation of azo dyes.

19.8 FUNCTIONAL DERIVATIVES OF CARBOXYLIC ACID :

The general formula is $R-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-Y$

Y	Functional group	Example	
– OH	Carboxylic acid	CH_3COOH	acetic acid
– halogen	acid halide	CH_3COCl	acetyl chloride
– OCOR	acid anhydride	$CH_3COOCOCH_3$	acetic anhydride
– OR	ester	$CH_3COOC_2H_5$	ethyl acetate
– NH_2	amide	CH_3CONH_2	acetamide

These compounds generally undergo nucleophilic substitution reactions in which a nucleophile replaces the electro negative group (Y) to form carboxyl derivatives. Relative reactivity of carboxylic acid derivatives is as follows.

Acid chloride > acid anhydride > carboxylic acid > ester > amide.

19.8.1 Acetyl chloride : CH_3COCl

Preparation of CH_3COCl

It is prepared easily by the action of PCl_5, PCl_3 or $SOCl_2$ on acetic acid.

(i) $CH_3COOH + PCl_5 \longrightarrow CH_3COCl + POCl_3 + HCl$

(ii) $3CH_3COOH + PCl_3 \longrightarrow 3CH_3COCl + \underset{\text{Phosphorus acid}}{H_3PO_3}$

(iii) $CH_3COOH + SOCl_2 \longrightarrow CH_3COCl + SO_2 + HCl$

19.8.2 Physical Properties

Acetyl chloride is volatile, pungent smelling liquid, this cannot form hydrogen bond. Hence its low boiling point and insolubility in water is explained. It fumes in moist air due to hydrolysis producing hydrogen chloride gas.

Chemical Properties :

1. It is a powerful acetylating agent, a reagent that introduces CH_3CO - group, especially with compounds containing –OH group or –NH group.

(i)

(ii)

(iii)

2. Friedel Craft's Acetylation :

In presence of anhydrous Aluminium chloride acetylation of benzene takes place with the formation of acetophenone.

It is an aromatic electrophilic substitution reaction.

The Lewis acid $AlCl_3$ generates the electrophile from acetyl chloride. The electrophile is the acetyl cation $CH_3–C^+ = O$.

19.8.3 Uses of acetylchloride

(a) As an acetylating agent.
(b) An important organic reagent.
(c) In the preparation of acetic anhydride.
(d) In the detection and estimation of alcoholic and amino groups.

19.9 Acetic anhydride : $CH_3COOCOCH_3$

Preparation :

1. From CH_3COCl

By distilling a mixture of anhydrous sodium acetate and acetyl chloride.

$$\underset{\text{(Acetyl chloride)}}{CH_3COCl} + \underset{\text{(Sodium acetate)}}{CH_3COONa} \xrightarrow[\Delta]{} \underset{\text{(Acetic anhydride)}}{CH_3COOCOCH_3} + NaCl$$

2. From acetic acid

By the action of dehydrating agent on acetic acid.

$$\begin{matrix} CH_3CO\boxed{OH} \\ CH_3COO\boxed{H} \end{matrix} \xrightarrow[\Delta]{P_2O_5} \underset{\text{(Acetic anhydride)}}{\begin{matrix} CH_3CO \\ \\ CH_3CO \end{matrix}\!\!>O} + H_2O$$

19.9.1 Physical Properties

Acetic anhydride is a colourless, pungent smelling liquid, insoluble in water. It is not as reactive as acetyl chloride and does not fume in moist air.

Chemical Properties :

Like acetyl chloride, it reacts with alcohol, phenol and amine, though less reactive, normally acetylation using acetic anhydride is carried out in presence of sodium acetate or concentrated sulphuric acid as catalyst.

1.

2.

19.9.2 Uses of acetic anhydride

1. As an acetylating agent for the manufacture of dyes, cellulose acetate etc.
2. In the manufacture of aspirin and some drugs.

19.10 Methyl acetate

Preparation

1. **By esterification :** When acetic acid is refluxed with methyl alcohol in presence of a small amount of con. H_2SO_4, methyl acetate is formed.

$$CH_3COOH + CH_3OH \xrightarrow{H_2SO_4} \underset{\text{Methyl acetate}}{CH_3COOCH_3} + H_2O$$

2. By the action of acetyl chloride or acetic anhydride on methyl alcohol, methyl acetate is formed.

$$CH_3COCl + CH_3OH \longrightarrow CH_3COOCH_3 + HCl$$

$$CH_3COOCOCH_3 + CH_3OH \longrightarrow CH_3COOCH_3 + CH_3COOH$$

19.10.1 Physical Properties

It is a pleasant smelling volatile liquid, fairly soluble in water, no hydrogen bonding and less polar than alcohols.

Chemical Properties

1. **Hydrolysis :** Esters are hydrolysed by warming with dil. acids or alkali.

$$CH_3COOCH_3 \xrightarrow{H^+/H_2O} CH_3COOH + CH_3OH$$

$$CH_3COOCH_3 + NaOH \longrightarrow \underset{\text{sodium acetate}}{CH_3COONa} + CH_3OH$$

(Saponification)

2. **Alcoholysis :** In presence of a little acid, methyl acetate is cleaved by ethyl alcohol to form ethyl acetate.

$$CH_3COOCH_3 + C_2H_5OH \xrightarrow{H^+} CH_3COOC_2H_5 + CH_3OH$$

This is called **'trans esterification'.**

3. **Ammonolysis :** Reacts with ammonia on heating to form amide.

$$CH_3COOCH_3 + NH_3 \xrightarrow{\Delta} CH_3CONH_2 + CH_3OH$$

4. **Claisen ester condensation :** In presence of strong bases like sodium ethoxide, it undergoes condensation forming aceto acetic ester.

$$CH_3COOCH_3 \xrightarrow{C_2H_5ONa} \bar{C}H_2COOCH_3 + H^+$$

19.10.2 Uses of methyl acetate

It is a very good laboratory and industrial solvent. Used for the preparation of acetoaceticester a compound of synthetic importance.

19.11 Amides

CH_3CONH_2 Acetamide

Preparation of acetamide

1. By heating ammonium acetate

$$CH_3COONH_4 \xrightarrow{\Delta} CH_3CONH_2 + H_2O$$

2. Ammonolysis of acetyl chloride, acetic anhydride or esters.

(i) $CH_3COCl + NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + HCl$

(ii) $\underset{\text{Acetic anhydride}}{CH_3COOCOCH_3} + NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + CH_3COOH$

(iii) $\underset{\text{Methyl acetate}}{CH_3COOCH_3} + NH_3 \longrightarrow CH_3CONH_2 + CH_3OH$

3. Partial hydrolysis of methyl cyanide with alkaline hydrogen peroxide.

$$CH_3C{\equiv}N \xrightarrow[\text{NaOH}]{H_2O_2} CH_3CONH_2$$

19.11.1 Physical Properties

It exists as a dimer due to hydrogen bonding.

Colourless crystalline solid, soluble in water and alcohol.

It is the least reactive among acid derivative.

19.11.2 Chemical Properties

1. Hydrolysis :

Catalysed by acid or alkali, it is hydrolysed to acid.

(a) $$CH_3CONH_2 \xrightarrow[H_2O]{H^+} \underset{\text{(acetic acid)}}{CH_3COOH} + NH_3$$

(b) $$CH_3CONH_2 \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{(Sodium acetate)}}{CH_3COONa} + NH_3$$

2. With HCl

It is feebly basic, forms unstable salt with strong inorganic acid.

$$CH_3CONH_2 + HCl \longrightarrow \underset{\text{(amide hydrochloride)}}{CH_3CONH_2 \ . HCl}$$

3. **On dehydration** by heating with P_2O_5 it forms methyl cyanide.

$$CH_3CONH_2 \xrightarrow[-H_2O]{P_2O_5} CH_3C{\equiv}N$$

4. **It undergoes Hoff mann's reaction** with Br_2/NaOH forming methyl amine.

$$CH_3CONH_2 \xrightarrow[NaOH]{Br_2} CH_3NH_2 + CO_2$$

19.11.3 Uses of acetamide

1. For the preparation of methyl cyanide.
2. In leather tanning.
3. As soldering flux.
4. As a plasticiser in cloth.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. Which of the following is least acidic

   (a) C_2H_5OH (b) CH_3COOH
   (c) C_6H_5OH (d) $ClCH_2COOH$

2. Weakest acid among the following is

   (a) Acetic acid (b) Phenol
   (c) Water (d) Acetylene

3. Ester formation involves the reaction of

   (a) an aldehyde and a ketone
   (b) An alcohol with RMgX
   (c) Two molecules of an acid with dehydrating agent
   (d) An acylhalide with an alcohol

4. Heating a mixture of sodium acetate and soda lime gives

   (a) methane (b) ethane
   (c) aceticacid (d) benzene

5. The acid which reduces Tollen's reagent is

   (a) acetic acid (b) benzoic acid
   (c) formicacid (d) oxalic acid

6. The IUPAC name of $CH_3 - CH_2 - \underset{}{\overset{CH_3}{\overset{|}{CH}}} - COOH$ is

   (a) α-methyl butric acid (b) 3-methyl butanoic acid
   (c) 2-methyl butanoic acid (d) Iso pentanoic acid

7. The Isomerism exhibited by CH_3CH_2COOH and CH_3COOCH_3 is

   (a) metamerism (b) position
   (c) chain (d) functional

8. The acid that cannot be prepared by Grignard reagent

   (a) acetic acid (b) formic acid
   (c) butyric acid (d) benzoic acid

9. Which order of arrangement is correct interms of the strength of the acid

(a) $CH_3–CH_2COOH > CH_3COOH < HCOOH < ClCH_2COOH$

(b) $ClCH_2COOH < HCOOH < CH_3COOH < CH_3CH_2COOH$

(c) $CH_3–CH_2COOH < CH_3COOH < HCOOH < ClCH_2COOH$

(d) $HCOOH > CH_3CH_2COOH < CH_3COOH > ClCH_2COOH$

10. The compound which undergoes intramolecular dehydration with P_2O_5 is

(a) acetic acid (b) formic acid

(c) propionic acid (d) Butyric acid

11. $\begin{matrix} H \\ \diagdown \\ C = O \\ \diagup \\ HO \end{matrix} \xrightarrow{160^oC} ?$ The product is

(a) $CO + H_2O$ (b) HCOOH

(c) $H_2 + CO_2$ (d) $HCHO + O_2$

12. When chlorine is passed through acetic acid in presence of red P, it forms.

(a) acetyl chloride (b) Trichloro acetaldehyde

(c) Trichloro acetic acid (d) Methyl chloride

13. Which of the following compounds will react with $NaHCO_3$ solution to give sodium salt and CO_2 ?

(a) acetic acid (b) n-hexanol

(c) phenol (d) both (a) and (c)

14. When propanoic acid is treated with aqueous sodium - bicarbonatate, CO_2 is liberated. The "C" of CO_2 comes from

(a) methyl group (b) carboxylic acid group

(c) methylene group (d) bicarbonate

15. Carboxylic acids are more acidic than phenol and alcohol because of

(a) inter molecular hydrogen bonding

(b) formation of dimers

(c) highly acidic hydrogen

(d) greater resonance stabilisation of their conjugate base

16. Among the following the strongest acid is

(a) $ClCH_2COOH$ (b) Cl_3CCOOH

(c) CH_3COOH (d) $Cl_2CHCOOH$

17. Which of the following compound is optically active ?

(a) CH_3CH_2COOH (b) $HOOC–CH_2–COOH$
(c) $CH_3CH(OH)COOH$ (d) $Cl_2CHCOOH$

18. $CH_3CH(OH)COOH \xrightarrow[H_2O_2/Fe^{2+}]{} ?$ The product is

(a) $CH_3COCOOH$ (b) CH_3CH_2COOH
(c) $CH_3CHOHCHO$ (d) $COOHCH_2COOH$

19. The compound found in some stony deposit in kidneys is

(a) potassium oxalate (b) oxalic acid
(c) potassium succinate (d) calcium oxalate

20. Ethylene cyanide on hydrolysis using acid gives

(a) oxalic acid (b) succinic acid
(c) adipic acid (d) propionic acid

(B) Answer in one or two sentences :

1. What are carboxylic acids ?
2. Give the source and trivial names of

   (i) C_3H_7COOH and (ii) HCOOH.
3. How is the conversion of acetonitrile to acetic acid effected ?
4. Boling point of carboxylic acids are higher than those of alcohols of same molecular mass - reason out.
5. Formic acid reduces Tollen's reagent, but acetic acid does not-Give reasons.
6. Write two tests of carboxylic acid.
7. Give the resonance structure of carboxylate anion.
8. Mention the inductive effect in monochloro acetic acid.
9. Write a note on esterification reaction with an example.
10. What happens when calcium salt of acetic acid is distilled.
11. Mention the uses of oxalic acid.
12. What is the action of dilute sulphuric acid with lactic acid ?
13. Give the structure of lactyl chloride and lactide.

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. How is oxalic acid manufactured from sodium formate ?
2. Explain the isomerism exhibited by carboxylic acids.
3. Write a note on the acidic nature of acetic acid.
4. Give the mechanism involved in the esterification of a carboxylic acid with alcohol.
5. Explain why carboxylic acids behave as acids. Discuss briefly the effect of electron withdrawing and donating substituents on acid strength of carboxylic acids.
6. Account for reducing nature of Formic acid.
7. Explain the following :

   (i) Choloro acetic acid is stronger acid than acetic acid.

   (ii) Fluoro acetic acid is stronger acid than chloro acetic acid.

   (iii) Formic acid is stronger acid than acetic acid.
8. How is benzoic acid obtained from

   (a)

   (b) phenyl cyanide (c) carbon dioxide
9. How do you distinguish formic acid from acetic acid ?
10. Write the products in each of the following.

    (i) $\begin{array}{l} COOH \\ | \\ COOH \end{array} \xrightarrow[383\ K]{glycerol}$

    (ii) $\begin{array}{l} COOH \\ | \\ COOH \end{array} \xrightarrow{NH_3}$

    (iii) $\begin{array}{l} CH_2\ COOH \\ | \\ CH_2COOH \end{array} \xrightarrow{NH_3}$

11. How are the follwing conversions carried out ?

(i) Salicylic acid $\longrightarrow$ aspirin

(ii) Salicylic acid $\longrightarrow$ methyl salicylate

(iii) Lactic acid $\longrightarrow$ lactide

12. What happens when lactic acid is

(i) treated with dilute H_2SO_4

(ii) heated alone

(iii) oxidised with alkaline $KMnO_4$

13. Give the uses of (a) oxalic acid and (b) salicylic acid.

14. Outline the mechanism of (a) formation of ethylacetate from acetic acid and ethyl alcohol. (b) Hydrolysis of ethyl cyanide to propionic acid.

15. Explain the order of strength of the following acids.

(a) $CCl_3COOH > CHCl_2COOH > CH_2ClCOOH > CH_3COOH$

(b) p-nitrophenol > m-nitro phenol > phenol > cresol.

SUMMARY :

Aliphatic mono carboxylic acids, hydroxy acids, dicarboxylic acid, aromatic monocarboxylicacid, aromatic hydroxy acid, aromatic dicarboxylic acid - structure and nomenclature - common name and IUPAC names - long chain fatty acid - by the saponification of fats and oils.

General methods of preparation - Oxidation of alcohols aldehydes, hydrolysis of cyanides, esters and using Grignard's reagent.

Properties - Hydrogen bonding - dimeric - higher boiling points - solubility in water.

Acidic property explained by resonance stabilisation of the carboxylate anion - Formation of salt, esters and amide. Esterification, anhydride formation, decarboxylation - α-halogenation - formation of acid chloride.

Formic acid, differ from other carboxylic acid because of the presence of aldyhydic (H – C = O) group. Hence it reduces Fehling's solution, Tollens reagent and alkaline permanganate.

Aromatic acids - Benzoic acid, salicylic acid, phthalicacid - preparation - by oxidation, hydrolysis, Grignard reagent and Kolbe's synthesis. Properties - Formation of salt, esters, acid chlorides, amides and electro philic substitution at benzene ring and uses.

Derivatives of acids - like esters, acid chloride, acid anhydride, amide - structure and nomonclature -preparation and properties - relative reaction - hydrolysis to acids - reduction - uses.

REFERENCES :

1. Text Book of Organic Chemistry - Bahl and Arun Bahl.
2. A guide book to Mechanism in organic chemistry. - Peters Sykes - Pearson Education Ltd.

20. ORGANIC NITROGEN COMPOUNDS

LEARNING OBJECTIVES

- *Nitro alkanes - Structure, isomerism, tautomerism - Nomenclature - primary, secondary and tertiary nitro compounds.*
- *Learning - the methods of preparation, properties, uses of nitroalkanes.*
- *Recognising the presence of α-hydrogen - removed by base to generate carbanion.*
- *Aromatic nitro compounds - structure and nomenclature, preparation - Nitration of benzene - mechanism - properties - reduction under different conditions - Distinction between aromatic and aliphatic nitro compounds.*
- *Aliphatic amines - structure, classification, isomerism, nomenclature - primary, secondary and tertiary amines.*
- *Learning general methods of preparation, properties - Distinction between 1°, 2°, 3° - amines.*
- *Aromatic amines - aralkyl amine - preparation, properties of benzylamine.*
- *Aniline - preparation, properties, - basic strength and resonance - uses.*
- *Distinction between aliphatic amine and aniline, - ethylamine and aniline, benzyl amine and aniline.*
- *Aliphatic nitriles - structure - nomenclature.*
- *Benzene diazonium chloride - preparation - properties related to its synthetic importance.*

20.1 ORGANIC NITROGEN COMPOUNDS

Aliphatic Nitro Compounds

Nitro alkanes are nitro derivatives of paraffins obtained by the replacement of a hydrogen atom by a nitro group.

Nomenclature : $R–NO_2$

Nitro alkanes are named by prefixing 'nitro' to the name of parent hydrocarbon.

$C_2H_5NO_2$	$C_3H_7NO_2$
Nitro ethane	Nitro propane

They may be primary, secondary and tertiary depending on whether the nitrogroup is attached to a **primary, secondary** and **tertiary carbon** atom.

$R\underline{C}H_2NO_2$	$(R)_2\underline{C}HNO_2$	$(R)_3\underline{C} – NO_2$
1°	2°	3°

In the IUPAC system the position of the nitrogroup is indicated by number.

$$CH_3 – \overset{\overset{\displaystyle NO_2}{|}}{CH} – CH_3$$ 2-nitro propane

$$CH_3CH_2CH_2 – NO_2$$ 1-Nitro propane

$$CH_3 – \underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{CH} – CH_2 – NO_2$$ 1-Nitro-2-methyl propane

$$CH_3 – \overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{\underset{\underset{\displaystyle CH_3}{|}}{C}} – CH_2 – NO_2$$ 1-Nitro-2,2-dimethyl propane

$$CH_3 – \overset{\overset{\displaystyle CH_3}{|}}{\underset{\underset{\displaystyle NO_2}{|}}{C}} – CH_3$$ 2-nitro, 2-methyl propane

Isomerism :

Besides chain and position isomerism Nitroalkene shows functional isomerism.

Isomerism :

Nitro compounds exhibit the following three types of isomerism.

1. Chain isomerism arises due to the difference in the arrangement of carbon atoms.

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - NO_2 \quad \text{(linear chain)}$$

1-nitro butane

$$CH_3 - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - CH_2 - NO_2 \quad \text{(branched chain)}$$

1-nitro-2-methyl propane

2. Position isomerism arises due to the difference in the position of nitro group.

$$CH_3 - CH_2 - CH_2 - NO_2$$

1-nitro propane

$$CH_3 - \underset{\underset{NO_2}{|}}{CH} - CH_3$$

2-nitro propane

3. Functional isomerism is due to the difference in the nature of functional group. Nitro alkanes are functional isomers of alkyl nitrites.

Nitro methane

$$CH_3 - O - N = O$$

Methyl nitrite

4. Tauto merism : Nitromethane exhibits tautomerism, a special type of isomerism.

(nitroform) and

(acinitroform)

These two functional isomers exist in equilibrium.

Nitro Acinitro

This is said to exhibit (''Nitro-acinitro'') tautomerism.

Both primary and secondary nitro compounds exhibit these kinds of tautomerism.

20.1.1 Preparation of nitroalkanes

1. They are prepared by heating an alkyl halide with aqueous ethanolic silver nitrate.

1. $R—X + AgNO_2 \longrightarrow AgX + R — NO_2$

$CH_3CH_2Cl + AgNO_2 \longrightarrow AgCl + CH_3CH_2\ NO_2$

2. **By direct nitration of alkanes :** Hexane and other higher alkanes can be nitrated readily with fuming nitric acid or with oxides of nitrogen. However the lower hydrocarbons can be nitrated only in the vapour phase at higher temperature. (623 – 773 K).

$$C_6H_{14} + HONO_2 \longrightarrow C_6H_{13}NO_2 + H_2O$$

$$\underset{\text{methane}}{CH_4} + \underset{\text{nitric acid}}{HONO_2} \xrightarrow{400^oC} \underset{\text{nitro methane}}{CH_3NO_2} + H_2O$$

20.1.2 Properties

Nitro alkanes are colourless pleasant smelling liquids. Nitromethane is soluble in water, higher members are sparingly soluble in water but readily soluble in organic solvents.

They are highly polar compounds. Hence they are high boiling than the alkyl halides and alkanes. Nitro methane is slightly acidic.

(Nitroform) (Tautomerism) (Aci form)

The aciform contains replaceable hydrogen atom. Hence it dissolves in alkali solution forming salt like compounds.

This anion exhibits resonance.

Only primary and secondary nitro compounds behave as acids in presence of strong alkali.

This anion of the nitrolic acid is involved in many of the properties of nitro alkanes. (Nitro methane)

1. Halogenation

Nitro alkanes are readily halogenated in α-position in presence of alkali.

Nitromethane reacts with halogen in presence of alkali to form trihalogen derivative. (e.g.,) with chlorine it forms chloropicrin, CCl_3NO_2 which is used as soil sterilizing agent.

$$CH_3NO_2 + 3Cl_2 \xrightarrow{NaOH} CCl_3NO_2 + 3HCl$$

Chloro picrin
(trichloro nitro methane)

2. Reaction with aldehydes and ketones

Condensation with aldehydes and ketones in presence of alkali solution to give **Nitroalcohols.**

$$HCHO + CH_3NO_2 \xrightarrow{\text{dil. NaOH}} \underset{\text{2-nitro ethanol}}{CH_2OH–CH_2NO_2}$$

$$CH_3CHO + CH_3NO_2 \xrightarrow{\text{dil. NaOH}} \underset{\text{1-nitro-2-propanol}}{CH_3CHOH–CH_2NO_2}$$

$$CH_3COCH_3 + CH_3NO_2 \xrightarrow{\text{dil. NaOH}} \underset{\text{1-nitro-2-methyl-2-propanol}}{(CH_3)_2COH–CH_2NO_2}$$

3. Reduction : (i) Sn/HCl or Fe/HCl or H_2/Raney nickel reduces nitro alkanes to alkyl amines.

$$R – NO_2 + 6\,[H] \xrightarrow{\text{Sn/HCl}} RNH_2 + 2H_2O$$

$$CH_3 – NO_2 + 6\,[H] \xrightarrow{\text{Sn/HCl}} \underset{\text{Methylamine}}{CH_3NH_2} + 2H_2O$$

(ii) Reduction under neutral conditions using Zn/NH_4Cl or $Zn/CaCl_2$-hydroxyl amines are formed.

$$R–NO_2 + 4\,(H) \xrightarrow{Zn/NH_4Cl} \underset{\text{Hydroxyl amine}}{RNHOH} + H_2O$$

$$\underset{\text{(Nitro ethane)}}{CH_3 – CH_2NO_2} + 4\,[H] \xrightarrow{Zn/NH_4Cl} \underset{\text{ethyl hydroxylamine}}{CH_3CH_2NHOH} + H_2O$$

4. Hydrolysis :

When boiled with mineral acids primary nitro alkane, undergoes disproportionation reaction to form carboxylic acid and hydroxylamine.

$$CH_3CH_2NO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{HCl}} \underset{\text{acetic acid}}{CH_3COOH} + \underset{\text{hydroxylamine}}{NH_2OH}$$

20.1.3 Uses of nitro alkanes :

1. They are good solvents for a large number of organic compounds including vinyl polymers, cellulose esters, synthetic rubbers, oils, fats, waxes and dyes.

2. Used in organic synthesis.

Account for the following :

(a) Nitro ethane is soluble in NaOH solution.

(b) Nitro ethane reacts with nitrous acid.

(c) 2-methyl-2-nitro propane is neither soluble in NaOH nor reacts with nitrous acid.

Answers.

(a) exhibits tautomerism of nitroform and aciform. Aciform is acidic and soluble in NaOH.

(b) $CH_3CH_2NO_2$ has **two α-hydrogen** and that reacts with HNO_2.

(c)

has no α-hydrogen. Hence it does not have the above properties.

2. Predict the product.

$$CH_3NO_2 + Cl_2 \xrightarrow{NaOH} ?$$

Answer : CCl_3NO_2 (chloro picrin)

3. What happens when nitro ethane is boiled with HCl ?

Answer : $CH_3COOH \quad + \quad NH_2OH$

20.2 AROMATIC NITRO COMPOUNDS

These are the substitution products of aromatic hydrocarbons like benzene. One or more hydrogen atoms of the aromatic ring are replaced by nitro group.

Nitrobenzene

p-nitro toluene

m-dinitro benzene

2,4,6-trinitro toluene

There are some aromatic compounds **which do not have nitro group** directly linked to the aromatic nucleus. The Nitro group is present in the side chain.

Phenyl nitro methane

1-nitro,1-phenyl ethane

Nitro benzene, the simplest of aromatic nitro compounds, is called **'oil of mirbane'.**

20.2.1 Preparation of nitro benzene

It is prepared by the action of a mixture of con. HNO_3 and con. H_2SO_4 **(nitrating mixture)** on benzene maintaining the temperature below 333 K.

Sulphuric acid generates the electrophile $–NO_2^+$, nitronium ion-from nitric acid. This is an example of aromatic electrophilic substitution reaction.

The generation of nitronium ion.

$$H_2SO_4 + HONO_2 \longrightarrow H-\overset{H}{\overset{|}{\underset{+}{O}}}-NO_2 + HSO_4^-$$

$$H-\overset{H}{\underset{+}{O}}-NO_2 \longrightarrow H_2O + \overset{+}{N}O_2$$

To the nitronium ion (being an electron deficient specie) the π bond of benzene, donates a pair of electrons forming a δ-bond. A specie with a + ve charge is formed as an intermediate. This is called **'arenium ion'** and is stabilised by Resonance.

In the last step, the hydrogen atom attached to the carbon carrying the nitro group is pulled out as a proton, by the Lewis base HSO_4^-, so that stable aromatic system is formed.

20.2.2 Physical Properties

Aromatic nitro componds are yellow coloured liquid (nitro benzene) or solids (other members). Nitro benzene has the smell of **'bitter almonds'** and is called **'the oil of Mirbane'.** They are insoluble in water but soluble in organic solvents such as benzene, ethanol and ether. They have high boiling and melting points which is explained by highly polar nature of $-NO_2$ group.

Nitro group contains nitrogen in +3 oxidation state (as nitrogen itself an electronegative element, existing in a +3 oxidation state). Hence reduction of nitro group is the important chemical reaction.

Depending on the nature of the reducing agent and pH of the reducing medium - reduction proceeds to different extents and hence different products are formed.

1. Reduction of nitrobenzene

(a) Strongly acidic medium

When reduced with **tin and hydrochloric acid,** aromatic nitro compounds are converted to aryl amines.

$$C_6H_5NO_2 + 6\,[H] \xrightarrow[\text{or}]{\text{Sn/con.HCl}} \underset{\text{Aniline}}{C_6H_5NH_2} + 2H_2O$$
$$\text{Fe/con.HCl}$$

(b) Neutral medium

When reduced **with a neutral,** reducing agents like zinc dust and aqueous ammonium chloride, aromatic nitro compounds form aryl hydroxylamines.

$$C_6H_5NO_2 + 4\,[H] \xrightarrow{\text{Zn/NH}_4\text{Cl}} \underset{\text{Phenyl hydroxylamine}}{C_6H_5NHOH} + H_2O$$

(c) Alkaline medium

In alkaline medium, Nitro benzene on reduction forms the intermediate products nitrosobenzene (C_6H_5NO) and phenyl hydroxylamine (C_6H_5NHOH). These undergo bimolecular condensation reaction. According to the appropriate reducing agent in alkaline medium different products are obtained.

(d) Catalytic reduction

Lithium Aluminium hydride is a powerful hydride ion donor. So it reduces nitro benzene to Aniline. This reduction can also be carried out by H_2/Ni.

$$C_6H_5NO_2 \xrightarrow{LiAlH_4} C_6H_5NH_2 \text{ [Aniline]}$$

$$C_6H_5NO_2 \xrightarrow[\text{Catalytic hydrogenation}]{H_2/Ni} C_6H_5NH_2$$

(e) Electrolytic Reduction :

When nitro benzene is reduced electrolytically in presence of concentrated sulphuric acid, phenyl hydroxylamine is first produced which rearranges to give p-amino phenol.

Reactions due to the benzene ring :

Benzene ring can take part in electrophilic substitution reaction. The presence of nitro group makes the ring less reactive **[deactivate]** towards electrophilic substitution reaction. Nitro group is **metadirecting** group. Hence in these reactions m-substituted products are formed.

1. Nitration

Nitro benzene can be nitrated with the mixture of concentrated nitric acid and sulphuric acid at 100° C to give m-dinitro benzene. Using fuming

nitric acid and con. sulphuric acid and when the temperature is increased to 433 K nitro benzene gives 1,3,5-trinitro benzene.

m-dinitrobenzene

1,3,5-Trinitro benzene

2. Chlorination

Chlorine in presence of anhydrous ferric chloride generates positively charged species. Chlorination takes place at meta position.

3-chloro nitro benzene

Ferric chloride is the Lewis acid catalyst.

3. Sulphonation

When warmed with con. H_2SO_4, 3-Nitro benzene sulphonic acid is obtained.

m-nitro benzene sulphonic acid

Uses of nitro benzene

1. Aromatic nitro compounds are used to form corresponding amino compounds.

2. They are used to prepare explosives like TNT, 1,3,5-trinitro benzene.

3. Used in making dye stuffs and pharmaceuticals.

SUMMARY OF NITRO COMPOUNDS

Organic nitrogen compounds - structure nomenclature - isomerism - nitro-acinitro tautomerism.

Preparation - direct nitration of hydrocarbons, nucleophilic substitution with alkyl halide.

Properties : Polar compounds - high boiling when compared to hydrocarbons or alkyl halides. α-hydrogen can be removed as a proton by a base forming carbanion - This undergoes condensation with aldehydes and ketones - Reduction in acid, neutral medium - Importance of Victor Meyer Test.

Aromatic nitro compound - aromatic electrophilic substitution - nitrating mixture - aromatic nitro compounds - yellow oils or solids - Reduction under various conditions - acidic, neutral, alkaline mediums and electrolytic reduction.

Polynitro compounds - explosives.

20.3 AMINES

Amines are compounds derived from ammonia by replacing one or more hydrogen atoms by alkyl or aryl group.

$$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ H-N-H \\ | \\ H \end{array} \qquad \begin{array}{c} \cdot\cdot \\ CH_3-N-H \\ | \\ H \end{array} \qquad \begin{array}{c} \cdot\cdot \\ C_6H_5-N-H \\ | \\ H \end{array}$$

Ammonia Aliphatic amine Aromatic amine

Amines are basic in nature. They accept protons forming alkyl or aryl ammonium ions.

20.3.1 Classification of amines

Amines are classified as primary, secondary and tertiary amines. When one of the hydrogen atoms in ammonia is replaced by alkyl or aryl group, it is primary amine.

$CH_3CH_2NH_2$ ethylamine $C_6H_5NH_2$ aniline

If two hydrogen atoms of amino group are replaced by alkyl or aryl groups, it is a secondary amine.

$(CH_3)_2$ NH - dimethyl amine

If three hydrogen atoms are replaced by alkyl or aryl groups, it is tertiary amine.

$(CH_3)_3$ N - Trimethyl amine

Primary amine has ⟶ NH_2 group (two hydrogen atoms bonded to nitrogen)

Secondary amine has ⟶ NH group (only one hydrogen bonded to nitrogen)

Tertiary amine has ⟶ – N group (No hydrogen atom bonded to nitrogen)

Generally the strength of the base is in the order.

3° amine > 2° amine > 1° amine

But because of steric effect the order of the basic strength is

2° amine > 1° amine > 3° amine

Nomenclature of Aliphatic amines

IUPAC system is similar to that of alkyl halides.

Molecular structure	IUPAC name	Common name
$CH_3 - NH_2$	amino methane	methyl amine
$CH_3 - CH(NH_2) - CH_3$	2-amino propane	isopropyl amine
$CH_3CH_2CH_2NH_2$	1-amino propane	n-propyl amine
$CH_3 - CH(CH_3) - CH_2 - NH_2$	1-amino-2-methyl propane	isobutyl amine
$CH_3 - CH(NH_2) - CH(CH_3) - CH_3$	2-amino-3-methyl butane	isopentyl amine
$CH_3NH\ CH_2\ CH_3$	(N-methyl amino) ethane	ethyl methyl amine
$CH_3NH - CH(CH_3) - CH_3$	2-(N-methyl amino) propane	methyl isopropyl amine
$CH_3 - N(CH_3) - CH(CH_3) - CH_2\ CH_3$	2-(N,N-dimethyl amino) butane	dimethyl sec.butyl amine

20.3.2 General methods of preparation of amines

Reduction of compounds containing carbon-nitrogen bonds.

1. Catalytic or chemical reduction of nitro alkane. Primary amines can be obtained by reduction of nitro alkanes with H_2 / Pt (or Ni) or lithium aluminium hydride.

(a) $\underset{\text{Nitro ethane}}{CH_3\,CH_2\,NO_2} \xrightarrow{3H_2/Ni \text{ or } Pt} \underset{\text{Ethylamine}}{CH_3CH_2NH_2} + 2H_2O$

(b) $CH_3\,CH_2\,NO_2 \xrightarrow{Sn \text{ (or) } Zn/HCl} CH_3CH_2\,NH_2 + 2H_2O$

(c) $\underset{\text{Nitro methane}}{CH_3NO_2} \xrightarrow{LiAlH_4} \underset{\text{Methyl amine}}{CH_3NH_2}$

2. Reduction of amides : Amines can be obtained by reduction of amides with lithium aluminium hydride or sodium and alcohol.

(a) $\underset{\text{(Acetamide)}}{CH_3CONH_2} + 4\,[H] \xrightarrow{Na/C_2H_5OH} \underset{\text{Ethylamine}}{CH_3CH_2NH_2} + H_2O$

(b) $\underset{\text{(N-methyl acetamide)}}{CH_3CONHCH_3} \xrightarrow{LiAlH_4} \underset{\text{(Secondary amine) methylethylamine}}{CH_3CH_2NHCH_3}$

3. Reduction of cyanides :

Primary amines can be prepared by reduction of alkyl cyanides (nitriles) with H_2/Ni or lithium aluminium hydride.

(a) $CH_3C \equiv N + 4\,[H] \xrightarrow{Na/C_2H_5OH} CH_3CH_2NH_2$

(b) $CH_3C \equiv N \xrightarrow[\text{Ether}]{LiAlH_4} CH_3CH_2NH_2$

(c) $CH_3C \equiv N \xrightarrow{H_2/Ni} CH_3CH_2NH_2$

4. Reduction of alkyl isocyanides :

Secondary amine can be prepared by the catalytic reduction or reduction by lithium aluminium hydride of alkyl iso cyanide.

$$\underset{\text{Methyl isocyanide}}{CH_3 - N \equiv C} \xrightarrow{H_2/Pt} \underset{\text{Dimethylamine}}{CH_3NHCH_3}$$

$$CH_3 - N \equiv C \xrightarrow[\text{ether}]{LiAlH_4} CH_3NH\,CH_3$$

5. From amides

By elimination reaction - primary amine is prepared.

Hoffman's hypobromite reaction or Hoffman's bromamide reaction

$$CH_3CONH_2 \xrightarrow{Br_2/KOH} CH_3NH_2 + CO_2$$

This reaction involves the formation of

(i) Bromamide by substitution of $-NH_2$ hydrogen. $CH_3CONHBr$.

(ii) In presence of KOH [base], salt of bromamide is formed.

$$CH_3CO - \underset{\cdot\cdot}{\overset{-}{N}} - Br + K^+$$

(iii) Bromine leaves as bromide ion forming nitrene.

$$CH_3CO^- \underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{N}} - Br \longrightarrow \underset{\text{Nitrene - an electron deficient specie.}}{CH_3 - CO - \underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{N}}} + Br^-$$

(iv) Migration of CH_3- to electron deficient nitrogen forms methyl isocyanate.

(v) In aqueous alkaline medium, isocyanate gets cleaved to give primary amine and carbondioxide.

$$\underset{\text{methyl isocyanate}}{\begin{array}{c} CH_3 - N = C = O \\ | \\ H_2 + O \end{array}} \longrightarrow \underset{\text{methylamine}}{CH_3NH_2} + CO_2$$

6. From ammonia :

By heating an **alkyl halide with alcoholic ammonia** in a sealed tube, a mixture of primary, secondary, tertiary amines and quarternary ammonium salt are obtained.

Nucleophilic substitution of alkyl halide or alcohol by **Ammonolysis.** (Ammonia is the nucleophile in this reaction).

(a) $CH_3Br + NH_3 \longrightarrow CH_3NH_2 + HBr$

$CH_3Br + CH_3NH_2 \longrightarrow (CH_3)_2\ NH + HBr$

$CH_3Br + (CH_3)_2\ NH \longrightarrow (CH_3)_3\ N + HBr$

$CH_3Br + (CH_3)_3\ N \longrightarrow (CH_3)_4\ N^+\ Br^-$

Tetramethyl ammonium bromide (a quarternary ammonium salt)

(b) Amines can be prepared by passing the vapours of alcohol and ammonia over heated alumina at 673 K. A mixture of primary secondary and tertiary amines are produced.

$$CH_3CH_2OH + NH_3 \xrightarrow[723K]{Al_2O_3} \underset{1^o\ \text{amine}}{(CH_3CH_2)\ NH_2} + H_2O$$

$$CH_3CH_2OH + (CH_3CH_2)_2\ NH \xrightarrow{Al_2O_3} \underset{\substack{2^o\text{amine} \\ \text{diethyl amine}}}{(CH_3CH_2)_2NH} + H_2O$$

$$CH_3CH_2OH + (CH_3CH_2)_2NH \xrightarrow{Al_2O_3} \underset{\substack{3^o\ \text{amine} \\ \text{triethylamine}}}{(CH_3CH_2)_3\ N} + H_2O$$

In both of the above methods, pure amines cannot be prepared. Only mixture of amines are obtained.

7. **Gabriel's phthalimide synthesis** of primary amine.

This involves the treatment of phthalimide with potassium hydroxide to form potassium salt. The salt is then heated with an alkyl halide to give N-alkyl phthalimide, which in turn reacts with potassium hydroxide to form a potassium phthalate salt and a pure primary amine.

20.3.3 Properties

1. Amines are polar molecules, capable of forming **strong intermolecular hydrogen bonds.**

This explains higher boiling points (compared to hydrocarbons) and solubility in water and alcohol. Higher members are less soluble in water.

2. Generally amines have fishy odour.

3. The strength of hydrogen bonds and hence the boiling points of amines are in the order.

Secondary amine > Primary amine > Tertiary amine

Three alkyl groups hinder the formation of hydrogen bonds or accepting of protons.

Chemical properties :

1. Basic properties :

(a) Basic nature of amines

The nitrogen in amines possess **an unshared pair of electrons** (lone pair). The lone pair of electrons is available for the formation of a new bond with a proton or Lewis acids. Thus amines are basic in nature and they react with acids to form salts.

Amines are weak bases and they produce small amount of ions in aqueous solutions. The extent of ion formation is described by an equilibrium constant K_b. This basicity constant explains the relative strength of a weak base. Stronger bases will have higher numerical values of (K_b) this constant.

Relative basic strength

The greater is the number of electron releasing alkyl groups, the greater the availability of nitrogen's lone pair and stronger the base.

$$\ddot{N}H_3 < CH_3\ddot{N}H_2 < CH_3 - \underset{\ddot{}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{N}}H$$

But in trimethyl amine bonding by proton is relatively difficult **due to steric crowding** of methyl groups.

Amines react with water forming alkyl ammonium hydroxide.

$$CH_3 - \ddot{N}H_2 + H_2O \longrightarrow CH_3\overset{+}{N}H_3\ OH^-$$

methyl ammonium hydroxide

(b) Salt formation :

Amines are basic compounds. They react with acids to form alkyl ammonium salts.

$$CH_3\ddot{N}H_2 + HCl \longrightarrow CH_3NH_3^+\ Cl^-$$

methyl ammonium chloride

2. Alkylation of amine :

When an amine is treated with alkyl halide, hydrogen atoms attached to the nitrogen atom are successively replaced by alkyl groups. In the final step, the tertiary amine adds one molecule of the alkyl halide to yield a **quaternary ammonium salt.**

$$\underset{1^o \text{ amine}}{CH_3NH_2} \xrightarrow{CH_3Br} \underset{2^o \text{ amine}}{CH_3NHCH_3} \xrightarrow{CH_3Br} \underset{3^o \text{ amine}}{(CH_3)_2\,NCH_3} \xrightarrow{CH_3Br} \underset{\text{Quarternary salts}}{(CH_3)_4\,N^+Br^-}$$

These reactions involve S_N2 mechanism.

3. Acylation of amine :

On treatment with acetyl chloride or on heating with acetic anhydride, N-alkyl acetamide is formed.

Both the above reactions involve nucleophilic substitution reaction - the nucleophile being alkyl amine and the leaving group the halide ion or acetate ion.

4. Reaction with Nitrous acid :

(a) Primary amines react with nitrous acid to form alcohols and nitrogen gas.

$$\underset{\text{primary amine}}{CH_3NH_2} + O = N - OH \longrightarrow \underset{\text{unstable}}{[CH_3{-}N{=}N - OH]} \longrightarrow CH_3OH + N_2$$

Aliphatic diazonium compound is unstable because of absence of resonance stabilisation.

(b) **Secondary amines** react with nitrous acid to form N-nitroso amines which are water insoluble yellow oils.

$$(CH_3)_2\,N\,H + HO - N = O \longrightarrow (CH_3)_2\,N - N = O$$

Secondary amine — N-nitroso dimethyl amine - yellow oil (insoluble in water)

(c) Tertiary amines react with nitrous acid to form trialkyl ammonium nitrite salts which are soluble in water.

$$(CH_3)_3\,N + HONO \longrightarrow (CH_3)_3\,NH^+\,NO_2^-$$

Tertiary amine — trimethyl ammonium nitrite (salt soluble in water)

5. Carbylamine reaction :

Primary amines on heating with chloroform and alcoholic potash forms a foul smelling substance called carbylamine or alkyl isocyanide.

$$CH_3NH_2 + CHCl_3 + 3KOH \longrightarrow CH_3NC + 3KCl + 3H_2O$$

Chloroform — Methyl isocyanide

This reaction is characteristic of primary amines. Secondary and tertiary amines do not undergo this reaction.

6. Mustard oil reaction :

This is also a reaction characteristic of primary amine. When primary amines are warmed with carbondisulphide and mercuric chloride, alkyl isothiocyanate, having a pungent **mustard like odour** is obtained.

$$CH_3NH_2 + S = C = S \longrightarrow CH_3 - N = C = S + H_2S$$

Carbondisulphide — methyl isothiocyanate

7. Formation of Schiff's base

Primary amines condense with aromatic aldehydes forming **Schiff's bases.**

$$C_6H_5CHO + H_2N\,CH_3 \longrightarrow C_6H_5CH = NCH_3$$

Schiff's base (benzal-N-methyl amine)

20.3.4 Distinction between primary, secondary and tertiary amines

Primary amine RNH_2	Secondary amine R_2NH	Tertiary amine R_3N
1. With HNO_2 forms alcohol.	forms N-nitroso amine.	forms salt.
2. With $CHCl_3$/KOH forms carbylamine	No reaction.	No reaction
3. With acetyl chloride forms N-alkyl acetamide.	form N,N-dialkyl acetamide.	No reaction
4. With CS_2 and $HgCl_2$ alkyl isothiocyanate is formed.	No reaction	No reaction
5. With Diethyl oxalate $\begin{matrix} COOC_2H_5 \\ \vert \\ COOC_2H_5 \end{matrix} \xrightarrow{2RNH_2} \begin{matrix} CONHR \\ \vert \\ CONHR \end{matrix}$ dialkyl oxamide, a solid at room temperature is formed.	Forms N,N-dialkyl oxamic ester, a liquid. $\begin{matrix} CONR_2 \\ \vert \\ COOC_2H_5 \end{matrix}$	No reaction
6. With three molar proportion of alkyl halide, quarternary ammonium salt-crystalline compound is formed. $3RX + RNH_2 \longrightarrow R_4N^+X^-$	With two molar proportion of alkyl halide, quaternary ammonium salt is formed. $R_2NH + 2RH \longrightarrow R_4N^+ X^-$	With only one molar proportion of alkyl halide quarternary ammonium salt is formed. $R_3N + RX \longrightarrow R_4N^+ X^-$

20.4 Aromatic amines

Amines containing phenyl group are known as aromatic amines. These aromatic amines are of two types.

(i) Amines in which the amino group is directly attached to the benzene ring.

(ii) Amines in which the amino group is attached to the side chain of benzene ring.

benzyl amine

Aralkyl amines :

These are amines having aromatic system such as benzene ring but the amino group is present in the side chain.

Benzyl amine

p-Tolyl amino methane

[IUPAC : phenyl amino methane]

20.4.1 Preparation of benzyl amine

1. Reduction of benzonitriles or benzamides

By the reduction of benzonitrile or benzamide catalytically or with Lithium Aluminium Hydride.

$$\underset{\text{Benzonitrile}}{C_6H_5C \equiv N} \xrightarrow[LiAlH_4]{H_2/Ni} C_6H_5CH_2NH_2$$

$$\underset{\text{Benzamide}}{C_6H_5CONH_2} \xrightarrow[LiAlH_4]{H_2/Pd} C_6H_5CH_2NH_2$$

2. From benzylbromide

By the action of alcoholic ammonia on benzyl bromide.

$$C_6H_5CH_2-Br + H-NH_2 \longrightarrow C_6H_5CH_2NH_2 + HBr$$

20.4.2 Physical Properties

Colourless liquid, sparingly soluble in water. It is a weaker base than methylamine.

Chemical Properties

1. Basic properties :

It reacts with acids to form salt.

$$\underset{\text{benzylamine}}{C_6H_5CH_2NH_2} + HCl \longrightarrow \underset{\text{benzyl ammonium chloride}}{C_6H_5CH_2\overset{+}{N}H_3\ Cl^-}$$

2. Substitution at Nitrogen

N-alkylation : With alkyl halide it forms secondary amine, tertiary amine and finally quaternary ammonium salt.

$$C_6H_5CH_2NH_2 \xrightarrow{CH_3Br} C_6H_5CH_2NHCH_3 \xrightarrow{CH_3Br} C_6H_5CH_2\ N\ (CH_3)_2$$

$$\downarrow CH_3Br$$

$$C_6H_5CH_2\overset{+}{N}(CH_3)_3\ Br^-$$

N-Acetylation :

With acetyl chloride or heating with acetic anhydride N-benzyl acetamide is formed.

$$C_6H_5CH_2-NH_2 + ClCOCH_3 \longrightarrow \underset{\text{N-benzyl acetamide}}{C_6H_5CH_2NHCOCH_3} + HCl$$

$$C_6H_5CH_2\ NH_2 + (CH_3CO)_2O \longrightarrow \underset{\text{N-benzyl acetamide}}{C_6H_5CH_2NHCOCH_3} + CH_3COOH$$

3. With nitrous acid

With nitrous acid it forms benzyl alcohol.

$$C_6H_5CH_2NH_2 + O=N-OH \longrightarrow C_6H_5CH_2OH + N_2$$

4. Oxidation

On oxidation with permanganate the side chain with the amino group is oxidised to give benzoic acid.

Benzylamine Benzoic acid

20.4.3 Aromatic amines :

These are compounds in which amino group is directly bonded to a carbon atom forming the benzene or any aromatic ring.

Aniline o-Toluidine

Aniline or amino benzene, O-Toluidine or orthoamino toluene. These are also called **nuclear substituted amines.**

20.4.4 Aniline

Preparation :

Manufacture :

1. By the catalytic reduction of nitro benzene.

Vapourised nitro benzene with hydrogen is passed over copper supported on silica at 543 K and aniline is obtained.

2. By the chemical reduction of nitrobenzene under strongly acidic condition such as Sn/HCl or with Hydride donors like $LiAlH_4$.

Reduction with Fe/con. HCl is used for the large scale preparation of aniline.

3. By the ammonolysis of chloro benzene at high temperature and pressure in presence of copper salts, aniline is prepared.

$$C_6H_5Cl + 2NH_3 \xrightarrow{CuCl_2} C_6H_5NH_2 + \underset{\text{ammonium chloride}}{NH_4Cl}$$

4. Hoffmann reaction : Using benzamide.

When an amide is treated with bromine and alkali, the amide is converted into primary amine containing one carbon less than that of amide.

$$C_6H_5CONH_2 \xrightarrow[KOH]{Br_2} C_6H_5NH_2 + CO_2$$

20.4.5 Properties

A colourless oily liquid sparingly soluble in water. Soluble in organic solvent. It has higher boiling point than benzene, **because of intermolecular hydrogen bonding.** This liquid turns brown on exposure to air due to oxidation.

Basic nature of Aromatic amines :

Aniline is less basic than aliphatic amines. This is because, the lone pair of electrons on the nitrogen atom is involved in resonance and is not easily available for donation to protons. Because of positive charge on nitrogen **protonation becomes difficult.**

Consequence of the resonance shown above :

1. Weaker base than aliphatic amine.

2. The electron density is increased in the benzene ring and hence the benzene ring is activated towards electrophilic substitution reaction.

3. Ortho and para positions are more electron dense hence electrophilic substitution takes place **at ortho** and **para positions.**

4. Nitrogen is strongly bound to the nucleus hence is not easily removed. (partial C-N double bond character)

1. Basic property :

These form crystalline salts with strong mineral acids such as HCl or H_2SO_4.

$$C_6H_5NH_2 + HCl \longrightarrow C_6H_5\overset{+}{N}H_3\,Cl^-$$

aniline hydrochloride or phenyl ammonium chloride

2. Substitution of nitrogen :

(a) Alkylation with alkyl halides it forms 2º, 3º amines and finally quaternary ammonium salt.

$$C_6H_5NH_2 + CH_3I \longrightarrow \underset{\substack{2^o \text{ amine} \\ \text{(N-methyl aniline)}}}{C_6H_5NHCH_3} \xrightarrow{CH_3I} \underset{\substack{3^o \text{ amine} \\ \text{(N, N-dimethyl aniline)}}}{C_6H_5N(CH_3)_2}$$

$$C_6H_5N(CH_3)_2 \xrightarrow{CH_3I} C_6H_5\overset{+}{N}(CH_3)_3\,I^-$$

Phenyl trimethyl ammonium iodide

(b) Aniline reacts with acetyl chloride and acetic anhydride to form corresponding amides called **anilides.**

$$C_6H_5NH_2 + \underset{\text{Acetyl chloride}}{ClCOCH_3} \longrightarrow \underset{\text{N-phenyl acetamide}}{C_6H_5NHCOCH_3} + HCl$$

$$C_6H_5NH_2 + \underset{\text{Acetic anhydride}}{CH_3COOCOCH_3} \longrightarrow \underset{\text{Acetanilide}}{C_6H_5NHCOCH_3} + CH_3COOH$$

(c) With Benzoyl chloride. In presence of sodium hydroxide, benzanilide is formed.

$$C_6H_5NH_2 + \underset{\text{benzoyl chloride}}{ClCOC_6H_5} \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{benzanilide}}{C_6H_5NHCOC_6H_5}$$

This reaction is an example of **Schotten-Baumann reaction.**

3. Formation of Schiffs base

Aniline is Primary aromatic amine. It reacts with aldehydes to form aldimines or Schiff's base.

$$C_6H_5NH_2 \quad + \quad O = CHR \longrightarrow C_6H_5N = CHR$$

(Aldimine or Schiff's base)

In all the above reactions the initial stage is the **nucleophilic attack**. The nucleophile is the amine and the site of attack is either halogen carrying carbon or carbonyl carbon. This is an addition - elimination reaction.

4. Reaction with nitrous acid :

3. A cold solution of sodium nitrite reacts with aniline dissolved in hydrochloric acid, a clear solution is obtained. This solution contains **'benzene diazonium chloride'**. This reaction is known as **'diazotisation'.**

$$C_6H_5N \boxed{H_2 + O}{=}N{-}OH \xrightarrow{HCl} C_6H_5 - N = N - Cl$$

(Benzene diazonium chloride)

5. Carbylamine reaction :

Aniline reacts with chloroform and alcoholic KOH to give an offensive smelling liquid, phenyl isocyanide.

$$C_6H_5NH_2 + CHCl_3 + 3KOH \xrightarrow{\Delta} C_6H_5NC + 3KCl + 3H_2O$$

(phenyl isocyanide)

6. Oxidation :

Aromatic amines are readily oxidised by dichromate and sulphuric acid to p-benzoquinone.

7. Reaction with carbonyl chloride :

Carbonyl chloride form S-diphenyl urea with aniline. In the first step phenyl isocyanate is formed. ($C_6H_5N = C = O$).

$$\underset{\text{Carbonyl chloride}}{2C_6H_5NH_2 + COCl_2} \longrightarrow \underset{\text{S-diphenyl urea}}{\begin{matrix} C_6H_5NH \\ C_6H_5NH \end{matrix}\!\!>C=O} + 2HCl$$

(‘S’ stands for symmetric)

8. With carbondisulphide, S-diphenyl thiourea is formed. Phenyl isothiocyanate is formed in the first step. ($C_6H_5–N=C=S$)

$$2C_6H_5NH_2 + \underset{\text{carbondi sulphide}}{CS_2} \longrightarrow \underset{\text{S-diphenyl thiourea}}{\begin{matrix} C_6H_5NH \\ C_6H_5NH \end{matrix}\!\!>C=S} + H_2S$$

(‘S’ stands for symmetric)

9. Electrophilic substitution reaction

Because of the presence of - activated benzene ring in aniline, electrophilic substitution reaction proceed under milder conditions.

(a) Halogenation :

Aniline decolourises bromine water with the formation of white precipitate, which is 2,4,6-tribromoaniline.

2,4,6-nitro bromoaniline

(b) Sulphonation :

Heating with fuming sulphuric acid, p-amino benzene sulphonic acid is formed.

Ortho amino benzene sulphonic acid is sterically less favoured.

(c) Nitration : Nitration is accompanied by oxidation

But a mixture of con.HNO_3 and con. H_2SO_4 gives m-nitroaniline also. This can be explained as follows.

Nitric acid is a strong acid. It protonates aniline forming aniliniun ion. $C_6H_5NH_3^+$. Because of positive charge on nitrogen it is meta directing.

(m-nitroaniline)

p-nitro aniline is prepared in the following three stages.

20.4.6 Uses of aniline

1. For preparing dyes and dye intermediates.
2. For the manufacture of anti oxidants in Rubber industry.
3. For preparing drugs (e.g.,) sulpha drugs.
4. For making isocyanates required for polyurethane plastics.

SUMMARY

AMINO COMPOUNDS

Structure, nomenclature, classification and isomerism including metamerism - of aliphatic amines.

Preparation - Reduction of nitro compounds, amides, cyanides - phthalimide synthesis - nucleophilic substitution - Ammonolysis.

Properties - hydrogen bonding and polar - higher boiling points - basic and nucleophilic character.

Classification - primary, secondary and tertiary amine - Basic strength of amines - N-alkylation, N-acylation, carbylamine reaction - quaternary ammonium salt.

Uses - Distinction between primary, secondary and tertiary amines.

Aralkyl amine - Benzyl amine - preparation - reduction of amides, cyanides - properties. Weaker a base than aliphatic amines - gives reactions of aliphatic primary amine - oxidation of side chain to give benzoic acid.

Aromatic amines - aniline and toluidines - structure, nomenclature and isomerism - preparation - reduction of nitro benzene - chemical and catalytic - chloro benzene and ammonia, Hoffmann reaction.

Properties - inter molecular hydrogen bonding - higher boiling point - less basic than aliphatic amines - resonance in aniline - N-alkylation, N-acylation, formation of Schiff's base, carbylamine reaction, reaction with phosgene, carbondisulphide - Formation of phenol - diazotisation and formation of azo dyes - electrophilic substitution in the benzene ring - bromination, sulphonation and nitration - uses.

20.5 ALIPHATIC NITRILES

Alkyl cyanides :

These are compounds in which one hydrogen atom is replaced from a hydrocarbon by a 'cyanide' group.

$$HCN \longrightarrow R-CN \longleftarrow R-H$$

They can also be considered as being derived from hydrocyanic acid.

Nomenclature :

Common system : By addng 'cyanide' to the name of the alkyl group.

$$CH_3 - CN$$
Methyl cyanide

'Acid nitrile' system :

In this system, they are named on the basis of the acid they produce on hydrolysis.

$$CH_3 - C \equiv N - \text{Hydrolysis} \longrightarrow CH_3COOH$$
Acetic acid

Hence it is called 'Acetonitrile'.

$$C_6H_5 - C \equiv N - \text{Hydrolysis} \longrightarrow C_6H_5COOH$$
Benzoic acid

Hence it is called 'benzonitrile'.

IUPAC system :

They are named by suffixing 'nitrile' to the name of the parent hydrocarbon.

Formula	As cyanide	As acid nitrile	IUPAC name
HCN	Hydrogen cyanide	Formonitrile	Methane nitrile
CH_3CN	Methyl cyanide	Acetonitrile	Ethane nitrile
CH_3CH_2CN	Ethyl cyanide	Propionitrile (or) propiononitrile	Propane nitrile
$\overset{3}{C}H_3-\overset{2}{C}H(CN)-CH_3$	isopropyl cyanide	isobutyronitrile	2-methyl-propane nitrile (or) 2-cyano propane (as a substituent)

20.5.1 Uses of Nitriles

It is an important synthetic reagent to prepare, aldehydes, acids, amides, esters, amines alcohols etc.

Acrylo nitrile (CH_2=CH–CN) is used in the manufacture of synthetic polymers like PAN.

Acetonitrile (CH_3CN) is used as a solvent for extraction, crystallisation and as reaction medium.

20.6 Benzene Diazonium Chloride : $C_6H_5N_2^+Cl^-$

Aryl diazonium salts form an important class of compounds, characterised by the presence of the functional group $-N^+ \equiv N$ (diazonium ion) directly bonded to an aryl group –Ar.

The aryl diazonium ion $Ar\text{-}N^+ \equiv N$ forms salts with anions such as Cl^-, Br^-, NO_2^-, HSO_4^-, BF_4^- etc., These are collectively called aryl diazonium salts.

Nomenclature :

By adding 'diazonium' to the name of the parent aromatic compound followed by the name of the anion.

Thus, $C_6H_5N_2^+ Cl^-$ is called benzene diazonium chloride.

Structure : The electronic structure

$$[\ Ar - \overset{+}{N} \equiv N : \longleftrightarrow Ar - \overset{\cdot\cdot}{N} = \overset{+}{N} : \ ]\ X^-$$

Resonance stabilised diazonium ion is further stabilised by the involvement of the benzene ring, in benzene diazonium ion.

C–N bond in aryl diazonium salt is stronger than that in aliphatic diazonium salt.

20.6.1 Preparation

Benzene diazonium chloride is prepared by the action of nitrous acid on aniline at 273 – 278 K. Nitrous acid is formed by mixing aqueous solutions of sodium nitrite and mineral acid like HCl or H_2SO_4.

$$NaNO_2 + HCl \longrightarrow HNO_2 + NaCl$$

$$C_6H_5NH_2 + HNO_2 + HCl \xrightarrow{273-278\ K} C_6H_5N_2^+Cl^- + 2H_2O$$

This is stable only under ice cold condition. In the dry condition it is quite unstable and decomposes violently.

20.6.2 Properties

Colourless crystalline solids turning brown on exposure to air. Only diazonium $[ArN_2^+ BF_4^-]$ fluro borate can be dried without decomposition, soluble in water and alcohol and insoluble in ether.

Chemical properties :

They are highly reactive compounds. They undergo reaction in which (1) $–N_2$ group is retained or (2) eliminated. In both cases useful compounds can be prepared. They are as useful as Grignard reagent for synthesis.

1. Reactions in which $–N_2^+ X^-$ is replaced.

(a) Reduction to arenes :

Benzene diazonium chloride with Hypophosphorous acid, is reduced to benzene.

Cuprous salts catalyse this reaction.

(b) Replacement by –OH

When the aqueous solution is boiled, phenol is obtained.

$$C_6H_5 \begin{array}{|c|c|} N_2 & Cl \\ \hline H\,O & H \end{array} \longrightarrow C_6H_5OH + N_2 + HCl$$

This is an example of S_N1 reaction in which $C_6H_5N_2Cl$ initially gives $C_6H_5^+$ and water is the nucleophile.

(c) Replacement of RO– (or) RCOO⁻ groups :

Similarly $–N_2Cl$ can be replaced by alkoxy group by warming with alcohol or by acyloxy group by boiling with carboxylic acids.

$$C_6H_5 \begin{array}{|c|c|} N_2 & Cl \\ \hline CH_3O & H \end{array} \longrightarrow C_6H_5OCH_3 + N_2 + HCl$$

[Alcohol is the nucleophile] Aromatic ethers (anisole)

$$C_6H_5 \begin{array}{|c|c|} N_2 & Cl \\ \hline CH_3COO & H \end{array} \longrightarrow C_6H_5OCOCH_3 + N_2 + HCl$$

[Carboxylate ion is the nucleophile] Phenyl acetate (ester)

(d) Replacement by Iodine :

Aqueous solution of diazonium salt reacts with potassium iodide solution to form Iodobenzene.

$$C_6H_5 \begin{array}{|c|c|} N_2 & Cl \\ \hline I & K \end{array} \longrightarrow C_6H_5\,I + N_2 + KCl$$

[Iodide anion is the nucleophile]

(e) Replacement by Nitro group :

Diazonium salt when treated with sodium nitrite in the presence of cuprous ion as a catalyst forms Nitro compounds.

$$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu^+]{NaNO_2} C_6H_5NO_2$$

2. Replacement by chlorine or bromine :

(a) Sand Meyer Reaction :

When aqueous solution of diazonium chloride is warmed with Cu_2Cl_2 or Cu_2Br_2 in halogen acid, halogenated benzene is formed.

$$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu_2Cl_2]{HCl} C_6H_5 - Cl + N_2$$

$$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu_2Br_2]{HBr} C_6H_5Br + N_2$$

(b) Gattermann reaction :

When the diazonium chloride solution is warmed with copper powder and the hydrogen halide, the corresponding halobenzene is obtained. Iodo benzene cannot be prepared by this procedure.

$$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[HCl]{Cu} C_6H_5Cl + N_2$$

$$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[HBr]{Cu} C_6H_5Br + N_2$$

3. Replacement by cyanide group :

The diazonium salt solution when treated with cuprous cyanide / potassium cyanide mixture, phenyl cyanide is formed.

$$\begin{array}{l} C_6H_5 \\ NC \end{array} \begin{array}{|c|} N_2 \\ \hline \end{array} \begin{array}{l} Cl \\ K \end{array} \xrightarrow{Cu_2(CN)_2} C_6H_5CN + N_2 + HCl$$

Treatment of diazonium chloride with KCN solution in presence of copper, also gives phenyl cyanide.

$$C_6H_5N_2Cl + KCN \xrightarrow{Cu} C_6H_5CN + N_2 + KCl$$

4. Replacement by an aryl group : (Gomberg Bachmann Reaction)

Decomposition of diazonium salts in presence of sodium hydroxide and benzene, results in the formation of Biphenyl.

$$C_6H_5N_2Cl + C_6H_6 \xrightarrow{NaOH} \underset{\text{Biphenyl}}{C_6H_5 - C_6H_5} + N_2 + HCl$$

This reaction is known as **'Gomberg'** or **'Gomberg Bachmann'** reaction.

The above reactions do not follow strictly S_N mechanism. Instead free radicals are formed as intermediates.

5. Reduction :

Diazonium chloride is reduced to phenyl hydrazine on treatment with $SnCl_2$/HCl or Zn/HCl or $NaHSO_3$.

$$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{4[H]} C_6H_5NHNH_2 + HCl$$

6. Diazonium coupling reaction :

Diazonium salt reacts with aromatic amine and phenols to give azo compounds of the general formula.

$$Ar - N = N - Ar'$$

This reaction is known as Coupling reaction since all these compounds are intensely coloured and used as dyes, thousands of azo dyes have been synthesised by this procedure.

[p-hydroxy azo benzene]

Red dye

The aromatic compound with which it couples should have any one of the groups like –OH, $–NH_2$, –OR, –NHR, $–NR_2$ etc. coupling usually occurs at para position.

ALL THE COUPLING REACTIONS INVOLVE

I. Formation of diazonium ion $C_6H_5N_2^+$ (an electrophile)

II. Electrophilic substitution on electron rich aromatic compounds like phenols, amines etc., at para-position.

III. Diazo coupling reaction takes place in ice cold condition.

N, N - dimethyl aniline p-dimethyl amino azo benzene

Reaction with primary amine takes place in a different way :

(I)

Diazoaminobenzene
(Substitution at Nitrogen)

(II)

[Rearrangement] p-amino azo benzene
(Substitution at carbon)

Uses of diazonium salts :

It is a very valuable intermediate in the preparation of many class of compounds like phenols, halides, cyanides etc.

Valuable laboratory reagents like phenyl hydrazine can be prepared.

Very useful in the manufacture of azo dyes.

SUMMARY

Benzene Diazonium chloride - structure - diazotisation of aniline - properties - stable at low temperature - hydrogenolysis to benzene, hydrolysis to phenol, formation of halo benzene, cyano benzene, nitrobenzene, anisole - reduction to phenyl hydrazine - diazo coupling with aromatic amines and phenols - formation of dyes.

Name reactions

1. Sandmeyer reaction 2. Gattermann reaction
3. Gomberg reaction 4. Diazo coupling reaction

Alkyl cyanides - nomenclature as Nitriles.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. Bromo ethane reacts with silver nitrite to give

   (a) $C_2H_5NO_2$ (b) $C_2H_5–O–NO$
   (c) $C_2H_5Ag + NaBr$ (d) C_2H_5NC

2. The isomerism exhibited by $CH_3 – CH_2 – N\begin{matrix}O\\O\end{matrix}$ and $CH_3CH_2 – O – N = O$ is

   (a) position (b) chain (c) functional (d) tautomerism

3. In nitro alkanes $–NO_2$ group is converted to $–NH_2$ group by the reaction with

   (a) Sn/HCl (b) Zn dust (c) Zn/NH_4Cl (d) Zn/NaOH

4. When nitromethane is reduced with Zn dust + NH_4Cl in neutral medium, we get

   (a) CH_3NH_2 (b) $C_2H_5NH_2$ (c) CH_3NHOH (d) C_2H_5COOH

5. The compound that is most reactive towards electrophilic nitration is

   (a) Toluene (b) benzene (c) benzoic acid (d) nitrobenzene

6. Nitromethane condenses with acetaldehyde to give

   (a) nitro propane (b) 1-nitro-2-propanol
   (c) 2-nitro-1-propanol (d) 3-nitro propanol

7. Which of the following compounds has the smell of bitter almonds ?

   (a) aniline (b) nitro methane
   (c) benzene sulphonic acid (d) nitrobenzene

8. Nitration of nitrobenzene results in

(a) o-dinitro benzene (b) 1,3,5-trinitro benzene
(c) p-dinitro benzene (d) m-dinitro benzene

9. Nitrobenzene on electrolytic reduction in con. sulphuric acid, the intermediate formed is

(a) $C_6H_5NH - NHC_6H_5$ (b) $C_6H_5 - NHOH$
(c) $C_6H_5 - N = N - C_6H_5$ (d) $C_6H_5.HSO_4$

10. Electrophile used in the nitration of benzene is

(a) hydronium ion (b) sulphonic acid
(c) nitronium ion (d) bromide ion

11. The reduction of $CH_3 - CH_2 - C \equiv N$ with sodium and alcohol results in the formation of

(a) $CH_3 - \underset{\underset{NH_2}{|}}{CH} - CH_3$ (b) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - OH + N_2$
(c) $CH_3 - CH_2 - CH_2 - NH_2$ (d) $CH_3 - CH_2 - NH_2$

12. The basic character of amines is due to the

(a) tetrahedral structure (b) presence of nitrogen atom
(c) lone pair of electrons on nitrogen atom
(d) high electronegativity of nitrogen

13. The organic compound that undergoes carbylamine reaction is

(a) $(C_2H_5)_2NH$ (b) $C_2H_5NH_2$ (c) $(C_2H_5)_3N$ (d) $(C_2H_5)_4 N^+ I^-$

14. Primary amine acts as

(a) Electrophile (b) Lewis base (c) Lewis acid (d) Free radical

15. Oxidation of aniline with acidified potassium dichromate gives

(a) p-benzo quinone (b) benzoic acid
(c) benzaldehyde (d) benzyl alcohol

16. Which one of the following is a secondary amine ?

(a) aniline (b) diphenyl amine (c) sec.butylamine (d) tert.butylamine

17. $C_6H_5NH_2 \xrightarrow{NaNO_2/HCl} X$. Identify X.

(a) C_6H_5Cl (b) C_6H_5NHOH
(c) $C_6H_5N_2Cl$ (d) C_6H_5OH

18. Which of the following will not undergo diazotisation ?

(a) m-toluidine (b) aniline
(c) p-amino phenol (d) benzyl amine

19. Aniline differs from ethylamine by the reaction with

(a) metallic sodium (b) an alkyl halide
(c) chloroform and caustic potash (d) nitrous acid

20. When aqueous solution of benzene diazonium chloride is boiled the product formed is

(a) benzyl alcohol (b) benzene + N_2
(c) phenol (d) phenyl hydroxylamine

(B) Answer in one or two sentences :

1. How are nitro alkanes prepared ?
2. Write about the functional isomerism of nitro methane ?
3. Give the reduction of nitromethane in (a) acid medium, (b) neutral medium.
4. Mention the uses of nitromethane.
5. How will you convert benzene to m-dinitro benzene ?
6. Explain the electrolytic reduction of nitro benzene ?
7. What are amines ? How are they classified ?
8. Give the structural formula of (i) 2-amino-2-methyl propane.
   (ii) 2-(N, N-dimethyl) amino butane
9. What happens when acetonitrile is hydrolysed ?
10. Write the name and structure of four isomeric amines having the molecular formula C_3H_9N.
11. How will you distinguish between ethylamine and diethylamine ?
12. Write a note on the basicity of amines ?
13. Explain why ethylamine is stronger than ammonia ?
14. What is Gabriel phthalimide synthesis ?
15. How is nitrobenzene converted to aniline ?
16. What happens when aniline is treated with bromine ?
17. What happens when aniline is treated with phosgene ?
18. How will you distinguish between aniline and ethylamine ?

19. Explain why aniline is less basic than methylamine ?

20. How is benzene diazonium chloride prepared ?

21. Write a note on Sandmeyer reaction.

22. How will you synthesise, benzylamine from aniline ?

Ans : Aniline $\xrightarrow[\text{HCl, } 0^{o}C]{NaNO_2}$ Benzene diazonium chloride $\xrightarrow{CuCN}$ cyano benzene $\xrightarrow{LiAlH_4}$ Benzyl amine

23. What are the reagents that would convert the following into Ethyl amines ?

(a) CH_3CONH_2 (b) CH_3CN (c) $CH_3CH_2NO_2$ (d) $CH_3CH = NOH$

24. Account for the following :

(a) $(CH_3)_2NH$ is a stronger base than NH_3

(b) $CH_3CH_2NH_2$ is more basic than CH_3CONH_2

(c) Aniline is less basic than Ethyl amine

(d) On sulphonation of aniline, p-amino benzene sulphonic acid is formed.

25. What is the action of $NaNO_2$/HCl (aq) at ice cold temperature on

(a) $C_2H_5NH_2$ (b) $C_6H_5NH_2$ (c) $(CH_3)_2NH$ (d) $(CH_3)_3N$

26. What happens when ethylamine is treated with

(a) $CHCl_3$/NaOH (b) CS_2 (c) $COCl_2$ (d) C_6H_5CHO

27. Justify :

(a) Diazo coupling reaction is an example of aromatic electrophilic substitution reaction

(b) Formation of acetanilide from aniline and acetic anhydride is a nucleophilic attack by aniline

(c) Formation of methylamine by ammonolysis of methyl iodide is an example of $S_N{}^2$ reaction

(d) Addition of bromine water to aniline, gives a white precipitate.

This is an example of aromatic electrophilic substitution.

28. What is the action of

(a) Diethyl oxalate on Ethylamine

(b) Diethyl oxalate on Diethyl amine

(c) Nitrous acid on Diethyl amine

(d) Nitrous acid on Triethyl amine

29. Account for

(a) Reduction of CH_3CN gives $CH_3CH_2NH_2$ while CH_3NC gives $(CH_3)_2NH$

(b) $(CH_3)_2NH$ requires two molar proportion of CH_3I to give the same crystalline product formed by $(CH_3)_3N$ with one mole of CH_3I

(c) Nitration of aniline with con.HNO_3 may end up with same meta nitro product

(d) p-toluidine is a stronger base than p-nitroaniline.

30. Account for the following :

(a) Nitroethane is soluble in NaOH

(b) Nitro ethane reacts with nitrous acid

(c) 2-methyl-2-nitro propane has neither of the properties.

31. What happens when

(a) nitro ethane is boiled with HCl

(b) nitro benzene is treated with Lithium Aluminium Hydride

(c) When Toluene is treated with fuming nitric acid and sulphuric acid.

32. Account for

(a) Nitration of benzene is easier than nitration of nitrobenzene

(b) Benzaldehyde undergoes condensation with nitro methane in presence of KOH

(c) Nitromethane gives trichloro nitro methane on treatment with chlorine/NaOH while nitro ethane gives only dichloro ethane

33. How can the following conversions be effected ?

(a) Nitro benzene $\longrightarrow$ Nitrosobenzene

(b) Nitro benzene $\longrightarrow$ azoxy benzene

(c) Nitrobenzene $\longrightarrow$ Hydrazobenzene

34. Distinguish between

(a) Nitroethane and ethyl nitrite

(b) Nitro benzene and nitro phenol

(c) Nitro toluene and phenyl, nitromethane

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Write the methods of preparation of nitro methane ?
2. Explain the reduction of nitro methane in different medium.
3. Write a note on the 'reduction of nitro benzene under different conditions.
4. Explain the mechanism of nitration of nitro benzene.
5. Write the differences between nitro methane and nitro benzene.
6. Give three methods of preparing ethylamine from aceto nitrile ?
7. Distinguish between primary, secondary and tertiary amines.
8. Write the mechanism of 'Hoffmann's bromamide reaction'.
9. How do primary, secondary and tertiary amines react with nitrous acid ?
10. Write any three methods of preparing benzylamine ?
11. Comment on the 'basic nature' of aniline.
12. Write a note on

    (i) Carbylamine reaction, (ii) Mustard oil reaction, (iii) Acetylation of benzylamine, (iv) Formation of Schiff's base, (v) Diazotisation reaction.
13. Distinguish between benzylamine and aniline.
14. How are the following compounds obtained from benzene diazonium chloride ?

    (i) phenol, (ii) ester, (iii) p-hydroxy azo benzene.

(D) Solve the problems :

1. Nitrobenzene does not undergo Friedel-Crafts alkylation. Give reasons.

Ans. Due to powerful electron withdrawing effect of the $-NO_2$ group, the benzene ring in $C_6H_5NO_2$ is deactivated towards Friedel Craft's alkylation and hence it is used as a solvent in many Fridel-Craft's reaction.

2. Boiling points of nitroalkanes are much higher than those of hydrocarbons of comparable mass - give reasons.

Ans. Nitroalkanes are polar in nature ($\mu = 3 - 4D$) and thus have greater dipolar attraction than hydrocarbons. This results in higher values of b.p. (μ = Dipole moment)

3. Explain why amines are more basic than amides.

Ans. In simple amines the lone pair of electrons is on nitrogen and hence available for protonation. In amides, on the other hand, the electron pair on nitrogen is delocalized to the carbonyl oxygen through resonance.

amide

4. An organic compound (A) with molecular formula C_6H_7N gives (B) with HNO_2/HCl at 273 K. The aqueous solution of (B) on heating gives compound (C) which gives violet colour with neutral $FeCl_3$. Identify the compounds A, B and C and write the equations.

   Ans. (A) $C_6H_5NH_2$ - aniline, (B) $C_6H_5N_2Cl$ - benzene diazonium chloride, (C) Phenol

5. Outline the mechanism of

   (a) Nitration of aniline
   (b) Acetylation of aniline to form acetanilide

6. Outline the preparation of

   (a) para nitroaniline from aniline
   (b) tri bromo benzene from tribromo aniline

7. Indicate the mechanism of

   (a) the formation of N-methyl aniline from aniline
   (b) the formation of p–hydroxy azobenene from benzene diazonium chloride

8. Explain the following order of strength of bases.

   (a) $(CH_3)_2$ NH > CH_3NH_2 > NH_3

   (b) p-toluidine > Aniline > p-nitro aniline

Diazonium chloride

1. How are the following conversions effected ?

   (a) $C_6H_5NH_2 \longrightarrow C_6H_6$
   (b) $C_6H_5NO_2 \longrightarrow C_6H_5OH$

(c) $C_6H_5NH_2 \longrightarrow C_6H_5I$

(d) $C_6H_5NH_2 \longrightarrow C_6H_5NO_2$

2. Starting from aniline how can the following be prepared ?

(a) Chloro benzene (b) p-hydroxy azobenzene

(c) Benzonitrile (d) p-amino azo benzene

3. How can the following conversion be effected ?

(a) Nitrobenzene to anisole

(b) Chloro benzene to phenyl hydrazine

(c) Aniline to benzoic acid

(d) Benzene diazonium chloride to Ethyl benzene

4. Identify the electrophile and nucleophile in the following reactions :

(a) $C_6H_5N_2Cl + KI \longrightarrow C_6H_5I + KCl$

(b) $C_6H_5N_2Cl + C_6H_5OH \longrightarrow C_6H_5N{=}N{-}C_6H_4OH$

(c) $C_6H_5N_2Cl + CH_3OH \longrightarrow C_6H_5OCH_3$

(d) $C_6H_5N_2Cl + H_2O \longrightarrow C_6H_5OH$

KEY

1. (a) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{H_3PO_2} C_6H_6$

(b) $C_6H_5NO_2 \xrightarrow{Sn/HCl} C_6H_5NH_2 \xrightarrow{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{H_2O} C_6H_5OH$

(c) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{KI} C_6H_5I$

(d) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{NaNO_2} C_6H_5NO_2$

2. (a) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu_2Cl_2]{HCl} C_6H_5Cl$

(b) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_5H_5N_2Cl \xrightarrow{Phenol} C_6H_5–N = N–C_6H_4–OH$

(c) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu_2(CN)_2]{KCN} C_6H_5CN$

(d) $C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{Aniline} C_6H_5N{=}N\ C_6H_4NH_2$

3. $C_6H_5NO_2 \xrightarrow{Sn/HCl} C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{CH_3OH} C_6H_5OCH_3$

$C_6H_5Cl \xrightarrow[HCl]{NH_3} C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow{Sn/HCl} C_6H_5NHNH_2$

$C_6H_5NH_2 \xrightarrow[HCl]{HNO_2} C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu_2(CN)_2]{KCN} C_6H_5CN \xrightarrow{H_3O^+} C_6H_5COOH$

$C_6H_5N_2Cl \xrightarrow[Cu_2Br_2]{HBr} C_6H_5Br \xrightarrow[C_2H_5Br \text{ dry ether}]{Na} C_6H_5–C_2H_5$

4. (a) I^- - nucleophile
   (b) $C_6H_5N_2^+$ - electrophile
   (c) CH_3OH - nucleophile
   (d) H_2O - nucleophile

REFERENCES :

1. Organic reactions, Conversions, Mechanism & Problems. - R.D. Madan, S.Chand & Co. Ltd.
2. A guide book to Mechanism in organic chemistry. - Peters Sykes - Pearson Education Ltd.

21. BIOMOLECULES

LEARNING OBJECTIVES

- *Recognises the importance of carbohydrates, proteins, amino acids and lipids.*
- *Classification of carbohydrates.*
- *Structural elucidation of simple carbohydrates.*
- *Proteins and amino acids.*
- *Classification, structure and functions of lipids in biosystems.*

A living organism is a collection of organic molecules which interact with each other and with their environment in a very unique way. All living organisms are made of one or more cells which are considered as the smallest units of life. Cells are essentially packets of chemicals necessary for life. The compounds present in cells are composed of carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, phosphorus and sulphur. Nearly all the carbon compounds found in living cells can be placed into one or another of the following four classes.

(i) Carbohydrates, (ii) Amino acids and proteins, (iii) Nucleic acids and (iv) Lipids.

21.1 CARBOHYDRATES

Carbohydrates are polyhydroxy aldehydes or polyhydroxy ketones. They are naturally occuring organic substances. They are present in both plants and animals. Carbohydrates are formed in the plants by photosynthesis from carbon dioxide and water in sunlight.

Classification :

Carbohydrates may be **classified into two broad** groups.

1. Sugars and 2. Non-sugars or polysaccharides.

1. Sugars : Sugars are sweet crystalline substances and soluble in water.

(i) Monosaccharides : The monosaccharides are polyhydroxy aldehydes

or polyhydroxy ketones which cannot be hydrolysed into simpler sugars. They may again be classified according to the nature of carbonyl group.

(a) Aldoses, which contain an aldehyde group

$$\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-H \right)$$

(b) Ketoses, which contain a keto group

$$\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}- \right)$$

The aldoses and ketoses are further divided into sub-groups on the basis of the number of carbon atoms in their molecules, as trioses, tetroses, pentoses, hexoses etc.

Thus monosaccharides are generally referred to as aldotrioses, aldotetroses, aldopentoses, aldohexoses, ketohexoses etc.

The aldoses and ketoses may be represented by the following general formulae.

$$\begin{array}{l} H \\ \diagdown C = O \\ | \\ (CHOH)_n \\ | \\ CH_2OH \\ \text{aldoses} \\ \\ (n = 1, 2, 3, 4, 5) \end{array} \qquad \begin{array}{l} CH_2OH \\ | \\ C = O \\ | \\ (CHOH)_n \\ | \\ CH_2OH \\ \text{ketoses} \\ (n = 0, 1, 2, 3, 4) \end{array}$$

(ii) Oligosaccharides :

Oligosaccharides are sugars that yield two to ten monosaccharide molecules on hydrolysis and are thus again classified into various groups depending upon the number of monosaccharide units formed on hydrolysis.

(a) **Disaccharides :** The disaccharides are sugars which on hydrolysis give **two molecules** of the same or different monosaccharides.

$$\underset{\text{Sucrose}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \longrightarrow \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fructose}}{C_6H_{12}O_6}$$

(b) **Trisaccharides :** These give **three molecules** of monosaccharides on hydrolysis.

$$\underset{\text{Raffinose}}{C_{18}H_{32}O_{16}} + 2H_2O \longrightarrow \underset{\text{Galactose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fructose}}{C_6H_{12}O_6}$$

2. Non-sugars (or) Polysaccharides

These are carbohydrates which involve a large number of monosaccharide units linked to each other by **oxide bridges.** These linkages are called glycosidic linkages. The common and widely distributed polysaccharides correspond to the general formula $(C_6H_{10}O_5)_n$. They get hydrolysed to give monosaccharides.

$$\underset{\text{Starch}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + n\,H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{Glucose}}{n\,C_6H_{12}O_6}$$

Thus chemically, polysaccharides are long chain polymers of monosaccharides. Starch, Cellulose and inulin are examples of polysaccharides.

Thus whole of the classification of the carbohydrates may be summarised as below.

21.2 Preparation, structure and uses of Glucose and Fructose

Glucose : Glucose is a monosaccharide and belongs to aldohexose. Glucose is known as **dextrose** because it occurs in nature as the optically active dextro-rotatory isomer. It is also called **grape sugar** as it is found in most sweet fruits especially grapes. It is present in honey also.

Preparation : It is prepared in laboratory by acid hydrolysis of cane sugar in presence of alcohol.

$$\underset{\text{Cane sugar}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{H^+} \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fructose}}{C_6H_{12}O_6}$$

Structure of Glucose :

The structure of glucose has been derived from the following facts.

1. Elemental analysis and molecular weight determination show that the molecular formula of glucose is $C_6H_{12}O_6$.
2. Complete reduction of glucose with concentrated hydriodic acid in the presence of red phosphorous produces n-hexane as the major product. This indicates that the six carbon atoms in the glucose molecule form an unbranched chain of six carbon atoms.

$$\text{Glucose} \xrightarrow[\text{Reduction}]{HI/P} \underset{\text{n-hexane}}{CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3}$$

3. Glucose readily dissolves in water to give a neutral solution. This indicates that the glucose molecule does not contain a carboxyl $\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - OH \right)$ group.
4. Glucose reacts with hydroxylamine to form a monoxime or adds only one mole of HCN to give a cyanohydrin. This reaction indicates the **presence of either an aldehyde** $\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - H \right)$ **or a ketone** $\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - \right)$ group.

5. Mild oxidation of glucose with bromine water gives gluconic acid. This indicates the **presence of an aldehyde group** since only the aldehyde group can be oxidised to an acid, containing same number of carbon atoms. Since the six carbon atoms in glucose form a consecutive unbranched chain, the aldehyde group, must occupy one end of this chain.

6. Further oxidation of gluconic acid with nitric acid gives saccharic acid. This indicates the **presence of a primary alcoholic group.**

7. Glucose **reduces** an ammoniacal solution of silver nitrate (Tollen's reagent) to metallic silver or a basic solution of cupric ion (Fehling's solution) to red cuprous oxide. These reactions further confirm the **presence** of a **aldehyde group.**

8. Glucose reacts with acetic anhydride in the presence of pyridine to form a penta acetate. This reaction indicates the **presence of five hydroxyl groups** in a glucose molecule.

From the above evidences we conclude that glucose is a penta hydroxy hexanal (an aldohexose) and can be represented by the following structure.

Glucose

(2,3,4,5,6 penta hydroxy hexanal)

FRUCTOSE :

Fructose is present in abundance in fruits and hence it is called as fruit sugar. It is also present in cane sugar and honey alongwith glucose in combined form. Since naturally occuring fructose is laevorotatory, it is also known as laevolose. It is a **ketohexose.**

Preparation :

Fructose is obtained by hydrolysis, of cane sugar with sulphuric acid, along with glucose.

$$\underset{\text{Cane sugar}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{\text{dil.}H_2SO_4} \underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{Fructose}}{C_6H_{12}O_6}$$

The solution having equal molecules of D (+) glucose and D (–) fructose is termed as **invert sugar** and the process is known as **inversion of sucrose.**

Structure :

The structure of fructose has been derived from the following facts.

1. Elemental analysis and molecular weight determination show that the molecular formula of fructose is $C_6H_{12}O_6$.
2. Complete reduction of fructose with concentrated hydriodic acid in the presence of red phosphorous gives n-hexane as the major product. This **indicates that the six carbon atoms** in the fructose molecule form a **consecutive unbranched chain.**

$$\text{Fructose} \xrightarrow[\text{Reduction}]{\text{HI/P}} \underset{\text{n-hexane}}{CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_3}$$

3. Fructose readily dissolves in water to give a neutral solution. This indicates that the fructose molecule **does not contain** a carboxyl $\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C} - OH \right)$ group.
4. Fructose reacts with acetic anhydride in the presence of pyridine to form a penta acetate. This reaction indicates **the presence of five hydroxyl groups** in a fructose molecule.

5. Fructose reacts with hydroxylamine to form a monoxime, or adds only one mole of HCN to give a cyanohydrin. This reaction indicate the **presence of either an aldehyde** $\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-H \right)$ or a ketonic group. $\left(-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}- \right)$

6. Fructose is not oxidised by Bromine water indicating the absence of aldehydic group.

   Oxidation of fructose with concentrated nitric acid yields a mixture of glycollic acid and tartaric acid. Since this oxidation occurs with the rupture of the carbon chain, the **carbonyl group must be present as a ketone group.**

$$\text{Fructose} + 4\,(O) \xrightarrow{HNO_3} \underset{\text{tartaric acid}}{\begin{array}{c} COOH \\ | \\ (CHOH)_2 \\ | \\ COOH \end{array}} + \underset{\text{glycollic acid}}{\begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ COOH \end{array}} + 3H_2O$$

7. Partial reduction of fructose with sodium amalgam and water produces a mixture of two epimeric alcohols, sorbitol and mannitol, **because a new asymmetric centre** is being created at C–2. This confirms the **presence of a ketonic group.**

8. When fructose is treated with HCN, it forms an addition product which upon hydrolysis and subsequent reduction with hydriodic acid and red phosphorous gives 2-methyl-hexanoic acid. This indicates that the ketone group is **adjacent to one of the terminal carbon** atoms.

$$\text{Fructose} \xrightarrow{HCN} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ C\begin{matrix} CN \\ OH \end{matrix} \\ | \\ (CHOH)_3 \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow{\text{Hydrolysis}} \begin{array}{c} CH_2OH \\ | \\ C\begin{matrix} COOH \\ OH \end{matrix} \\ | \\ (CHOH)_3 \\ | \\ CH_2OH \end{array} \xrightarrow{\text{Reduction}} \underset{\text{2-methyl hexanoic acid}}{\begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C\begin{matrix} COOH \\ H \end{matrix} \\ | \\ (CH_2)_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}}$$

From the above evidences we conclude that fructose is a **pentahydroxyhexanone** (a ketohexose) and can be represented by the following structure.

```
    CH2OH
    |
    C = O
    |
  * CHOH
    |
  * CHOH
    |                    * C = asymmetric carbon atom
  * CHOH
    |
    CH2OH
    fructose
```

(1, 3, 4, 5, 6, pentahydroxy-2-hexanone)

21.3 DISACCHARIDES

Disaccharides are sweet tasting, crystalline, water-soluble substances, easily hydrolysed by enzymes and dilute mineral acids to two monosaccharide units.

$$\underset{\text{disaccharide}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \rightleftharpoons \underset{\text{monosaccharide}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{monosaccharide}}{C_6H_{12}O_6}$$

The hydrolysis involves a cleavage of glycosidic linkage (i.e.,) in the formation of disaccharide molecule atleast one monosaccharide unit is linked to the other through the carbonyl carbon (C_1 in glucose and C_2 in fructose).

1. Disaccharides linked through the glycosidic carbon atoms of each component (C_1 of glucose to C_2 of fructose) are non-reducing disaccharides. (e.g.,) Sucrose.

2. Disaccharides linked through C_1 of the first to C_4 or C_6 of the second component. (Reducing disaccharides) (e.g.,) Lactose.

Sucrose : Sucrose is the commonest sugar known. The most important sources are sugar cane and sugar beets.

It is a colourless, odourless crystalline compound. It is soluble in water. It is dextrorotatory. It is a **non-reducing sugar** as it does not reduce Tollen's or Fehling's reagent. Sucrose, on heating slowly and carefully, melts and when allowed to cool, **it solidifies to pale yellow** glassy mass called **'Barley Sugar'.**

When heated to 200°C, it loses water to form **brown amorphous mass called caramel.** On strong heating, it chars to almost pure carbon giving the **smell of burnt sugar.**

It is composed of α-D-glucose unit and β-D-fructose unit. These units are joined by a-β-glycosidic linkage between C-1 of the glucose unit C-2 of the fructose unit.

Structure :

Polysaccharides

Polysaccharides are polymers of monosaccharides. The most important polysaccharides are starch and cellulose. They have a general formula $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Starch : Starch is a white amorphous substance with no taste or smell. Starch is present in wheat, corn, barley, rice, potatoes, nuts, etc.

When heated to a temperature between 200–250°C, it changes into dextrin. At higher temperature charring occurs. When boiled with dilute acid, starch ultimately yields glucose.

$$\underset{\text{Starch}}{(C_6H_{10}O_5)_n} \longrightarrow \underset{\text{Dextrin}}{(C_6H_{10}O_5)_n} \longrightarrow \underset{\text{Maltose}}{C_{12}H_{22}O_{11}}$$

$$\downarrow$$

$$\underset{\text{Glucose}}{C_6H_{12}O_6}$$

When treated with enzyme, diastase, it yields maltose.

$$2\,(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \longrightarrow \underset{\text{Maltose}}{nC_{12}H_{22}O_{11}}$$

Starch solution gives a blue colour with a drop of iodine. The exact chemical nature of starch varies from source to source. Even the starch obtained from same source consists of two fractions (i) amylose and (ii) amylopectin.

Cellulose : Cellulose is found in all plants and so is the most abundant of all carbohydrates. It is the material used to form cell walls and other structural features of the plants.

Cellulose is insoluble in water and in most of the organic solvents. When it is boiled with dilute H_2SO_4, it is completely hydrolysed into D-glucose.

$$\underset{\text{Cellulose}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + nH_2O \longrightarrow \underset{\text{Glucose}}{nC_6H_{12}O_6}$$

21.4 AMINO ACIDS

An amino acid is bifunctional organic molecule that contains **both a carboxyl group, –COOH as well as an amine group, $-NH_2$.** Amino acids derived from proteins have the amino group on the alpha (α) carbon, that is, the carbon atom next to the carboxyl group. These α-amino acids may be represented by the following general formula.

The **aminoacids** differ in the nature of R-group bonded to α-carbon atom. The nature of R-group determines the properties of proteins.

Nearly twenty five amino acids have been obtained from the hydrolysis of proteins. The human body can synthesise some of the amino acids that it needs for maintaining good health. Those amino acids that cannot be synthesised by the body and must be supplied in the diet are called **Essential Amino acids.** The amino acids that can be synthesised from other compounds by the tissues of the body are called **Non - essential Amino acids.**

Except Glycine ($NH_2 – CH_2 – COOH$), all the α-amino acids have an asymmetric carbon atom. Hence, each of these amino acids can exist as optical isomers. Due to the presence of an acidic and a basic group in the same molecule, amino acids exist in an ionic form called a **Zwitter ion** where the proton of –COOH group is transferred to the $–NH_2$ group.

Depending on the pH of the solution, the amino acid can donate or accept a proton.

When an ionised form of amino acid is placed in an electric field, it will migrate towards the opposite electrode. In acidic solution (low pH), the cation (II) move towards cathode. In basic solution (high pH), the anion (III) move towards anode. The zwitter ion does not move towards any of the electrodes. **The pH at which the amino acid shows no tendency to migrate when placed in an electric field is known as isoelectric point.** This is characteristic of a given amino acid.

Proteins are formed by joining the carboxyl group of one amino acid to the α-amino group of another amino acid. **The bond formed between two amino acids by the elimination of a water molecule is called a peptide linkage or bond.**

$$-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-OH \quad + \quad H-\underset{\underset{H}{|}}{N}- \longrightarrow -\underset{\underset{O}{\|}}{C}-\underset{\underset{H}{|}}{N}- \; + \; H_2O$$

Carboxyl group of one amino acid — Amine group of other amino acid — Peptide bond

The product formed by linking amino acid molecules through peptide linkages, – CO – NH –, is called a **peptide.** Peptides are further designated as di, tri, tetra or penta peptides accordingly as they contain two, three, four or five amino acid molecules, same or different, joined together.

In peptide formation the two different amino acid molecules may react in one of the two ways.

$$\text{(i)}\ NH_2-CH_2-COOH \; + \; H_2N-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-COOH \longrightarrow H_2N-CH_2-CO-NH-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-COOH$$

Glycine — Alanine — Glycylalanine (a dipeptide)

$$\text{(ii)}\ H_2N-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-COOH + H_2N-CH_2-COOH \longrightarrow H_2N-\overset{\overset{CH_3}{|}}{CH}-CO-NH-CH_2-COOH$$

Alanine — Glycine — Alanyl glycine (a dipeptide)

21.5 LIPIDS

Lipids form a group of organic compounds which are widely distributed in living system. Lipids are mainly divided into three types, namely simple, compound and derived, depending on the basis of the nature of products obtained on hydrolysis.

Functions of lipids in biosystems :

Fats and oils act as storage of energy in plants and animals. In the animal body, fats are stored in fatty tissues, which are almost pure fat,. Fat give about 2¼ times as much energy as carbohydrates or proteins. Thus, as far as weight is concerned, storage of fat is the most economical way for the body to maintain a reserve energy supply. Fat is a poor conductor of heat. Hence, fat layer under skin serves to prevent losses of heat from the body.

Wax acts as a **protective** agent on the surfaces of animals and plants. Waxy coating on the surface of plants and fruits protects them from excessive loss of moisture and becoming infected with fungi and bacteria.

Phospholipids like lecithins, and cephalins play a greater role in biosystem. The lecithins are required for normal transport and utilisation of other lipids, especially in the liver. lecithin aids in the organisation of the cell structure. Cephalins are found in the brain. **Cephalins** have been implicated in the process of blood coagulation.

Galactolipids occur in considerable amount in the white matter of the brain and of all nervous tissue. The presence of galactose in the glycolipids suggests the importance of milk sugar in the diet of infants and children during the development of the brain and nervous system.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. Which is a mono saccharide among the following :
   (a) Sucrose (b) Cellulose (c) Maltose (d) Glucose
2. Identify the reducing sugar.
   (a) Sucrose (b) Cellulose (c) Starch (d) Glucose
3. Sucrose is not
   (a) a di saccharide (b) a non-reducing sugar.
   (c) hydrolysed to only glucose (d) hydrolysed to glucose & fructose
4. Sucrose contains glucose and fructose linked by
   (a) $C_1 – C_1$ (b) $C_1 – C_2$ (c) $C_1 – C_4$ (d) $C_1 – C_6$
5. Glucose is not oxidised to gluconic acid by
   (a) Br_2/H_2O (b) Fehling solutions
   (c) Tollen's reagent (d) Conc. HNO_3
6. Inversion of sucrose refers to
   (a) oxidation of sucrose (b) reduction of sucrose
   (c) hydrolysis of sucrose to glucose and fructose
   (d) polymerisation of sucrose.
7. Glucose forms_____ with acetic anhydride and sodium acetate.
   (a) di acetate (b) tetra acetate
   (c) penta acetate (d) hexa acetate
8. The amino acid without chiral carbon is
   (a) Glysine (b) Alanine (c) Proline (d) Thyrosine
9. The building block of proteins are
   (a) α-hydroxy acids (b) α-amino acids
   (c) β-hydroxy acids (d) β-amino acids
10. Which is not true of amino acid ?
   (a) amino acid forms Zwitter ion
   (b) has isoelectric point
   (c) dual behaviours
   (d) amino acid is insoluble in NaOH solution

11. Two amino acids say A, B- react to give
(a) two dipeptides (b) three dipeptides
(c) four dipeptides (d) only one

12. A di peptide does not have
(a) two peptide units (b) portions of two amino acids
(c) an amido group (d) salt like structure

13. Proteins are not sensitive to
(a) acids (b) bases
(c) elevated temperature (d) water

14. Denaturation does not involve
(a) breaking up of H– bonding in proteins
(b) the loss of biological action of enzyme
(c) the loss of secondary structure
(d) loss of primary structure of proteins

15. Specificity of enzyme is due to
(a) the sequence of amino acids
(b) secondary structure
(c) tertiary structure
(d) all of the above

16. Ultimate products of hydrolysis of proteins is
(a) aniline (b) aliphatic acid
(c) amino acid (d) aromatic acid

17. Proteins are
(a) polypeptides (b) poly acids
(c) poly phenols (d) poly esters

18. Which of the following contains a lipid ?
(a) starch (b) mineral oil
(c) edible oil (d) peptide

19. Which among the following contains triglyceride ?
(a) Wax (b) Cooking oil
(c) Essential oil (d) Albumin

20. Which contains a long chain ester ?
(a) wax (b) cooking oil
(c) turpentine oil (d) cellulose

21. An example of a fatty acid obtained from a cooking oil is
    (a) acetic acid (b) stearic acid
    (c) benzoic acid (d) oxalic acid
22. Which is not a saturated fatty acid ?
    (a) Palmitic acid (b) Stearic acid
    (c) Oleic acid (d) Glyceric acid
23. Alkaline hydrolysis of cooking oil gives
    (a) soap (b) glycerol
    (c) fatty acid (d) both (a) and (b)
24. Hair and nail contains
    (a) cellulose (b) fat
    (c) keratin (d) lipid
25. Important constituent of cell wall is
    (a) lipid (b) cellulose
    (c) protein (d) vitamin

(B) Answer in one or two sentences :

1. What are carbohydrates ? Give two examples
2. Give the structure of sucrose.
3. What is starch ? What are the ultimate hydrolysis products ?
4. What is the action of con. HI on glucose ?
5. What is Saponification ?

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Outline the classification of carbohydrates giving example for each.
2. How can a reducing sugar differ from non-reducing sugar.
3. Distinguish glucose from fructose.
4. Show the formation of a peptide bond with an equation.
5. Mention the biological importance of lipids.
6. Write about the preparation and properties of glucose.
7. How is the structure of fructose determined ?
8. Write short notes on the manufacture of Soap and Wax ?

SUMMARY :

The molecules, which form the basis of our life, are complex molecules called biomolecules which in turn combine and form the living beings, carbohydrates, proteins, nucleic acids and lipids are biomolecules.

Carbohydrates are polyhydroxy aldehydes or polyhydroxy ketones. They are naturally occuring organic substances.

Proteins are complex polyamides formed from amino acids. They are essential for proper growth and maintenance of body. They contain many peptide –CO–NH– bonds. Therefore, proteins are long polymers of amino acids linked by peptide bonds.

Amino acids are the compounds which contain carboxylic acid group and amino group. Amino acids form proteins. Except glycine all the α-amino acids are optically active. The dipolar form of aminoacid is called **Zwitter ion.** The pH at which the amino acid shows no tendency to migrate when placed in an electric field is known as isolectric point.

REFERENCES :

1. Organic Chemistry by Morrison and Boyd.

2. Chemistry of natural products by O.P. Agarwal Vol. I and II.

22. CHEMISTRY IN ACTION

LEARNING OBJECTIVES

- *To know the applications of chemistry for overcoming numerous problems faced by the mankind in various fields.*
- *To learn the uses of chemical compounds in the field of medicine as anesthetics, analgesics, antipyretics, antiseptics and antimalarials, etc.*
- *To study the nature of Dyes and their applications.*
- *To know the applications of chemical compounds as food preservatives, artificial sweetening agents, antioxidants.*
- *To know about rocket propellants.*
- *To learn about the modern chemical industry's chief product - polymers. A detailed account of types, preparation and uses of polymers are given.*

We find ourselves associated with hundreds of things which are either chemical in nature themselves or have their origin in chemistry. Thus, the proverb, ''*Chemistry is not for chemists alone*'' is true in its absolute term. It has helped in overcoming a large number of problems faced by the mankind in recent past, in the fields of food, shelter and disease.

To a common man, however, this contribution of chemistry remains unknown though not unnoticed. Here, in this unit, a brief account of ''*chemistry in action*'' is presented.

22.1 MEDICINAL CHEMISTRY

The chemical compounds which exert, various physiological effects of therapeutic value are called **drugs**. Drugs fall into two general categories :

(i) The drugs that are used in the treatment and cure of any specific disease.

(ii) The drugs that have some characteristic effect on the animal organism, but do not have any remedial effect for a particular disease. This class includes, morphine, cocaine etc.

The effects of the drugs belonging to the first category are described by the term **chemotherapy.**

Treatment of certain diseases by destroying the *invading organism* without damaging the cells of the host, by the use of certain organic compounds in known as chemotherapy.

1. Anaesthetics

The drugs which produce loss of sensation are called anaesthetics. They are classified into two types. (i) **General anaesthetics** are the agent, which bring about loss of all modalities of sensation, particularly pain along with 'reversible' loss of conciousness. (ii) **Local anaesthetics** prevent the pain sensation in localised areas without affecting the degree of conciousness.

(i) Nitrous oxide N_2O : It is a colourless, inoragnic non-irritating gas. It is the safest of the anaesthetic agents. This is used after mixing general anaesthetics like ether.

(ii) Chloroform $CHCl_3$: Volatile liquid. It has pleasent smell and sweet taste. With oxygen it forms a toxic carbonyl chloride. Hence it is not used now.

(iii) Ether : The present form of $C_2H_5–O–C_2H_5$ is a volatile liquid. This is mixed with stabilizer 0.002% propyl halide. After absorption by tissues it attacks the central nervous system and makes unconcious.

2. Analgesics

Analgesics are the compounds which relieve all sorts of pains without the loss of consciousness. These are also called as *pain killer*, or *pain relievers*. These are effective in headaches, myalgia and arthalgia.

Examples : Aspirin, Novalgin are commonly used analgesics. Aspirin acts both as antipyretic as well as analgesic. Certain narcotics (which produce sleep and unconsciousness) are also used as analgesics.

3. Antipyretics

Antipyretics are the compounds which are used for the purpose of reducing fever (lowering the body temperature to the normal). The most

common antipyretics are, aspirin, antipyrine, phenacetin, and paracetamol. Their administration (taking these drugs) often leads to perspiration.

acetyl salicylic acid
(aspirin)

phenacetin

p-acetamidophenol
(paracetamol)

4. Antiseptic :

Antiseptic is a substance that rendors micro organisms innocuous by killing them or preventing their growth. This term is used particularly for preparations applied to living tissues.

(i) Iodoform, CHI_3 is used as an antiseptic and its 1% solution is a disinfectant.

(ii) 0.2 percent solution of phenol acts as an antiseptic and its 1% solution is a disinfectant.

5. Antiprotozoals (Antimalarial)

Malaria causes shivering and fever. The body temperature rises to 103-106°F. It causes physical weakness with the side-effects in lever and also causes aneamia.

Extracts of certain plants, specially the roots and stems, are extensively used as antimalarial. Cinchona bark which gives rise to quinine acts as antimalarial. The last antimalarial discovered in 1961 is pyrimethamine. However, quinine, primaquine and chloroquine are some of the best antimalarials.

Chloroquine is used specially to control malarial parasite of the ovale vivax etc. It is not used in curing the disease. It is used as a mixture with other antimalarials.

6. Antibiotics

Many microorganisms (bacteria, fungi and moulds) produce certain chemicals which inhibit the growth or metabolism of some other microorganism. Such chemical compounds are known as *antibiotics*. These need be present only in low concentration to be effective in their antibiotic action. The first antibiotic, discovered by Alexander Fleming in1929, from mould Penicillium notatum, was penicillin.

There are three main sources of antibiotics.

(i) Bacteria (ii) Fungi and (iii) Actinomycetes

Penicillins

Penicillins is the name given to the mixture of natural compounds having the molecular formula $C_9H_{11}N_2O_4$ S - R, and differing only in the nature of R. Depending upon the nature of R, there are at least six natural penicillins.

Uses. Penicillin is extensively used for rheumatic fever, **narrowing of heart wall,** bronchitis, and pneumonia etc.

7. Antacids

Quite often, after eating oily and spicy food, one may feel uncomfortable due to some burning sensation in stomach/food pipe. This is due to the imbalance in the acidity in the stomach.

Certain drug formulations provide relief from such burning sensation. These are known as **antacids.**

Antacids are available in tablet as well as gel/syrup forms. These antacids contain magnesium and aluminium hydroxides, in addition to flavouring agents and colour.

8. Antispasmodics

There are a group of medicines that include natural bellodona alkaloids (atropine, bellodona).

These medicines are used to relieve cramps, spasms of the stomach, intestines and bladder. Some are used with antacid, or other medicine in the treatment of peptic ulcer. These medicine prevent nausea, vomiting and motion sickness. In certain surgical and emergency procedure, these are used to help relax stomach and intestine for certain types of examination or diagnosis.

Example : Anisotropine, Atropine, Dicyclomine, Cindinium cap

22.2 DYES

Since time immemorial, human beings have been fascinated by colour. In the beginning, the colour materials were extracted from vegetable sources. Now a days, such substances are synthesized in factories through simple chemical reactions.

Dyes are coloured compounds used in imparting colour to textiles, food stuffs etc. A dye should have the following characteristics.

(i) It should have a suitable colour.

(ii) It should be able to fix itself or be capable of being fixed to the fabric.

(iii) It should be fast to light.

(iv) It should be resistant to the action of water, dilute acids and alkalies (all detergents and washing soaps are alkaline in nature).

Many natural dyes have been known for a long time. These were obtained from vegetable sources. Now a days, practically all the dyes are synthetic, and are prepared from aromatic compounds obtained from coal tar. Therefore, such dyes are sometimes called as *coal tar dyes.*

22.3 Colour and Structure of Dyes

The relationship between the colour of a substance and its structure was explained by a German scientist Otto Witt (1876) through the **chromophore and auxochrome** theory. According to this theory,

(i) An organic compound appears coloured due to the presence of certain *unsaturated groups* (the groups with multiple bonds) in it. Such groups with multiple bonds are called **chromophores**.

Some typical chromophores are,

Nitro		Azoxy	$-N=\overset{\vert}{N}\rightarrow O$	Carbonyl	$>C=O$
Azo	$-N=N-$	Quininoid		Polyene	$-(HC{=}CH)_n-$

(ii) The compounds containing the chromophore group is called **chromogen.** The colour intensity increases with the number of chromophores or the degree of conjugation. For example, ethene ($CH_2 = CH_2$) is colourless, but the compound $CH_3 - (CH = CH)_6 - CH_3$ is yellow in colour.

(iii) The presence of certain groups which are not chromophores themselves, but deepen the colour of the chromogen. Such supporting groups are called **auxochromes.** Auxochromes may be acidic (phenolic) or basic. Some important auxochromes are –OH, $-NH_2$, –NHR, NR_2.

The presence of an auxochrome in the chromogen molecule is essential to make it a dye. However, if an *auxochrome* is present in the meta position to the chromophore, it does not affect the colour. For example, in the compound p-hydroxyazobenzene (a bright red dye),

(a) azobenzene, is the chromogen

(b) diazo group, – N = N – is the chromophore

(c) hydroxyl group, –OH is auxochrome

22.4 CHEMICALS IN FOOD

Foods can also be preserved by using certain chemical substances which can kill the food spoiling microorganisms. These chemical substances either directly kill such organisms, or produce some other chemical substance in the preserved food which then kills the food spoiling microorganisms. This method of food preservation is called **chemical preservation.**

A chemical substance which prevents the spoilage of food material by destroying the food-spoiling microorganisms in it is called a **food preservative.**

Sodium benzoate, and potassium metabisulphite are used for food preservation.

Sodium benzoate is used to preserve fruit juices and squash as sodium benzoate is soluble in water. It kills the food spoiling microorganisms.

Potassium meta-bisulphite is used for preserving the colourless fruits like apple, litchi, mango chutney and lemon squashes etc. Potassium metabisulphite reacts with the acid of fruit/juice and produces SO_2, which kills the microorganisms.

22.4.1 Artificial Sweetening Agents

Mono and disaccharides are sweet in taste. Sweetness is commonly associated with sugars. However, certain organic compounds which have been synthesized in laboratories are known to be many times sweeter than canesugar. Such compounds are called **artificial sweetening agents** or **artificial sweetners.**

Some commonly used artificial sweetners are, (i) Saccharin, (ii) Dulcin, (iii) Cyclamate, (iv) Nectarin and (v) Sucralose

22.4.2 Antioxidants

The substances that act against oxidants are called **antioxidants.** Antioxidants thus minimise the damage caused by oxidants. Antioxidants protect us against cardiovascular disease, cancer and cataract and they slow down the effect of ageing. The most important antioxidants are vitamin C, vitamin E and β-carotene.

Antioxidants act as radical inhibitors. These antioxidants can be used as food preservatives. Vitamin E is a naturally occurring preservative found in vegetable oil.

22.5 ROCKET PROPELLANTS

Rockets have been in use since early fifty's. Russians used powerful rockets to put their space vehicles in space. United States of America used Saturn rockets for their Apollo space missions. India has recently launched its satellite launch vehicle SLV-3 from Sriharikota.

Rocket motors are used both in space vehicles and in offensive weapons such as missiles. The *propulsion system* in most space vehicles consists of rocket engines powered by chemical propellants. These also called *rocket propellants*.

Propellants are combustible compounds which on ignition undergo rapid combustion to release large quantities of hot gases. A propellant is a combination of an *oxidiser* and a *fuel*.

Working of a propellant. When a propellant is ignited, it burns to produce a large quantity of hot gases. These gases then come out through the nozzle of the rocket motor. The passage of gases through the nozzle of the rocket motor, provides the necessary thrust for the rocket to move forward according to the Newton's Third law of Motion (to every action, there is an equal and opposite reaction).

Some of the examples for propellents are Hydrazine, Liquid hydrogen, Polyurethane, etc.

22.6 POLYMERS :

A polymer is a giant molecule obtained by intermolecular combination of a large number of small molecules of the same or different type.

22.6.1 Polyalkenes

Polyalkenes are the polymers which are derived from unsaturated hydrocarbons containing double bond. Important polymers of this class are :

(a) **Polyethylene, (polyethene).** It is obtained from ethylene (ethene). Ethene polymerizes under high pressure and high temperature to give polyethene (also called polyethylene). This polymerization is catalysed by traces of oxygen or organic peroxides.

$$\underset{\text{ethene}}{nCH_2 = CH_2} \xrightarrow[\text{high pressure}]{\text{peroxide, high temp.}} \underset{\text{polyethene}}{-(-CH_2 - CH_2-)_n}$$

(b) **Polystyrene.** This polymer is obtained from the monomer styrene ($C_6H_5 - CH = CH_2$). The mechanism of polymerization is similar to that for other alkene polymers.

$$\underset{\text{styrene}}{nC_6H_5 - CH = CH_2} \longrightarrow \underset{\text{polystyrene}}{-(-CH_2 - \underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{CH}}-)_n-}$$

Properties and Uses : Polystyrene is good transparent polymer. It is used for hot-drink cups, toys, household articles, etc.

(c) **Synthetic rubbers.** Synthetic rubbers obtained from butadiene are :

(i) Buna rubbers (ii) Butyl rubbers

Buna rubbers

Buna rubbers are obtained as a result of polymerisation / copolymerisation of butadiene with acrylonitrile or styrene. There are two types of Buna-rubbers.

Buna-S. It is obtained by the polymerization of butadiene and styrene in presence of sodium metal.

$$\underset{\text{butadiene}}{nCH_2{=}CH{-}CH{=}CH_2} + \underset{\text{styrene}}{n\underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{CH}} = CH_2} \xrightarrow{Na} \underset{\text{buna-S}}{-(-CH_2{-}CH{=}CH - CH_2 - \underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{CH}} - CH_2-)_n-}$$

In the name Buna-S, *Bu* stands for butadiene, *na* for sodium (acting as polymerization initiator), and S- for styrene.

Buna-S is also called General Purpose Rubber Styrene (GRS). In actual practice, it is obtained as a result of copolymerisation of three parts of butadiene with one part of styrene.

Properties and Uses : Neoprene and Buna-S are extremely resistant towards wear and tear and used for the manufacture of tyres, rubber tubes and other mechanical rubber goods.

Buna-N. It is obtained as a result of copolymerisation of two parts of butadiene with one part of acrylonitrile in the presence of sodium metal. The reaction is,

$$2CH_2=CH-CH=CH_2 + CH_2=\underset{\underset{CN}{|}}{CH} \xrightarrow{Na} -(-(CH_2-\underset{\underset{\underset{CH_2}{\|}}{CH}}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\underset{\underset{CH_2}{\|}}{CH}}{\underset{|}{CH}}-\underset{\underset{CN}{|}}{CH}-CH_2-)_n-$$

butadiene acrylonitrile Buna-N

Properties and Uses : Buna-N rubber is hard and extremely resistant to the swelling action of oils (petrol), solvents, heat etc. Therefore, it is used for the manufacture of storage tanks for the solvents.

22.6.2 CONDENSATION POLYMERS

Some important condensation polymers of commercial/industrial interest are described below.

(i) Polyesters

The polymers having ester linkage are known as *polyesters*. Some important polyesters are : Terylene (dacron) and glyptal.

(ii) Polyamides

The polymers having an amide linkage between their monomers are called polyamides. Typical polyamide polymers are described below.

(a) Nylon-66. It is obtained by condensing adipic acid with hexamethylenediamine with the elimination of water molecule. The chain length depends upon the temperature and time for which the process is carried out.

$$nH_2N(CH_2)_6NH_2 + nHO-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_4-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-OH \longrightarrow -\left(\overset{\overset{H}{|}}{N}-(CH_2)_6-\overset{\overset{H}{|}}{N}-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_4-\overset{\overset{O}{\|}}{C}\right)_n-$$

hexamethylenediamine adipic acid nylon-66

The polyamides are identified by numbers. These numbers refer to the number of carbon atoms in diamine and in the dibasic acid. As in the above case, the carbon atoms are 6 in each case, therefore, the product is described as nylon-66.

Properties and Uses : Nylon-66 is a linear polymer, and has very high tensile strength. It shows good resistance to abrasion. Nylon-66 is usually fabricated into sheets, bristles for brushes and in textile. Crinkled nylon fibres are used for making elastic hosiery.

22.6.3 Formaldehyde Resins

Formaldehyde resins are typical thermosetting plastics. This class of plastics include phenol-formaldehyde, urea-formaldehyde and melamine-formaldehyde resins. On heating, these resins become highly cross-linked thereby forming infusible and insoluble product.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The substance capable of absorbing blue light from the visible radiation would appear
   (a) yellow (b) yellow-green (c) red (d) blue
2. The unsaturated group(s) present in an organic compound is/are called
   (a) chromogens (b) auxochromes
   (c) no specific name (d) chromophores
3. If an auxochrome does not affect the colour of the chromogen, it should be present in the ..... position relative to chromophore.
   (a) para- (b) meta- (c) ortho- (d) same-
4. In the compound, $O_2N–C_6H_4–N=N–C_6H_4–N(CH_3)_2$, the chromophore is
   (a) $–NO_2$ (b) – N = N – (c) $– NO_2$ and –N = N – (d) $–N (CH_3)_2$
5. Diazonium salts give coupling reactions with
   (a) alcohol (b) aromatic amines (c) all amines (d) amines and phenols
6. Substances which bring the body temperature down to normal temperature are known as
   (a) antipyretics (b) analgesics (c) antibiotics (d) none
7. The compound which acts both as antipyretic as well as analgesic is
   (a) phenacetin (b) sulpha drugs (c) paracetamol (d) aspirin

8. A 1% solution of phenol is a
   (a) antiseptic (b) disinfectant (c) antimalarial drug (d) antihistamine
9. The medicine used for curing rabies is called
   (a) antibacterial (b) antiviral (c) antifungal (d) antibiotics
10. The substance that function as a moisture barrier between the skin and the atmosphere is called
   (a) preservative (b) emulsifier (c) anticaking agent (d) moisturizer

(B) Answer in one or two sentences :

1. Define chemotherapy.
2. What are anaesthetics ? Give one example.
3. In what way antipyretics are important.
4. Why Iodoform and phenolic solutions are called antiseptic ?
5. Give two examples of antimalarials.
6. What are antibiotics ?
7. In what way antacids are important ?
8. What are antipasmodics ?
9. Give any two characteristics of Dye.
10. What are chromophores ? Give two examples.
11. What are artificial sweetening agents ? Give two examples.
12. What is Buna-S ?

(C) Answer not exceeding sixty words :

1. Write briefly on antibiotics ? In what way antipasmodics are helpful ?
2. Explain briefly on characteristics of rocket propellants.

SUMMARY :

The chemicals which can cure several diseases are called drugs. Medicinal chemistry deals with action of various chemical compounds which are used as drug. Each drug is unique in character. Anaesthetics, analgesics, antipyretics, antimalarials, antacids, antispasmodics are very important. The nature of dyes and the relation between colour and structure of dyes. Chemicals used in food, are also dealt with. Rocket propellants are discussed briefly. A detailed account on polymers like, addition, condensation polymers, discussed.

REFERENCES :

1. Biochemistry by Leninger.
2. Pharmaceutical Chemistry by Ghosh.

GENERAL REFERENCES TO ORGANIC CHEMISTRY

1. Organic Chemistry - Graham Solomons, Craig Fryhle & Robert Johnson, John Wiley & Sons - 7th edition.

2. Solutions Manuel - Graham Solomons, Craig Fryhle & Robert Johnson, John Wiley & Sons - 7th edition.

3. Schaum's Solved Problems Series in Organic Chemistry - Tata McGraw-Hill Edition - 2003.

4. Problems in Organic Chemistry - Mrs. Rosenbe, Raja & Publication.

5. Keynotes in Organic Chemistry - Andrew. F. Pearson. Black Well Publishers.

6. Stereochemistry of Carbon Compounds - Ernest I. Eliel. Tata McGraw-Hill Edition Publishing Co.

7. Organic reactions, Conversions, Mechanism & Problems. - R.D. Madan, S.Chand & Co. Ltd.

8. A guide book to Mechanism in organic chemistry. - Peters Sykes - Pearson Education Ltd.

9. Organic Chemistry - G. Mac Loudon - Oxford University Press - 2002.

10. Text Book of Organic Chemistry - P.L. Soni.

11. Text Book of Organic Chemistry - Bahl and Arun Bahl.

12. A Text Book of Pharmaceutical Chemistry - Jayashree Ghosh - S.Chand & Co.

✧ ✧ ✧ ✧ ✧

CORRECTED PAGES

(MAY 2016)

emulsifying agents are heavy metal salts of fatty acids, long chain alcohols, lampblack, etc.

Emulsions can be diluted with any amount of the dispersion medium. On the other hand, the dispersed liquid when mixed, forms at once a separate layer. The droplets in emulsions are often negatively charged and can be precipitated by electrolytes. They also show Brownian movement and Tyndall effect. Emulsions can be broken into constituent liquids by heating, freezing, centrifuging, etc.

SELF EVALUATION

(A) Choose the correct answer :

1. The migration of colloidal particles under the influence of an electric field is known as
   (a) electroosmosis (b) cataphoresis
   (c) electrodialysis (d) dialysis
2. Which one is the correct factor that explains the increase of rate of reaction by a catalyst
   (a) shape selectivity (b) particle size
   (c) increase of free energy (d) lowering of activation energy
3. Fog is a colloidal solution of
   (a) gas in liquid (b) liquid in gas
   (c) gas in solid (d) solid in gas.
4. The phenomenon of Tyndall's effect is not observed in
   (a) emulsion (b) colloidal solution
   (c) true solution (d) None
5. The Tyndall's effect associated with colloidal particles is due to
   (a) presence of charge (b) scattering of light
   (c) absorption of light (d) reflection of light
6. In case of physical adsorption, there is desorption when
   (a) temperature increases (b) temperature decreases
   (c) pressure increases (d) concentration increases
7. Colloidal medicines are more effective because
   (a) they are clean
   (b) they are easy to prepare
   (c) the germs more towards, them
   (d) they are easily assimilated and adsorbed
8. Oil soluble dye is mixed with emulsion and emulsion remains colourless then, the emulsion is
   (a) O/W (b) W/O (c) O/O (d) W/W

$$= 1.56 - \frac{0.0591}{2} \log \frac{[10^{-3}]}{[10^{-1}]^2}$$

$$= 1.56 - 0.02955 (\log 10^{-1})$$

$$= 1.56 + 0.02955$$

$$= 1.58955 \text{ V}$$

Calculation of Equilibrium constant for the cell reaction

The Nernst equation for a cell is

$$E_{cell} = E^o_{cell} - \frac{0.0591}{n} \log K$$

or $$\log K = \frac{n E^o_{cell}}{0.0591}$$

Example 3 : Calculate the equilibrium constant for the reaction between silver nitrate and metallic zinc.

Solution :

Step 1 : Write the equation for the reaction

$$2Ag^+ + Zn \rightleftharpoons Zn^{2+} + 2Ag \qquad E^o_{cell} = 1.56 \text{ V}$$

Step 2 : Substitute values in the Nernst equation at equilibrium

$$\log K = \frac{n E^o_{cell}}{0.0591}$$

$$= \frac{2 \times 1.56}{0.0591}$$

$$\log K = 52.79$$

$$K = 6.19 \times 10^{52}$$

Example 4 : Calculate the E.M.F. of the zinc - silver cell at 25°C when $[Zn^{2+}] = 0.10$ M and $[Ag^+] = 10$ M. (E^o cell at 25°C = 1.56 volt]

Solution : The cell reaction in the zinc - silver cell would be

$$2Ag^+ + Zn \rightleftharpoons 2Ag + Zn^{2+}$$

Nucleophilic substitution of alkyl halide or alcohol by **Ammonolysis.** (Ammonia is the nucleophile in this reaction).

(a) $CH_3Br + NH_3 \longrightarrow CH_3NH_2 + HBr$

$CH_3Br + CH_3NH_2 \longrightarrow (CH_3)_2NH + HBr$

$CH_3Br + (CH_3)_2NH \longrightarrow (CH_3)_3N + HBr$

$CH_3Br + (CH_3)_3N \longrightarrow (CH_3)_4N^+Br^-$

Tetramethyl ammonium bromide (a quarternary ammonium salt)

(b) Amines can be prepared by passing the vapours of alcohol and ammonia over heated alumina at 673 K. A mixture of primary secondary and tertiary amines are produced.

$$CH_3CH_2OH + NH_3 \xrightarrow[723K]{Al_2O_3} \underset{1^o\text{ amine}}{CH_3CH_2NH_2} + H_2O$$

$$CH_3CH_2OH + CH_3CH_2NH_2 \xrightarrow{Al_2O_3} \underset{\substack{2^o\text{amine}\\ \text{diethyl amine}}}{(CH_3CH_2)_2NH} + H_2O$$

$$CH_3CH_2OH + (CH_3CH_2)_2NH \xrightarrow{Al_2O_3} \underset{\substack{3^o\text{ amine}\\ \text{triethylamine}}}{(CH_3CH_2)_3N} + H_2O$$

In both of the above methods, pure amines cannot be prepared. Only mixture of amines are obtained.

7. **Gabriel's phthalimide synthesis** of primary amine.

POLITICAL SCIENCE

HIGHER SECONDARY- SECOND YEAR

A Publication under
Government of Tamilnadu
Distribution of Free Text book Programme
(NOT FOR SALE)

Untouchability is a sin
Untouchability is a crime
Untouchability is inhuman

TAMILNADU TEXTBOOK AND EDUCATIONAL SERVICES CORPORATION
College Road, Chennai - 600 006

© Government of Tamilnadu
First Edition - 2005
Revised Edition - 2017

CHAIRPERSON

Dr. S. Subramanian
Former Professor and Head
Department of Political Science
Madurai Kamaraj University
Saraswathi Illam, # 46, Chetty Street
Ayanavaram, Chennai

REVIEWERS

Dr. V.N. Viswanathan
Reader in Political Science
Presidency College, Chennai

Dr. A. Karuppan
Lecturer (Selection Grade)
Political Science
Presidency College, Chennai

AUTHORS

Dr. K. Palanisamy
Guest Faculty
Anna Centre for Public Affairs
University of Madras, Chennai

N.K. Kumaresan Raja
Lecturer in Political Science
Annamalai University
Annamalai Nagar

Dr. G. Sundararaman
Post-Graduate Teacher
(Political Science)
M.M.A. Govt. Hr. Sec. School
Pallavaram, Chennai

Mrs. G. Vasumathi
Assistant Headmistress
Tarapore and Loganathan
Hr. Sec. School for Girls
Ayanavaram, Chennai

Price :

This book has been prepared by the Directorate of School Education on behalf of the Government of Tamilnadu

This book has been printed on 60 GSM Paper

Printed by Offset at:

Preface

Society enables man to achieve talents and qualities by virtue of which he can make progress and acheive superiority over other living beings. Politics helps to resolve social conflicts in society and help man to live in harmony with other fellow beings. Political Science deals with man in relation to the state and government. Political science is a branch of study which is concerned with political aspect of man's life in society as distinct from the economic, philosophical, ethical and other aspects. The 12th syllabus has been revised in tune with changed social, political and economic situations. The content of the syllabus has more contemporary relevance of the topics it has presented and prepared to test the knowledge of the students in relation to the problems of governance and political participation. A new outlook of the syllabus includes the international dimension of politics such as globalisation and India in the year 21st century. Careful attention has been paid in linking last year syllabus to the second year. By studying political science as an optional subject at the higher secondary level the students are motivated to compete for civil services examination both at state and union level.

Goals and Objectives

A. Goals

- To promote a critical understanding of the political concepts and systams.
- To prepare students for more effective and responsible critizenship;
- To prepare students for further higher study in political science, law and journalism

B. Objectives

The students will have demonstrated the ability to:

Compare cross-nationally the forms and incidence of political participation, processes of interest articulation aggregation including interest groups and political party systems, formal decision-making processes including legislative-executive relations and the roles of the judiciary and the bureaucracy, and policies including civil liberties, welfare and national security. A clear understanding of what is the appropriate role of the supreme Court in reviewing the constitutionality of legislation is also highlighted.

It identifies and explains the changes in the international system, the nature and cause of international conflict and method of conflict resolution the conditions for alliance formation and dissolution strategies for international bargaining and negotiation the role of transnational and, international organizations and multinational corporations, and the nature of the cleavages between. East and West and between North and South.

The authors of the lessons and members of textbook committee express their appreciation to the authorities of High Secondary Education of Tamilnadu Government for entrusting them with this task.

Chairperson
and
Committee Members

SYLLABUS

1. Development of State

1.1 City state

1.2 Feudal state

1.3 Nation state

1.4 Socialist state

1.5 Welfare state

2. Theory of the Origin of the State

2.1 Divine origin theory

2.2 Social contract theory

2.3 Matriarchal theory

2.4 Patriarchal theory

2.5 Force theory

2.6 The historical theory

3. New Political Science

3.1 Meaning and nature of the concept

3.2 Uses of political power

3.3 Nature and importance of authority

3.4 Nature and uses of influence

4. Challenges to State Sovereignty

4.1 Erosion of national sovereignty

4.2 Globalisation and challenges to state sovereignty

5. Forms of Government

5.1 Unitary

5.2 Federal

5.3 Parliamentary

5.4 Presidential

5.5 Collegiate

5.6 Modern dictatorships

5.7 Distinction between unicameral and bicameral legislature

6. Judiciary

6.1 Need and importance of judiciary

6.2 Qualifications for judges.

6.3 Judicial review

6.4 Judicial activism

6.5 Independence of judiciary

7. Indian Government and Politics

7.1 Salient features of Indian Constitution

7.2 Organisation of Central Government

7.2.1 President

7.2.2 Prime Minister

7.2.3 Council of Ministers

7.2.4 Speaker

7.2.5 Parliament - Rajya Sabha

7.2.6 Parliament - Lok Sabha

7.2.7 Supreme Court

7.2.8 Indian political parties

8. Organisation of State Government - Tamilnadu

8.1 Governor

8.2 Chief Minister

8.3 Council of Ministers

8.4 Legislature

8.5 High Court including subordinate judiciary

8.6 State Secretariat

8.7 District Administrative Structure

9. Local Self Government in Tamil Nadu

9.1 Structure of Local Self Government in Tamil Nadu

9.2 Urban

9.2.1 Municipal Corporations

9.2.2 Municipalities

9.2.3 Townships

9.2.4 Cantonments

9.2.5 Town Area Committees

9.2.6 Notified Area Committees

9.3 Rural

9.3.1 Three Tier Panchayat System

9.3.1.1 District Development Council

9.3.1.2 Panchayat Union

9.3.1.3 Gram Panchayat

9.3.2 Functions of Panchayat bodies

9.4 Evaluation of working of the Panchayat Raj System

10. India in the 21st Century

10.1 Present position

10.2 Plans for the future

CONTENTS

		Page
1.	Development of State	1
2.	Theory of the Origin of the State	20
3.	New Political Science	33
4.	Challenges to State Sovereignty	42
5.	Forms of Government	52
6.	The Judiciary	65
7.	Indian Government and Politics	75
8.	Organisation of State Government - Tamilnadu	107
9.	Local Self Government in Tamilnadu	134
10.	India in the 21st Century	161

CHAPTER 1

DEVELOPMENT OF STATE

The State occupies the most important place among all social institutions. It is "the keystone of the social arch", as Laski says. In the words of Finer " the state is the supreme social frame work". Without state there would be chaos and confusion in the society. It is not only a natural but also a necessary institution. It exists to control and regulate the behaviour of the human beings. It protects the weak against the strong, maintains peace and order and serves the common good life of all individuals. Man cannot live without the state.

This lesson is about the evolution of the state. The state is the result of a slow and steady growth extending over a long period and has many stages in its development.

Different factors produced different types of states in different societies. It is difficult to show the stages of evolution which the modern nation state had to undergo during its emergence.

The process of the evolution of the state has not been uniform. In the early period there were the Oriental empire, Greek city-state, the Roman Empire, the Feudal state, the Nation state, socialist state and welfare state. The following typologies of state are described below: (1) City State, (2) Feudal State, (3) Nation- State,(4) Socialist State and (5) Welfare State.

1.1 CITY STATE

After the Oriental Empire there was the City-State in Greece around 1000 B.C. In fact, political theory may be said to begin with the Greek City-States. The Greek City-States were the first communities to have given conscious thought to "politics". Although the Greek political institutions were probably not unique, yet they presented the most fully developed instance of a way of life and government for which evidence is available.

When the Greeks settled in Europe, they were divided into local communities organised on the primitive model according to clans and tribes. Each clan and tribe occupied distinct valleys and islands into which Greece was broken up by sea and hills. These valleys and islands, over the lapse of time, became centers of political life sharply different from the Oriental Empires. From the history of the Greek City-States, and especially from the history of Athens, we can trace how the tribal administration gradually gave place to the local principle in government, and how the local community was developed into the City-a new political type of governance. The Greek City was a true

State in the modern sense of the term in which the political, economic, intellectual, and moral life of the people was focussed on the central city.

With the Greek City-State two ideas were integral. Each City was a politically organised State independent of others and proud of its independence. The Greeks never thought, and perhaps it was foreign to their nature, to merge their identify in any other City and to make a large unit of political administration. Secondly, the Greek City-State was deliberately limited in size and population. According to Greek political philosophy, the concentration of political, social and intellectual life at one central city was possible only when the State was small. Aristotle put definite limitations on the population and size of the State. He held that neither ten nor a hundred thousand could make a good State, because both these numbers were extremes. He laid down the general principle that the number should be neither too large nor too small. It should be large enough to be self-sufficing and small enough to be well governed.

The Greek City-State developed to the stage of a conscious effort directed to the realisation of liberty and equal laws. It was a great experiment not only in the art of self-government, but also in quest of virtue. To be a citizen of the State did not merely imply, in the Greek view, the payment of taxes and the casting of a vote. It implied a direct and active co-operation in all the functions of civil and military life. A citizen was normally a soldier, a judge and a member of the governing assembly. He performed his public duties in person; the Gods of the city were his Gods, and he attended all festivals. The State was, thus identified with society. The Greek City was at once a State, church and school and it embraced the whole life of man. Since the object of the State was to secure a good life for all citizens all forms of State control calculated to secure that end were considered proper and justified, and no line was drawn between matters of political, moral, religious and economic. Edmund Burke's description of the State as "a partnership in all science, a partnership in all art, a partnership in every virtue and in all perfection" was the real life of the Greek City-State, Athens at the height of her fame was regarded as the embodiment of all that was most advanced in Greek political ideas.

The City-States of Greece were typical examples of direct democracy in the modern sense of term. All citizens were directly associated with the governance of the State and it really meant the power of the people. But forms of government, according to Greek philosophers, were subject to cyclic changes. Monarchy was the first and in time it gave way to aristocracy. Aristocracy was succeeded by oligarchy. Then came polity and, finally, democracy. Democracy was held to be rule by the mob.

The Greek City-States fundamentally differed from the Oriental Empires. But there were snags, too, in the Greek political life. Their love of independence verging on separatism ultimately resulted in their collapse, when a powerful state arose in the

north under Philip of Macedonia. They were also wanting in what may be called the submissive virtues-patience, self-denial, and the spirit of compromise and tolerance. Their self-will and lack of disciplined life embittered the faction fight in their Cities between the rich and the poor, nobles and commons, friends of Athens and friends of Sparta. The works of the Greek historians and political thinkers clearly show that the Greek society of their time was not in a sound state. The philosophers were constantly asking the question, what virtue was, and how it might be taught. And they looked on this question as one of immediate and even urgent importance to society. They felt that their countrymen were thinking too much of liberty : and far too little of discipline. They foresaw that a people in this state of mind must fall before that power whose people were better disciplined than the Greeks. The Macedonians, and after them the Romans, proved the truth of this forecast.

The Greeks were also wanting in humanity. They made liberty the exclusive right of superior people and denied the same to others what they valued for themselves the most. Even the wisest of the Greeks regarded slavery as a natural institution and they never dreamt that civilised life was possible without slavery. Athens, for example, had only about 20,000 citizens who obtained leisure for their public duties by turning over all the rough work to a much larger body of slaves. Slavery is incompatible with civilisation and, as such, with democracy. A democratic society is one in which all enjoy equal rights and privileges without any barrier of class distinction. The brotherhood of man is its basis and all its members are equal.

The Greek City-State was an all-inclusive partnership in every aspect of human existence. But this broad inclusiveness made the Greeks neglect one of the most essential of political problems, that of clearly defining the functions of the State and separating it from various other associations which composed, society. “The failure to distinguish the State from the community” says Mac Iver, “left Athenian liberty itself a monument broken and defaced. The all-inclusive State, whether its dimensions are those of the city or nation, cannot draw the line between law and customs, between enforcement and spontaneity, between the conditions of order and those of culture, so long as the theory is accepted that the State is omnipotent. Under such a theory no form of life is safe, no religion, no opinion, unless its adherents control the government. So the very diversity which enriches a civilisation when recognised as existing of right, creates under the principle of the ‘universal partnership’ those violent and factious oppositions which on the contrary destroy it”.

1.2 THE FEUDAL STATE

The downfall of Rome meant the death of the ‘State‘ in Western Europe. A long period of confusion followed. The Teutonic barbarians who invaded Rome from the north were still living in the tribal stage, not yet having conceived of strong central authority. They were lovers of local independence and individual liberty and their kings were simple successful war Chiefs. The freemen had a voice in all public affairs.

When such people came into contact with the Roman political system which was characterised by order, unity, and centralisation conflict was the inevitable result. Out of this conflict feudalism arose as a compromise between the clan type of society represented by the Teutonic barbarians and the imperial State type represented by Romans. It is easy enough to decry feudalism and belittle its importance in the

evolution of the State. It has been rightly said that it was not a system at all. But in the anarchic state into which society had fallen following the decline of Rome, it was feudalism which gave the people of Europe comparative peace and protection and preserved the machinery of the State. It was confusion roughly organised. It marked the transition from the imperialism of the Roman world to the nationalism of the modern world.

Rise of Feudal State

On the decline of the Roman Empire, the vast territories of Rome fell into the hands of powerful Nobles. Each of these Nobles became an authority unto himself and each by a process of ‘sub- infeudation‘ of land created a community of his own around him. The supreme lord parcelled out his land among the tenants-in-chief, and the tenants-in-chief among the tenants, and the tenants in turn among the Vassals and Serfs. Thus a hierarchy was built upon the basis of land-holding. A rigid system of classes was established and the ‘State‘ was swallowed up in the community. Services of various kinds, particularly military, were rendered to the immediate overlord, and the control of the supreme lord, or king, at the top of the social and economic ladder over the Vassals and Serfs at the bottom of the ladder was indirect and remote. The loyalty of each class was in the first instance to the class immediately above it. As a result of such limited loyalty, the idea of a sovereign power reigning supreme in a given territory remained foreign to the feudal period. In the place of a system of

uniform and impartial law which the Romans had done so much to build up, there was reversion to custom as law. Real political progress was impossible as long as feudal ideas prevailed. Yet feudalism was not synonymous with anarchy. It justified its existence by providing peace and protection to the people of Europe. It was based upon personal loyalty and contract. In its later stage, particularly in England, where allegiance to the king took precedence over allegiance to the immediate lord, it helped the growth of the 'Nation State'.

Another institution which survived the confusion following the downfall of the Roman Empire was the Christian Church. Christianity began as a humble faith among the lower classes of society, but in the course of a few centuries it reached mighty proportions and about the year 337 A.D. the Roman Emperor Constantine was converted to Christianity. By the end of the fourth century it was the only recognised religion in the Roman World. It built its organisation on the Roman imperial model and when the Empire fell to pieces, it was able to step into its place and give Europe order and peace. During long periods of the Middle Ages, it was able to control the State; and itself became a powerful temporal authority, holding in its possession considerable wealth, especially landed property.

In feudalism the Church found a valuable ally, for it was in the interest of the political aspirations of the Church that Western Europe should be kept divided with no common political superior to offer resistance to the extravagant claims of the Church. The Protestant Reformation which came soon after in effect ended the secular supremacy of the Church, and the way was prepared for national monarchies.

With all its imperfections, feudalism has rendered inestimable service to the European polity. The political unity and the way of life of the State, built up laboriously by Rome in Western Europe, were threatened with complete destruction in consequence of the barbarian invasions, which caused the downfall of her Empire. At such time, by welding together the strong sentiment of personal loyalty and the stable attachments connected with the possession of land, feudalism gave some order and avoided total chaos; it provided a temporary scaffolding or framework of order on which a true national life could grow.

Secondly, it fostered among the big landlords self-reliance and love of personal independence.

Turbulent, violent, and ungovernable as was the feudal aristocracy of Europe says Myers, 'it performed the grand service of keeping alive during the later medieval period the spirit of liberty. The feudal lords would not allow themselves to be dealt with arrogantly by their king; they stood on their rights as freemen'.

As against a royal tyranny, exceeding the bounds of law, the greater lords could oppose a military power greater than the king's.

The defect, however, of the feudal system was, as may be seen from the foregoing discussion, 'the confusion of public, and private rights', which was yet essential to it. It also rendered difficult the formation of strong national Government, as a country was split into a vast number of practically independent principalities. Briefly, it was liable to the disease of anarchy; indeed where the private ownership of land by a feudal chief was the basis of social order, anarchy was, inevitable. Adam's remark that the feudal system was confusion roughly organised sums up its true place in the evolution of European polity.

Feudalism in India

The Indian version of feudalism, could be studied in the form of Land Tenure System that prevailed in medieval India during the British period. It is not fair to equate the feudalism in Europe to Zamindari system in India, however the structure of the system have great resemblance with each other.

Zamindari System

India had since time immemorial taken a part of the agricultural produce as land revenue. It had done so either directly through its servants or indirectly through Zamindars, who collected the land revenue from the cultivator and kept a part of it as their commission. These intermediaries, known as Zamindari were primarily collectors of land revenue although they did sometimes own some land in the area from which they collected revenue.

The Zamindari system, was later modified and introduced in Northern and North Western India during the British period, and was called as Mahalwari system. Under this system, revenue settlement was to be made village by village or estate (Mahal) by estate with land lords or heads of families, who collectively claimed to be the land lords of the village or the state.

1.3 THE NATION-STATE

Origin of Nation State

Feudalism was only "a temporary scaffolding or framework order". It gave to the people of Europe some order, but a true national life could not grow on such a system. Many factors contributed to its decline. The general course of events had been that powerful lords subdued less powerful ones, and small kingdoms emerged by successful conquest or lucky marriage, and by the consolidation of an authority that was generally welcomed by the masses, if not by the more important lords, whose powers were gradually limited by the new monarchs. The Renaissance and the Reformation accelerated the pace of this change. The Tudors in England took advantage of the situation and demonstrated to the European countries how the people could unite and progress under a strong and centralised authority. The ties of unity were further fostered by the sentiments of nationality. Britian's insular position helped

the British in attaining the full stature of an organised and conscious nationhood. The attempt of the English, in the early fifteenth century, to dominate France roused the national spirit in that country too. A similar awakening, due to various causes, had come in Spain and Portugal. The sixteenth century saw the Danish and Swedish peoples also similarly organised.

A new type of State, thus, emerged. The old concept of the State was replaced by the State based on bonds of nationality strengthened by natural boundaries. A national State, with a distinct and separate territory of its own, gave rise to the modern theories of sovereignty and equality of States. The nation-State also helped the growth of international law.

Growth of Nation State

The Nation-States began their careers as absolute monarchies. When Papal authority was set aside, and feudal rights were giving way, it was natural for the people to cling to the central institution in which their political life was embodied. The growing national consciousness of the people had made them realise the need for consolidation. But consolidation demanded concentration of authority. Protestantism, too, while limiting the authority to a territorial State, placed the spiritual and civil authority in the hands of the king. The political thought of this period, also supported absolutism. Machiavelli freed the ruler even, from the limitations imposed by public morality. The theory of Divine Right of Kings championed the cause of absolute monarchy.

But the absolute authority of the kings could not remain unchallenged for long. The next stage in the development of nation- State was the conflict between the king and the people. The people demanded their rights and privileges. They began to realise that power was ultimately theirs, if they wished to wield it. It was the rise of democracy and the aspirations for a representative system of government. Democracy brought with it three main principles; equality, popular sovereignty and nationality. The manifestation of the first principle was found in the Declaration of the Rights of Man drawn up by the French Revolutionaries in 1789. Ever since 1789, this principle “has been at work emancipating and elevating the hitherto unfree and downtrodden orders of society, and removing civil, regilious and race disabilities from disqualified classes in the State.” The Declaration of the Rights of Man also embraced the concept of popular sovereignty. It means, in simple words, that the people are the source of all authority and law is the expression of their will. Finally, the principle of nationality requires that the people, who feel they are one, are free to choose their own form of government and to manage their affairs in their own way. Here, again, it may be stated that the French Revolution was primarily responsible for the revival of the national sentiment.

The advance of democracy wrecked absolutism and brought about a great improvement in the political customs of the civili nations. The selfishness of the ruling

families was checked and methods of government became milder and fairer. Laws were made with due consideration of the interests of the people, and opinions were freely brought to the test of discussion. Another characteristic of the democratic State had been the pursuit of the policy of laissez-faire in the field of industry, trade and commerce. This policy “to let people alone” had certain obvious results. First, there had been a great expansion in enterprise and invention. Secondly, there had been a movement of diffusion owing to economic freedom. Finally, there had been a marked tendency in concentration both of capital and land.

The modern State is a nation-State and it has become the basic pattern throughout the world. It actualises the principle of self- determination, or the right of each nation to govern itself. Loyalty in the nation-State is expressed to the nation, or, in the other words, to the people. A nation-State, accordingly, places emphasis on the ethnic, if possible, and geographic unity of the people. It adopts all means at its disposal to preserve the integrity of its natural frontiers and tries to maintain a homogeneous and united people. This has been the course of the development of the State during the past five centuries.

1.4 SOCIALIST STATE

Socialist regards the State as a positive good. Therefore, instead of minimum possible State action, he wants the maximum of it. He believes that this is the only way by which social justice can be made possible for the bulk of mankind. He aims at a ‘cooperative common wealth controlling all due means of production and regulating distribution according to some method of joint control’. Under socialist state there would be a common ownership of the means of production and exchange-and wages would be according to needs. Some socialists advocate equal distribution, others equitable distribution. Accordingly the ‘Socialist State’ is formed.

The chief merits of socialist state may be briefly outlined as follows:

In the words of J.W. Garner, ‘socialist state protests against the obvious evils of our present social system and urges the need for a radical change. Money and power are concentrated in the hands of a few, and the labourer does not receive his proper due. Since the bargaining capacity of the labourer is not equal to that of the employer, the working man is often obliged to make a forced agreement. The present system leads to grave inequalities of wealth and opportunity. It is also responsible for enormous waste and the duplication of services. There is no planned economy on a nation wide scale. Unrestricted-competition leads to lower wages, over- production, cheap goods, and unemployment. The present system further tends to beget materialism, unfairness, dishonesty, and a general lowering of the standard of individual character‘.

Main features of Socialist State

1. Eliminates Capitalism

Socialist State wants to eliminate capitalism which led to unequal distribution of wealth. It divided the society into two classes - 'rich and poor', 'haves' and 'have-nots' and the "exploiter and exploited" and created wide gulf between the two. Socialist state seeks to cure all the evils of the capitalism such as injustice, inequality, class war etc. by abolishing it.

2. Opposes Competition

Socialist State tries to eliminate all forms of competition. It wants to have cooperation instead of competition between the employers and workers. It tries to substitute cooperation for competition.

3. Economic Equality for all

Socialist State tries to secure economic equality for all by abolishing the wide gaps between different sections of the society. It stands for the principle of economic equality. It opposes the concentration of wealth in the hands of a few people. It aims to bridge the gap between the rich and poor so that opportunities are enjoyed by all equally. It desires to have a society in which there is no inequality in the distribution of property. According to Laveleys: "Socialist state is an equaliser and leveler".

4. Opposes private property

Socialist State tries to abolish the institution of private property. It regards private property as theft and source of all evils in the society. It declares that land and capital should belong to all and not to a privileged few.

5. Social control of means of production

Socialist State stands for public control of the means of production. It wants to abolish private enterprise. It wants to nationalise all the factors of production. Factors of production should be used by the people for the people. In other words, it aims at introducing state enterprise in the field of production and distribution for common good. It wants the state to be the producer and distributor in order to do justice to the people.

6. Emphasis on society

Socialist State lays more emphasis on society than the individual welfare to social welfare. It gives importance to the larger interests of the society as against the narrow and selfish interests of the individual. Social welfare is the main consideration of production. It means, under socialist state only those things will be produced which are needed by the society.

7. Rewards the worker on the basis of needs

Socialist State believes in rewarding the worker in proportion to the value of his labour. Its slogan is: “From each according to his ability to each according to his needs”.

8. Methods

Socialist State believes in democratic and evolutionary methods. It tries to bring about the necessary changes in the present economic and political structure peacefully and gradually. It believes in constitutional and peaceful methods in reconstructing society.

Evaluation

Socialist State, as a political philosophy and economic movement, has its merits and demerits which are listed below:

(A) Merits or Advantages of Socialist State

Socialist State has become very popular and powerful movement in modern states. It has exercised deep influence on the policies of every state. Today it is seen in different parts of the world in one form or the other. Everywhere the state is interfering in economic and industrial affairs where public welfare is involved. It is owning, controlling and managing industries and public services which are of national importance. The trend of every state today is, thus, towards socialist state. Its merits are:

1. It puts society above the individual and considers the good of all as something superior to the mere good of the individual. It regards social welfare as the basis of production.
2. It rightly depicted the evils existing in the present day society. It desires to put an end to the evils of capitalism like economic inequalities, wastage of resources lack of proper planning wasteful production etc.
3. It wants to destroy the institution of private property, reduce the present economic inequalities, put an end to all types of exploitation and create a better society.
4. Its principle of production is social benefit but not personal profit. It manages and regulates industries not with profit motive but with social needs.
5. It secures better conditions of work for the workers. It raises their status and importance in the society.
6. It favours gradual changes based on peaceful and constitutional methods. It is evolutionary in nature. So it paved the way for the success of democracy.

7. Finally, it will free the individual from want and starvation and will thereby provide him with greater opportunities for political and economic activities.

(B) Demerits or Disadvantages of Socialist state

In spite of the above advantages, socialist state has been subjected to severe criticism on the following grounds:

1. It leads to authoritarianism as it puts too many powers in the hands of government. It results in the restriction of individual liberty as the state interferes in every sphere of individual activity. State becomes the master and the individual becomes its servant.
2. It kills individual initiative and enterprise because it does not allow private property. In the absence of private property, men may not like to do maximum - work.
3. It advocates socialisation of means of production. It is difficult for the state to manage all industries, control the means of production and distribution. Complete management of all industries by the state will result in inefficiency, redtapism, corruption and nepotism. Industries may not be run on sound and economical lines.
4. It ignores and neglects completely the interests of the consumers. It does not provide to the consumer any choice in respect of consumption. The consumer has to adjust his needs to production which is controlled by the state.
5. It is argued by the critics that practical instances show that countries with a socialist system like China has made less progress compared to those having *laissez faire* system as United States.

Finally, the theory of Socialist state is like a storehouse of confusion. One fails to understand as to what it really aims at. Despite these weaknesses, the theory of Socialist state has now become a matter of universal appreciation. All thinkers ranging from the advocates of Liberalism to that of Communism express their unflinching faith in the doctrine of Socialist state. The days of a hundred percent Individualism are gone for ever. Today all states are moving towards Socialist state. People everywhere expect that the state will actively promote their welfare and that it should play a positive role in their life. J.C.Johari says: “None can deny the fact that the movement of socialist state has brought about numerous reforms. The rise of wages, reduction in the hours of work improvement of working conditions, curbs on the prevalence of destructive competition, decrease in the degree of exploitation and the like are some of the leading achievements of socialist state.

1.5 THE WELFARE STATE

The term 'the welfare state' is so much in vogue in present- day India. The idea of a welfare state is deeply embedded in the Indian Constitution in the part dealing with the Directive Principles of State Policy.

Article 98 says: "The State shall strive to promote the welfare of the people by securing and protecting as effectively as it may a social order in which justice, social, economic, and political, "shall inform, all the institutions of the national life". *Article 39* speaks of (a) adequate means of livelihood; (b) distribution of natural resources so as best to subserve the common good; (c) opposition to the concentration of wealth; (d) equal pay for equal work for both men and women; (e) conservation of health and strength of workers-especially of women and children; and (f) the non- exploitation of children. *Article 41* speaks of the State securing the right to work to education and to public assistance in cases of unemployment, old age, sickness and disablement.

The articles following feelingly refer to provision for just and humane conditions of work and for maternity relief; a living wage for workers; provision for free and compulsory education until the children are fourteen years old; promotion of the educational and economic interests of Scheduled Castes, Scheduled Tribes, and other weaker section; and the duty of State to raise the level of nutrition and the standard of living and the duty to improve public health. These are to be implemented by the government in the interest of welfare of the population. Courts cannot entertain cases for their non-implementations as per *Article 37* of the Constitution.

The origin and development of the Welfare State Ideal

While every State today would like to call itself a welfare state almost up to the end of the nineteenth century most states contented themselves with being "police" State. Their primary business was merely to provide law and order. The promotion of welfare was left to individuals and groups of individuals. Among political thinkers in our day, Laski more than anyone else was the first to turn the attention of the world from the police state idea to the welfare state idea.

The welfare state ideal took strong root in England. Its development, however, was different from the development in Germany. In England Trade Unions, ably supported by Fabian and other types of socialists, played an important part in developing the ideal.

The National Health Service whose foundations were laid by earlier governments received its final shape during the Prime Ministership of Attlee. Besides a series of measures were passed resulting in the nationalisation of railways, coalmines and-steel; nationalisation of the Bank of England, and nationalisation of transport. When the Conservatives came in power the only measure on which they have gone back is the nationalisation of steel. The rest of the programme has come to stay.

A vast social insurance scheme is in operation today in Britian. According to it, all persons of working age contribute to it except housewives. Provision, is made for old age retirement benefits, widow's benefits, unemployment benefits, family allowances for families with two or more children, milk for school children, milk and special food for expectant and nursing mothers, free medical service free secondary education and liberal scholarships for higher education.

This vast programme has been made possible by steep graduated, taxes, by the high degree of self-discipline practised by the people', and by their conscientiousness in the payment of taxes. Surprisingly enough, national production has increased in spite of high taxes. There is a high level of economic satisfaction in the country.

In U.S.A. we find that on account of the strong individualistic tendencies of that country the term 'welfare state' is anathema to a great many. However there are several welfare schemes in operation in the broad sense of the term. They are the Tennessee Valley Authority, elaborate social security schemes, public works and excellent roads, price support for agricultural products, free education up to the college stage and state and federal aid to education. The Social Security Scheme is so very comprehensive as to include even white-collar workers University teachers, and self-employed persons.

Among the continental countries, Sweden, Norway, and Denmark has extensive welfare schemes supported by high taxation. In some of the welfare states of Europe the inequality between the highest and lowest incomes is less than ten times.

The socialist states also are welfare states; but here welfare is planned and executed from above. More attention is paid to material welfare than to moral and spiritual welfare. Russia has been the first modern country to have a planned economy. Her successive Five Year Plans have been a remarkable success and paid her a good dividend during World War II. There is in general a pooling of wealth.

The aspiration of the Indian State has been to provide full employment to all its citizens, free and compulsory education up to 14 years of age, public assistance in cases of unemployment, old age, sickness, disablement, and even of undeserved want, a decent standard of life, full enjoyment of leisure and social and cultural opportunities adequate housing, and health facilities. In spite of the best efforts of the Government, full employment still remains a dream. Free and compulsory education has made some advance, but is nowhere near the goal. Half-hearted attempts have been made at the limitation of population.

The five giant evils of India which need to be tackled are want, disease, ignorance, squalor and idleness. Time is of the essence in tackling these evils since time waits for no man.

The three Five Year Plans and yearly plans of Plan holiday periods have helped to improve the agricultural and individual conditions of India, but much leeway

has yet to be made. In the Fourth Plan still greater stress is laid on all out development. Many spectacular schemes have been started, and some completed, in the harnessing of turbulent rivers for purposes of power and irrigation, in the production of steel and cement, in the manufacture of railway engines, coaches, telegraph and telephone equipment, etc. The emphasis on the public sector has been so great that the private sector complains of a stepmotherly treatment. Nehru at one time said: “the public sector must grow and dominate”.

Definition and Nature of the Welfare State

From the above description of the welfare state in many sense, we may now proceed to a definition of it. Adopting a rather narrow and restricted view of it, Abraham defines it, as “a community where state power is deliberately used to modify the normal play of economic forces so as to obtain a more equal distribution of income for every citizen, a basic minimum irrespective of the market value of his work and his property”. It is purely on economic point of view. T. W. Kent attempts a more inclusive definition when he says that a welfare state is “a state that provides for its citizens a wide range of social services”. Kent goes on to say that the primary purpose of the state is to give the citizen security, but the welfare state undertakes to help him if he lose his ordinary source of income.

Hobman describes the welfare state as a compromise between communism on the one side and unbridled individualism on the other. As such, Hobman believes that in spite of all its imperfections, the welfare state sets a pattern for any humane and progressive society. To sum up his views some what extensively, the welfare state guarantees a minimum standard of subsistence without removing incentives to private enterprise. It brings about a limited redistribution of income by means of graduated high taxation. Yet it does not pretend to establish economic equality among its citizens. All are assured of adequate help in case of need, whether the need is due to illness, old age, unemployment or any other cause.

The emergence of the concept of the welfare state has added a new dimension to the discussion on the end and functions of the state. The idea of Welfare State is not new to political theory. It is as old as political thought. Ancient western political thinkers like Plato and Aristotle maintained that the purpose of the state was the welfare of the people. Ancient Indian thinkers also stated in their writings that all people must live happily and it was the duty of the king to promote the welfare of the people. But it did not receive much attention in the past. It received greater attention only in the later part of the 19th century. It emerged from Industrial Revolution which created a number of problems such as concentration of wealth in the hands of few individuals, bad working conditions for the workers, growth of towns and slums, spread of epidemics, growing unemployment, rising prices etc. Added to these, the scientific and technological developments increased the problems of the human beings. To solve these problems the state had to take up the responsibility of implementing a

number of socio-economic programmes to make human life happy. It had to interfere in all spheres of human life to promote the maximum happiness of the maximum number of people. The result was that it began to pass a number of laws in the later half of the 19th century. “It was with the passing of Factory Laws that the modern Welfare State was born”

Definition of Welfare State

The concept of “Welfare State” is defined differently by different writers which are listed below.

1. “The Welfare State is one which provides a wide range of social services and security”. (T.W.Kent)
2. “Welfare State regards want, disease, ignorance, squalor and idleness as five great enemies of the people and wants to give them a fight and destroy them”. (Nehru)
3. “The Welfare State is a society in which an assured minimum standard of living and opportunity becomes the possession of every citizen”. (G.D.H. Cole)
4. “The Welfare State is a system wherein government agrees to underwrite certain levels of employment, income, education, medical aid, social security and housing for all its citizens”. (Amartya Sen)

The concept of Welfare State is a compromise between extreme Individualism and Socialism. Individualism gives maximum importance to the individual and degrades the state. Socialism, on the other hand, gives maximum importance to the state and degrades the individual. But Welfare State gives importance to both state and individual. It promotes the general happiness and welfare of the people. It regards itself more as an agency of social service than as an instrument of power. It aims at the attainment of moral progress, development of individual personality and maintenance of certain good conditions of social life.

Features of Welfare State

The following are the basic features of the Welfare State

1. Emphasises the worth of man

Welfare State emphasises the worth and dignity of the individual and helps and assist him to lead a respectable life in the society. It regards all individuals on an equal footing irrespective of their social and economic status.

2. Undertakes progressive measures

Welfare State tries to implement progressive measures like land reforms, agricultural development, price control, public distribution system of essential commodities, provision of health, education, sanitation, communications etc.

3. Undertakes wide-range of Social Services

Welfare State undertakes wide-range of social services for the betterment of its citizens. They include measures like eradication of untouchability, dowry, child marriage, sati, etc. It takes steps to abolish illiteracy, poverty and unemployment. It established schools, hospitals and other institutions to meet the needs of the people. It provides unemployment relief, maternity benefit, old-age and other social benefits.

Functions of Welfare State

Welfare State undertakes numerous functions which are divided into

A. Regulative

B. Protective and

C. Welfare functions

A. Regulative Functions

These include: (i) maintaining law and order (ii) promoting peace (iii) curbing anti-social elements and their activities (iv) putting down communal, caste and class clashes, (v) checking exploitation of labourers by passing necessary legislation etc.

B. Protective Functions

These include: (i) maintenance of internal order, (ii) protecting territorial integrity, (iii) maintenance of basic institutions, (iv) maintenance of sound net-work of postal system, transport and communication systems (v) regulation of trade, markets, weights and measures, (vi) prevention of theft, decoity and other criminal activities, (vii) conducting foreign relations with other countries, (viii) administering justice and punishing criminals, and (ix) safeguarding the country‘s territories sovereignty and independence against external attacks and invasions etc.

C. Welfare Functions

These include: (i) eradicating the spread of contagious diseases like malaria, cholera etc. (ii) eradicating illiteracy by establishing educational institutions (iii) reducing the economic inequalities by taking steps for distribution of national income, (iv) providing employment opportunities to all qualified persons (v) improving the working conditions of the workers by fixing hours of work, compensation etc. (vi) creating healthy atmosphere in and outside industries. (vii) providing adequate social services such as unemployment benefits, disability benefits, maternity benefits etc. (viii) introducing jail reforms for speedy disposal of cases and reducing the cost of judicial litigation, (ix) introducing land reforms, (x) encouraging cottage and small-scale industries, (xi) undertaking Community Development Programmes and (xii) checking social evils etc. In brief Welfare State provides full employment, social security, housing, health and education for all people.

Criticism of Welfare State

There are a few writers who criticised the idea of Welfare State on the following grounds:

1. Very expensive

Welfare State, is an expensive state and is beyond the reach of poorer nations. Providing a wide range of social services involves a lot of expenditure.

2. Kills individual initiative and freedom

It is said that Welfare State curbs the individual freedom, initiative and self-help. It retards moral development because it makes a man inferior and dependent on charity. It develops in him proper mentality.

3. Undue importance to Bureaucracy

It is also argued that Welfare State gives undue importance to bureaucracy because it is bureaucracy which makes policies and implements them.

4. Leads to inefficiency

It is pointed out that Welfare State undertakes too many functions which in turn results in administrative inefficiency and mismanagement of human and natural resources.

5. Retards the work of Association

Finally, it is said that Welfare State regulates the work of voluntary organisations in the society. They are pushed back and the willingness to undertake social service activities on the part of the associations are undermined.

Importance

Most of the criticisms given above, are not correct. In order to make the Welfare State an ideal system, some steps have to be taken. They are: (1) Defining the objectives and laying down the means to achieve them (2) Avoiding red-tapism (3) Periodic evolution of Welfare Schemes (4) Checking totalitarianism and (5) Encouraging voluntary associations etc.,

If the above measures are adopted the Welfare State may certainly become heaven of peace because it reconciles individual freedom with the authority of the state, brings about a fair degree of equality of income among all people and recognises the dignity and worth of the human beings.

PROBLEMS IN ESTABLISHING WELFARE STATE

The ideal of Welfare State, though seen to be good on paper, is very difficult to realise in practice because of many social, political, economic and administrative problems. They are acting as hindrances or obstacles in the way of establishing welfare state. They may be stated as under:

1. Growth of population

The tremendous increase in population is becoming a major problem in the establishment of Welfare State. The little progress that has been achieved has become inept due to over population.

2. Indifferent attitude of the officials

The officials in charge of implementing welfare schemes should have sincerity and dedication to the cause of the welfare of the people. Any different attitude exhibited by the officials will defeat the purpose of the programmes and leads to their failure.

3. Lack of adequate economic resources

The process of carrying out many programmes to promote the welfare of the people involves a lot of expenditure. In a country like India where the population is very large and finances are limited, it is very difficult to achieve the goal of establishing welfare state.

4. Narrow outlook

The selfish and narrow mentality of the people are also the hindrances on the way to welfare state. People should conduct themselves above the considerations of caste, religion and language. They should give top priority to the interests of the nation.

5. Social Evils

Social evils like untouchability, bonded labour, feudal set up etc. affect the welfare programmes of the government.

6. Discipline and Devotion

These two qualities are highly essential for achieving the ideal of welfare state. People should work with discipline and determination in implementing the programmes, extend their cooperation to the government and pay the taxes promptly. Then alone the objective of welfare state will be realised.

Exercise

PART A

Fill in the blanks

1. The modern State is a _____ State.
2. The welfare State ideal took strong root in _____.
3. Sweden, Norway, Denmark are _____ countries.

PART B

4. Define City State.
5. Define Socialist State.
6. What are the merits of Welfare State.

PART C

7. Explain the growth by Nation State.
8. Explain the rise of Feudal State.

PART D

9. Write an essay on Welfare State.
10. Discuss the evolution of State.

CHAPTER 2

THE ORIGIN OF THE STATE

Political thinkers have attempted to explain the origin of the state in various ways. When, where and how the state came into existence have not been recorded anywhere in history. Therefore, the political thinkers were compelled to adopt various hypotheses, many of which are now discredited in the light of modern knowledge. Among the many theories which are concerned with the origin of the state the following are explained in this chapter.

1. The Theory of Divine origin
2. Social Contract Theory.
3. Matriarchal and Patriarchal Theory.
4. Force Theory.
5. Evolutionary Theory

2.1 THEORY OF DIVINE ORIGIN

The theory of divine origin is the oldest among all theories. According to this theory state is established and governed by God himself. God may rule the state directly or indirectly through some ruler who is regarded as an agent of God.

The trace of divine origin is seen in the epic Mahabarat. According to the Mahabarat there was anarchy in the beginning in the society and the people prayed to God to come to their rescue.

They offered the following prayer. “Without a chief, O Lord we are perishing Give us a chief, whom we shall worship and who will protect us”. It was under these circumstances that God appointed the king to rule the people.

To quote King James I of England,

“Kings are justly called gods for they exercise a manner of resemblance of divine power on earth”. Kings are accountable to God above and only. The people cannot question him for the right or wrong done by him.

The rise of Christianity and the growth of the power of the church in the medieval period led to a conflict between church and state and an active discussion of the divine origin of political power. All were agreed that the ultimate source of authority was divine but the supporters of the church say that Pope alone received his power directly from God.

Kings are breathing images of God upon earth. Even if the king be wicked, the subject has no right to rebel against him. To rebel against the king is to rebel against God himself for the God's chosen Vassal.

The main points in the doctrine of the divine right of kings may thus be summed up.

1. Monarchy is divinely ordained and the king draws his authority from God.
2. Monarchy is hereditary and it is the divine right of a king that it should pass from father to son.
3. The king is answerable to God alone; and
4. Resistance to the lawful authority of a king is a sin.

The theory of divine origin was popular for a long time but later on it began to decline on account of many factors.

Criticism

The theory of divine origin has been criticised on many grounds.

To say that God selects this or that man as ruler is contrary to experience and common sense. God cannot be expected to do such worldly things for human beings. The theory is dangerous because it pinpoints the unlimited and arbitrary power of the kings.

The theory of divine origin of the state advocates only monarchical form of government. The monarchical form of government is practically disappearing from the world. No wonder the theory of divine origin also does not find its supporters in modern times.

We all believe in the theory of evolution. Everything in the world has grown up by slow degrees and consequently the same must have been the case with the state. It is too much to believe that one day God thought of creating the state and created one.

The theory put emphasis on revelation and not reason. In modern times we attribute everything to reason and hence it is not accepted today.

Although the theory has many defects and is no longer accepted today, it cannot be denied that it had its utility.

The theory of social contract with its emphasis on consent, was a great deadlock to the theory of divine origin. It was maintained that state was created by individuals by means of a contract and not by God. The separation of the church from the state was also partly responsible for the decline of the theory.

2.2 SOCIAL CONTRACT THEORY

The social contract theory is not only the most ancient but also the most famous of the theories regarding the origin of the state. The substance of this theory is that state is the result of an agreement entered into by men who originally had no governmental organisation. In the first period there was no government and no law. The people lived in a state of nature. After some time they decided to set up a state. That they did by means of a contract.

The social contract theory described the original condition of men as the “state of nature”. To escape from the condition of the state of nature man made a social contract. To some writers the contract was pre-social and to others it was pre-political.

Writers on this theory are agreed on the point that the state of nature preceded the establishment of government there was no organised life in the state of nature. Each lived according to his own wish and fancies. No man made laws were there to control man. The law known to men living in the state of nature was the law of nature or natural law. There was none to interpret the law or adjudicate. Hence men lived under uncertain conditions.

When men felt the need to escape from this type of life he did so by common agreement or contract. As a result of this, a civil society was created. Thus creation of civil society preceded the emergence of the state.

In the sixteenth and seventeenth centuries the supporters of the social contract theory multiplied and there was more or less universal acceptance of the doctrine. Hooker was the first scientific writer who gave a logical exposition of the theory of social contract. The theory found real support in the writings of Thomas Hobbes, John Locke, Jean Jacques Rousseau who are known as contractualists.

CONTRACTUALISTS

Hobbes	Locke	Rousseau
1588 - 1679	**1632 - 1704**	**1712 - 1778**

Comparison of Social Contract Theories of Hobbes, Locke and Rousseau

Principal works Leviathan (1651)	**Civil government (1690)**	**Social contract (1762)**
2. The State of Nature		
Man egoistic moved by fear, power glory political equality of all no question of right or wrong. Just or unjust war of all against all, life, nasty, brutish and short.	A state of good will, mutual existence and preservation state of peace not war governed by law of nature but state became necessary to have one standardized interpretation of law of nature.	Men in state of nature equal self sufficient and contended, lived life of idyllic, happiness man actuated by impulse and not reason, origin of property creates inequality necessity of state.
3. Law of nature		
In state of nature there was no civil law, law of nature was regulative of human action, law of nature conceived differently by Hobbes to mean different things on different occasions i.e. (a) it was dicate of right reason for preservation of life. (b) It was based on prudence which dictated that everybody should try to secure peace by sacrificing natural right by convenants and it must be respected	Law of nature does not represent natural impulse but a moral law based upon reason to regulate human conduct.	Law of nature based on instinct sociability resulting from feeling and not from reason.
4. Natural Right		
Natural right depends upon ones might.	Right inherent in man by nature; natural rights of man are to life, liberty and property.	Man is free in the state of nature and enjoys all rights incidental to his person.

5. Social Contract		
The individual gives up all his rights expect on ie right of defence and self preservation to a common sovereign, social contract creates a common wealth and a sovereign (one, few, or many) contract unilateral and not binding on sovereign.	Men enter into social contract that is create a state to have a common agency for interpretation and execution of the law of nature. Individuals surrender some but not all the rights. Not clear whether Locke an contract creates civil society or only government. Government limited in authority and not absolute.	State results from a contract between individuals in their personal capacity and individuals in their corporate capacity. A, B, C and D etc. in their individual capacity surrender all rights to A+B+C+D etc as a corporate whole.
6. Sovereignty		
Hobbesian sovereignty is unlimited, indivisible, inalienable, absolute above law, source of law, justice, property above state and church has no right of revolution against sovereign.	Locke does not conceive of a sovereign state. His government is limited to performance of its duties. The inherent right of man to life, liberty and property, represents a limitation on government. Locke conceives of popular and not legal sovereignty.	The corporate whole that is people as a whole are sovereign. Thus Rousseau believes in popular sovereignty. People are the legal sovereign. Sovereignty resides in the **'general will'** of the people. The characteristics of this sovereignty are its unity, individuality, permanencies, in alienability and its absolute and unrepresentable character. The government is dependent on the sovereign of the people. Rousseau distinguish between the sovereign state and subordinate government.
7. Liberty		
In the state of nature liberty depends upon the state and is guaranteed by the state. It is a gift of the state and can be abrogated by the state. It cannot be quoted against the authority of the state.	A man has certain rights inherent in him ie rights to life, liberty and property which the state cannot deprive him of	In the civil state individual liberty is a gift of the sovereign state. It must be reconciled with the absolute authority of the state and cannot be quoted against the same.

8. Individual and the state The Hobbesian individual owes everything i.e. rights peace and law to the state and is therefore best in the state. He must obey the sovereign and pay taxes. Individual has some kind of liberty even in the civil state i.e. (a) Liberty not to kill himself if asked to do so by the sovereign. (b) Liberty to life which enables him to resist the sovereign if the latter attacks his life. (c) Liberty to refuse allegiance to a sovereign who cannot save his life or to a deposed sovereign.		
9. State and Government Hobbes does not distinguish between state and Government or between *dejure* and *defacto* sovereign.	Locke distinguishes between state and government and state and society. His theory loads to limited constitutional government	Rousseau distinguish between state which is sovereign and government which is subordinate creature of the state.

Rousseau compared with Hobbes and Locke

Rousseau had drawn something from Hobbes and something from Locke. In fact he began with the method of Locke and ended with those of Hobbes. Both Rousseau and Locke agreed that man in the state of nature was free and happy. Formation of civil society by means of a contract was deemed the only way out. Both Locke and Rousseau made the distinction between the state and government though Rousseau maintained that the institution of government was not the results of contract. Both believed that the contract did not remove the supreme power from the people. Rousseau's voice is the voice of Locke but the hands are those of Hobbes.

Evaluation of Social Contract Theory

The social contract theory as expounded by Hobbes, Locke and Rousseau does not explain the origin of the state. There is no evidence to support this theory. The contention of these philosophers is not borne out by facts. What was contributed by

Hobbes to political philosophy was absolutism. Locke gave recognition to the concept of limited government. Rousseau popularised the idea of popular sovereignty.

Theory of Social Contract

Criticism

The doctrine that the state originated in a contract was a favourite home of political speculation during the seventeenth and eighteenth centuries.

Historically the theory is a mere fiction. There is nothing in the whole range of history to show that the state has ever been deliberately created as a result of voluntary agreement. Primitive man did not posses that maturity of outlook which the making of social contract presupposes.

The social contract theory is unhistorical. It is merely a fiction.

The social contract theory is also attacked on legal grounds. It is contended that a legally sound contract implies the prior existence of some authority and its sanction before the contract implies the contract is entered into. In the case of social contract theory there was neither the authority nor the sanction before the contract was concluded. The social contract theory is also criticised on philosophical grounds. The social contract theory is criticised as bad history, bad law and bad philosophy. It is bad philosophy, because it looks upon the state as an artificial contrivance and not a natural process of growth.

2.3 MATRIARCHAL THEORY

Mclennan, Morgan and Jenks are the notable exponents of matriarchal theory. The matriarchal system was prior to the patriarchal system and tribe. There was no permanent institution of marriage. A woman had more than one husband and because of the uncertainty of male parentage kinship was reckoned through woman that is from mother to daughters.

In the place of a family consisting of a man his wife and children there was a large and loosely connected group called a horde or pack organised for matrimonial purposes.

The matriarchal family developed as indicated below.

1. First there was a tribe and it was the oldest and primary social group.
2. In course of time a tribe breaks into clans.
3. Clans in their turn give place to households.
4. Atlast comes the modern family.

Criticism

The matriarchal theory is more sociological than political. It seeks to explain the origin of family and not that of the state.

There is no adequate proof in support of the matriarchal system as the universal and necessary beginning of society.

2.4 PATRIARCHAL THEORY

The Patriarchal theory explains that the state originated from the patriarchal family or the family in which the pater or father was the head.

State is an enlargement of the family. Originally the family consisted of a man, his wife and children. The father was the head of the family and his control and authority was complete in all respects over all its members. When his children married there was expansion in the original family and it led to the establishment of new families. But the authority of the father and head of the original family remained as before, and it was duly acknowledged by all his descendants. This constituted the patriarchal family. The chief exponent of the patriarchal theory is **Sir Henry Maine.**

The following important points may be noted in Maine's Patriarchal theory.

1. In the Patriarchal family the element of paternity was the chief fact.
2. Descent was traced not only through males and from the same ancestor. None of the descendants of a female was included in the primitive notion of family relationship. Kinship was accordingly, purely negative.
3. Permanent marriage was the rule whether monogamy or polygamy
4. The Head of the family was the basis of all authority, and his power was unqualified over his children and their houses and other relations of all descendants, howsoever numerous.
5. He controlled not only the business affairs of the group which he headed but its religion and its conduct.

The family was the primal unit of political society, "the seed led of all larger growths of governments, "as **Woodrow Wilson** calls it. The single family had developed into several families; yet all of them were fully conscious of their ultimate kinship. Bound together by ties of common anchestors, they associated in a wider common fellowship group, the gens, owing allegiance to some elected elder - perhaps the oldest living ascendent or the most capable. Similarly, the gens broadened into the tribe. The pastoral pursuits gave way to agriculture and settled life on a definite land became a matter of necessity; land tribes united to form the state.

In support of his statement, **Sir Henry Maine** cited the patriarchs of the old testament “families” and “brotherhood” of Athens, the patriapotestos in Rome and the Hindu Joint family system in India.

Criticism

Modern theories show that the patriarchal family was not universal, the patriarchal theory was subjected to severe attacks.

Patriarchal and matriarchal theories are in essence sociological rather than political theories.

Stephen Leacock says nonetheless, both the theories sufficiently establish that family is the original link in the evolution of the state.

Both these theories do not satisfactorily explain the origin of the state. Matriarchal and patriarchal could have been prevalent in certain early societies. But it is wrong to assume that the creation of state was occasioned by these systems. There was not substantial proof to support the universal validity of these theories.

2.5 FORCE THEORY

According to this theory, the state originated due to force exerted by the strong over the weak. The idea contained in the statement is that “war begat the king”. The same view is expressed by Hume, Oppenheim, Jenks-Bernhardy and Trietschke are the exponents of force theory. A number of rulers also believed in this theory. The powerful conquered the weak state is the outcome of the process of aggressive exploitation of the weaker by the stronger. Might without right is antagonist to individual liberty.

There were other factors besides force which helped the expansion of the state. Similarly force alone is not the basis of state and it cannot be maintained by force.

Criticism

Force indeed has played an important part in the origin and development of the state. Some of the greatest empires of today have been established through blood and iron.

The theory of force unduly emphasis the principle of the survival of the fittest. It means that might is right and those who are physically weak should go to the wall. It is dangerous to employ such a principle in the internal existence of the state. Every state will be at perpetual war with the rest. This is a condition of chaos, pure and simple endangering the peace and security of the world. The attention and efforts of every state will be directed towards war preparedness and to win the war if it comes. War which is an alias for murder, glorifies brute process, suppressing the moral forces. This is the mean self of man and not his real self.

This theory justifies despotism. It is opposed to the idea of freedom. It is too much to believe that the state is created and maintained by sheer force and the spiritual and moral values have absolutely no place in life.

The Historical or Evolutionary theory

We have so far discussed five theories in explanation of the origin of the state, but no single theory offers an adequate explanation. The theory which explains and is now accepted as a convincing origin of the state, is the Historical or Evolutionary theory. It explains the state is the product of growth, a slow and steady evolution extending over a long period of time and ultimately shaping itself into the complex structure of a modern state. This theory is more scientific.

The state is neither the handiwork of God, nor the result of superior physical force, nor the creation of evolution or convention, nor a mere expansion of the family. The state is not a mere artificial mechanical creation but an institution of natural growth or historical evolution says professor Garner.

There were a number of factors which helped the evolution of the state. They were kinship, religion, war, migration, economic activities and political consciousness. The important factors which contributed to the growth of the state are

1. Kinship
2. Religion
3. Property and defence
4. Force
5. Political consciousness

Kinship

Kinship is the most important and was based upon blood relationship and kinship was the first strongest bond of unity. Family constituted the first link in the process of the evolution of the state with the expansion of the family arose new families and the multiplication of families led to the formation of clans and tribes. Kinship was the only factor which bound the people together.

According to Professor Mac Iver, the magic of names “reinforced the sense of kinship, as the course of generations enlarged the group. The blood bond of sonship changed imperceptibly into the social bond of the wider brotherhood. The authority of the father passes into the power of the chief once more under the aegis of kinship new forms arise which transcend it. Kinship creates society and society at length creates the state”.

Religion

Religion provided the bond of unity in early society. It also affected all walks of life. The worship of a common ancestor and common goods created a sense of social solidarity. There was fear in the hearts of men as far as religion was concerned. Even today we see religious practices, affairs and faith in uniting people. In the early days a number of races are united by religion and unity was essential for the creation of state.

Force

Force also played an important part in the evolution of the state. It was the use of physical force that was responsible for the growth of kingdoms and empires.

Property and Defence

Property and defence played a vital role in the evolution of state in ancient times particularly among the people who were nomads and wagabonds and tribals. Prof. Laski has referred to the necessity of acquiring property by the members of society and protecting the property acquired with reference to the population mentioned above.

This led to making adjustments in the social system and relationship between the members of different groups. The need to protect property ultimately compelled the ancient people to establish the state.

Political consciousness

The last is political consciousness arising from the fundamental needs of life for protection and order.

When the people settle down on a definite territory in pursuit of their, subsistence and a desire to secure it from encroachment by others. The need for regulating things and persons is felt imminently and this is the essence of political consciousness.

Conclusion

It follows that many factors helped the growth of the state. No single factor alone was responsible for its origin. Sometimes all and sometimes many of them help the process by which uncivilized society was transformed into a state.

Of all the theories which seek to explain the origin of the states, the evolutionary theory is the most satisfactory. It should be noted that no theory pin-points the time at which the state originated as a consequence of many factors working in union at different times.

Exercise

PART A

I. Choose the correct answer

1. Social contract theory found the support of

   (a) Jenks (b) Morgan

   (c) Rousseau (d) Sir Henry Maine

2. The theory which pictured the state of nature

   (a) Divine theory (b) Force theory

   (c) Matriarchal (d) Social contact theory

II. Fill in the blanks

3. Kings are _____ images of God upon Earth.
4. State is the _____ of the family.
5. War _____ the King.
6. Survival of the _____ is not justifiable today.
7. Kinship was the first _____ bond of unity.

III. True or False

8. The theory of Divine origin is a modern theory.
9. Permanent marriage was the rule whether monogamy or polygamy in matriarchal theory.
10. Evolutionary theory is merely scientific.

IV. Match

11. Matriarchal – Agreement
12. Patriarchal – King
13. Divine – Mother
14. Social contract – Father

PART B

15. Define Divine right theory.
16. What is meant by force theory?
17. What are the theories which explain the origin of the state?
18. Define Matriarchal theory.
19. Define Patriarchal theory.

PART C

20. What are the doctrines of Divine right of King's?
21. Evaluate the social contract theory.
22. Explain Sir Maine theory.

PART D

23. Explain the views of Hobbes, Locke, Rousseau regarding social contract theory.
24. What are the factors which influenced the social contract theory?
25. What are the factors which helped in the evolution of the state?

CHAPTER 3

NEW POLITICAL SCIENCE

3.1 MEANING AND NATURE OF THE CONCEPT

Political science is the study of State craft. It involves the study of structure and process in government. Accordingly, political scientists may study social institutions such as:

1. Corporations
2. Unions
3. Churches
4. Organisation

Jean Bodin (1530-1596) a French political philosopher coined the term "political science". Political scientists study the allocation and transfer of power in decision-making. Political science seeks both to advance positive theses, by analysing the politics, and to advance normative theses, by making specific policy recommendations. In traditional political science, knowledge is based on mental construction and thus it is value-oriented. Traditional political theories are based on assumptions and enquires and the personal experiences of the authors. However, the new political science is based on scientific enquires and supported by reliable data. The scientific outlook of political science came as a result of Behavioural Movement which started in 1950's.

The science of politics was found in the behavioural revolution of the 1950's. Only then did many members of the discipline accept and become comfortable with the scientific identity of the discipline. Behaviouralism established an agreed upon methodology which was value-free and emphasised quantification to aid in prediction of political behaviour. Though this has changed in some respects since the behavioral revolution, the positivist model of science still maintains the scientific identify of the discipline. The scientific identity to the discipline has resulted in marginalisation of normative political theory. In fact, behaviouralism called for an end to normative political theory since it did not aid the empirical science of politics.

The study of politics started to become a professional pursuit, sanctioned by professional associations.

Examples:

1. International Political Science Association
2. Indian Political Science Association.
3. Indian Institute of Public Administration
4. American Political Science Association.

This trend toward professionalism in the field of political research became clearer during the behavioural revolution's move to "pure" science. With behaviouralism, the discipline settled on scientific identity, an identity that has changed little since its inception.

Political scientists believed that a scientific, disciplinary and professional identity of the discipline would seek true knowledge about politics. Scientific method would allow political scientists to arrive at objective, value-free truth about certain aspects of politics in order to aid a modernising polity in a purely technical way. There could be no normative goals in a value-free science.

The professional identity of the political scientist became the starting point for new political science. Political knowledge was to be implemented in the governmental system. Political scientists such as Charles Merriam and Harold Lasswell are social engineers whose purpose was the "rational" supervision of political actors to order and control a logical, new political society.

The "new" political scientists saw citizens as "objects" of study and observation. The ultimate question for the new political scientists became how to motivate public opinion to support the liberal democratic State. They operated on the presupposition that humankind was perfectible and thus that a reliance on "scientific" political knowledge would help to cure societal and political ills permanently. The political scientist constructed political knowledge that could be applied in a technical way to governmental functions.

In his scholarly work Merriam demanded that political science become more rigorously scientific approach. He saw the development of a scientific technique and methodology for political science as a necessity to avoid "speculation and guesswork". Merriam viewed the physical sciences as attempt to benefit, preserve and perfect civilisation, and he reserved a place for political science in this process. He consciously sought to control the "evolution of intelligence" and human behaviour, through civic education, to instill democratic values in citizens in the move towards the perfection of society and humankind.

Behavioralists like Heinz Eulau and David Easton championed behavioural research and paved the way the emergence of 'New Political Science'. The following are the characteristic features of 'New Political Science'.

1. Political science should search for regularities in political behaviour in order to facilitate prediction and explanation.
2. Political science should concern itself with empirical political phenomena, that is, with the behaviour of individuals and political groups;
3. Data should be quantifiable in order to aid predictive capabilities;

4. Research should be theory driven, in other words, research should begin with a theory that yields empirically testable hypotheses;
5. Political scientists should research in favor of pure scientific research;
6. Values such as democracy, equality and freedom cannot be scientifically established and should thus be avoided unless they can somehow be made empirically testable;
7. Political science should become more interdisciplinary;
8. Political science should place more emphasis on methodology and make better use of multivariate analysis, sample surveys, mathematical models and simulation.

From Eulau's view, macro level analysis aimed at institutions, while micro analysis focused on individuals. Eulau located the science of politics in the study of political behaviour micro and macro level distinctions. Such a science would ideally be empirical and focused on finding uniformities and regularities in political behaviour. The careful documentation of regular and uniform behaviour would help to explain and eventually predict institutional influences on behaviour, and vice-versa.

According to Eulau, political scientists should seek to quantify their data and their results. Quantification, using the most advanced research technology, empirical methods and testable hypotheses, introduces exactitude and reliability to political knowledge. Eulau argued that quantification allows political scientists to be more certain about the legitimacy of political knowledge. "Political knowledge," realised through behavioural methods, emphasises reason.

3.2 USES OF POLITICAL POWER

What is political power?

Political power according to Max Weber is a prize that is held by the dominant class in historical society, and in modern society it is held by the forces of wealth. Though there is conflict in modern society, sometimes status groups and most often political associations and parties hold political power.

Politics and political institutions are the most important institutions in society. As a concept, politics tells us so many things because we are experiencing power relations in our daily lives. For instance, even between parents there are power relations. So in society, there are micro politics and macro politics. Micro politics is seen in our daily lives. Macro politics refers to power relations that emerge at the institutional level.

Political sociology is a discipline that studies the relationship between the state and the society. In order to understand power we must understand the relationship between person A and B.If A makes B to do something even if B does not want, A

would have a certain power on B. In that sense, power is a very important concept. In other words, authority means legitimate power. For example, every political leader would like to have an authority over his people because these political leaders would like his people to believe in him so in that sense if political leaders can make people to believe in him, they would have a legitimate power.

Power, legitimacy and authority go together. Power takes many forms and it is the ability to make others do things even if they don't want to do it. Authority is like power; the only difference is that it is power that is supported by institutions. Where there is only power with no authority, then you need to have legitimacy to create trust and establish authority.

Power and authority are two basic concepts that guide the thinking of political sociologists.

Powers refers to the capacity of a person, group, and institution to be able to manipulate and shape the views and actions of people (ex: parents and children - governments and taxes)

Authority is like power except that it always refers to a set of institutions in which it operates (set of institution that backs up the power for example the bully and muscle power)

Social institutions operate to establish the set of rules that provide guidance to our lives, these rules represent authority. (Ex: University and Professors)

When large scale institutions fail, power takes over (USSR). And for the construction of durable authority, legitimacy is required.

In short, the important characteristics of state are power, authority, and legitimacy. And though power takes different forms (coercion, influence, and control), power is exercised with authority and it is basically the ability to impose ones will.

3.3 NATURE AND IMPORTANCE OF AUTHORITY

According Max, Weber, there are three types of authority:

Traditional authority is seen in traditional societies such as kingdoms and empires. It receives its power from the tradition.

Charismatic authority receives its power from the person's charisma. A charismatic would communicate his people easily. It means having a certain types of properties that he can have some abilities. In the modern world, we are talking about legal-rational authority from the constitution. These concepts of authority, power, force are interrelated.

Max Weber
1864-1920

What is Elitist theory?

The word elite means a superior group in a society. Elitist theory explains a certain group with a high qualification, ability, and privilege position.

Pareto defines the concept of Elite as:

1. There is always inequality in every society
2. In every society there are the elites in minority that rule the majority Elite group is divided into two: the "ruling elites" and the "non-ruling elites". This creates a social balance called the condition of equilibrium.

Elitist theory is a concept used to explain a certain group with a high qualification, ability, and hence within a privileged position.

According to Pareto the concept of Elite is defined in two ways:

1. There are always privileged people in every society. This means that inequality is inevitable in social life (social stratification).
2. In every society there are elites in minority and masses that are ruled in majority.

The Elitist theory argues that the important decisions in liberal democracies are taken by a single ruling elite rather than being the outcome of competition between groups within society. The main tenets of 'Elitism', as adapted from Robert Michaels work include the following principles;

- Within all societies there exist one, or a few sets of powerful controlling elites. Regardless of the nature of the government or the economy, there is always oligarchy. The masses cannot and do not govern themselves.
- Although the elites are always a minority of the population, they control a large proportion of the available resources, are usually well organised, and co-heisve. Power is centralised in the hands of the elite members.

- Elites commonly employ all available means to protect and preserve their power and to enhance it wherever possible. They share power with others only when it is in their self interest, and they never voluntarily surrender power.
- To rule their society, elites employ a variety of techniques. These include dominating the economy, using police and military force, manipulating the educational system and the mass media, sanctioning or eliminating those who oppose them, and creating ideologies that legitimise their power and rule.
- Elites use their available means and their position of power to advance their own interests or the interests of their agency.

Two basic points which the elitist theorist refuses Marxism theory:

Theory of social classes claims:

1. Marxist "Dominant class" is wrong because in modern industrialised societies there is a continuous elite circulation
2. Classes in society is important because social stratification exist in every society.

Basic contradiction between democratic and elitist theory:

1. Elitist theory says there is inequality in every society (social stratification) but democratic approach says there is equality
2. Elitist theory says that elite minority (chosen few) dominates but democratic approach says that "majority rules"

Robert Michaels "bureaucratic authoritarian regime".

Robert Michaels explained about the growing nature of bureaucratic regimes in modern welfare states.

1. The exercise of political rule by a small group of leaders, often backed by the military.
2. The reliance of the political rulers also on a large group of technical personnel (technocrats), who exercise much of the daily control over the operations of the society.
3. Boosting the economic growth of society when there is stagnation.
4. The repression of different classes, especially the increasing middle class.

Non Elitist Theory of Karl Marx

Marxist theory represents one of the earliest attempts to explain distribution of political power in a society. According to Karl Marx political power in every civilised society is unevenly distributed. The ruling class monopolises the political power by the ownership of the means of production. Thus the political leader represents the dominant class. Socio-economic factors are the determinants of the distribution of political power. The social order however, is marked by a perpetual conflict between the ruler and ruled classes. This conflict is conditioned by the development of productive forces. This conflict is the basic reason behind the polarisation of classes between the capitalist and the working class. The nature of conflict determines changes in the distribution of power. Thus the Marxist theory is economic determinism. It seeks to intensify class conflict. It preaches violent revolution. Therefore, it was natural for the thinkers of the other world to challenge Marxist theory.

Karl Marx
1818-1883

3.4 NATURE AND USES OF INFLUENCE

Political sociology deals with political power, its influence and distribution. A person in modern society is resourceful to the extent he influences the behaviour of other persons. Thus power is judged by the exercise of influence. Influence is a person's capacity to effect the behaviour of others. This is not only in keeping with their choice but mostly, even against it. Defining the nature of influence Harold De Lasswell and Abraham Kaplan point out, "The weight of influence is the degree to which policies are affected; the domain of influence, the persons whose policies are affected; the scope of influence; the values implicated in the policies". Thus the weight of the influence is judged by the amount of change in the position of the actor influenced. Sometimes the compliance on the part of the influence is very high. In such situations, the power holder requires little effort to exercise influence.

Coercive

On the other hand in other instances the compliance may be very low requiring force to impose power. This is known as coercive influence. Generally, political power has been termed as coercive influence. It is the use of threats or sanctions to influence others. These threats may be accompanied by possibilities of injuries and rewards. While penalties or punishments are negative sanctions to power, rewards are positive sanctions.

Capacity to influence

Thus power may be defined as the capacity to affect other's behaviour by the user or the threat of the use of negative or positive sanctions.

Relational

Power, is basically relational, it is not a personal property. Power is exercised only in relation to others. It has been defined as the capacity to affect other's behaviour. Political power is essentially relational. It presupposes social relation between the power holder and the power addressee. The type of social order is that in which power holder and the power addressee. The type of social order is it in which power relation exists, besides the power sis, the power sanctions the reaction of the power addressee etc. For example, these may be found to differ essentially in rural and urban societies. Political power is the power which operates within the periphery of the state and its institutions. It is based on the power of the state. However, the essential nature of the power of the state is not different from power found at any level of society. Therefore, power is judged in the perspective of social variables. Political power is conditioned by the social process. It changes according to the variations in the nature and working of the social.

Exercise

PART A

I. Choose the correct answer

1. Paying Income Tax signifies
   (a) Traditional authority
   (b) Rational - legal authority
   (c) Charismatic authority
   (d) None of these
2. Who first coined the term Political Science?
   (a) Aristotle
   (b) Plato
   (c) Jean Bodin
   (d) Adam Smith

II. Fill in the blanks

3. Political analysis of individual behaviour is _____
4. Types of authority is explained by _____

III. True or False

5. Normative political science is value - free.
6. New Political Science is behavioural analysis.

PART B

7. Define Behaviouralism.
8. What is “New Political Science”.

PART C

9. Explain the meaning of Power.
10. What is authority?

PART D

11. Evaluate the non - elitist theory of Karl Marx.
12. Differentiate between power and authority. What are the types of authority?

CHAPTER 4

CHALLENGES TO STATE SOVEREIGNTY

Sovereignty has been considered as an important element of the State. Every independent nation in this world posses sovereignty. Generally speaking sovereignty is broadly divided into:

1. Internal sovereignty and

2. External sovereignty.

Internal sovereignty of a nation signifies that it is internally supreme to any type of associations or groups. External sovereignty denotes that a particular nation is not legally bound to any other nations except international bodies such as UNO and International Court of Justice. As regards the internal sovereignty within the State itself, it is absolute. The sovereign can make any law it pleases.

According A.V. Dicey there are two limitations on sovereignty. The external sovereignty is limited by citizens disobey or resists the laws. The internal sovereignty is limited by the very nature of the sovereign power. Today, the very essence of both internal and external sovereignty of nations are challenged. There has been a constant threat to the sovereignty of the nation. Such threat came as a result of neo-colonisation or globalisation of world economy. Many political scientist felt that there are visible and invisible factors contributing to the erosion of national sovereignty.

4.1 EROSION OF NATIONAL SOVEREIGNTY

The world today is aptly described as a “Global village” in which a web of information networks interconnects individuals as well as organisations and governments. The global village is a world that is increasingly interconnected buy communication technologies and that is tending toward a global culture. Driven by technological and economic forces, globalisation gathered momentum since 1990’s. The process of globalisation has been initiated originally to protect the economic interests of G-8 nations as well as to expand the market areas for the Multinational Corporations (MNC’s). Since 1990, there has been a tremendous increase in number of MNC’s. During 1990, there were only 3000 MNC’s and this has increased to 63,000 today. After the collapse of the Soviet Union and the formation of European Community, there has been a phenomenal growth in MNC’s doing business across national borders.

Besides economic integration of nations, there has been an increase in number of Transnational Non-governmental Organisations (TNGO’s).

Examples : Amnesty International

International Committee of the Red Cross

Doctors without Borders

Green Peace

The availability of inexpensive and very fast communications technology has made it easier for such groups to organise and to make impact on public policy of a nation. It is felt that such influences of NGO's as a threat and erosion of internal sovereignty of weak nations. Another powerful source for the erosion of national sovereignty originate from the International Monetary Fund (IMF) and other multilateral financial institutions. These institutions imposses conditionality agreements that involve not only specific economic target but also domestic institutional changes.

The European Union (EU) is inconsistent with conventional sovereignty rules. The members of European Union have created supranational institutions.

Examples : European Court of Justice

European Commission

EU Council of Ministers

These supranational bodies can make decisions opposed by some member states. The European Monetary Union (EMU) created a central bank that controls monetary affairs of member states. The Single European Act and Maastricht Treaty are fundamentally contradict traditional understanding of sovereignty because they have undermined the juridical autonomy of its individual members.

Globalisation in relation to national sovereignty reflects a multi- dimensional concept. It implies an interdependence of a growing number of aspects of economic and cultural life. In addition to economic interdependence (Trade, Finance and Direct Investment) there are educational, technological, ideological, cultural, as well as ecological, environmental, legal, military, strategic and political impulses that are influenced in the context of globalisation. There has been free movement of goods and services across national borders. Immigration rules are relaxed for free movement of skilled persons across nation. Many software professionals migrated to USA and opted both for permanent residency status and citizenship. Many Non-Resident Indians (NRI) claim for dual citizenship. In such changed world scenarios, the operation of states is more complex. The integration of world economy and the migration of people across national borders has impinges increasingly on national sovereignty. National sovereignty is divided among a number of agencies such as national, regional, and international. The development of international trade laws and the emergence of supranational organisations have paved the way for erosion of national sovereignty. The sum total of the various elements of globalisation has left the individual sovereign

state less and less focus on policy and control. Supranational organisations such as WTO, EU, NAFTA, WB and IMF become more significant players in influencing the policy of nations and thus attacking the national sovereignty. Globalisation, thus, placing State sovereignty under strain, as international rules and institutions appear to become more instructive, transnational NGO's more active and state control is less pronounced. State sovereignty as a normative concept is increasingly challenged by the process of globalisation. The sanctioned use of legitimate violence by the national sovereign power is now challenged and influenced by International NGO's.

Privatization and liberalisation are the two watchword for globalisation. The support for privatization of services hitherto rendered by government has been gaining momentum in all the developing nations. The success of privatisation of services in South Korea has led other Asian nations to move towards limited government and liberalised economy. Liberalised economy was introduced in India since 1991 and many of the public sectors were privatised. The Indian government monopoly over certain productions and services were relaxed. The spirit of free competition has led many MNC's to enter India and do business.

The MNC's inturn influences the national and regional policies for their easy and successful operation. The erosion of national sovereignty has been more prounced due to the privatisation and the shedding of State obligatory functions worldwide in service provisions, distribution and production. Corporate managers and non-citizens are the new policy makers in the context of globalisation. The shrinking responsibilities of states and the expansion of private sectors has led to de- bureaucratisation. Only regulatory functions are allocated to State. For instance in India, since 1991 the 'license raj' has been controlled.

The primary goal for globalisation is economic integration of the world and it therefore failed in political and cultural integration. This resulted in cultural awakening of groups which are against universal culture (American-Western culture). As opined by Samuel. P. Huntington, the process of globalisation has initiated the clash of civilisations. He adds that civilisation "fault lines" may lead to civilisation conflicts. There is no meaning for national sovereignty in conflict resolutions based on civilisational conflicts. In such situation national boundaries will be redrawn and national sovereignty may be redefined.

Many social scientists believe that globalisation erodes national sovereignty in terms of :

(a) Forces of fundamentalism

(b) Neo-colonialism

(c) Civilizational conflicts and

(d) New politics.

4.2 GLOBALISATION AND CHALLENGES TO STATE SOVEREIGNTY

There is link between globalisation and State sovereignty. Globalisation refers to 'a process of removing government imposed restrictions on movements between countries in order to create "open", "borderless", world economy'. Globalisation, thus, has powerful economic, political and social dimension. National sovereignty and national borders has its limitations in the globalised economy. The management guru Peter Drucker observed that in a globalised economy, national boundaries have largely become irrelevant. Sovereignty of a nation in a globalised economy can be protected by the following ground realities.

1. Predominant industrial society.
2. Near equal society
3. Democratic political institutions.
4. International economic bargaining powers.
5. Presence of civil societies. (NGO's)
6. Knowledge based society.
7. Advanced information technology.
8. Appropriate distributive mechanism for the distribution of the benefits gained through globalised economy.
9. Adequate Social Security measures for workers.
10. Limited role for bureaucracy and to extend welfare functions of the State.

In the absence of the above said features, the introduction of globalisation in a nation has been considered by many critics as surrendering the national sovereignty to MNC's. In India, the globalised economy has been build on socialistic foundation. In the context poverty, illiteracy and inequality, the introduction of liberalised economy will lead to mass protest and labour unrest. The sovereignty of the nation has given way to the concepts of supranational and extra-territorial regimes like IMF and WB. Further, these changes are being legitimised through international treaties and national policies.

The role of the State as protector and guarantor of human rights has also undergone significant change. State's authority in this regard has been partially transferred to the universal codes regarding human rights. Several supranational institutions have appeared which have assumed responsibility for the protection of human rights and thus greatly undermined national sovereignty and citizenship.

Immigration by the highly developed countries has resulted in creation of contradictory legal regimes. It has been observed that often the corporate sector, backed by national governments of developed countries, has supported the removal of restrictions on cross- border flows of people, to protect and promote its financial and staffing interests. Despite this the domestic regimes have tried to uphold state‘s long established sovereign right to regulate the entry of all aliens to its territory.

The State sovereignty has been greatly undermined with the domestic courts increasingly invoking human rights covenants in defence of individual rights. As a result, the foundations of state sovereignty and nationality are being redefined. In the course of time, the meaning of citizenship may be diluted and the distinction between citizen and alien may be blurred. One scholar has observed, “the sovereignty of nations becomes invalidated, and their development determined more by the compulsions of the market place and less by their own national needs and priorities. National social contracts are abrogated with impunity; and international contracts are negotiated and enforced through a variety of instruments for covert and overt action”.

From our analysis of the impact of globalisation on national sovereignty, it is understood that the benefits of globalised economy has positive sign of development for developed nations than the developing and under developed nations. When the developing and under developed nations introduce economic liberalisation and privatisation it may seriously undermine the national sovereignty. The general impact of globalisation on national sovereignty of developing nations are listed as follows:

1. Multinationals can impact upon communities in very diverse places. First, they look to establish or contract operations (production, service and sales) in countries and regions where they can exploit cheaper labour and resources.
2. It can also mean large scale unemployment in those communities where those industries were previously located.
3. Multinationals seek out new or under-exploited markets.
4. Multinational companies can also have significant influence with regard to policy formation in many national governrnents and in transnational bodies such as the European Union and the World Bank (key actors within the globalisation process). They have also profited from privatisation and the opening up of services.
5. Another outcome of globalisation has been a huge increase in salaries of senior managers, accountants, lawyers and public-relations personnel working for MNCs or the local competitors.
6. A major causality of this process has been a decline in the power of national governments to direct and influence their economies (especially with regard to macroeconomic management).

7. Developments in the life sciences, and in digital technology and the like, have opened up vast, new possibilities for production and exchange. Innovations like the internet have made it possible to access information and resources across the world -and to coordinate activities in real time.

8. Knowledge has become perhaps the most important factor determining the standard of living -more than land, than tools, than labour. Today's most technologically advanced economies are truly knowledge-based.

9. Large multinational corporations still have considerable economic and cultural powers. Examples: Coca-Cola, NIKE, Mac Donald and LEVIS

10. Indian industrialists who have so far failed to invest in research and development and are losing the battle for market share are also becoming amenable to globalisation in the fond hope of partnering with an MNC that will enable them to stabilise or expand their sinking business ventures.

Advocates of globalisation have often made the claim that globalisation rather than destroy Indian industry would instead accelerate the growth of new industry and cause India's economy to grow faster. But a detailed analysis of Foreign Direct Investment (FDI) in the last few years indicates that a sizeable portion of this investment has not gone into the creation of new productive capacities.

Globalisation and Indian Culture

Western cultural influence in India is especially notable because Indians generally value the maintenance of uniquely Indian identities. Indian culture is what Samuel Huntington describes as a "strong" culture, meaning, in part, that Indian culture is able to withstand an influx of outside cultural ideas and products without losing its own internal identities. Indian resistance to globalisation, for example, has been strongest in regard to foreign goods and services that most strongly symbolize and reinforce cultural values and personal identities. Whereas Western management techniques and business practices were quickly integrated into traditional lifestyles in the growing Indian software industry, most Indians continue to eat indigenous foods, watch local movies and TV, and to wear traditional clothing. Western companies in the vast Indian consumer market, therefore, have faced difficulty successfully marketing their products.

Views of Amartya Sen

Amartya Sen has argued that 'the market economy does not work by itself in global relations—indeed, it cannot operate alone even within a given country'. Significant was the growth in influence of neo-liberal ideologies and their promotion by powerful politicians like Reagan in the USA and Thatcher in the UK. Development with human touch is the need for developing nation like India. Under globalisation, the economic and political sovereignty of a nation should no be surrendered. A balanced

approach is needed for both market economy and welfare economics.

Amartya Sen
(b 1933)

Multinational Corporations (MNCs), with the collaboration of Bretton Woods Institutions (World Bank, International Monetary Fund) and the World Trade Organisation (WTO) have imposed their strategic plan through the General Agreement on Tariffs and Trade (GATT). The strategy is to allow MNCs free access to all countries, removing all trade restrictions.:

IMF and World Bank strategic plans:

- Reduction of budgetary subsidies
- Removal of subsidies for agricultural inputs
- Removal of food subsidies
- Pursuance of liberal economic policies
- Promotion of foreign investment
- Import liberalisation
- Privatisation of the banking sector

WTO

- Reduction of subsidies
- Reduction of support for domestic agriculture
- Removal of PDS (food subsidies)
- Pursuance of free trade by developing countries
- Removal of restrictions on MNCs in utilities industries
- Removal of barriers on imports
- Lifting restrictions on entry of foreign investors

The Bretton Woods institutions for their part continue to be made the centre of gravity for the principle economic decisions that affect the developing countries.

An audit of the performance of the Indian economy after reforms were initiated in July 1991 fails to reveal any spectacular achievements. The opening of the economy to foreign capital has not succeeded in attracting a significant flow of capital or technology into the country, especially into the productive.

The World of Information

'The information revolution is destroying the nation state and promoting regional confederations of city-states. Whereas the industrial Revolution was a centralizing force, the Information Revolution is a decentralising force'.

Evaluation

The old map of states is being shaken by the roots-some states have fallen to pieces, some have formed massive trading alliances, most in the west seem to be yielding sovereignty to the world of globalisation and market forces, and all are yielding large areas of social and economic responsibility to the private and not-for-profit sectors. At the same time across recently collapsed or vanished empires in Africa, the former USSR and Yugoslavia, we may observe the very worst aspects of nineteenth-century nationalistic chauvinism and intolerance, the resurgence of ethnic animosities among, for instance the Kurds, the non-Moslems of the Southern Sudan or the Chinese in Tibet.

Exercise

PART A

I. Choose the correct answer

1. ‘Coca-Cola’ is a

   (a) Public Sector

   (b) Private Sector

   (c) Multinational Corporation

   (d) Limited Company

2. National Sovereignty has been challenged by

   (a) G-8 nations

   (b) European Union

   (c) International financial institutions

   (d) G-77 nations

3. Globalisation mainly signifies

   (a) Economic integration

   (b) Political integration

   (c) Social integration

   (d) All the above

II. Fill in the blanks

4. India is a _____nation.

5. Samuel P. Huntington discussed about _____conflicts.

III. True or False

6. India is grouped under G-8 nations.

7. India is a member of European Union.

PART B

8. What is Knowledge Society?

9. Define Information Technology?

PART C

10. What is ‘Global Village’?
11. Explain ‘Open Economy’.

PART D

12. Bring out the major impact of globalisation on India.
13. What are the major challenges faced by developing nations in this globalised world.

CHAPTER 5

FORMS OF GOVERNMENT

Introduction

Government is one of the essential elements of the State. It is the working agency of the State. The importance of the Government in modern times is highly felt. Attempts have been made from time to time to classify the various forms of Government.

The classification of Governments as explained by C.F.Strong may be represented through the following table:-

Sl. No	Source of Classification	A	B
I	Jurisdiction of governmental powers	Democracy	Dictatorship
II	**(a)** Nature of the State	Unitary State	Federal State
	(b) Nature of the Constitution	Flexible	Rigid

Sl. No	Source of Classification	A	B
	(c) Nature of Constituency	(i) State having universal franchise system	(i) States having limited voting system
		(ii) States having single-member constituencies	(ii) States having multi-member constituencies
III	**(a)** Nature of Legislature	States having Bicameralism	States having Unicameralism.
	(b) Structure of the Legislature	States having Elected Members in Upper Chambers	States having no elected Members in Upper Chambers
IV	Nature of Executive	Parliamentary and Responsible form of Government	Presidential form of Government
V	Nature of Judiciary	States having Rule of Law.	States having Administrative Law.

The above classification of C.F.Strong on forms of government is wholly concerned with the formal structure of the state.

5.1 UNITARY

A unitary form of government is one in which all the powers are concentrated in the hands of the central government. The central government creates local units for administrative convenience and delegates to them such power as it deems necessary. These local units are called local governments.

England, France, Japan, SriLanka are examples of Unitary governments.

Definition

Some leading writers defined unitary government as follows:

GARNER: “Where the whole power of government is conferred by the constitution upon a single central organ”

A.V.DICEY: “Habitual exercise of supreme legislative authority is by one central power”

C.F.STRONG mentions two important qualities of the Unitary Government. They are:-

1. The supremacy of the central government;
2. The absence of the subsidiary sovereign bodies.

The distinction between subsidiary law-making bodies and subsidiary sovereign bodies is the distinction between the local authorities in a unitary state and state authorities in a federal state.

MERITS

1. There is unity, uniformity of law, policy and administration.
2. There is no conflict of authority and responsibility.
3. A unitary government will make prompt decisions and take speedy action.
4. A unitary government is less expensive.
5. Amendments to the constitution are easy.
6. Suitable for small countries.

DE-MERITS

1. The concentration of powers may pave way for the despotism of the central government.
2. The central government will have to tackle so many complex problems that they have no adequate time to devote to local affairs.
3. The central government will not be acquainted with local problems, local interest and initiative.
4. It is not suitable for big countries.

5.2 FEDERAL

The term “Federation” is derived from the Latin word “foedus” meaning treaty or agreement – that is agreement between central government (federal government) and the state governments.

Prof. Dicey defines federalism as a political contrivance intended to reconcile national unity with the maintenance of state rights.

Federalism is the theory or advocacy of federal political order, where final authority is divided between sub-units and a centre. Unlike a unitary state, sovereignty is constitutionally split between at least two territorial levels so that units at each level have formal authority and can act independently of the others in some area. Citizens thus have political obligations to two authorities. The allocation of authority between the sub-units and centre may vary, typically the centre has powers regarding defence and foreign policy, but sub-units may also have international roles. The sub-units may also participate in central decision-making bodies. Much recent philosophical attention is spurred by renewed political interest in federalism, coupled with empirical findings concerning the requisite and legitimate basis for stability and trust among citizens in federations.

FEATURES OF THE FEDERAL GOVERNMENT

1. The supremacy of the constitution.
2. The division of powers between the central government and state governments.
3. The rigidity of the constitution.
4. The independent judiciary.

1. The supremacy of the constitution:- There must be a written constitution. A written constitution is one in which provisions are written down in a document for both the federal government and state governments. The constitution is the supreme authority.

2. The division of powers:- In a federal form of government the powers of the government are divided between a government for whole country and government for parts of the country in such a way that each government is legally independent within its own sphere.

3. The rigidity of the constitution:- According to Prof. Dicey, a rigid constitution is one under which certain laws generally known as constitutional or fundamental laws cannot be changed in the same manner as the ordinary laws are changed.

Constitutional laws refer to those provisions of the constitution. Ordinary laws are those laws enacted by the parliament. The constitutional law is placed above the ordinary law.

4. The independent judiciary:- In a federal government, conflicts may arise between the federal government and a state government or between state governments. The power to settle the conflicts or to interpret the constitution is given to the judiciary. The judgement given by the court must be obeyed by the centre as well as states.

5.3 PARLIAMENTARY

A parliamentary form of government is that in which the executive is responsible to the legislature. It is also called the cabinet government or responsible government.

Example : India, United Kingdom (U.K)

Essential features:-

1. The executive has two types of functions. One is the nominal and the other is the real. The nominal head represents the state. The real head represents the government. In Britain, head of the state is the king or queen. The head of government is the prime minister.

Legally all the powers are vested with the nominal head - Example President of India.

In practice, all the powers are exercised by the real head Example, cabinet under the leadership of the prime minister of India.

2. The ruling party should have a clear and stable majority in the legislature. In the event of a "hung parliament" a coalition government can also be formed. For example in India during the prime ministership of Mr. Deva Gowda (1996) Mr. I.K. Gujral (1998) we had hung parliament.

3. Head of a cabinet is the leader of the majority party in the legislature. He is the prime minister.

4. The prime minister and the cabinet ministers are selected from among members of parliament.

5. Each minister is responsible to the legislature for the acts of omission and commission of his own department. Likewise, all ministers are collectively responsible to the legislature for the collective policy of the ministry in power.

MERITS

1. The most important merit in a parliamentary form of government is the harmony and co-operation between the legislature and the executive.
2. It is flexible and elastic. Whenever there is a crisis, smooth change of government is possible without revolution.
3. Opposition political party offers a constructive criticism of governmental policies.
4. It is responsive to public opinion.

DEMERITS

1. It is against the theory of separation of powers. When the executive and legislature functions are combined together, there is every likelihood of prime minister becoming more powerful.
2. In the absence of majority, coalition is the only alternative. Coalition government is a weak form of government and may result in political instability.

3. If ruling party resigns from the government or defeated in the elections, the opposition party assumes office of governance. It will reverse all the decisions of the previous government. It means that there is no continuity in policy matters.

5.4 PRESIDENTIAL

The presidential form of government is that in which the executive is not responsible to the legislature.

Example: United States of America (U.S.A)

Essential features

1. The president is the real executive. There is no nominal or ceremonial executive. All the powers are vested in the hands of the president.
2. The powers of the three organs namely, legislature, executive and judiciary are separated and vested in different persons.
3. Though the three organs of the government are kept apart, they are also connected by the system of checks and balances. Each organ of government exercises checks on the other two organs so that a sort of balance is established.
4. The tenure of the president is fixed. The tenure of office cannot be lessened or increased under any circumstances. President can be removed by the legislature only by a process of impeachment.

MERITS

1. Stable government is possible.
2. Under a presidential form of government, experts are appointed as heads of the departments without consideration of their party affiliations. The president may appoint persons who belong to the opposition parties.
3. There is continuous and consistent policy.
4. Highly suitable during the period of national crisis.
5. There is no chance for concentration of powers.

DEMERITS

1. The executive is not responsible to the legislature and can do whatever it pleases.
2. There is always the possibility of deadlocks between the legislature and the executive.

3. It is not flexible form of government.

4. The Presidential executive finds it difficult to follow a vigorous foreign policy, as there is no harmonious relationship between the executive and the legislature. The executive may follow a policy which may not be acceptable to the legislature.

5.5. COLLEGIATE

The collegiate or plural executive is one in which the authority is exercised by two or more individuals having co-equal authority. It is a system of government which adopts the merits and discards the defects of both the parliamentary and presidential systems of government.

Example: Switzerland

The collegiate executive of Switzerland is called the Federal Council. It consists of seven members called councillors. These councillors are elected for a fixed term of four years by the two Houses of the Legislature (Federal Assembly) at a joint sitting. Swiss Government has seven departments and each department is under the control of a councillor. After being elected as the councillor they have to resign their membership in the Federal Assembly. They can be re-elected as many times as possible. The office of the President and the Vice-President of the Federal Council are shared among the councillors on a rotation basis for a one year term. No president can hold office for more than one year.

MERITS

1. The collegiate executive of Switzerland is characterized by stability and responsibility.

2. There is no possibility of concentration of powers in a single individual.

3. This type of executive avoids tyranny and dictatorship.

4. The collegiate executive of Switzerland is representative of all opinions and all areas of the country.

5. This type of executive paves the way for continuity and permits traditions to be formed.

DE-MERITS

1. Since the collegiate executive consists of seven members belonging to different political parties, there is unnecessary delay in taking decisions.

2. The members of the federal council belong to various parties. Hence it is difficult to ensure secrecy which is essential for proper functioning of the executive.

3. In this system of government speedy action is possible during emergencies.
4. The executive is organized on plural principle. Hence it is not compatible with unity and independence.

5.6 MODERN DICTATORSHIP

The term dictator has been borrowed from ancient Rome. Dictatorship is a form of government. Dictatorship is against democracy. While democracy upholds liberty, dictatorship suppresses liberty.

F. NEUMANN says "By dictatorship, we understand the rule of a person, a group of persons who arrogate to themselves and monopolize power in the state, exercising it without restraint."

Modern dictatorship rose as a reaction against democracy.

Modern dictatorship arose owing to the following causes:-

1. Victorious powers of World War I (1914-1918) like Britain and France were arrogant and treated defeated powers like Germany with disrespect.
2. During the inter-war period (1919-39) failure of democracy led to the spread of dictatorship.
3. The League of Nations could do nothing to save democracy, when Hitler 's Germany went on committing a series of aggressive acts, when Mussolini's Italy annexed Ethiopia, when Soviet Russia attacked East European countries and when Japan seized Manchuria from China.

Features of modern dictatorship

1. Modern dictatorship is one man rule and authoritarian.
2. One party rule – Example: Communist Party – China
3. No individual freedom for people.
4. Wide gulf between dictator and people based on fear and force.

MERITS

1. Dictators show a singleness of purpose resulting in efficiency and quick decisions.
2. Cost of administration is low.
3. Dictatorship implies one party, one leader and one programme. National unity and solidarity is the contribution of dictatorship.

DE-MERTIS

1. Dictatorship is based on force and fear.
2. People have no rights.
3. Dictators use their energy to realize their selfish aims.The interest of the people will not be taken into consideration.
4. Dictators are for bringing about revolutionary changes.

Dictators of 20th Century

Fidel Castro

Adolf Hitler

(1889-1945)

Mao Tse Tung (also Zedong)

(1893-1976)

Benito Mussolini

(1883-1945)

Cuba under Castro, Italy under Mussolini, Germany under Hitler, China under Mao Tse-tung were examples of dictatorship.

In the dictatorship style of functioning the individual's personality was suppressed and all aspects of life were regimented. Strict supervision and control over human thought and action was the order. Public and private life of individuals were submitted to dictators.

5.7 DISTINCTION BETWEEN UNICAMERAL AND BICAMERAL

Legislature is the first branch of the government. It is the law making body of the government. It expresses the will of the people. Unless laws are made, the question of enforcing them or interpreting them does not arise.

There are two kinds of legislature:-

Legislature → 1. Unicameral
Legislature → 2. Bicameral

Unicameral:- Where the legislature has only one house, it is called unicameral.

Example: China (National Peoples Conference)

India: Legislative Assembly (Tamil Nadu)

Bicameral:- In Latin camera means house or chamber. Where the legislature has two houses, it is called bicameral.

The following countries have bicameral legislature

INDIA	Lower House	-	Lok Sabha
	Upper House	-	Rajya Sabha
U.S.A	Lower House	-	House of Representatives
	Upper House	-	Senate
U.K	Lower House	-	House of Commons
	Upper House	-	House of Lords.

Bicameral system of legislature is prevalent in a majority of the countries of the world. At the same time, unicameralism is also in existence in certain countries. Political scientists expressed different opinions in support of and against the two systems of legislature. For example, writer like Bryce, Garner, and Lord Acton argued in favour of Bicameralism. On the other hand, political writers like Laski, Benjamin Franklin and Bentham supported unicameralism.

Sir. J.A.R Marriott says that the “past history is in favour of the bicameral system. Experience has seen in favour of two chambers and it is not wise to disregard the lessons of history”.

Dr. Leacock says, “The unicameral system has been tried and found wanting.”

Distinction between

	Unicameral	Bicameral
1.	Responsibility is located	Responsibility is divided
2.	Hasty legislation	Checks on hasty legislation
3.	Leads to despotism	Checks the despotism.
4.	There is no delay in legislation	Delay in legislation
5.	No occasion for legislative dead-locks	Occasion for legislative dead-locks
6.	No duplication of work	Duplication of work
7.	Few countries are following Unicameral.	Many countries are following Bicameral.
8.	Work load is heavy.	Reduces the work load.
9.	Economy of national expenditure	Higher expenditure
10.	No scope for representation to minorities and other interests.	Scope for representation to minorities and other interests.

Exercise

Part A

I. Choose and write the correct answer

1. The term federation is derived from which word?

   (a) Latin (b) French (c) Hindi (d) Sanskrit

2. The Latin word camera means.

   (a) House (b) Building (c) Structure (d) Camera

II. Fill in the blanks

3. Lok Sabha is known as _____ House.
4. Rajya Sabha is known as _____ House.

III. True or False

5. There are two kinds of legislature.
6. Senate is the upper house of the Congress of U.S.A

IV. Match the following

7. Parliamentary - Switzerland
8. Presidential - U.K
9. Collegiate - U.S.A

PART B

10. Define unitary government.
11. Define federal government.

PART C

12. Explain modern dictatorship.
13. Explain collegiate executive.
14. Explain the distinction between unicameral and bicameral legislatures.

PART D

15. Describe parliamentary form of government.
16. Discuss presidential form of government.

CHAPTER 6

THE JUDICIARY

Introduction

The administration of justice is an important aspect of government from ancient times to the modern times. But how and in what manner this function of judiciary was performed is a long story in the growth of not only the government but also of judiciary. Government consisted mainly of three branches namely

a. the legislature

b. the executive

c. the judiciary

However this distinction was not clear as there were different forms or patterns of government. This is clear from the various stages through which the modern government emerged. Originally there was a monarchy followed by aristocracy, oligarchy and tyranny. These forms of government varied from time to time and every such form of government existed in different countries at different points of time. So these three functions of the government in 20th century were not performed by the respective bodies. Infact one and the same person or agency performed. But as changes took place in the form and nature of governance, duties of government these functions had also been distinguished and they happened to be entrusted to the respective bodies. In this way, the judiciary as one of the important organs of the government came to be reorganised as the same was called for to discharge its duties by itself.

The 20th century witnessed several developments in the political system and the nature of government. One important feature of this is the emergence of democracy as a system of government. In this system much importance is attached to the judiciary. Infact political thinkers of modern times, insisted that the executive functions, legislative functions and judicial functions be entrusted to the respective persons or bodies. They should not interfere with the duties and responsibilities of the rest. This theory is known in political science as the separation of powers.

It was advocated by Montesquieu a French writer in his book called “The Spirit of Laws” published in the year 1748. Since then it has become popular with modern government. It was given due recognition by the Americans when they drafted the constitution. In course of time, many other countries European and Asian incorporated this principle in their constitutions. This ultimately led to the recognition of the need for and importance of the judiciary.

6.1 NEED AND IMPORTANCE OF JUDICIARY

The judiciary performs very important functions and the most important is that of the administration of justice. Wherever a case comes before a judge, it is his duty to interpret the law of the country on that point in an impartial manner and give his decision accordingly. But it is his duty to see that justice is dispensed according to the law. The judiciary is the custodian of a written constitution.

The welfare of the citizens greatly depends upon speedy and impartial justice. The judiciary is the guardian of the rights of man and it protects these rights from all possibilities of individual and public encroachment. The feeling in an average citizen that he can rely on the certain and prompt administration of justice maximises his liberty. If there is no adequate provision for the administration of justice liberty of the people is jeopardized, for there is no definite means which should ascertain and decide rights, punish crimes and protect the innocent from injury and usurpation.

According to Bentham, the administration of justice by the state must be regarded as a permanent and essential element of civilization and as a device that admits of no substitute.

The judiciary will see that the rights of the people are protected. Once the law has been made, it cannot be given any arbitrary interpretation by the executive. It is upto the courts to decide the meaning of law.

6.2 THE QUALIFICATION OF THE JUDGES

The judiciary is an important element of the state has been explained more than adequately in the text book elsewhere. What the judiciary does and does not do is a matter of concern which affects every individual and every section of the society. Therefore judiciary should have as judges, persons of high calibre and with sound knowledge of jurisprudence and the laws of the country. The qualifications prescribed for appointment as judges vary from state to state and from place to place.

The following points relating to USA deserve consideration

The USA constitution is silent on judicial qualifications. It does not give any advice for judicial appointments other than stating that justices should exhibit “good behaviour”. As a result, selections are governed primarily by tradition. Normally for appointment the President of USA takes into account the following factors:

(a) Experience in the judiciary or government either at federal or state level. Generally law degrees or some other form of higher education are also considered.

(b) Political ideology - this depends upon the political ideology to which the President subscribes. A liberal may appoint a person with liberal views. Similarly, a conservative may appoint an individual with conservative outlook.

(c) Party and personal loyalties - a large number of appointees belong to the Presidents party and

(d)Ethnicity and gender - until recently federal judges were white men. Women were not considered for appointment as judges. But things have changed and since the time of the President, Ronald Reagan, women were also appointed. More recently, both men and women belonging to different races like African Americans and Latinos are also appointed.

So far as the modern states are concerned the following may be given as general qualifications for persons to be appointed as judges to the courts:

(a) Nationality and citizenship

(b) Age

(c) Basic degree in any subject

(d) A degree in law

(e) Experience in the judiciary or practice as a lawyer for a specific period

(f) Standing as an eminent jurist

6.3 JUDICIAL REVIEW

Judicial Review is an important contribution of the U.S.A. to political science. The power of the Judiciary to declare law unconstitutional is called judicial review. In England the judiciary has no power to sit in judgement on the law passed by parliament. But in countries like U.S.A., Canada, India, Australia, if the legislature passes a law which is against the constitution, the judiciary can declare such law as ultra vires.

The Supreme Court enjoys the power of judicial review. The Supreme Court of India has judicial review power with regard to:

(a) disputes between the centre and the states.

(b) to interpret and clarify a provision of the constitution above which there are some doubts and differences of opinion.

(c) protecting the fundamental rights.

(d) those laws passed by the legislature which are not in accordance with the constitution.

In India, the Supreme Court and High Courts enjoy this power. The following are the merits and demerits of Judicial Review:

Merits

1. Judges are competent to make judicial review by virtue of their knowledge and experience.
2. It enables the federal judiciary to act as the guardian of the constitution.
3. The courts are independent and less biased than legislatures.
4. It protects the fundamental rights of the people in particular the rights of the minorities.
5. It is necessary to preserve a free and limited government.
6. It enables the judiciary to guard against legislative haste and rashness.

De-merits

1. It may violate the spirit of separation of powers.
2. By giving the power of judicial review to the courts the smooth functioning of the representative system of government is affected as the courts infringe upon the legislative and executive functions.
3. Judicial review delays the operation and implementation of important and pressing social policies so necessary for the needs of a dynamic society.
4. Almost all problems coming before the judges involves issues of political, economic and social importance and legislation on them. Thus it makes the judiciary a super legislature.
5. Issues brought before the courts are decided by a majority of single judge (in the U.S.A. five to four majority). It shows how the judges are sharply divided amongst themselves and their judgement vitally affects the nation as a whole.
6. Judges may over look the challenges of the changing times and may refuse to move forward. They may become conservative.
7. Judges may follow blindly only the letter of the law totally ignoring its spirit. They may develop hard attitude.

Judicial review has been accepted as an important doctrine in the working of the judiciary.

6.4 JUDICIAL ACTIVISM

The judiciary is one of the important pillars of democracy. It has more onerous responsibilities than two other important estates, the executive and the legislature. It is the judiciary and the institution of justice that helps the orderly functioning of parliamentary democracy and the exercise of powers by the various wings of administrative machinery.

“Judicial activism” is inspired by the public, who knock the doors of justice and thus judicial activism is basically citizens activism. By exercising the right to freedom of expression and assuring the representation of the common citizen, the press has raised same particular issues, conducted risky investigation and exposed serious omissions, sometimes going to court with public interest litigation. The lions share of citizens activism is that of the press, the fourth estate. When the administration fails to respond the citizen looks to the press for communication and turn to the judiciary for a remedy.

Since the judiciary is part and parcel of the society as a whole and the persons who man the administration of justice are none other than the same persons from the community, it is difficult to imagine better standards and higher moral values only in the judiciary. The people as a whole should therefore have overall control, in accordance with democratic principles. Hence an enlightened and conscious citizen should ponder over the need to reform every system, including the judiciary, to be more useful to the public in general and the democratic institutions in particular.

The delayed dispensation of justice is one of the main maladies confronting the fabric of our republic. If by delay justice is denied, it is conversely burried if hurried. With its defective structure and unquestionable power devoid of any accountability, the judiciary as for that matter, any system can play havoc with the setup. Our constitutional frame work provides for a fairly good amount of independence to the judiciary to act as watchdog, over the other two estates. To retain such independence the judiciary is rightly enjoying an enormous amount of power too.

The Supreme Court in India unlike in the U.S.A has vast powers in controlling administrative discretion. Judicial activism, particularly on public interest litigation, has revolutionised constitutional jurisprudence. Persons belonging to the executive and legislative have criticised the judiciary for weakening those wings and making them feel insecure. They described the situation as judicial tyranny and judicial grabbing or judiciacracy.

Various phenomena reflect the denigration of justice system. Charges of corruption, links between some advocates and some judges, the brokerage system, chasing litigation, bias, political appointments of public prosecutors and government pleaders are some of them.

As the purview of the judicial review is expanding by leaps and bounds, every action of the two estates is coming in for judicial scrutiny. In a way, this situation is helping to increase the powers of the judiciary. Citizens should be enlightened about the defects of the judiciary and the media should play the role of catalyst in reforming the administration of justice, to make it more useful to society and for judicial activism to help the development of law.

6.5 INDEPENDENCE OF JUDICIARY

Justice is considered to be one of the divine attributes and a judge is described as a blindfolded person who holds the scales of justice which he administers even handed. It means judges should be impartial.

The need for independence of the judiciary has acquired an added dimension under modern conditions of the welfare state. The more modern government interferes, administers and regulates the more urgent is the need to preserve a check on the way. These activities affect individuals and groups. The factors which ensure independence of judiciary and enable judges to fearlessly discharge their duties are the following. Dr.Garner says, “If the judges lack wisdom, probity and freedom of decision, the high purpose for which the judiciary is established cannot be realised”. If the judiciary is independent only when the system of the appointment of the judges is good, if they have the security of service and interference and control.

Conditions or factors which make the judiciary independent, are the following:

1. Mode of appointment of judges

In advanced countries of the world generally three modes are adopted for the appointment of the judges. They are

(a) Election by the people. Eg., Many states of America.

(b) Election by legislature. Eg., Switzerland

(c) Appointment by the executive. Eg., India, U.K, U.S.A.

Election by the people

The system of popular election of judges was first introduced in France in conformity to the theories of popular sovereignty and the separation of powers. It now prevails in some of the cantons of Switzerland, and in a few states of the United States of America. According to Laski “that of election by people at large is without exception the worst. Popularly elected judges can never be impartial, honest, independent and dignified”.

Prof. Garner also says, “Election of the judges lowers the character of the judiciary, tends to make a politician, of the judge and subjects the judicial mind to a strain which it is not always able to resist”.

Election by the legislature

The election of the judges by the legislature is seen in Switzerland. Election by the legislature is not a common and accredited method of appointing judges, because this system is a violation of the principle of the separation of powers. But more important is it makes the judiciary subservient to the legislature. Moreover election by the legislature means elections of party candidates when party affinities

intervene in the selection of judges merit is discounted and independence of the judiciary disappears.

Appointment by the Executive

The third mode of appointement of judges is appointment by the head of the state (the King or the President). This system of appointment of judges is adopted in India, England, the United States, Canada, Australia, Japan and South Africa.

The appointment of judges by the executive is the most common and the best available method of choice and it is in practice in nearly all countries of the world. Judges chosen by the executive are likely to be independent of popular influence and political or sectional considerations. In India too, recruitment to the subordinate courts is through a competitive examination, whereas in the case of courts above, it is according to the method as presented in the constitution, but the appointing authority is the executive.

In order to remove the defects of this system. Laski does not consider simple nomination by the executive as an adequate system. He suggests that judicial appointments should be made on the recommendations of the Ministry of justice with the consent of a standing committee of the judges which would represent all sides of their work. In England and other common wealth countries, the judges are selected from among the advocates and pleaders working in the courts. In certain countries of Europe, the judges are selected by the ministry of justice through competitive examinations. Thus this is the best system of the appointment of the judges and it is prevalent in many countries of the world.

2. Long Tenure

For the independence of judiciary, a long tenure of the judges is essential. If the tenure of the judges is short, its consequences will be bad. In case of a short tenure the judge will remain busy in planning for his re-election, sometimes he indulges in corrupt practices when he loses the hope to win the election. If the tenure is short, the judge is unable to comprehend fully the various implications of the laws.

Today in many countries of the world the judges remain in office till they attain the age of 65 or 70 provided their conduct is above board.

Hamilton says, The standard of good behaviour for the continuance in office of the judicial magistracy is certainly one of the most valuable of the modern improvements in the practice of government.

3. Security of Service

For the independence of judiciary it is essential that there should be security of service for the judges and the executive should not remove them at will.

In Great Britain, the judges have been guaranteed the security of service and they can be removed only when both the houses pass a resolution jointly, levelling allegations against the judges and send it to the monarch for his/her assent.

In the United States, the judges of the supreme court are removed by a process of impeachment.

If the judges are under constant fear of being removed from office, they give decision against the executive (government) they will not give decisions against the government. Thus there will be no protection of the constitution and fundamental rights of the people. Therefore in most advanced countries of the world the parliament removes corrupt and incapable judges by a majority vote, but the honest and able judges are granted the security of service, even if they give decisions against the executive.

4. Adequate salary to the judges

In order to make the judges independent, it is necessary that they should be paid adequately so that they are able to maintain a good standard of living and they do not amass wealth by adopting corrupt practices. If the judges are adequately paid able persons will be attracted towards this profession and they will enjoy an honourable place in the society. If they are not paid adequately, able persons shall not be attracted towards this profession and they will have no place of prestige in society. A low paid judge may be attracted by opportunities for accepting illegal gratification. Whereas it is necessary that a judge should be paid adequately, it is also necessary that during his tenure of office, his allowances and emoluments are not reduced by the executive. Besides this after retirement a judge should receive pension so that during his tenure he should not indulge in corrupt practices and he should lead a peaceful retired life. The salaries for the judges are paid from the voted funds of the national government. This ensures financial independence of judiciary.

5. High Qualification

For the independence of judiciary it is also important that the judges should be able persons since only an able judge can give correct decisions and express his views freely.

6. Separation of judiciary from the control of the executive

For the independence of judiciary Montesqueiu emphasised that it should be free of the control of the executive. In ancient and middle ages the judiciary was under the control of the executive. Hence, there was violation of justice and the king decided the cases arbitrarily. It destroyed the freedom of the people. Therefore, today efforts are made to free the judiciary from the control of the executive, so that the judges may give decision fearlessly.

7. No practice after retirement

The judge should not be allowed to do legal practice after retirement, because his previous colleagues would favour him in the cases in which he appears as a lawyer.

Conclusion

On the basis of the views expressed above, in order to make the judiciary independent, the mode of the appointment of the judges should be good, their dismissal should be very difficult, their tenure should be long and they should be paid adequately.

Exercise

Part A

I. Fill in the blanks

1. Montesquieu a French writer in his book called _____ published in the year 1948.
2. The _____ enjoys the power of judicial review.
3. The election of the judges by the legislature is seen in the country of _____
4. In ancient and middle ages, the _____ was under the control of the executive.

II. True or False

5. Judicial review is an important contribution of U.K.
6. There are three branches of government
7. Judiciary is one of pillars of democracy.

Part B

8. Define judiciary.
9. What are the qualifications to become a judge?
10. Define judicial review.

Part C

11. What is the need for a judiciary?
12. List out the merits and demerits of the judicial review.

Part D

13. Write about judicial activism?
14. Write in detail about the independence of the judiciary

CHAPTER 7

INDIAN GOVERNMENT AND POLITICS

7.1 SALIENT FEATURES OF INDIAN CONSTITUTION

The task of framing a constitution of a sovereign democratic nation is performed by a representative body of its people. Such a body elected by the people for the purpose of considering and adopting a constitution may be known as the Constituent Assembly.

The constitution of India was framed by the Constituent Assembly (1946-49). Dr. Rajendra Prasad was its President and Dr. B.R. Ambedkar was the Chairman of the Drafting Committee. The constitution of India is the product of efforts of the members of the Constituent Assembly.

The following are the salient features of the constitution of India:

1. Preamble
2. Written constitution
3. Rigid constitution
4. Federal system
5. Secular state
6. Parliamentary democracy
7. Fundamental rights
8. Directive principles of state policy
9. Fundamental duties
10. Judicial review
11. Universal adult franchise.

PREAMBLE

The constitution of India starts with a Preamble. The objective of the constitution is precisely given in the Preamble. It serves as a guide to interpret the provisions of the constitution. It is not a part of the constitution and hence not subject to judicial review.

According to the text of the preamble as it stands today after the forty second amendment Act of 1976:

The Preamble of the Indian constitution reads as follows:

WE, THE PEOPLE OF INDIA, having solemnly resolved to Constitute India into a SOVEREIGN SOCIALIST SECULAR DEMOCRATIC REPUBLIC and to secure to all its citizens:

JUSTICE, social, economic and political;

LIBERTY of thought, expression, belief, faith and worship;

EQUALITY of status and of opportunity; and to promote among them all

FRATERNITY assuring the dignity of the individual and the unity and integrity of the Nation:

IN OUR CONSTITUENT ASSEMBLY this twenty - sixth day of November, 1949 do HEREBY ADOPT, ENACT AND GIVE TO OURSELVES THIS CONSTITUTION.

WRITTEN CONSTITUTION

A written constitution is one in which most of the basic rules and regulations are written down in a document. Indian constitution is a written one. It is lengthy also. The constitution of India came into force on 26, January, 1950. From that day onwards the Indians are celebrating 26 January of every year as Republic Day. The constitutions of Great Britain, Ireland, Canada and Australia were major sources for the Indian constitution. The framers of the Indian constitution borrowed from the constitutions of other countries keeping in mind the needs and conditions of India.

RIGID CONSTITUTION

According to Prof. Dicey, a rigid constitution is one under which certain laws generally known as constitutional or fundamental laws cannot be changed in the same manner as the ordinary laws are changed.

Constitutional laws refer to those provisions of the constitution. Ordinary laws are those laws enacted by the Parliament with reference to the provisions of the constitution. The constitutional laws are placed above the ordinary law. A special procedure is prescribed in the Indian constitution to amend the provisions. Some of the provisions of the Indian constitution can be amended easily and the procedure is difficult for some others. Hence, our constitution consists of features of both flexible and rigid constitutions.

FEDERAL SYSTEM

Federalism is a system of government in which powers are divided and distributed between the Central Government and State Governments. Our constitution has the following federal features:-

1. Supremacy of the constitution
2. Rigid constitution
3. Division of powers
4. Independent judiciary

SECULAR STATE

The Indian constitution establishes a secular state. It means there will be complete freedom to follow any religion. It guarantees to all citizens freedom of faith, worship and conscience. It also means equal respect for all religions. The basis of secularism is ethics and to bring about a society of equality and justice.

PARLIAMENTARY DEMOCRACY

The constitution of India provides for a parliamentary system of government. It is also known as responsible government or cabinet government.

A parliamentary form of government is that in which the executive is responsible to the legislature. The executive of India has two divisions. One is the nominal and the other is real. In India, the nominal executive is the President of India. He is elected by an electoral college for a period of five years. The real executive is the Prime Minister and Council of Ministers. In a parliamentary form of government there is individual responsibility as well as collective responsibility of the members of the Council of Ministers. The constitution of India provides a bicameral legislature consisting of the Lok Sabha and the Rajya Sabha. While Lok Sabha contains representatives directly elected by the people on the basis of universal adult franchise, the Rajya Sabha mainly consists of representatives of the States.

FUNDAMENTAL RIGHTS

Right to Equality

Right to Freedom

Right against Exploitation

Right to Freedom of Religion

Part III of the Indian constitution consists of Fundamental Rights (Articles 12 to 35). These are indispensable for the growth of human personality. They not only create proper conditions for the fullest development of an individual, but also help in realising true democracy.

Cultural and Educational Rights

Right to Constitutional Remedies

These rights ensure equality of all citizens in the eyes of law. Fundamental Rights maintain proper balance between the individual interests and the public good.

The constitution of India classified the Fundamental Rights under six groups as follows: -

(a) Right to Equality

(b) Right to Freedom

(c) Right against Exploitation

(d) Right to Freedom of Religion

(e) Cultural and Educational Rights

(f) Right to constitutional Remedies

Right to property - has been abolished by the 44th Amendment Act, 1978.

DIRECTIVE PRINCIPLES OF STATE POLICY

Part IV of the Indian constitution consists of Directive Principles of State Policy (Articles 36 to 51). They are fundamental in the governance of the country. Directive

1. Free and compulsory education

2. Equal pay for equal work

3. Adequate power to village panchayats

4. Proper health facilities

Principles of State Policy act as a guide to the State and it is the duty of the State to apply these Principles in making laws. They aim at the establishment of a welfare state in our country.

Principles

Directive Principles of State Policy may be grouped into following categories:

I Socialist Principles

II. Gandhian Principles

III. International Principles

IV. Miscellaneous Principles

I. Socialist Principles

1. adequate means of livelihood for citizens, men and women equally
2. equal pay for equal work.

II. Gandhian Ideologies:

Gandhiji

1. organisation of village panchayats to enable them to functions as units of self-government.
2. promote cottage industries on an individual or co-operative basis in rural areas.
3. promotion of educational and economic interest of Scheduled Castes, Scheduled Tribes and other weaker sections.
4. raise the level of nutrition and the standard of living and to improve public health.
5. organisation of agriculture and animal husbandry
6. preserving and improving the breeds and prohibiting the slaughter of cows and calves and other milch and draught cattle.

III. International Principles

1. promote international peace and security
2. maintain just and honourable relations between nations

IV. Miscellaneous Principles

1. equal justice and free legal aid
2. uniform civil code for the citizens

Fundamental Duties

The Forty-Second Amendment Act of 1976 added Part IV A(Article 51 A) in the Indian constitution containing ten duties for citizens of India. According to former Prime Minister of India Mrs. Gandhi, moral value of the fundamental duties would be "not to smother rights but to establish a democratic balance" by making the people conscious of their duties equally as they are conscious of their rights.

(a) to abide by the constitution and respect its ideals and institutions, the National Flag and the National Anthem

(b) to cherish and follow the noble ideals which inspired our national struggle for freedom

(c) to uphold and protect the sovereignty, unity and integrity of India

(d) to defend the country and render national service when called upon to do so

(e) to promote harmony and the spirit of common brotherhood amongst all the people of India transcending religious, linguistic, and regional or sectional diversities; to renounce practices derogatory to dignity of women

(f) to value and preserve the rich heritage of our composite culture

(g) to protect and improve the natural environment including forests, lakes, rivers and wild life, and to have compassion for living creatures

(h) to develop the scientific temper, humanism and the spirit of inquiry and reform

(i) to safeguard public property and to abjure violence

(j) to strive towards excellence in all spheres of individual and collective activity so that the nation constantly rises to higher levels of endeavour and achievement

JUDICIAL REVIEW

Our constitution provides independence to judiciary. The Supreme Court and the High Courts in India enjoy the power of Judicial Review. The power of judiciary to declare law as unconstitutional and to interpret provisions of ordinary laws enacted by

legislatures is called Judicial Review. Judiciary acts as a guardian of the constitution. Judiciary protects the rights and freedoms of the Indian citizens.

UNIVERSAL ADULT FRANCHISE

The constitution of India has introduced universal adult franchise. All the adults above the age of 18 years, irrespective of their castes, colour and / sex are entitled to participate in the election.

7.2 ORGANISATION OF CENTRAL GOVERNMENT

Organisational Structure of Union Government

7.2.1 PRESIDENT

The President is the first citizen of India. He is the Head of the State.Shri. Pranab Mukherjee is the present President of India.

Qualifications for election as President

1. He should be a citizen of India.
2. He must have completed the age of 35 years.
3. He should be qualified to become the member of the Lok Sabha.
4. He should not hold any office of profit under the government.

Election of President

The President is elected by members of an electoral college consisting of:-

1. The elected members of both Houses of Parliament
2. The elected members of the Legislative Assemblies of the States.

The election of the President of India is in accordance with the system of proportional representation by means of single transferable vote. The system of secret ballot is adopted for the election of the President.

The President of India is elected for a period of five years. He is eligible for re-election for a second term.

Procedure for Impeachment of the President

The President of India can be removed from office by impeachment for violation of the constitution. Impeachment has to be approved by both the House of Parliament. One fourth of the total members of a House can give notice at least fourteen days in advance of their intention to impeach the President. The charges if approved by two-thirds majority will be referred to the other House for investigation. If the investigating House also approves the charges with two-thirds majority, the President shall stand impeached and will vacate his office, on the date on which such a resolution is passed.

Powers of the President of India

1. Executive Powers

The executive power of the Union is vested in the President and is exercised by him either directly or through officers subordinate to him in accordance with the constitution. There is a Council of Ministers to aid and advise the President in the exercise of his functions. All executive powers of the Union government are exercised in the name of President.

The Prime Minister is appointed by the President and on the advice of the Prime Minister other Ministers of the Union are appointed by the President. The President appoints the Attorney -General of India, Comptroller and Auditor - General of India, Ambassadors, High Commissioners and other diplomatic representatives to foreign countries, the Chief Justice and other Judges of the Supreme Court and the High Courts, Governors of States, Lt. Governors, Chairman and members of the Union Public Service Commission, Election Commission. The President is the Supreme Commander of the Armed forces. He appoints the Chief of Staff of Army, Navy and the Air Force.

The President has the power to remove the Ministers on the advice of the Prime Minister. He can remove the Chairman or a member of the Union Public Service Commission only on the basis of the report of the Supreme Court. He can remove a Judge of the Supreme Court or the Election Commissioner only on the basis of decisions taken by the Parliament by a special majority in both the Houses.

It may be observed that though formally all the executive powers are vested in the President, he exercises them on the advice of the Prime Minister and his Council of Ministers. Earlier it was not obligatory for the President to accept this advice but the Forty-Second Amendment Act, 1976 made it obligatory for the President to exercise his functions in accordance with the advice of the Council of Ministers. However, under the Forty-Fourth Amendment Act, 1978 the President has been authorised to refer back the matter to the Council of Ministers for reconsideration. But if the Council of Ministers after such reconsideration tenders any advice to the President, the President has to abide by the same.

2. Legislative Powers

The President of India summons the Parliament atleast twice a year. President prorogues or terminates the sessions of both or any of the Houses of Parliament. He is empowered to dissolve the Lok Sabha.

The President nominates twelve members to the Rajya Sabha, from among the distinguished persons in the field of art, science, literature and social service. He can also nominate not more than two members to the Lok Sabha from among the Anglo-Indian Community if in his opinion that community is not adequately represented therein.

President addresses the Parliament. He may address the joint-sitting of both the Houses or any of its Houses separately. He can convene a joint sitting of the Lok Sabha and Rajya Sabha to resolve the dispute if any.

No bill passed by the Parliament can become a law, without the assent or approval of the President. The President is empowered to issue an ordinance when the Parliament is not in session.

3. Financial Powers

No money bill can be introduced in the Parliament without the recommendation of the President. The constitution of India places the Contingency Fund of India at the disposal of the President who is authorized to make advances out of it to meet the unforeseen expenditure pending its final authorization by the Parliament. Every five year, the President appoints a Finance Commission.

4. Judicial Powers

The President has the power to grant pardon, reprieve or remission of punishment. He has the right to seek advice of the Supreme Court on a matter involving constitution and law.

5. Emergency Powers

The President of India is vested with emergency powers. They are as follows:-

(a) emergency due to war or external aggression or armed rebellion (Article : 352)

(b) emergency due to failure of constitutional machinery in States (Article : 356)

(c) financial emergency. (Article : 360)

Vice - President of India

The Vice-President of India is the ex-officio Chairman of the Rajya Sabha. In the event of the occurrence of any vacancy in the office of the President by reason of his death, resignation or removal, or otherwise, the Vice-President acts as the President until the date on which a new President takes charge. When the President is unable to discharge his functions owing to absence, illness or any other cause, the Vice-President shall discharge his functions until the date on which the President resumes his duties.

Qualifications

1. He should be a citizen of India
2. He must have completed the age of 35 years

3. He should possess the qualifications to become the member of the Rajya Sabha.

4. He should not hold any office of profit under the government.

Election of the Vice - President

The Vice - President of India is elected by the members of an electoral college consisting of the members of both Houses of Parliament.

Term of Office of Vice-President

The Vice - President of India is elected for a period of five years. He is eligible for re-election. The Vice-President may resign before the expiry of his term. Parliament can remove him from office. At least fourteen days notice is necessary for this purpose. If Rajya Sabha passes a resolution for removal of Vice-President by a majority of its total membership and if Lok Sabha also agrees to it, the Vice-President shall be removed from office.

As the Chairman of the Rajya Sabha, the Vice-President presides over the meetings of the House. As the Presiding Officer, the Chairman of the Rajya Sabha is the unchallenged guardian of the prestige and dignity of the House. He is also the principle spokesman of the House and represents the collective voice to the outside world. He ensures that the proceedings of the House are conducted in accordance with the relevant constitutional provisions, roles, practices and conventions and that decorum is maintained in the House.

The Office of the Vice-President is one of the unique features of the constitution of India. It has no exact parallel in the countries of other democratic constitutions of the world.

7.2.2 PRIME MINISTER

The Prime Minister is the Head of the Government. He is the real executive. The Prime Minister is appointed by the President. The President invites the leader of the majority party in the Lok Sabha to become the Prime Minister. The Prime Minister of India is

1. Leader of the majority party
2. Leader of the Cabinet
3. Leader of the Parliament
4. Link between the President and Council of Ministers
5. Link between the President and Parliament
6. The Chief Spokesman of the Nation

7. Responsible for running the administration of the country

8. Responsible for conduct of international relations.

The Prime Minister is described as the 'Keystone of the Cabinet Arch' and 'First among equals'. Professor Harold J. Laski called him'The pivot of the whole system of Government'. Sir Ivor Jennings described him as 'The Sun around which the planets revolve'.

Features of Cabinet

In the parliamentary government, the cabinet is described as the committee of parliament. The cabinet brings together the executive and legislative branches. Bagehot defines cabinet as a hyphen that joins, the buckle that binds the executive and legislative departments together. The features of cabinet are as follows:-

1. Cabinet real executive
2. Real executive drawn from parliament
3. Link between the real executive and the legislature
4. Leadership of the Prime Minister
5. Political homogeneity
6. Cabinet responsible to the legislature
7. Executive subordinate to the legislature
8. Party government
9. Ministerial individual and collective responsibility
10. Opposition party
11. Cabinet secrecy.

Functions of Cabinet:

1. Policy Determining Function

The Cabinet is a deliberative and policy formulating body. It discusses and decides all sorts of national and international problems confronting the country.

2. Supreme Control of the National Executive:

The Cabinet is the supreme national executive. It superintends, supervises and directs the work of the civil servants of all over the Union.

3. The Cabinet as a Co-ordinator

The function of the Cabinet is to co-ordinate and guide the functions of the several ministers or Departments of Government.

4. Control Over Finance

The Cabinet is responsible for the whole expenditure of the State and for raising necessary revenues to meet it.

5. Control Over Appointments

Appointments do not normally come before the Cabinet for discussion. But all major appointments as those of Governors, Ambassadors and other appointments to key positions must be mentioned in the Cabinet before they are made public.

7.2.3 COUNCIL OF MINISTERS

There are two categories of members in the Council of Ministers. They are Cabinet Ministers and Ministers of State. The Cabinet is comparatively a smaller body and the most powerful organ of the government. The Cabinet Ministers are incharge of important portfolios and form the inner circle of the Council of Ministers. They attend the meetings of the Cabinet and take the major policy decisions. Ministers of State come next to the Cabinet Ministers. There are some ministers of State who hold independent charge of the department and others assist the Cabinet Ministers. Ministers of State cannot attend the Cabinet meetings except when invited are items of business pertaining to their departments are discussed in the meetings.

COMPOSITION OF UNION MINISTRY

The Prime Minister's Office (PMO)

The PMO provides secretarial assistance to the Prime Minister. It is headed by the Principal Secretary to Prime Minister. The PMO includes the anti-corruption unit and the public wing dealing with grievances.

The subject-matter of files required to be submitted to the Prime Minister depends on whether he is holding direct charge of the Ministry or whether there is a Cabinet Minister or Minister of State (Independent Charge) in charge of the Ministry.

In the case of the latter, most matters are dealt with by the Cabinet Minister / Minister of State-in-charge.only important policy issues, which the Minister concerned feels should be submitted to the Prime Minister for orders or information, are received in the PMO.

In cases where the Prime Minister is the Minister-in-charge, ~ matters requiring Ministerial approval not delegated to the Minister of State / Deputy Minister, if any,are submitted for orders. The Prime Minister has traditionally been the Minister-in-charge of the Departments of Space, Atomic Energy, and Ministry of Personnel, Public Grievances and Pension.

Since the Prime Minister is Chairman of the planning Commission, relevant files are forwarded to the PMO for his comments and clearance.

Some of the important matters that require the Prime Minister's personal attention include the following:

(a) Important defence-related issues;

(b) All important policy issues;

(c) All important decisions relating to the Cabinet Secretariat;

(d) Appointments to State Administrative Tribunals and the Central Administrative Tribunal, UPSC, Election Commission, Appointment of members of statutory/ constitutional Committees, commissions attached to various Ministries;

(e) All policy matters relating to the administration of the Civil Services and administrative reforms;

7.2.4 SPEAKER

The constitution provides for a Speaker and a Deputy Speaker for the Lok Sabha and a Chairman and a Deputy Chairman for the Rajya Sabha. The Speaker and the Deputy Speaker are chosen by the Lok Sabha from among its members. In the absence of the Speaker in the House, the Deputy Speaker discharges the functions of the Speaker.

Generally speaking, the position of the Speaker in India more or less corresponds to that of the Speaker of the House of Commons. His office is one of prestige and authority. He is the head of Lok Sabha. The smooth and orderly conduct of the business of the House is primarily his responsibility. Within the House and in all matters connected with the House, his word is final. He does not vote in the House except when there is an equality of votes.

Whenever, in the event of final disagreement between the Houses on a legislative measure a joint sitting is called, he presides over such a joint sitting and all the rules of procedure in such a sitting operate under his directions and orders.

The Speaker or Deputy Speaker of Lok Sabha vacates his office if he ceases to be a member of the House, he can resign by writing to the Deputy Speaker/Speaker and he can be removed by a resolution of the House, with 14 days' notice, passed by a majority of all the then members of the House. Irrespective of the dissolution of

the House, the Speaker, however, continues in office until immediately before the first sitting of the new House.

7.2.5 Parliament - Rajya Sabha

It consists of not more than 250 members. Out of these, 12 are nominated by the President for their special knowledge or practical experience in the fields of literature, science, art and social service. The remaining 238 seats are allocated to various States and Union Territories. The number of seats allocated varies from State to State in proportion to their population. Elections to the Rajya Sabha are indirect. Members representing states are elected by elected members of legislative assemblies of the states in accordance with the system of proportional representation by means of single transferable vote and those representing Union Territories are chosen in such a manner as Parliament may by law prescribe. The Rajya Sabha is not subject to dissolution. Its members are elected for a period of 6 years and one-third of its members retire on expiry of every second year.

The Vice-President of India is the ex-officio Chairman of the Rajya Sabha. In addition, the House elects a Deputy Chairman from among its members. The Deputy Chairman presides over the meeting of the House in the absence of the Vice-President.

7.2.6 Parliament-Lok Sabha

According to the constitution, the strength of Lok Sabha should not be more than 552 members - 530 members to represent States, 20 to represent Union Territories and not more than 2 members of Anglo-Indian Community to be nominated by the President, if in his opinion, that community is not adequately represented in the House. The number of members of each State to be elected is determined on the basis of the population. At present, the Lok Sabha consists of 545 members.

Term of the Lok Sabha, unless dissolved is five years. However while a Proclamation of Emergency is in operation, this period may be extended by Parliament by law for a period not exceeding one year at a time and not exceeding, in any case, beyond a period of six months after the Proclamation has ceased to operate.

The Presiding Officer of the Lok Sabha is the Speaker. He is elected by the House at its first meeting from among its own members. In addition, the House also elects a Deputy Speaker who discharges the duties of the Speaker during his absence or leave.

In order to be chosen as a member of Parliament, a person must be a citizen of India and not less than 30 years of age in case of the Rajya Sabha and not less than 25 years of age in case of the Lok Sabha. Additional qualifications may be prescribed by Parliament by law. A person can become a member of the Lok Sabha from any of the constituencies in the country. For the membership of the Rajya Sabha. he should be a registered voter in the State he represents.

Sessions of Parliament

According to the constitution, the Parliament has at least two sessions every year. The President summons the Parliament in a manner that the time gap between Iwo sessions is not more than six months. In practice, the Parliament normally meets three times a year. These sessions are called:

(a) budget Session which is normally summoned in February

(b) Monsoon Session which ordinarily meets in July and

(c) Winter Session, which commences in November.

In the First session of the year i.e. Budget Session, the President addresses both the Houses of Parliament assembled together. In this session besides other work, the Railway Budget and the General Budget are also discussed and adopted.

Functions of Parliament

1. Parliament of India has the functions of legislation
2. Overseeing of administration
3. Passing of budget
4. Ventilation of public grievances
5. Discussion of various subjects like development plans. international relations and national policies.

Distribution of powers between the Union and States, followed in the constitution, emphasizes in many ways general predominance of Parliament in legislative field Apart from wide-range of subjects even in normal times Parliament can, under certain circumstances, assume legislative power, a subject falling within the sphere exclusively reserved for the States. Parliament is also vested with powers to impeach President and to remove judges of Supreme Court and High Court. Chief Election Commissioner and Comptroller and Auditor-General in accordance with the procedure laid down in the constitution.

All legislations require consent of both Houses of Parliament In case of money bills, however the will of the Lok Sabha prevails. Money Bills can be delayed by the Rajya Sabha only for 14 days. Delegated legislation is also subject to review and control by Parliament. Besides power to legislate, the constitution vests in Parliament power to initiate amendment of the constitution. Article 368 deals with the power Of the Parliament amend the constitution and the procedure there of.

The Parliament exercises control over the executive through asking questions and supplementary questions, moving motions of adjournment, discussing and passing resolutions, discussing and passing censure motion or vote of no-confidence.

Functions of Parliament are not only varied in nature, but considerable in volume. Time at its disposal is limited. It can therefore, give close consideration to all legislative and other matters that come up before it. A good deal of business is, therefore, transacted in Committees.

Difference between Lok Sabha and Rajya Sabha

1. Members of Lok Sabha are directly elected by the people (eligible voters). Members of Rajya Sabha are elected by the elected members of Slate Legislative Assemblies in accordance with the system of proportional representation by means of single transferable vote.
2. The normal life of every Lok Sabha is 5 years only while Rajya Sabha is a permanent body
3. Lok Sabha is the House to which the Council of Ministers is responsible under the constitution. Money Bills can only be introduced in Lok Sabha. Also it is Lok Sabha which grants the money for running the administration of the country.
4. Rajya Sabha has special powers to declare that it is necessary and expedient in the national interest that Parliament may make laws with respect to a matter in the State List or to create by law one or more all India services common to the Union and the States.

7.2.7 Supreme Court

For the entire republic of India, there is one unified judicial system - one hierarchy of courts — with the Supreme Court as the highest or the Apex Court and as the only arbiter in nature of relations between the union and the states.

The Supreme Court of India consists of a Chief Justice and 25 Other Judges. The Chief Justice and the Judges are appointed by the President in consultation with such of the Judges of the Supreme Court and the High Courts in the States.

According to the constitution a person is eligible for appointment as Judge of the Supreme Court only if:

1. He is a citizen of India
2. He has been for at least five years a Judge of a High Court or of two or more such Courts in succession, or
3. He has been for at least ten years an advocate of a High Court or of two or more such Courts in succession or
4. He is, in the opinion of the President, a distinguished jurist.

The judges of the Supreme Court hold office until they attain the age of 65 years.

The Supreme Court has its permanent seat in Delhi. However, the court can sit at such other place or places which may be decided by the Chief Justice of India with the approval of the President of India.

Jurisdiction of the Supreme Court

1. Original Jurisdiction

The constitution of India vests the Supreme Court with original and exclusive jurisdiction in any dispute:

(a) between the Government of India and one or more states, or

(b) between the Government of India and any State or States on one side and one or more other States on the other, or

(c) between two or more States.

2. Appellate jurisdiction

The Supreme Court is the final appellate Court in the country. The Supreme Court hears appeals against the judgements of the High Courts of States in both civil and criminal cases. Such a case can be brought before the Supreme Court only if the High Court certifies that the case involves a substantial question of law as to the interpretation of the constitution.

Even if the certificate is not granted by the High Court, the Supreme Court has the right to grant special leave to appeal from any judgement, decree, determination, sentence or order in any case or matter passed or made by any Court or tribunals in the territory of India

In the civil cases an appeal can be made to the Supreme Court against the judgement of the H:gh Court.

In the criminal cases an appeal against the judgement of final order or sentence in a criminal proceeding of a High Court in the territory of India can be taken to the Supreme Court.

3. Advisory Jurisdiction

The constitution confers on the President the power to refer to the Supreme Court any question of law or fact which in his opinion is of public importance.

4. Writ Jurisdiction

Article 32 is the soul and heart of the constitution, because, it safeguards the rights, liberty and privileges of every citizen of India in terms of writs. As such, the Supreme Court has the writ Jurisdiction. There are five writs, namely Habeas corpus, Mandamus, prohibition, certiorari and Quo-warranto with the following explanations.

1. Habeas corpus: The words Habeas corpus literally mean to have body'. A writ of habeas corpus is in the nature of an order calling upon the person who has been detained another to produce the latter before the court, in order to let court know on what ground he has been confined and set him free if there is no legal justification from the imprisonment. This is a very powerful safeguard to the subject against arbitrary acts not only of private individuals but also of the executive.

2. Mandamus: Mandamus literally means a command. It demands some activity on the party of the body or person to whom it is addressed. In short, it commands the person to whom it is addressed. In short, it commands the person to whom it is addressed to perform some public or quasi-public legal duty which he has refused to perform and the performance of which cannot be enforced by any other adequate legal remedy. The writ is also available against the subordinate courts or other judicial bodies when they have refused to exercise their jurisdiction and thus to perform their duty.

3. Prohibition: This writ is issued by the Supreme Court or High Court to an subordinate court forbidding the latter to continue proceedings therein in excess of its jurisdiction or to usurp a jurisdiction with which it is not legally vested. In other words, the object of the writ is to compel subordinate courts to keep themselves within the limits of their jurisdiction. The writ of prohibition differs from the writ of mandamus in the following ways.

(a) Mandamus commands activity while prohibition commands inactivity, and

(b) Mandamus is available not only against judicial authorities but also against administrative authorities while prohibition as well as certiorari are issued against judicial or quasi-judicial authorities.

4.Certiorari:- Strictly speaking, while prohibition is available at an earlier stage, certiorari is available at a later stage, on similar grounds. The object of both is to secure that the jurisdiction of an subordinate court or tribunal is properly exercised and that it does not usurp the jurisdiction which it does not possess.

5. Quo-warranto:- Quo-warranto is a writ proceeding whereby the court enquires into the legality of the claim which a party asserts to a public office, and to oust him from its enjoyment it the claim be not well founded. The necessary conditions for the issue of a writ of quo-warranto are following.

(a) The office must be public and it must be created by a statute or by the constitution itself.

(b) The office must be a substantive one and not merely the function or employment of a servant at the will and during the pleasure of another, and

(c) There has been a contravention of the constitution or a statute or statutory instrument, in appointing such person to that office.

Thus, quo-warranto is not only an important writ but also a very powerful instrument for safeguarding against the usurption of public offices.

5. Miscellaneous Jurisdiction

(a) The Supreme Court is a court of record and enjoys all the powers of such a court including the power to punish for contempt of itself.

(b) The law declared by Supreme Court is binding on all courts within the territory of India.

(c) The Supreme Court is authorised to make rules for regulating generally the practice and procedure of the Court with the approval of the President.

(d) The Supreme Court has complete control over its own establishment.

Law Officers and the Central Law Agency Attorney General

Article 76 of the constitution makes provision for the appointment of a law officer the attorney general, by President of India. It is his duty to give advice to the Government of India upon legal matters and to perform such other duties of a legal character, as may from time to time be referred or assigned to him by the President and to discharge the functions conferred on him by or under this constitution or any other law for the time being in force.

The Attorney General is the highest law officer in the country and, in the performance of his duties, he has a right of audience in all courts in the territory of India.

The Attorney General holds office during the pleasure of the President and receives such remuneration as the President determines from time to time. Apart from the Attorney General, the other law officers are the Solicitor General of India.

7.2.8 Indian Political Parties

In the text book for the eleventh standard the origin, importance, need for and the kinds of political parties have been narrated. There is also information relating to the machinery for conducting elections, specially with reference to the conduct of general elections in India. In this book details of national parties and some important regional parties with reference to their organisation, ideologies and objectives are described.

In general every political party national or regional is organised vertically either from the top to the down or the vice versa. In other words there is a hierarchical structure. Each party has a chairman, a committee consisting of leading members to advice the party, secretaries and treasurers. The political parties organise periodical conferences at different levels in the country. These conferences are attended by the rank and file of the party. They are utilised to mobilise in the first instance funds for the

party and secondly support from the general public. In India all political parties follow more or less the same pattern.

The reason for the existence of several political parties in any country generally is attributed to the differences to which the political parties subscribe and also due to the differences in the methods adopted for achieving their ideologies and goals. Ideologies are indispensable for the existence of a political party. The same is true of the goals. These two enable a political party to function as a party.

The term ideology was coined by the French scholar Tracy (1754-1836). Ideology refers to a set of beliefs, convictions and ideals of the people. Ideology enables to formulate a theory of government and the programme of political action. Ideology is action oriented unlike political theory and political philosophy. Political ideology is a programme for action. In these lines there are some political ideologies. Among them, nationalism, democracy, socialism, secularism, liberalism, communism and capitalism are important. The political parties exist to achieve their objectives and programmes.

India is a vast country with a huge population. There are differences among the people with reference to the culture, religion, language, economic attainments and social distinctions. In other words the population is diverse in nature and therefore there cannot be uniformity about anything. This applies to the party system also. There are national and regional parties in this country. In the next few pages an account of the different political parties of India is given.

National Parties

The Indian National Congress

The Indian National Congress is the oldest and a dominant political party. It was founded on December 28, 1885 by A.O. Hume. The history of the Congress Party is the history of the freedom struggle. It began more as a national movement than as a political party. People from all quarters rallied under the Congress Party to realise the common goal of political independence. It was a truly representative body of the people. Hence, the British handed over the country and power to the Congress on August 15, 1947. Since then the Congress has been in power for-about-50 years, except for two short spells, at the centre. Until 1967 it was in power in almost all the States in India. The memorable leaders of the Congress Party are Mahatma Gandhi, Jawaharlal Nehru, Indira Gandhi, Rajiv Gandhi, C. Rajagopalachari, K. Kamaraj, P.V. Narasimha Rao and many others. The Indian National Congress met with many splits. Today it is known as Congress(I). Its election symbol is hand.

The Organisation of the Congress

The present constitution of the congress party was designed at its Nagpur Session of 1920. According to it,

1. the highest body in the Congress hierarchy is the All India Congress Committee. Its total membership is about 400. It holds annual and special sessions of the Congress. It has wide powers.
2. The next body is the congress Working Committee. Its members are elected in the All India Congress Committee itself. This body is like a cabinet. The senior most congressmen are normally elected to this body.
3. There is a special body known as the Parliamentary Board. It consists of six members, including the Congress President.
4. Below the Congress Working committee is the Pradesh Congress committee one each for a state. This body has its own president and other office bearers.
5. Below the Pradesh Congress Committee arc the District Congress Committees, one each for a district. Then there are committees subordinate to it and
6. The Mandal Congress Committees. Any person of 18 years or more can become a primary member of the Congress.

Ideology of the Congress Party

Before independence, the chief aim of the Congress was to attain national freedom. After independence, however, a change occurred in the policy and programme of the Congress. The objective of establishing a classless and democratic society was declared in 1955. For this purpose, a resolution on the "socialistic pattern of society" was adopted at the Avadi Session of the Congress Party. The Congress party adopted many other policies and programmes, suitable to the changing needs of the country.

However in the 1990's radical changes took place in the ideology of the congress party. The government under the leadership of Prime Minister Shri P.V. Narashima Rao initiated some economic reforms. These and other developments did not attach much importance to the socialistic pattern of society and rigorous policies with regard to the issue of licence, permit and imposition of taxes. In short the country was slowly but steadily moving towards what is popularly known as privatisation, liberalisation and globalisation. Whichever party after the exit of the congress party in 1996 came to power had to follow the same. The government headed by Dr.Manmohan Singh since May 2004 had to continue the liberal economic policies. The government headed by Dr. Manmohan Singh came to power again in May 2009 Lok Sabha general elections. Inspite of these changes, development through five year plans remains the method of the congress party and other political party governments.

The congress party right from the time of independence and Prime minister Shri Jawaharlal Nehru has been following a policy of friendship with India's neighbours. In regard to the super powers such as the United States and the Soviet Union the

congress party government followed a policy which stressed neutrality and non-alignment.

The Communist Party of India (CPI)

The Communist Party is the second oldest party in India. It was founded in the year 1924. But soon after its formation, it was banned by the British Indian Government. Consequently, most of the Communist workers carried on their work through the Congress. It remained an unlawful organisation till 1943 when the ban on it was removed because the Communist Party supported the Second World War and opposed the Quit India Movement of the Congress in 1942. After independence, the Communist Party of India consolidated its position. Ears of corn and sickle is the symbol of the CPI.

Organisation and Ideology

The Communist Party of India is a party of the World Communist movement. It has been recognised as a national party. However its influence is confined to the States of Kerala, West Bengal and Tripura.

The Communist Party of India was formed in 1958 at its Amritsar conference. The constitution of the party was changed to give up the militant revolutionary ideology. Parliamentary democracy was accepted as the method to attain the party goals. The party structure, in theory, is based on democratic centralism. Democratic centralism rests on the principles of central leader ship based on intra-party democracy. Intra-party democracy means freedom of debate within the party to check its action. As soon as the leadership decides on a programme after debate, the members preserve discipline and function according to the guidelines.

The primary unit of the party is called the Branch. It is organised on the basis of village panchayat, municipal ward, industry etc. Its functions are to sell the party literature, collect membership etc. Above the Branch are the Local Council, District Council, State Council and National Council. The National Council performs every important function such as the election of the Central Executive Committee, convening of the party congress, and enforcing the party constitution, the Central Executive Committee can set up the necessary bodies to handle its work. At the top are the Chairman and the General Secretary. This type of party organisation prevents the rise of personality cult. It promotes decentralisation of power and strengthens the democratic functioning of the party. This oganisation enables the party to retain its mass character.

The communist party of India follows the Marxist-Leninist thought completely. At the same time, it believes in parliamentary communism. It's aim is to defeat the reactionary forces opposed to people's interest. It wants to transform the parliament from an organ of bourgeois democracy into a real instrument of people's will.

The Communist Party of India believes in the following policies and programmes.

1. Nationalisation of Banks
2. Abolition of private foreign companies and Indian monopolies
3. Expansion of the scope of public sector
4. State trading
5. Stoppage of foreign capital
6. Drastic agrarian reforms
7. A non-aligned foreign policy
8. Opposition to colonialism, imperialism, and apartheid

The Communist Party of India (Marxist)

The Communist Party of India was split in the year 1964. The split was due to the schism in the Sino-Russian relations. The communist leaders had held differences of opinion in their evaluations of the economic and political situations prevailing in the country. Further, one group of leaders desired to extend their support to Nehru's Government. But the other group of leaders demanded tough opposition to the reactionary congress. Their-ideological differences reached a stage of no compromise. Finally, the dissidents held a separate convention of Ten ally in July 1964. They got separated from the Dange group. Leaders like Jyoti Basu, E.M.S. Namboodripad and others formed a separate party, known as the Communist Party of India (Marxist).

The organisation, major aims and policies of the CPI (Marxist) resemble mostly to those of the CPI. The principles of democracy socialism and inner party democracy are the bases to the party's structure form the Branch upwards the top. The branch is the living link with masses. The CPI (Marxist) is convinced that India's revolutionary movement must follow its own line of action. It believes that neither Chinese nor the Russian model would suit India. The symbol of the (Marxist) include a hammer, sickle and star.

Differences in the ideologies of the CPI and CPI (Marxist)

Besides certain common ideals and programmes, the CPI and the CPI (Marxist) have the following ideological differences.

1. The CPI (Marxist) considers that revolution could be brought about in India only by the leaders of the working class. But the CPI holds that social transformation can be achieved through close alliance with other democratic forces.
2. CPI (Marxist) believes in dislodging the existing state and replacing it with a State of People's Democracy led by the working class. The CPI supports the

idea of forming a national democratic front. It does not favour the dislodging to the existing governmental system. It holds that in course of time the reactionary forces will be eliminated and power may pass into the hands of the party.

3. The CPI (Marxist) believes that the ruling classes would never give up power voluntarily. Hence it wants to employ force out of necessity. But the CPI holds faith in peaceful means. Its aim is to transform the Parliament into a genuine instrument of people's will.

Bharatiya Janatha Party (BJP)

The old Bharatiya Jan Sangh is the precursor of the Bharatiya Janatha Party. The origin of the Jan Sang is linked with the origin of Hindu nationalism in the 19th Century. In 1875 Swami Dayanand Saraswati founded the 'Arya Samaj'. Ii created a new spirit among the North Indian Hindus. It also provided impetus to the movement of Hindu revivalism. The new ideas later formed the fundamental tenets of the Hindu Mahasabha and the Jan Sang. In 1925, Keshav Hedgewar formed Rashriya Swayam Sevak Sang (RSS) as a cultural organisalion. Its aim was to regenerate the Hindu Society. Shyama Prasad Mukherjee formed the Jan Sang in the year 1951 However, the Jan Sang secured support of the members of the Hindu Maha Sabha and the RSS. From 1952 to 1971 the party made steady progress.

In March 1977, the Lok Sabha Elections were held. The Jan Sang, the Congress (o), the Congress for Democracy, Bharatiya Lok Dal and the Socialist Party came under one banner of the Janata Party. The Janata Party Won 270 seats and formed the Government with Morarji Desai as Prime Minister. The Jan Sang leaders like A. B. Vajpayee became the cabinet ministers. With the dismantling of Janata Party in 1980, the Jan Sang leaders recognised the party and renamed it as Bharatiya Janata Party. The words "Jan Sang" were dropped. Since then the BJP is maintaining this individual identity. Under the leadership of Thiru A.B Vajpayee and Thiru L.K. Advani it became a national party. It formed government at the Centre with other parties in 1998. Again, after this party having sucess in the General Elections to the parliament held in April 2014, the Government being headed by Shri Narendra Modi in the centre has assumed office and functions. Its organisation is democratic as in the case of the Congress, Lotus is the symbol of the BJP.

Ideological Principles of the BJP

1. The BJP stands for democracy as a form of government and way of life. It wishes to uphold "political, economic and social democracy".
2. It guarantees equality of opportunity and liberty to all citizens so as to build up a powerful nation.
3. It emphasises the importance of national solidarity and integration. Il favours political and economic decentralisation.

4. The BJP stands for swadeshi economics. However it is by sheer circumstances of the time forced to adopt liberal economic policies since 1991. It upholds the principle of nationalisation of basic and defence industries. It does not favour the state trading.

5. In foreign policy, the BJP is opposed to the Congress. It feels that "the Congress has sacrificed the interests of the nation in the name of non-alignment". It emphasises the need to develop enlightened self-interest. Foreign policy must be based on reciprocity and mutual interest.

6. Recently the BJP has announced that corruption free public life, security and economic nationalism as its major aims.

Janata Dal

The Janata Dal was formed in October 1988. Its notable leaders are V.P. Singh. Ramakrishna Hegde. S.R. Bommai and Laloo Prasad Yadav.

The Janata Dal is democratic in Character. Party organisation is similar to the Old Janata Party. Anybody who believes in the programmes and policies of the Janata Dal can become a member of the party. But active members in the Janata Dal must sign an oath of loyally to the party. The executive body of the Janata Dal is the Working Committee. There are basic units from which the higher Committees are elected. For any office of the party only an active member can contest the election. There are Committees at Block, District, Provincial and National levels.

Ideological principles of the Janata Dal

The following are some of the important ideological contents of the Janata Dal.

The Janata Dal is dedicated to the values and ideals of Gandhiji. It desires to build up a democratic and socialist state in India. The party is wedded to the ideals of freedom and secular democracy. The Janata Dal wants to free the people from the bondage of fear. It stands for value-based politics and eradication of corruption. Its democratic values include (I) Electoral reforms, (2) Re-establishment of rule of law, (3) Protection of the fundamental rights, (4) Independence of judiciary, (5) Protection of freedom of the people, (6) Grassroot democracy, (7) A strong federal country with more powers to the states, (8) social political and economic justice.

The economic principles of the Janata Dal are based on the Gandhian ideology. It lays emphasis on primacy of agriculture, cottage and small-scale industries. It has accepted the ideals of right to work, abolition of unemployment, workers' participation in the industry, a national income, wages and prices policy and reduction in economic inequalities. It believes in the industrial self-reliance. ;

With respect to foreign policy, the Janata Dal does not differ much from the Congress. It welcomes foreign investments but not at the cost of our own industry.

Regional Parties

Dravida Munnetra Kazhagam

Regionalism in Tamilnadu began to be felt since 1916. It was due to the dominance of the brahmin community in the erstwhile Madras presidency. They enjoyed several privileges which were not available to the majority of the population. It all started with the establishment of a Dravidian Association by Thiru Natesa Mudaliar and others in 1912. Subsequently it was known as the Justice Party. It was dravidian in its outlook and its objectives. From this party the Dravida Kazhagam under the leadership of Periyar Ramaswamy was founded in 1944. It attracted the eminent leader Thiru C.N. Annadurai to its fold. Dravida Kazhagam was a social reform movement and not a political party. As time passed on and immediately after independence differences brokeout between Thiru C.N. Annadurai and Periyar Thiru E. V. Ramaswamy and the Dravida Munnetra Kazhagam (DMK) was formed by Annadurai on 17th September 1949. From 1949 to 1957 the DMK served the people only as a social organisation. The DMK had the aim of establishing a separate Dravidanadu, comprising the four southern states. But Anna abandoned this ideology on 23rd October 1963 as then the constitution was amended to bar separation. This was the turning point in the history of the DMK. Rising sun is its symbol.

The party was turned into a political party when it contested in the election for the first time in 1957. It secured only a few seats in the elections. However under the able guidance of Thiru C.N. Annadurai and popular support this party emerged victorious in the fourth general election in 1967 to the Tamilnadu State Assembly and formed government under the Chief-Ministership of Thiru C.N. Annadurai. Since then until now the dravidian parties only win in the elections and form government. The congress could not come to power. Since then it has been contesting in all general elections to the State Assembly as well as to the national parliament. After the death of Thiru C.N. Annadurai on 3rd February 1969, Thiru M. Karunanidhi became its leader. Under his leadership the party won in assembly elections and formed the government also.

Emergence of AIADMK

Owing to differences Thiru M. Karunanidhi as party President expelled Thiru. M.G. Ramachandran from the primary membership of the DMK in 1972. Subsequently MGR launched his own party on 18th October 1972 and named it as Anna Dravida Munnetra Kazhagam. After some time on 12th September 1976 it was renamed as All India Anna Dravida Munnetra Kazhagam. MGR declared that his party will follow the principles and policies pursued by Thiru C.N. Annadurai. From the beginning to the present the party is popular with the people of Tamilnadu. Though MGR died in December 1987 the party continued to maintain its strength and support under the present leadership of Selvi J. Jayalalithaa.

The basic ideology of the AIADMK is “Annaism”. The essence of Annaism is mainly the removal of poverty and untouchability. The other contents of the ideology are self respect, rationalism, socialism and social service. The party also believed in achieving its objectives through participation in elections to the state legislature and the national parliament.

The first time the AIADMK faced an election to the state assembly was during May 1973 in Dindigul parliamentary constituency. It won the by-election by polling 52% of the total votes polled. The DMK came third after Congress (O) of Thiru Kamaraj. This election was probably just an indication of a turning point in the electoral fortunes of the major Tamilnadu political parties.

Telugu Desam

It is like the Dravida Munnetra Kazhagam a regional political party which was founded by Thiru N.T. Rama Rao on 29th March 1982. Thiru N.T. Rama Rao was a charismatic leader who had acted in films in different roles. Particularly he played in cinema as divine hero. As a result he was demistified and worshiped by people as God on earth. Soon this party contested in the elections to the state assembly and it won in the assembly elections in 1983, 1985 and 1994. As chief minister he had served the people of Andhra to help eradicate poverty and raise their living standards. He was succeeded by his son-in-law Thiru. N. Chandrababu Naidu in 1995. He took several steps to make Andhra Pradesh a forward state. His contribution to the development of information technology was so great that the whole of India turned to him for model and guidance. He and his party extended from outside support to the Government formed at the centre by Thiru. A,B. Vajpayee belonging to the National Democratic Alliance which was unseated from power in the 2004 general elections to the Lok Sabha. During the same time elections were also held to the Andhra Pradesh state assembly in which the Telugu Desam party was defeated in the election. Indian National congress emerged victorious and formed the government in May 2004.

Aims and Objectives of Telugu Desam Party

The party stood for a fair and just relationship between the centre and the state. It did not want any distortion in the aims and objectives of programmes designed for well being of the people. It desired to bring about changes in the financial arrangement between the centre and the state. The party favoured the involvement of states in the planning process which could ensure real federalism. The party suggested for extensive electoral reforms to strengthen the democratic system in the country. For this it suggested to ban defection of elected representative to other parties, restructuring of the election commission and make it a multi member body and to remove evils in the election especially the influence of money power. It suggested state funding of expenditure of candidates who contested in the elections.

Akali Dal: It is a religious cum political party. It was formerly led by Master Tara Singh. This party demanded a Punjabi speaking state and Punjabi in Gurmukhi

script as the official language of the Punjab state. The Punjabi suba of the conception of the Akali party came into existence as a result of the reorganisation of the state of Punjab into Punjabi-speaking Punjab and the Hindi speaking state of Haryana in 1966.

Like other regional parties of significant following the Akali Dal also contested in the elections since 1967. This party in alliance with such parties like Bharatiya Janata Sangh or Janata Party or Bharatiya Janata Party formed governments and guided the destiny of Punjab.

The demands of the party mainly are Chandigarh should be handed over to Punjab and be made as its capital. There should be a just and honourable agreement between Punjab and Haryana for the disiribution of the waters of rivers Ravi and Beas. And justice should be done to Punjab keeping with the traditional martial qualities of the Sikhs. There should be equitable share of strength for the Sikhs in the Indian army. The other minor demands of the Akalidal are

1. Amirtsar should be given the same status as Vatican city (Rome) and declared a holy city.
2. Permission to carry kirpans by the sikhs on domestic flights of Indian Airline.
3. Declaration of Punjabi as the second language in Haryana.
4. Lastly transfer of management of the Bhakra dam to Punjab.

It should be noted that the Akali politics was at its peak in the early 1980's. It upset many a calculations of the government of India relating to the governments of Punjab There are still several unresolved demands of the Sikhs.

The other regional political parties worth the name for their significant contribution to their respective areas are, Assam Gana Thantra Parished in Assam and National Conference in Kashmir and the Plebiscite Front in Kashmir.

Conclusion: In what has been given above with reference to national and regional political parties is just a description of the organisation and the objectives of those parties only.

How and in what circumstances these parties captured political power finally and what they achieved have not been given. For more details please refer to such books which give information on party system given in the bibliography.

Exercise

PART A

I. Choose the correct answer:

1. The constitution of India came into force on

   (a) 26th January 1950 (b) I5th August 1947

   (C) 26th January 1947 (d) 15th August 1945

2. Forty Second Amendment Act came into force in the year

   (a) 1947 (b) 1976

   (c) 1967 (d) I950

3. Rajya Sabha consists of

   (a) 220 members (b) 230 members

   (c) 250 members (d) 200 members

4. Lok Sabha consists of

   (a) 552 members (b) 545 members

   (c) 500 members (d) 550 members

II. Fill in the blanks

5. The President of India is the _____ citizen of India.
6. The President of India is the Head of the _____
7. The Prime Minister of India is the Head of the_____
8. The Supreme Court of India consists of Chief Justice and _____Judges.
9. The Chief Justice of India and Judges of Supreme Court are appointed by the_____

III. Match the following

10. Lok Sabha - 25 years
11. Rajya Sabha - 30 years
12. Vice President - 35 years

PART B

13. Describe the Gandhian Principles.
14. Write short notes on Council of Ministers.
15. What is the role of the Speaker?

PART C

16. What are the features and functions of Cabinet?
17. Explain the role of the Prime Minister of India.
18. Discuss the importance of regional parties.
19. Discuss the composition of the Lok Sabha.
20. What are the functions of Parliament?
21. Explain the Jurisdiction of the Supreme Court of India.
22. Describe the objectives of Dravidian Political Parties.

PART D

23. Bring out the salient features of Indian constitution.
24. Write an essay on the powers and functions of the President of India.
25. Trace the growth of the Indian National Congress.

CHAPTER 8

ORGANISATION OF STATE GOVERNMENT IN TAMILNADU

Introduction

The Constitution of India provides for a federal government, having separate systems of administration for the union and the units, namely, the states. There are 29 states, 6 Union territories and one national capital territory known as New Delhi in India. The constitution contains provisions for the governance of both the union and the states. It lays down a uniform structure for the State Government, in part VI of the constitution from Article 152 to 237, which is applicable to all the states, save only the state of Jammu and Kashmir which has a separate constitution for its government under Article 370. Broadly speaking, the pattern of government in the states is the same as that for the union, namely, a parliamentary system. Here, let us know the Government of Tamil Nadu in terms of the office of the Governor, the Chief Minister, the Council of Ministers, state legislature and the judiciary, secretariat, district administration and the below.

8.1 THE GOVERNOR

The executive power of the state is vested in the Governor and all executive actions of the state have to be taken in the name of the Governor. But, he has to act as the nominal head of the state due to parliamentary system. Normally, there shall be a Governor for each state according to Article 153, but an amendment of 1956 makes it possible to appoint the same person as the Governor for two or more states. The Governor is not elected but is appointed by the President and holds office at pleasure of the President. Any citizen of India over 35 years of age is eligible for the office, but he must not hold any other office of profit, not be a member of the legislature of the union or of any state according to Article 158. But, the Sarkaria Commission has suggested that a person to be appointed as the Governor should satisfy the following criteria.

1. He should be eminent in some walk of life.
2. He should be a person from outside the state.
3. He should be a detached figure and not intimately connected with local polities of the state.
4. He should be a person who has not taken too great a part in polities generally and particularly in the recent past and
5. In selecting a Governor in accordance with the above criteria, persons belonging to the minority groups should continue to be given a chance as hitherto.

According to the Constitution, the Governor is appointed by the President by a warrant under his hand and seal. But, in actual practice, the Governor is appointed by the President on the recommendation of the Prime Minister. The normal term of a Governor's office shall be five years and he can be given another term also. Even after the completion of his term, he continues in office till his successor joins the office. Even though the term of office of Governor is five years, he may lose his office by his resignation or the dismissal by the President. He receives his salary from the Consolidated Fund of the state which is non-votable in the State Legislature.

Map 1 - Indian Union

Powers and Functions of the Governor

The Governor is the head of the state executive and he has enormous powers. In the exercise of functions and powers, the Governor, except in certain cases, is to be guided by the aid and advise of the Council of Ministers headed by the Chief Minister under Article 163. As the executive head in the state level, the Governor has following functions and powers.

A. Executive powers

B. Legislative powers

C. Financial powers

D. Judicial powers

E. Discretionary powers, and

F. Miscellaneous powers.

A. Executive Powers

1. All executive actions of the state government are formally taken in the name of Governor.
2. He appoints the Chief Minister and other ministers. They also hold office during his pleasure.
3. He appoints the Advocate - General of the state and determines his remuneration. The Advocate General holds his office during the pleasure of the Governor.
4. He appoints the State Election Commissioner and determines his condition of service and tenure of office.
5. He appoints the Chairman and Members of the State Public Service Commission. Yet, they can be removed from office only by the President of India and not by the Governor.
6. He can seek any information relating to the affairs of the state and the proposals for legislation from the Chief Minister.
7. He can require the Chief Minister to submit for the consideration of the council of ministers on any matter.
8. He can make rules specifying the manner in which the orders and other instruments made and executed in his name, shall be authenticated.
9. He can make rules for more convenient transaction of the business of the government and for the allocation among the ministers of the said business; and
10. He can recommend for the imposition of President's rule in the state to the President under Article 356. During such rule, the Governor enjoys extensive executive powers as an agent of the President.

B. Legislative Powers

The Governor is an integral part of the state legislature. But, he is not a member in the either house of the legislature. In this capacity, he enjoys the following legislative powers.

1. He has the right to summon or prorogue the state legislature and dissolve the State Legislative Assembly.
2. He can address the state legislature at the commencement of the first session after each general election and the first session of each year.
3. He can send messages to the houses of the state legislature relating to a bill pending in the legislature.

4. He can appoint any member of the Legislative Assembly to preside over its proceedings when the offices of both the Speaker and the Deputy Speaker fall vacant.

5. He nominates one - sixth of the members of the State Legislative Council from amongst the persons having special knowledge or practical experience in literature, science, art, cooperative movement and social service. But, the Governor of Tamil Nadu need not do this function because, the State Legislative Council, the upper house has been abolished since 1996.

6. He can nominate one member to the State Legislative Assembly from the Anglo-Indian Community.

7. He decides on the question of disqualification of members of the state legislature in consultation with the Election Commission.

8. Every bill passed by the state legislature will become law only after his signature. But, when a bill is sent to the Governor after it is passed by the legislature, he has the options to give his assent to the bill or withhold his assent to the bill or return the bill for the reconsideration of the legislature.

9. He has to reserve any bill passed by the state legislature which endangers the position of the state High Court, for the consideration of the President.

10. He can promulgate ordinances when the state legislature is not in session under Article 213. But, these ordinances must be approved by the legislature within six months. He can also withdraw an ordinance at anytime; and.

11. He has to lay the annual reports of the state Finance Commission, the State Public Service Commission and the Comptroller and Auditor General relating to the accounts of the state, before the state legislature.

C. Financial Powers

1. The Governor has to see that the state budget known as the Annual Financial Statement is laid before the legislature.

2. Money Bills can be introduced in the state legislature only with his prior recommendation.

3. No demand for any grant can be made exception on his recommendation.

4. He can make advances out of the state Contingency Fund to meet any unforeseen expenditure; and

5. He constitutes a Finance Commission after every five years to review the financial position of the panchayats and the municipalities.

D. Judicial Powers

1. The Governor can grant pardons, reprieve and remissions of punishment or suspend, remit and commute the sentence of any person convicted of any offence. But, the pardoning power of the Governor differs from the president in following ways.

    a. The President can pardon the death sentence while the Governor cannot.

    b. The President can pardon the sentences inflicted by court martial whereas the Governor can not.

2. He is consulted by the President while appointing the judges of the concerned state High Court.

3. He makes appointments, postings and promotions of the district judges in consultation with the High Court; and

4. He appoints the persons to the judicial service of the state in consultation with High Court and the Public Service Commission.

E. Discretionary Powers

1. The Governor reserves a bill for the consideration of the president.

2. He recommends for the imposition of the President's rule in the state.

3. He seeks information form the Chief Minister relating to the administrative and legislative matters of the state.

4. He can call the leader of any party to form ministry in the state when there is no clear-cut majority to any party in the Legislative Assembly after the general elections

5. He can dismiss the Council of Ministers when it is unable to prove the confidence of the Legislative Assembly; and

6. He can dissolve the Legislative Assembly if the Council of Ministers has lost its majority.

F. Miscellaneous Powers

In addition to the functions and powers mentioned above, the Governor exercises the following miscellaneous function also.

1. The Governor receives the annual report of the State Public Service Commission and submits the same to the Council of Ministers and the state legislature for discussion; and

2. He receives the report of the Auditor - General regarding income and expenditure made by different departments under the State Government.

Constitutional Position

The Constitution of India provides for a Parliamentary form of Government in the centre and in the states. Consequently, the Governor has been made only a nominal executive and the real executive constitutes the council of ministers headed by the Chief Minister. As a result, the Governor has to exercise his powers and functions with the aid and advise of the council of ministers headed by the Chief Minister. As a matter of fact, the constitution has assigned a dual role to the office of Governor in the Indian federal system, namely, the constitutional head of the state and the representative of the centre, ie the President. The following list shows the Governors of Tamil Nadu since 1952.

S.No.	Name of Governors	Period
1.	Thiru Shriprakasha	1952 - 56
2.	Thiru A.J. John	1956 - 57
3.	Thiru Vishnuram Methi	1958 - 64
4.	Thiru J.V. Bhahadur	1964 - 66
5.	Thiru Sardar Ujjal Singh	1966 - 71
6.	Thiru K.K. Shaw	1971 - 76
7.	Thiru Mohanlal Sugadia	1976 - 77
8.	Thiru Prabudas Patwari	1977 - 80
9.	Thiru Sadiq Ali	1980 - 82
10.	Thiru Sundarlal Khurana	1982 - 88
11.	Thiru P.C. Alexandar	1988 - 90
12.	Thiru Surjeeth Singh Barnala	1990 - 91.
13.	Thiru Bisma Narain Singh	1991 - 93
14.	Thiru M. Chenna Reddy	1993 - 96
15.	Thiru Krishnakanth	1996 - 97
16.	Miss Fathima Bevi	1997 - 01
17.	Thiru C. Rangarajan	2001 - 02
18.	Thiru Ram Mohan Rao	2002 - 04
19.	Thiru Surjeeth Singh Barnala	2004 - 11
20.	Thiru K. Rosiah	2011 - 16
21.	Thiru CH. Vidyasagar Rao (Acting)	2016 - Till date

8.2 THE CHIEF MINISTER

According to the Constitution of India, the Governor is the nominal head and the Chief Minister is the real head in the state executive. Since the parliamentary form of government exists, we find two types of heads. Thus, the position of the Chief Minister at the state level is anoalogus to the position of Prime Minister at the Centre. Every state shall have a Council of Ministers headed by the Chief Minister to aid and advise the Governor in the exercise of this powers and functions, except the discretionary ones under Article 163. The Chief Minister is appointed by the Governor. Actually, after the general elections to the state Legislative Assembly are over, the Governor calls the leader of the majority party to form ministry in the state. The Chief Minister shall hold office during the pleasure of the Governor. However, the normal term of office of the Chief Minister is five years. But, he may lose the office due to his resignation and the imposition of state emergency under Article 356.

Powers of Chief Minister

The Chief Minister is the chief of state administration. He has enormous functions and powers. The following are the functions and powers of the Chief Minister.

A. Relating to the council of ministers

B. Relating to the Governor

C. Relating to the State Legislature

D. Other functions and powers.

A. Relating to the Council of Ministers

As the head of the Council of Ministers, the Chief Minister enjoys the following functions and powers.

1. The Chief Minister recommends the persons who can be appointed as ministers by Governor.
2. He allocates the portfolios among the ministers.
3. He shuffles and reshuffles his ministry.
4. He can ask a minister to resign or to advise the Governor to dismiss him in case of difference of opinion.
5. He presides over the meetings of the Council of Ministers and influences its decisions.
6. He can bring about the collapse of the council of ministers by resigning from office; and
7. He guides, directs, controls and coordinates the activities of all the ministers.

B. Relating to the Governor

1. The Chief Minister is the principal channel of communication between the Governor and the Council of Ministers under Article 167, and
2. He advises the Governor in relation to the appointment of the following officials.

   (a) Advocate General

   (b) State Election Commissioner

   (c) Chairman and Members of the State Public Service Commission.

   (d) Chairman and Members of the State Planning Commission

   (e) Chairman and Members of the State Finance Commission.

C. Relating to State Legislature

1. The Chief Minister advises the Governor with regard to the summoning and proroguing the sessions of the state legislature.
2. He announces the government policies on the floor of the house.
3. He can introduce the bills in the Legislative Assembly; and
4. He can recommend for the dissolution of the Legislative Assembly to the Governor anytime.

D. Other function and powers

1. As the leader of the ruling party, the Chief Minister has to control the party and develop the disciplines
2. As the leader of the state, he has to keenly consider the demands of the different sections of the people.
3. As the political head of the various services, he has to supervise, control and co-ordinate the secretaries of various departments in the state level.
4. For smooth functioning of the state and for good centre-state relations, he has to develop a rapport with the union government; and
5. The size of the ministry is decided by the Chief Minister. However, only 15 percent of the members of the Legislative Assembly can be made as ministers due to the recent constitutional amendment.

Thus, the Chief Minister plays a very significant and highly crucial role in the state administration. However, the discretionary powers of the Governor have slightly reduced the role and importance of the Chief Minister only in a few states where the Governors have special provision. But, it is not so in the states like Tamil Nadu.

Chief Ministers of Tamil Nadu Since 1952

A list of Chief Ministers of Tamil Nadu from 1952 onwards is given below:

In Tamil Nadu, every Chief Minister has had their own place among the people. They have introduced the social welfare programmes and the development programmes according to their thoughts and principles to achieve the socialistic pattern of society in the state. Especially, for the welfare and development of the downtrodden, scheduled castes and the scheduled tribes, they have taken various efforts through various programmes of all departments, transport stands first not only in the state but also in the national level. This has been achieved mainly by the serious efforts of the Chief Ministers of different periods in Tamil Nadu.

S.No.	Name of the Chief Ministers	Party	Year
1.	Thiru . C. Rajagopalachariar	Congress	1952 - 54
2.	Thiru. K. Kamaraj	Congress	1954 - 63
3.	Thiru. M. Bhakthavath chalam	Congress	1963 - 67
4.	Thiru. C.N. Annadurai	DMK	1967 - 69
5.	Thiru. N. Karunanidhi	DMK	1969 - 76
6.	Thiru. M.G. Ramachandran	AIADMK	1977 - 87
7.	Tmt. Janaki Ramachandran	AIADMK	Jan 1988
8.	Thiru. M. Karunanidhi	DMK	1989 - 91
9.	Selvi. J. Jayalalithaa	AIADMK	1991 - 96
10.	Thiru. M. Karunanidhi	DMK	1996 - 01
11.	Thiru . O. Panneerselvam	AIADMK	2001 - 02
12.	Selvi. J. Jayalalithaa	AIADMK	2002 - 06
13.	Thiru. M. Karunanidhi	DMK	2006 - 11
14.	Selvi. J. Jayalalithaa	AIADMK	2011 - 14
15.	Thiru. O. Panneerselvam	AIADMK	2014 - 15
16.	Selvi. J. Jayalalithaa	AIADMK	2015 - 16
17.	Thiru. O. Panneerselvam	AIADMK	2016 - Till date

8.3 COUNCIL OF MINISTERS

The constitution of India under Article 163 provides that there shall be a Council of Ministers with the Chief Minister as its head to aid and advise the Governor in every state. Accordingly, the Governor is a nominal head and real powers of the state government vests in the Council of Ministers in Tamil Nadu. Though the Governor

has discretionary powers, he rarely exercises them. As already stated, the Governor appoints the Chief Minister and on his recommendation other ministers are appointed. There is no fixed term of office prescribed for the ministers and they hold office during the pleasure of the Governor. However, the normal term of office of the minsters is five years. The salaries and allowances of the ministers are determined by the state legislature from time to time.

Since parliamentary form of government is followed in the states as in the Union Government, the ministers are individually and collectively responsible to the state Legislative Assembly in which they are members. As a result, the ministers work as a team. “All for one and one for all” policy works in the functioning of the Council of Ministers. A minister can not separate himself from the collective decision of the ministry. The Council of Ministers remains in power so long as it commands the confidence of the Legislative Assembly. If a no - confidence motion is passed in Legislative Assembly, the Council of Ministers headed by the Chief Minister has to tender resignation. This is known as collective responsibility.

As far as the size of the Council of Ministers is concerned, it is not uniform in all the states in India. The Administrative Reforms Commission (ARC) suggested, “Taking a broad view of the needs of the administration in different states, we consider that big states like Uttar Pradesh, Bihar, Madhya Pradesh and Maharashtra may have about 20 persons in the Council of Ministers. The middle sized states like Madras (now Tamil Nadu), Karnataka and Andhra Pradesh may have 14 to 18 ministers and the small states like Kerala, Haryana and Punjab may have 8 to 12 ministers”. However, the size of the Council of Ministers depend on the Chief Minister of the state concerned. But, the number of ministers should not exceed 15 percent of the total members of the state legislative Assembly due to the recent Constitutional Amendment Act. Each minister has to be a member in the state Legislative Assembly. If not, he has to procure this membership within six months. In Tamil Nadu, according to the strength of Legislative Assembly (234 members), the number ministers may be upto 34, ie 15 percent of 234. The functions and powers of the Council of Ministers in Tamil Nadu are following.

1. The Council of Ministers maintains law and order and security of life and property of the people in the state.
2. It formulates and decides the policies of the state and implements them effectively.
3. It decides the legislative programmes of the Legislative Assembly and sponsor all important bills.
4. It controls the financial policy and decides the tax structure for the public welfare of the state.

5. It chalks out programmes and schemes for the socioeconomic changes so that the state makes headway in various inter-related fields.
6. It makes the important appointments of the Heads of Departments.
7. It discusses and takes efforts on the dispute with other states
8. It advises the Governor on the appointment of Judges of the subordinte courts.
9. It considers state's share of work in the Five Year Plans and determines its obligations.
10. It frames the proposal for incurring expenditure out of state reserves.
11. It decides all the bills whether ordinary bills or money bills to be introduced in the Legislative Assembly.
12. Each minister of the Council of Ministers supervises, controls and coordinates the department concerned; and
13. Annual Financial Statement called as the Budget is finalised by the Council of Ministers.

With regard to an appraisal, the Council of Ministers is the guide and master of the legislature especially the legislative Assembly in the state. Besides, the ministers are the formulators and executors of public policies of the state. However, the state legislative Assembly enjoys the right of passing a no-confidence motion against a ministry. Hence, the ministers are also subjected to severe criticism during the question hour in the state legislature. In Tamil Nadu, the no-confidence has not been passed against a ministry so far. But, K. Kamaraj resigned from chief ministership in 1963 due to Kamaraj plan. The ministry of M.G. Ramachandran was dissolved 1980 due to the state emergency under article 356. As such, the ministry of M. Karunanithi was dissolved 1991 due to the state emergency. In short, the council of ministers headed by the Chief Minister decides any or every thing for the welfare of the people in the state.

8.4 LEGISLATURE IN TAMIL NADU

The Legislature of a state consists of the governor and one or two houses. A State Legislature may be unicameral or bicameral. At present only 5 states have the bicameral legislatures, namely, Bihar, Karnataka, Maharashtra, Uttar Pradesh, and Jammu and Kashmir.

Legislative Assembly is the Lower House or First Chamber or the Popular Chamber in a state and the Legislative Council is the Upper House or Second Chamber. Hence, the state legislature includes the Legislative Assembly and the Legislature Council. The legislature of Tamil Nadu had bicameralism upto 1986 in

which the Legislative Council, the second chamber was abolished during the AIADMK government headed by M.G. Ramachandran as the Chief Minister. Hence, the legislature follows unicameralism as the Legislative Assembly is the only one house. However, we have to study the both the houses of Tamil Nadu legislature.

1. Legislative Council

The Legislative council is a mere ornamental chamber and its very existence is depending on the will of the Legislative Assembly. Under the constitution, the Legislative Council can be created or abolished by a simple Act of Parliament on the recommendation of the state concerned under Article 169. But, the recommendation of state Legislative Assembly to create or abolish the Legislative Council should be supported by a special majority i.e., two-third majority.

Composition

The members of the Legislative Council shall not be more than one-third of the total members of the Legislative Assembly, but not less than forty. The Legislative Council of Tamil Nadu had 63 members. Normally, it is constituted by a mixture of direct election, indirect election and nomination. Elections to the Legislative Council are to be held by the system of proportional representation by single transferable vote system in the following manner (Article: 170-171).

(a) 1/3 members shall be elected by the Legislative Assembly

(b) 1/3 members shall be elected by the municipalities, district boards and other local authorities as specified by parliament by law.

(c) 1/12 members shall be elected by the graduates constituencies.

(d) 1/12 members shall be elected by the teacher's constituencies; and

(e) 1/6 members are nominated by the Governor From amongst persons who have distinguished themselves in the fields of literature, art, science, social service and cooperative movement.

Qualifications and term

According to the Constitution, a person should have the following qualifications for the election to the Legislative Council.

(i) He must be a citizen of India.

(ii) He must have attained 30 years of age. and

(iii) He must possess such other qualifications as may be laid down by parliament.

Relating to the term of the Legislative Council, it is a continuing body, not subject to dissolution. Like the Rajya sabha of Parliament, its one-third members retire after every two years. A member of the Council has a six year term and he may be re-elected to the council.

Functions and powers

1. Ordinary bills may be introduced in this Legislative Council.
2. It ratifies the money bills passed by the legislative Assembly.
3. It can delay 14 days on money bills and 30 days on ordinary bills passed by the Legislative Assembly.
4. It elects its Chairman and the Deputy Chairman amongst the members.
5. It constitutes various committees for various business and
6. It ratifies the ordinances promulgated by the Governor.

Generally, the Legislative Council is a mere ornamental body and hence it is considered as weak house. It does not take part in the election of the president or in the ratification of the Constitutional Amendment Bills. In short, the Legislative Council is powerless in relation to the Legislative Assembly. To call it a Second Chamber or Upper House of a state legislature is a misnomer. As already stated, Legislative Council is not in the Legislature of Tamil Nadu. Hence, Tamil Nadu has the unicameral legislature

2. Legislative assembly

In every state, the legislature means the legislative Assembly, even in the State where the legislative council exists. Actually, the Legislative Assembly is the first chamber or Lower House of the state legislature. Tamil Nadu legislature has only one house known as Legislative Assembly.

Composition

According to Article 170 of the Constitution, the Legislative Assembly of a state shall consist of not more than 500 and not less than 50 members. However, the parliament has the power to fix the minimum strength of a Legislative Assembly through the amendment of the constitution. The Legislative Assembly of Tamil Nadu consists of 235 members out of which 234 members are directly elected by the people from the constituencies on the basis of adult franchise and one member is nominated by the Governor from the Anglo-Indian community. However, seats shall be reserved in the house for the scheduled castes and scheduled tribes.

Qualifications

A Person seeking election to the Legislative Assembly should have the following qualifications.

(i) He must be a citizen of India.

(ii) He must have attained 25 years of age and,

(iii) He must possess such other qualifications as may be prescribed by the parliament by law.

Tenure

Normally, the term of the Legislative Assembly is five years except the state of Jammu and Kashmir where it has six years duration. However, it may be dissolved by the Governor at any time as result of the presidential order promulgated under Article 356 which is called as the state emergency. But, in case of National Emergency under Article 352, the tenure of the Legislative Assembly can be extended by parliament but not beyond one year at a time. Yet, fresh elections must take place within six months after the proclamation is withdrawn. Besides, the Chief Minister may voluntarily come forward to recommend for the dissolution of the Assembly to the Governor even before the expiry of the tenure.

Powers and Functions

In Tamil Nadu, the Legislative Assembly is a multi-functional political institution. It exercises the following powers and functions.

1. Making a law on any subject included in the State List as well as in the concurrent List, subject to the restraints imposed by the constitution.
2. Making and un-making the government.
3. Controlling the finances of the state.
4. Introducing the Money Bills and passing them.
5. Giving approval or disapproval to a Constitutional (Amendment) Bills passed by the parliament and referred to the states by the president for ratification.
6. Considering the reports submitted by the Tamil Nadu Public Service Commission, Auditor General and others.
7. Constituting various committees for various business.
8. Electing its Speaker and the Deputy speaker.
9. Initiating for no-confidence motion against the ruling government, and
10. Participating in the election of the president of India.

The above stated powers belong to the Legislative Assembly alone. Thus, in theory and practice, the Legislative Assembly has enormous powers. Hence, the Members of Legislative Assembly (MLAs) have more powers and functions rather than the Members of Legislative Council (MLCs). But, in Tamil Nadu we have MLAs and not MLCs.

As far as other important offices of the legislature are concerned, the Legislative Assembly elects its Speaker and the Deputy speaker. As such, the Legislative Council elects its Chairman and the Deputy chairman. Above all, the Advocate General is the only non-member of the state legislature who has the right and power to take part in the proceedings of the legislature, as the Attorney General of the Union Government.

Constitution of Legislative Assemblies in Tamil Nadu

Since 1951-52, general elections were held for electing the representatives to the Tamil Nadu Legislative Assembly. Details of political parties winning in the elections are given below:

S.No	Year	Ruling party
1.	1952	Congress
2.	1957	Congress
3.	1962	Congress
4.	1967	DMK
5.	1971	DMK
6.	1977	AIADMK
7.	1980	AIADMK
8.	1985	AIADMK
9.	1989	DMK
10.	1991	AIADMK
11.	1996	DMK
12.	2001	AIADMK
13.	2006	DMK
14.	2011	AIADMK
15.	2016	AIADMK

8.5 HIGH COURT AND THE SUBORDINATE JUDICIARY

Apart from the Legislature and the Executive, the third branch of the Government of Tamil Nadu is judiciary. The judicial system of Tamil Nadu consists of two categories of courts, namely, High Court and the subordinate courts. The seat of High Court is in Chennai in Tamil Nadu and the seats of subordinate courts are in the district headquarters and below. Here, let us study the judicial system in Tamil Nadu in general.

High Court

The High Court stands at the head of the Judiciary in Tamil Nadu. It consists of a Chief Justice and several other judges. The Chief Justice is appointed by the President of India. Other judges are appointed by the President after consultation with the Chief Justice of Supreme court, the Governor of the state and the Chief Justice of the High court. Besides, the President has the power to appoint additional judges for a

temporary period not exceeding two years, for the clearance of arrears of work in High Court and an acting judge, when a permanent judge of the High Court is temporarily absent or unable to perform his duties or is appointed to act temporarily as Chief Justice. A Judge of High Court shall hold office until the age of 62 years. Every judge permanent, additional or acting, may vacate his office earlier in any of the following ways.

1. By resignation in writing and adressed to the President.
2. By being appointed a Judge of the Supreme Court or being transferred to any other High Court, by the president; and
3. By removal of the President on an address of both Houses of Parliament on the ground of proved misbehaviour or incapacity.

Qualifications

The qualifications laid down in the constitution for the appointment as a High court Judge are following:

1. He must be a citizen of India
2. He must not be over 62 years of age.
3. He must have held a judicial office in the territory of India. or,
4. He must have been an advocate of a High Court for at least 10 years.

Independence of the Judges

As in the case of the Judges of the Supreme Court, the constitution seeks to maintain the independence of the Judges of the High Courts by the following provisions.

1. The Judges of the High Court are important constitutional authorities.
2. The salaries and allowances of the Judges are charged from the Consolidated Fund of the state.
3. Salaries and allowances payable to a Judge and rights in respect of leave and pension can not be varied by the parliament to his disadvantage after his retirement, except under the Financial Emergency under Article 360.
4. The removal of a Judge is followed by a strict procedure like that of the removal of a Judge of the Supreme Court; and
5. A Judge should not hold any office of profit after his retirement.

Jurisdiction and powers

The High Court of Chennai has the following jurisdiction and powers as per the constitution.

1. Original Jurisdiction

The High Courts at the three presidency towns of Bombay, Calcutta and Madras had an original jurisdiction, both civil and criminal, over cases arising within the respective presidency towns. The original criminal jurisdiction of the High Court has, however, been completely taken away by the criminal procedure code, 1973. Though city civil courts have also been set up to try civil cases within the same area, the original civil jurisdiction of these High Courts has not altogether been abolished but retained in respect of actions of higher value.

2. Appellate Jurisdiction

The High Court is the highest court in the state of Tamil Nadu. It has appellate jurisdiction in both civil and criminal cases. On the civil side, an appeal from the decision of District Judge and from that of a subordinate Judge in cases of higher value, lie direct to the High Court.

3. Writ Jurisdiction

According to B.R. Ambedkar, the Chairman of the Drafting Committee of the Constitution of India, Article 32 is the soul and heart of the constitution, because, it safeguards the rights, liberty and privileges of every citizen of India in terms of writs. As such, the High Court has the writ jurisdiction under Article 226. There are five writs, namely, Habeas Corpus, Mandamus, Prohibition, Certiorari and Quo-warranto.

4. Power of Superintendence

The High Court has the power of superintendence over all courts and tribunals throughout its territorial Jurisdiction, except military tribunals. Indeed, it has a wide power.

5. Head of State Judiciary

As the head of the state judiciary, the High Court has got an administrative control over the subordinate judiciary in respect of certain matters, besides its appellate and supervisory jurisdiction over them. Thus, the High Court is powerful. Also, it acts as the court of records. Above all, it has the bench jurisdiction in which the most important and burning cases of the state are settled.

Subordinate Courts

The subordinate courts are divided into two categories, namely, the civil courts subject to the civil procedure code and the criminal courts subject to the criminal procedure code. According to the All India Judges Association case (1989), the

Supreme Court directed to bring a uniform designation in the subordinate judiciary's judicial officers all over the country - District or Additional District Judges, Civil Judge (Senior Division) and the Civil Judge (Junior Division) on the civil side and Sessions Judge, Additional Sessions Judge, Chief Judicial Magistrate, and Judicial Magistrate on the criminal side as laid down in the criminal procedure code. The chart below shows the hierarchy of courts in the subordinate courts.

In addition, there are courts known as small causes courts. These courts are set up either under the Provisional Small Causes Act at the district level or under the Presidency Small Causes Court Act in presidency or metropolitan down.

The constitution provides that a District Judge shall be appointed by the Governor in consultation with the High Court of the state concerned and the posting including transfer and promotion are made in like manner. Relating to the appointment in any other post of the state judicial service, the constitution says that such appointment may be made by the Governor of the state in accordance with the rules framed by him in consultation with the State Public Service Commission and the High Court. The administrative control over the members of subordinate judicial service vests with the High Court under Article 235 of the constitution.

Family Courts

In addition to the hierarchy of regular courts, family courts also are constituted in various states in India. According to Family Courts Act of 1984, these courts have powers and jurisdiction to enquire into the cases relating to marriages and family affairs with a view to settle cases without much expenditure and going to regular courts which are expensive. Matters such as dispute within the family, divorce, dowry harrassment, etc. are looked into by these courts. These courts follow the Civil Procedure Code.

The chart showing hierarchy of subordinate courts

	Civil side	Criminal side
1.	District Judge	Sessions Judge
	↑	↑
2.	Additional District Judge	Additional Sessions Judge
	↑	↑
3.	Civil Judge (Senior Division)	Chief Judicial Magistrate.
	↑	↑
4.	Civil Judge (Junior Division)	Judicial Magistrate

8.6 SECRETARIAT

In India, every state has its own secretariat. It is the nerve centre of the state administration. It comprises of several departments of the government. The political head of a department is the minister and the administrative head of the department is the secretary. The Chief Secretary is the head of the entire secretariat while a Secretary is the head of one or two departments. The Secretary is usually a senior IAS officer, a generalist. An exception to this rule is the public works department which is headed by the Chief Engineer, a specialist. In Tamil Nadu, the secretariat is called as the chief secretariat which is situated at St.George Fort, Chennai.

Departments

Generally, the number of departments in secretariat differs from state to state. It ranges from 15 to 35 departments. The departments which are included in the Chief Secretariat in Tamil Nadu, are following.

1. General Administration
2. Home
3. Finance
4. Personnel and Administrative Reforms
5. Revenue
6. Jail
7. Forest
8. Agriculture
9. Labour and Employment
10. Panchayat Raj
11. Public works
12. Education
13. Planning
14. Irrigation and Power
15. Law
16. Social Welfare
17. Housing
18. Civil supplies

19. Transport
20. Local Government
21. Excise and Taxation
22. Industries
23. Publicity and information
24. Cooperation
25. Health

Hierarchy of Personnel

The Chief Secretariat of Tamil Nadu consists of officers who are appointed for a fixed tenure. The retirement age of government servants in Tamil Nadu is 58. The secretariat consists of officers belonging to All India Service and the officers recruited by the Tamil Nadu Public Service Commission. The hierarchy of the secretariat officers in a department is following.

Secretary
↑
Additional Secretary
↑
Joint Secretary
↑
Deputy Secretary
↑
Assistant Secretary
↑
Under Secretary
↑
Section Officer
↑
Assistant Section Officer
↑
Assistants
↑
Steno-Typists and Typists
↑
Office Assistants

Functions of Secretariat

The secretariat is a staff agency by which it has to advise the executive departments in the implementation of the public policies. Its basic function is to assist the minister in the fulfillment of his role. It performs the following functions.

1. The secretariat formulates the policies and programmes of the state government.
2. It coordinates the policies and programmes of the state government.
3. It prepares the state budget and imposes control on public expenditure.
4. It frames legislation, rules and regulations.
5. It supervises the implementation of policies and programmes by the field agencies.
6. It reviews the results of the execution of public policies.
7. It maintains contacts with the control and other state governments.
8. It takes initiative measures to develop greater organisational competence through O&M.
9. It assists the ministers in discharging their responsibilities to the legislature, like answering the questions asked by the members of the legislative Assembly.
10. It appoints the heads of departments and looks into the consequent establishment work like salary.
11. It approves the service rules and their amendments.
12. It explores the possibilities of improving the financial position of the state.
13. It serves as a think-tank of the state government.
14. It assists the chief secretary in the proper functioning of the secretariat; and
15. It receives the complaints, representations and appeals from the people and solve them.

Chief Secretary

The Chief Secretary is the executive head of the state secretariat. He is the administrative head of the state administration and stands at the apex of the hierarchy of state administration. In fact, he is the chief of the secretaries and controls all the secretariat departments. He is the senior-most civil servant in the state. He has the powers and functions mentioned in the ‘Rules of Business’ framed by the state government. He also receives some of his powers from conventions. He performs the following primary and other functions.

Primary Functions

1. As an advisor to the Chief Minister, the Chief Secretary explains the administrative implications of the proposals forwarded by the state ministers.
2. As secretary to the cabinet, he prepares the agenda for cabinet meetings and keeps the records of its proceedings.
3. As the head of civil service, he deals with all cases related to appointment, transfers and promotion of senior state civil servants.
4. As chief coordinator, he works towards ensuring inter departmental coordination. He is the chairman of coordination committees set up for resolving the interdepartmental disputes.
5. As the head of certain departments, he supervises and controls them; and
6. As crisis administrator, he plays a very significant role in the time of crisis like flood, drought, communal disputes, etc in the state.

Other Functions

1. The Chief Secretary acts as the residual legatee, ie, he looks after all the matters not included within the purview of other secretaries.
2. He exercises general supervision and control over the entire secretariat.
3. He acts as the secretary, by rotation, of the Zonal Council in which the state concerned is a member.
4. He has administrative control over the secretariat building, staff attached to the ministers, the secretariat library, the conservancy and ward staff of the secretariat departments.
5. He is the principal channel of communication among the state government, the central government and the other state governments.
6. He plays an important role in the administration of law and order and planning.
7. He acts as a spokesman of the state government.
8. He attends the meetings of the National Development Council.
9. He acts as the chief public relations officer of the state government; and
10. He acts as the chief advisor to the governor when president's rule is imposed in the state under Article 356 of the constitution, when the central advisors are not appointed.

Thus, the Chief Secretariat of Tamil Nadu is the nerve centre of state administration in general. As such, the Chief Secretary who is the chief all secretaries, is the nerve system of secretariat administration in particular in the state of Tamil Nadu.

8.7 DISTRICT ADMINISTRATIVE STRUCTURE

District is the basic unit of administration in India. The Oxford Dictionary defines it as a "territory marked off for special administrative purpose". A district is generally named after the largest town or city of the territorial area of the concerned district. Therefore, a district is an administrative unit in the hierarchy of administration which consists of a number of territorial areas, namely, villages, towns and cities. Hence, the word 'DistrictAdministration' means the management of the tasks of government as it lies within an area legally recognised as a district. The five types of the district in India are the rural district, urban district, industrial district, backward district and the hill district.

Features of District Administration

Generally, the district administration has the following features.

1. It is at district level that the state government comes into contact with the people.
2. District administration is a field work as opposed to staff or secretariat functions.
3. The problems at the district level are local relating to the district.
4. At district level, policy formulation ends and the implementation begins.
5. The District Officer is the last agent of the state government and the 'man of the spot' for any activity or incidence in the district; and
6. At the district, there is functional aggregation of units. A large number of departments have their field agencies located in the district.

District Level Functionaries

The District Collector is the head of district administration. The office of the collector at first was created by Warren Hastings in 1772 for the dual purpose of collecting revenue and dispensing justice. Strictly speaking, the collector is for the collection of land revenue in the beginning. But, at present, there are enormous functions to the district collector. The general roles and the functions of the district collector are following:

1. As Collector, he has to collect land revenue.
2. As District Magistrate, he has to maintain law and order in the district.

3. As District Officer, he has to deal with the personnel matters like salary, transfer, etc within the district.
4. As Development Officer, he is responsible for the implementation of rual development programmes.
5. As the Returning Officer, he is the chief for the elections to the Parliament, the State Legislative Assembly, and the local government in the district. Hence, he coordinates the election works at the district level.
6. As the District Census Officer, he conducts the census operations once in ten years.
7. As the Chief Protocol Officer, he has to protect the VIPs in their tour and stay in the district.
8. As the coordinator, he supervises the district level other functionaries and departments.
9. He presides over the District Plan Implementation Committee.
10. He acts as the official representative of the state government during the ceremonial functions in the district.
11. He acts as the Public Relations Officer of the state government.
12. He acts as the Crisis Administrator in chief during the natural calamities and other emergencies.
13. He supervises and controls the local government institutions.
14. He handles the work pertaining to civil defence; and
15. He is responsible for civil supplies, food and other essential commodities.

Hence, the District Collector is the multi-functionary in the district level. In fact, the work-load functions are more to a collector due to the welfare state policy in which the government has to implement a large number of programmes for the people. Actually, the office of the District Collector is very much prestigeous. The District Collector is the hero of the district administration. The other important district level functionaries are following.

1. Superintendent of Police
2. District Medical Officer
3. District Health Officer
4. District Forest Officer
5. Assistant Registrar of Cooperative Societies

6. District Agricultural Officer.
7. District Industries Officer
8. District Judges
9. Backward Class Welfare Officer
10. Superintendent of Jails
11. District Labour Officer

Division Level

In Tamil Nadu, Revenue Divisional Officer is the head of divisional administration especially for revenue administration and for the maintenance of law and order. But, the development administration is headed by Assistant Director (Development) (Formerly by the Divisional Development Officer - DDO) in the division level. Under AD (Development), there are functionaries namely, extension officers for agriculture, cooperation, industry, eduction, animal husbandry, etc.

Taluk Level

Tahsildar is the head of taluk level administration in Tamil Nadu. For assisting him, the Deputy Tahsildars are there in the Tehsil. This is for the revenue administration. For the development administration, panchayat unions are there in the state. The Panchayat Union Commissioner or Block Development Officer (BDO) is the head and there are extension officers for agriculture, health, cooperation, animal husbandry, education, and industry.

Firka Level

Revenue Inspector is the head of Firka level revenue administration. Every taluk is divided into many firkas in Tamil Nadu. But, the nomenclature of this level differs from state to state.

Village Level

Village Administrative Officer is the head of village level administration. He is the most important functionary in the field especially in the village. Under him, there are village level workers. He performs revenue, police and general administrative duties and acts as the representative of the government in the village.

Exercise

PART A

I. Fill in the blanks

1. State Government is dealt with in _____ part of the constitution of India.
2. The Governor is the _____ head of the state executive.
3. The Council of Ministers in the state is responsible to _____
4. K.Kamaraj tendered his resignation of chief ministership in 1963 due to _____
5. The Upper House of State Legislature is _____
6. The Judges of the High Court are appointed by _____
7. The tenure of Members of Legislative Council is _____
8. The administrative head of a department in the secretariat is _____
9. Five kinds of writs are Habeas Corpus, Mandamus, Certiorari, Prohibition and _____
10. District Administration is _____ administration.

II. Match the following

11.	Article 370	–	Governor
12.	Article 153	–	Chief Minister
13.	Article 163	–	Legislative Council
14.	Article 169	–	Jammu & Kashmir
15.	Article 170	–	Legislative Assembly
16.	Article 352	–	National Emergency

PART B

17. Write the constitutional position of the Governor.
18. Describe the functions of the Council of Ministers.
19. Explain the qualifications prescribed for a person seeking election to the Legislative Assembly?
20. Who is an Administrative Officer?

PART C

21. Write a note on the Legislature of Tamil Nadu.
22. What are the jurisdictions of the High Court?
23. Write a short note on Chief Secretary.

PART D

24. Discuss the powers and functions of the Governor.
25. Describe the roles and functions of the Chief Minister.
26. Describe the role and functions of the District Collector.

CHAPTER 9

LOCAL SELF GOVERNMENT IN TAMILNADU

9.1 STURCUTRE OF LOCAL SELF GOVERNMENT

Lord Rippon is known as the Father of Indian Local Self Government. The very existence of Local Self Government is for the decentralisation of powers in terms of democratic perspective.

Democratic decentralisation is considered to be an important mechanism for distribution of powers from federal government to local-self government. According to democratic governance, participation as all levels is an important aspect of political development. India with vast geographical area, a sense of political participation can be achieved through the establishment of local self government. Mahatma Gandhi referred devolution of political powers shall enhance democratic functioning at the local level. He called the Indian village as 'Little Republic'. In this chapter both urban and rural local self governments are dealt with.

Some characteristics of rural and urban local governments are:

- Local government possesses a well defined jurisdiction. It has a definite territory like village or district. Its aim is to solve the peculiar problems present in that area.
- Local government is governed by the locally elected representatives. They are accountable to the local electorate. The elected representatives administer the local affair without undue interference from the central or state governments. At the village level, there is direct participation of all adult population in the Gram sabha.
- The primary concern of the local government is to promote the interests of the local people.
- Local government has its own budget and financial resources.
- Local government enjoys complete autonomy. It is free to manage its affairs according to the rules laid down by the central and state governments. It has a definite sphere of activity.
- Local government enjoys the constitutional status and protection with compulsory existence and functioning.

The constitution of India came into force on 26 January, 1950. In order to revive the ancient system of self-governance Article 40, of our constitution lays down that the state shall take steps to organise village panchayats and endow them with such powers and authority as may be necessary to enable them to function as units of self government.

Accordingly the Balwantrai Mehta Committee was appointed in 1956. The committee submitted its report in 1957. The Balwantrai Mehta's Report is hailed as the Magna Carta of the Panchayat Raj system. In order to secure and ensure decentralised democracy Balwantrai Mehta recommended a three-tier system of rural local government consisting of the village panchayat at the village level, the panchayat union at the block level and zila parishad (District panchayat) at the District level.

The Panchayat Raj was inaugurated on October 2nd, 1959 by Pandit Jawaharlal Nehru. The states of Andhra Pradesh and Rajasthan were the first to introduce the panchayat raj institutions. Thus, the Panchayat Raj made its modest beginning in the country.

A committee on Panchayat Raj institution under the. chairmanship of Ashoka Mehta was appointed by the government in 1977. It was setup of inquire into the working of the Panchayat Raj institutions and to suggest measures to strengthen them. This committee submitted its report in 1978.

If main recommendation was two-tier system of panchayat raj - the district level and the village level. The reports of these committees gave importance to rural development through Panchayat Raj institutions. They insisted on the implementation of development plans. They did not seek to make the panchayats as institutions of self government. Further the Balwantrai and Asoka Mehta committees were not concerned about the future interests of the urban local governments. Keeping these things in view and in order to establish the real "Lok Sakthi" at the rural and urban local levels, the constitution 64th and 65th. Amendment Bills were introduced and passed in the Lok sabha in 1989. These bills were comprehensive. They sought to reorganise the grass-root institutions with uniform setups and necessary powers. Though passed by the Lok sabha, these bills were defeated for want of majority in the Rajya Sabha. The further attempts taken in this regard also failed. Under these circumstances, the rural and urban local governments, which were under the tight control of the state governments, could not function successfully. They had financial sufferings. Even elections to them were not held for years together. In order to rectify these defects the Constitutional (73rd and 74th Amendment) Acts were passed by the Parliament in 1992.

The Constitution (73rd and 74th Amendment) Acts 1992

The 73rd and 74th amendments of the constitution were, enacted in December 1992. These amendments came into force with effect from 24th April 1993. They have constitutionalised the panchayats and municipal bodies.

The 73rd and 74th Amendments have given the states legislative power to confer on the local bodies necessary powers and authority so that they can function as institutions of self government. They are entrusted with task of (a) preparing plans for economic development and social justice, (b) implementation of the schemes for

economic development and social justice, (c) in regard to the matters included in the 11th and 12th schedules. These schedules distribute powers between the state legislatures on the one hand and the panchayats and municipal bodies on the other. The 11th schedule under the 73rd Amendment contains twenty nine items. The panchayats have exclusive power on them. The 12th schedule has eighteen items for the urban local bodies. These imply their respective functions also.

The 73rd constitution amendment provides a 'Gramsabha' in each village of panchayats at village, intermediate and district levels. The 74th Amendment also known as the "NagarPalika Act", provides for setting up of three types of municipal bodies. These are Nagar panchayats, Municipal council and Municipal corporations. A nagar panchayat is constituted for an area in transition from a rural area to an urban area. The municipal councils are set up for smaller urban areas and the municipal corporations for larger urban areas.

The important and common features of the new system created by the 73rd and 74thAmendments are as follows:

1. Direct election to all the rural and urban local bodies, with a uniform tenure of five years.
2. Reservation of seats for the scheduled castes and
3. Not less than one third reservation of seats for women.
4. Similar reservation of the offices of chairpersons as said above.
5. An Election Commission to conduct elections for the local bodies.
6. A Finance Commission to ensure financial viability of these institutions. This commission is to be constituted once in five years to review the financial position of the local bodies.
7. Provision for auditing the accounts of the local bodies;
8. Provision for holding election compulsorily within a period of six months in the event of suppression of any local body, and
9. The candidates can take part in the local bodies election as party candidates or as independents.

Map 2- Tamilnadu Disticts

9.2 URBAN LOCAL GOVERNMENTS

The urban population is rapidly growing in our country. Consequently the needs of the people are increasing. Their problems are also complex. In order to fulfil and solve them, the urban local bodies have been Constituted. These bodies are also known as Municipal bodies. The constitution of India has ascertained their creation, composition, powers and other things. Their functions are stated in the 12th Schedule. The constitution has recognized the municipal corporations, municipalities and town panchayats as urban local bodies. However there are some other urban local bodies like the Townships, Cantonment Boards and Notified Area Committees.

9.2.1 Municipal Corporation

The uppermost form of the municipal organization is the -corporation. The municipal corporation has more powers. It enjoys greater financial autonomy and wider functions as compared to other local organisations. The municipal corporations are established in big cities under the Special Municipal Acts passed by the state legislatures. The corporations of Union Territories are set up by the statute of the Union parliament.

Usually large cities with a population of 10 lakhs and above are constituted as corporations. Their annual income is normally one crore rupees. They have a larger population and better income. However, corporations have been set up even in towns having a population of less than two lakhs. Their annual income does not exceed Rs.50,000 Chennai, Madurai, Coimbatore, Thiruchirappalli, Thirunelveli, Tiruppur, Dindigul, Erode, Tanjore, Vellore, Thoothukkudi and Salem are twelve corporations in Tamil Nadu.

All municipal corporations have some common characteristics.

1. A Municipal Corporation is establised only be the statue passed by the state legislature.
2. A Municipal Corporation is based on the separation of the deliberative and executive functions.
3. The state government has powers to control, supervise and dismiss the council.
4. Usually a municipal corporation is set up for thickly populated urban areas.
5. A municipal corporation functions within the specified peripheral jurisdiction.

Function of the Corporation

Like the rural local bodies the municipal bodies have to function as institutions of self government. The functions of municipal bodies are as follows:

1. Urban planning, including town planning.
2. Regulation of land, use and construction of buildings.
3. Planning for economic and social development.
4. Construction and maintanance of roads and bridges.
5. Water supply.
6. Public health and sanitation;
7. Fire services.
8. Urban forestry and protection of the environment..
9. Safeguarding the interests for weaker section of society, including the handicapped and mentally retarded.
10. Slum improvement.
11. Urban poverty alleviation.
12. Provision of urban facilities such as parks, gardens, play grounds.

13. Promotion of educational and cultural aspects.
14. Maintenance of burial/cremation grounds.
15. Cattle ponds, prevention of cruelty to animals.
16. Vital statistics, including registration of births and deaths.
17. Public amenities, including street-lighting, public convenience and bus-stops.
18. Regulation of slaughter houses and tanneries.

All municipal bodies, including the corporation, perform many functions related to the above matters. In addition they also carry out some discretionary functions like plantations and care of trees on road sides; destruction or detention of street dogs, pigs and other animals causing public nuisance, organisation and management of fairs and exhibitions, supply of electricity and so on.

Sources of Income of Municipal Corporation

There are two types of sources (i) tax revenue (ii) non-tax revenue. The non tax revenue is derived from fees, fines and grants-in-aid as well as loans from the state government. The main source of income is from taxes. Generally a corporation is empowered by the act to levy and collect taxes listed below:

1. Property tax on lands and buildings.
2. Taxes on vehicles and animals.
3. Theatre tax.
4. Tax on advertisements exhibited to people within the city.
5. Tax on preference, trades and callings.
6. Entertainment tax.
7. Tax on consumption and sale of electricity.
8. Betterment tax on the increase of land values.
9. Tolls.

The receipt of the corporation are credited into the city corporation (general) fund. The money required for its expenditure is released from this fund.

Corporation Council

The Coporation Council is the major part of the corporation. A corporation is divided into a number of wards depending on the population and the extent of the area. For each ward a representative will be elected on the basis of universal adult franchise. These representatives or members are known as counsillors. The

counsillors so elected constitute the council of the corporation concerned. As in the case of the rural local bodies and in the same manner seats are reserved in a corporation for scheduled castes and tribes, women and chairpersons. The state legislature is empowered to reserve seats for other backward classes also. The age, qualifications and other related matters of the rural local bodies apply to corporation councillors also. Besides the directly elected members, the Members of Parliament and member of the State members, the Members of Parliament and member of the State Legislature belonging to the corporation area are represented in the corporation council. All these members have voting right in the council. The state government can also nominate persons having experience in municipal administration. But the nominated persons do not have right to vote in the council.

The size of the council various from state to state. The Corporation of Chennai had 200 members. The term of the corporation council is five years. If dissolved earlier for proper reason, elections must be held with in six months. The duration of the reconstituted council shall last only for the remaining period of five years. The Corporation Council is essentially a deliberative body. If functions like the local legislative assembly. It transforms the popular wish into the laws of the city.

Mayor and Deputy Mayor

The Mayor is the political head of corporation. He is called the First Citizen and Father of the city. The mayor is directly elected by the people. His tenure is five years. The councillors elect a Deputy Mayor from among themselves. If Mayor act against the laws, complaint is to be given in written form to corporation commissioner by three-fifth of members and the resolution is to be passed by four-fifth of members, it is to be submitted to government, it request Mayor to give detailed explanation, if government is not satisfied, its decision is final and he may be removed.

The Mayor is ceremonial head. He represents the city on ceremonial occasions. He presides over the meeting of the council and maintains discipline and order. He can expel the members for misconduct. He may exclude any objectionable portion from the proceedings of the council. The Mayor has the power to convene the special meetings of the council. He can obtain information from the commissioner of the corporation on any subject about the administration of the city. He also sees whether the decisions of the council are being properly implemented. The Mayor can delegate some of his powers, in writing to the Deputy Mayor. Otherwise the Deputy Mayor discharges the Mayors functions in his absence. All correspondence between the corporation and the stale government must pass through the Mayor. The Mayor, however, cannot with hold it.

Committees

The Committees of a Municipal Corporation play important role in looking into various activities of the council. They help for the efficient performance of the functions of

the corporation. These committees include: Standing Committee, Schools Committee, Hospitals Committee, Electricity supply and Transport Committee, City Improvement Committee, Health Committee, Taxation and Finance Committee, Water Works Committee and so on. The members of these committees are elected from among the members of the council. The members of each committee elected their chairman. Among all the committees, the chief one is Standing Committee. This committee possesses adequate executive, supervisory, financial and personnel powers. The office of the chairman of the Standing Committee is of political importance, ranking next to the Mayor. The Standing Committee performs all such functions as detailed in the statute of the corporation. The commissioner reports to the Standing Committee on a variety of functions.

The Municipal (Corporation) Commissioner

The commissioner is the Chief Administrator of the corporation. His primary responsibility is to implement the policies made by the corporation council. The commissioner is mostly a member of the State Administrative Service. He is appointed by the state government. Normally, he holds the rank of an Indian Administrative Service (I.A.S.) officer. His powers are those which have been stated in the corporation act and those delegated by the council, standing committee etc. He had to comply with the rules while exercising his statutory powers. The functions of the commissioner relate to the administrative and financial matters of the corporation. He exercises control and supervision over the employees of the corporation. The preparation of the budget of the corporation is the responsibility of the commissioner. He does not have electoral functions as he enjoyed before the 14th Amendment.

The commissioner is the kingpin in the administration of the corporation. He has the right to attend, and speak at the meetings of the council and various committees. He provides the necessary information and details to the councillors. The commissioner also guides them in the discussions and act as their spokesman in the council. Thus the commissioner plays a vital role in the corporation.

9.2.2 Municipalities and Municipal Councils

In the urban local governments, municipalities come next. The term municipality refers to a self governing town or city. There are more than 1500 municipalities in our country. The number of municipalities varies from state to state. The municipalities are governed by the Municipal Acts of the states. The state has the discretion to declare any smaller urban or town area to be a municipality. The minimum population to constitute a municipality is between 5000-50000. The different occupations pursued by the people are mostly non-agriculture. Depending on the strength of population and annual income, the municipalities have been classified into three to four grades in different states.

Functions

The functions of the municipalities are more or less similar to those of the corporations. They fall within the frame work of the 12th schedule of the constitution. However, the functions of the municipalities can also be classified into compulsory and discretionary functions.

In general the municipalities have the following obligatory functions:

1. Supply of pure water.
2. Construction and maintenance of public streets.
3. Lightening and watering facilities in the streets.
4. Cleaning the public streets.
5. Regulation of dangerous trades and practices.
6. Maintenance of hospitals and schools.
7. Registration of births and deaths.
8. Removing obstructions and projections in public streets, bridges and other public places.
9. Naming streets and numbering the houses.
10. All matters relating to public health, sanitation prevention of dangerous diseases and regulation of places for disposing of the dead ones of various kinds.
11. Provision for fire-fighting services.

The discretionary functions of the municipalities are as follows:

1. Laying out of the town areas
2. Construction and maintenance of public parks, gardens, libraries, rest houses, leper homes, orpanages, reserve homes for woman, etc.
3. Planting trees on roadsides
4. Survey conducting.
5. Housing for weaker sections
6. Promoting the welfare of the municipal area and
7. Providing transport facilities within the municipal area and organising cultural and other activities for the people.

Sources of Income

The principal sources of income of the municipality are:

1. Property tax.
2. Profession tax.
3. Octroi duties - taxes on goods.
4. Animal and vehicle tax.
5. Entertainment tax.
6. Water and lighting tax.
7. Grants and loans from the government.

The items of expenditure are the general administration, medical and public health, education, public works, water supply, lighting and other amenities. The municipalities have municipal funds to credit their income and draw money for their expenditure.

Municipal Council

Every municipality has a governing body. It is the law making body of the municipality. The Municipal council consists of councillors elected directly from various wards. As in the case of the other local bodies, there are reservations for the scheduled castes and scheduled tribes, backward classes and women. There is provision in a municipality for the representation of the members of parliaments, member of the state legislature and the chairpersons of the wards committees with a right to vote. The size of the municipal council is primarily related to the density of the population of the city. Every councillor and the nominated person, before taking his seat, must take can oath to bear allegiance to the constitution of India, to uphold the sovereignty and integrity of India and to faithfully discharge his duty. The term of the municipal council is five years. If it is suspended earlier, elections must be held within six months. Likewise if any seat falls vacant due to the resignation, removal or disqualification of a member, it must be filled within six months. However the member elected to a vacant seat can be in office only for the remaining period of the original council. The Municipal council is also assisted by standing and other committees in the performance of its tasks.

Chairman of the Municipality

Each Municipal council has a chairman. There is provision for a vice-chairman also. They are elected by the councillors from among themselves. Unlike the Mayor and Deputy mayor of a corporation, the Municipal chairman and vice-chairman hold office for five years. As in the case of the Mayor and deputy Mayor, the Municipal chairman and vice chairman can also be removed from office. The chairman convenes

and presides over the meetings of the council. He regulates the conduct of business. He supervises the finance and executes the administration of the municipality. He has access to all the municipal administration. In brief, he has to perform such functions and exercise such powers as are conferred on him by the Municipal Act.

Executive Officer - Commissioner

There is an Executive Officer for each municipality. He is called the commissioner. He belongs to the state service. He is appointed by the state government. The powers and functions of the municipal commissioner are almost similar in different municipalities. His powers and functions have been stated in the Municipal Acts. In brief the municipal commissioner executes the resolutions and decisions of the council. He sends copies of the resolutions to the concerned authorities. He enters into contracts, he issues notices, licences, permits etc. The commissioner assists the chairman in agenda preparation. He prepares and executes the municipal budget. He sends administrative reports to the higher authorities. He exercises supervision and control over the municipal staff. It is his responsibility to maintain municipal records. He brings to the chairman all cases of misappropriation and financial losses incurred by the municipality. He can also attend the council meeting. The successful working of the municipality largely depends upon the harmonious and adjusting relations between the chairman of the council and the, commissioner.

9.2.3 Townships

Most of the public sector undertakings have established townships for their employees. Outlay on the townships forms near eleven percent of the total investment on public sector undertaking. These townships have been established either in rural area or in area adjacent to existing towns.

The Characteristics of Townships

1. These are entirely planned.
2. They maintain civic services and other facilities which are of higher quality than generally provided by the municipal bodies.
3. These services and facilities have been financed by the industry.
4. A township has a variety of employment and other opportunities to offer to the people. Hence a large number of people go to it.

The township form of local government is treated as a normal administration. In certain townships like Neyveli and others town administrators are appointed by the corporations. These administrative officers all assisted by the departmental heads, engineers and others. The township form is bureaucratic unlike the municipality. For fear of political interference in the civic administration, the township does not have any democratic set up further the residents of the townships are satisfied with the existing arrangements and facilities.

9.2.4 Cantonment Boards

The cantonments are centrally administered areas. They are placed under the direct administrative control of the Ministry of Defence. The cantonment boards are constituted under the Cantonments Act, 1924. These are corporate bodies like the other local bodies. Cantonment is the place in a city where troops are stationed. Cantonment board is constituted for dealing with the local problems of the cantonment area.

The President of the cantonment board is the commanding officer. He has been given a casting vote. He is an ex-officio member continues so long as he holds the official position. The elected members hold office for five years and they select among themselves one vice president.

The cantonment board is entrusted with the municipal functions. These functions as found in a municipal council, have been classified into obligatory and optional. The sources of income of the board are darted into tax revenue and non-tax revenue. The taxation power of the board is analogous to that of a municipality. The board can impose any tax with the previous sanction of the central government. The officer commanding the station sanctions the budget estimates prepared by the board. The existence of cantonments as separate entities is anomalous. Hence they may in the long run, become parts of the neighbouring municipal bodies.

9.2.5 Town Area Committe

The town area committees have been created in Assam, Kerala, Madya Pradesh, Uttar Pradesh, West Bengal, Jammu and Kashmir and Himachal Pradesh. Town Area committees are governed by separate acts passed by the state government. The District Collector has greater control and powers over a town area committee. Members of the town area committee are elected or nominated by the government, or partly elected and partly nominated. This committee is assigned a limited number of functions such as, street lighting, drainage and conservancy. However these committees may be absorbed in the town panchayats.

9.2.6 Notified Area Committee

A Notified Area Committee is created for an area which does not fulfill all the conditions said above as necessary for the constitution of a municipality. Still it is considered important. It is also constituted for a newly developing town. The formation of this committee is notified by the government in the official gazettee. Hence it is called the notified area committee. The committee functions within the framework of the municipal act of the state. But only such provisions of the municipal act apply to it as are notified in the official gazattee. The notified area committee enjoys all the powers of the municipal council. But unlike the council, it is a nominated body. The chairman and the members of this committee are appointed by the State Government.

9.3 RURAL

9.3.1 Three Tier Panchayat Raj

9.3.1.1 District Panchayat

District Panchayat is the top-tier of the Panchayat Raj structure in Tamil Nadu. It is the body at the District level. It has jurisdiction over the entire district excluding such portions of the district as are included in a municipality or town panchayat or industrial township or under the authority of a municipal corporation or a cantonment.

(a) The District panchayat consists of the following: The directly elected members from the wards in the district panchayat. Each ward is constituted for about 50000 people of the district panchayat area. Only one member is directly elected from each ward. But one cannot be elected as member of more than one district.

(b) The members of the House of people and the members of the state legislature of the District panchayat area.

(c) The Member of the Council of States who is registered as elector within the district.

The members under categories a, b and c can also take part in the proceedings and vote at the meeting of the District Panchayat.

Seats are reserved for persons belonging to the scheduled castes and scheduled tribes in proportion to their strength with the total population of the district panchayat area. 1/3 seats are reserved for them are allotted by rotation to different wards in the district panchayat area. The age qualification for a voter is 18. It is 21 for a member to be directly elected to the district panchayat. But, the names must be in the concerned electoral rolls. Those who are under the employment of the central and state governments and the local bodies are not eligible for election as members or to hold any office in the district panchayat. The tenure of the district panchayat is five years. If it is dissolved earlier elections must be held with in six months. Any person who is disqualified under law cannot be a voter or a member of the district panchayat.

Chairman and Vice-Chairman

Every District Panchayat has a Chairman and a Vice Chairman. They are elected by the elected members from among themselves unless disqualified or removed from office, they remain in power for five years. An outgoing chairman or vice chairman is eligible for re-election of panchayat union.

Functions of the Chairman

The political executive of the District Panchayat is its chairman. As such he convenes and presides over the meetings of the district panchayat and conducts its proceedings. He inspects the working of the panchayat unions and panchayats and submits his report to the district panchayat. He writes his opinion on the working of the secretary to the district panchayat. This is appended with the confidential report written by district collector. He can delegate any of his functions to the vice-chairman. In case of emergency he can direct the execution of any work pertaining to the district panchayat. He has full access to all the records of the district panchayat. Thus the chairman of the district panchayat combines the role of a leader of a supervisor. He is the channel of communication between the district panchayat and the government.

Powers and Functions of District Panchayat

The powers and functions of the district panchayat have been laid down in the Acts passed by the state legislature, the district panchayat has a coordination and supervisory role to play. It performs the following functions:

1. It examines and approves the budgets of the panchayat union.
2. It issues directions to panchayat unions for efficient performance of their functions.
3. It coordinates development plans prepared by the panchayat unions.
4. It advises the state government on all matters relating to the development activities in the district.
5. It distributes funds, allocated by the state government, to the panchayat unions in the District.
6. It collects statistics relating to the activities of the local authorities in the district.
7. It advises the state government on allocation of work to be made among the panchayat.
8. It regulates better relationship between the lower tiers.
9. It exercises such other powers as may be conferred by the state government.

Standing Committees

The District panchayat functions through standing committees. These standing committees have been constituted for the following subjects.

1. Community development.
2. Agriculture, Cooperation, irrigation and animal husbandry.
3. Cottage, village and small scale industries.
4. Education and social welfare.
5. Finance and taxation.
6. Public health.

The Chairman and members of these committees are elected among themselves. Where the chairman of the District panchayat is a member of a committee he shall be its chairman.

Sources of Income

Generally speaking District Panchayat has the following sources of income to meet its executive functions.

1. Tax on profession and trade.
2. Tax on water and public entertainments.
3. Pilgrim tax.
4. Grants and loans from the state government.
5. Land revenue, establishment and deficit adjustment grants.
6. Plan and block grants.
7. License fee from butchers.
8. Fees on sale of goods or animals in the market.
9. Income from its property.

For each District Panchayat (general) fund is constituted. The following items are paid into District Panchayat (General)

1. The amount transferred to the District Panchayat fund by appropriation from out of the consolidated fund of the state.
2. All grants, assignments, loans and contributions made by the government.
3. All rents from lands on other property of the district panchayat.

4. All interests, profits and other moneys accruing by gifts, grants or transfer from private individuals or institutions.
5. All proceeds of land and other properties sold by the District panchayat.
6. All fees and penalties levied by or paid to the district panchayat.

The government shall provide a grant to every district panchayat fund to cover the expenses of establishment at such scale as determined it.

The Chief Executive Officers

For each district panchayat a project officer is appointed by the government. The designation of this officer varies in different states. In Tamil Nadu this officer holds the rank of Joint Director of Rural Development. The method of recruitment, pay of allowances, disciplined conduct and conditions of service of the Chief Executive Officer are.

1. The Chief Executive Officer exercises all the powers specially imposed upon him by the act of the state legislature.
2. He must supervise and control the execution of all works of the district panchayat.
3. He has the right to attend the meetings of the district panchayat and its committees and move any resolution in them. But he has no right to vote.
4. He has to carry out the resolutions of the district panchayat.
5. He must furnish the periodical reports about the execution of the resolutions of the district panchayat and about the collection of taxes.
6. He controls the officers and servants of the district panchayat.
7. He is obliged to carry out the Orders and directions of the district panchayats.
8. He can delegate any of his functions, by an order in writing to any officer or servant of the District panchayat.

9.3.1.2 Panchayat Union

The panchayat union forms the middle tier in the Panchayati Raj System. It is also called as intermediate tier and panchayat union council (Tamil Nadu).

Size and Composition

The area of panchayat union is generally constituted with the panchayat development block for purpose of National Extension Service Programme. A panchayat union council is constituted for each panchayat union. It consists of 112 villages. The administration of the panchayat union shall rest in the panchayat union council.

The Panchayat Union Council

1. The directly elected members from the words in the panchayat union, at the rate of one member for every 5000 population of the panchayat union area, only one member is elected from each ward.
2. The members of the House of people (Lok Sabha) and the members of the state legislature, belonging to the panchayat union area.
3. The numbers of the council of states who are registered as electors within the panchayat union.
4. Such number of presidents of village panchayats not exceeding l/5th of the total number of from among the presidents of the village panchayats in the panchayat union area. All the members mentioned above are entitled to take part in the proceedings of and vote at the meetings of, the panchayat union council. However no person can be elected as a member of more than one panchayat union council.

Seats are reserved for persons belonging to the scheduled castes and the scheduled tribes in proportion to their strength with the total population of the panchayat union. 1/3 rd seats are reserved for women belonging to the scheduled castes/scheduled tribes from among the total number of seats reserved for the persons belonging to the schedule castes and scheduled tribes. Seats are also reserved for women in the panchayat union council. The number of seats reserved for them are alloted by rotation.

Chairman and Vice-Chairman

The head of the panchayat union is named as Chairman in Tamil Nadu. He is directly elected by the people. There is also a Vice-chairman, they are elected from among the members of the Panchayat Union Council. Unless disqualified or removed from office, they hold office for five years. They are eligible, for re-election. The chairman may by an order in writing delegate any of his functions, which are not prohibited by the Panchayat Union Council to the Vice-Chairman. The Vice-Chairman can exercise the functions of the chairman when the office of the Chairman is vacant. If the offices of both Chairman and Vice-Chairman are vacant, the Revenue Divisional Officer shall be ex-officio member and chairman of the Panchayat Union Council.

Power and Functions of the Chairman

The Political executive of the Panchayat Union Council is Chairman. His Powers and functions are as follows.

1. He presides over the meetings of the Panchayat Union and conducts its proceedings.

2. He exercises control over the Block Development Officer and his staff regarding the implementation of the decisions and resolutions of the Panchayat Union and its Standing Committees.
3. He encourages the panchayats and guides them in making plans and carrying out production programmes.
4. He has full access to all the records of the Panchayat Union Council.
5. All official correspondence between the Union Council and Government must be conducted only through the Chairman.
6. He can issue orders for the immediate execution of any important work stating reasons for doing so.
7. He is the ex-officio chairman of the Standing Committee if he happens to be its member.

Functions of the Panchayat Union

The Panchayat Union plays a pivotal role in the Panchayati Raj System. It is the principal executive body to implement the community development programmes. It acts as an agent of the State Government in the performance of responsibilities which may be specifically assigned to it. Also the Panchayat Union exercises supervision and control over village panchayats within its jurisdiction. It also provides the necessary technical and financial assistance to them. Finally, it is generally empowered to scrutinise and sanction the budgets of the panchayats in its area.

The functions of the Panchayat Union are two-fold. They relate to the provision of civic amenities and fulfillment of development programmes. With regard to the provision of civic amenities, the Panchayat Union has the following responsibilities.

1. Construction and maintenance of roads within the jurisdiction of the union but other than purely gram panchayat roads.
2. Supply of drinking water.
3. Maintenance of drainage pipes.
4. Establishment of primary health centers and maternity homes.
5. Provision of medical and health services
6. Provision of primary and basic schools and establishment of adult education centers.
7. Assistance to village roads which serve as feeders.
8. Establishment of libraries.
9. Establishment of youth organisations.

10. Encouragement to cultural activities.

The Panchayat Union implements community development programmes in its area. Its functions are:-

1. Execution of all programmes under community development.
2. Multiplication and distribution of improved seeds.
3. Procurement, distribution and popularisation of improved fertilizers.
4. Reclamation of land and conservation of soil.
5. Providing credit for agricultural purposes.
6. Providing irrigation facilities and repairing tanks.
7. Planting of trees and growing of village trees.
8. Introducing improved breed of cattle, sheep and poultry.
9. Introducing improved fodder.
10. Prevention and curve of disease among cattle.
11. Dairying and milk supply.
12. Introducing and development of cooperative societies.
13. Maintenance of fisheries.
14. Development of cottage, village and small - scale industries.
15. Establishment and maintenance of production-cum-training centers.

Standing Committees

The Panchayat Union performs its functions by constituting Standing Committees. These committees are statutory bodies. There are five Standing Committees to deal with the following Functions.

(i) Finance and taxation

(ii) Agricultural production, animal husbandry and minor irrigation.

(iii) Education and social welfare, including women's welfare,

(iv) Public health and sanitation

(v) Communications and co-operation.

The members of the Standing Committees are elected by the members of the Panchayat Union from among themselves. The President of the Panchayat Union is the Chairman of the Finance and Taxation Committee. These committees exercise

those powers which are delegated to them by the Panchayat Union. The Block Development Officer functions as the Secretary of the Standing Committees.

Sources of Income:

Normally Panchayat Union has the following sources of income.

1. Proceeds of taxes and fees which a Panchayat Union may levy.
2. Share of local cess and land revenue received from the District Panchayat.
3. Grants from the State Government
4. Loans from the State Government
5. Income from leases granted by the Panchayat Union to public ferries, fairs, etc.
6. Ad hoc grants from or through the District Panchayat
7. Donations and contributions
8. Funds from schemes transferred by the Government to the Panchayat Union as an agency for execution.

In addition to these, a Panchayat Union has many other sources of income. According to the Tamil Nadu Panchayats Act 1994 there shall be constituted for each Panchayat Union, a Panchayat Union (General) Fund and a Panchayat Union (Education) fund. The General Fund contains receipts from 27 items and the Education Fund from seven items as mentioned in the Act. Panchayat Unions in other states also have Panchayat Union Funds.

Administrative Machinery

In order to perform its functions the Panchayat, Union has an administrative machinery. It is headed by the Block Development Officer. There is one Extension Officer to assist the Block Development Officer. These development officers are the paid servants of the state Government. They are specialists in the respective fields like agriculture, animal husbandry, public health, etc, below them are the other staff. The Block Development Officer is an area or Circle administrator. He is designated as Commissioner in Panchayat Union Council.

The Block Development Officer functions as (a) head of the office (b) captain of the team of extension officers, and (c) secretary of the Panchayat Union. As head of the office, the Block Development Officer looks after office work and day-to-day administration. He coordinates various technical functions in the block and implements several development programmes. He also conducts a number of enquiries.

The Block Development Officer the secretary at the chief Executive Office of the panchayat union. He performs the following functions:

1. He implements various resolutions of the panchayat union and its standing committees
2. He supervises the panchayat in the block. He issues notices for the meetings of the panchayat union and its standing committees. He records and maintains the proceedings of those meetings.
3. He participated in the deliberations of the union without any voting right.
4. He draws and disburses money out of union funds.
5. In case of fraud, embezzlement and theft of money, he reports to the president of the union and the District Collector.
6. He executes all plans and programmes approved by the appropriate authorities
7. He expects the financial position of the panchayats within his block
8. He supervises end controls the other officers and staff of the panchayat union.
9. He executes contracts for and on behalf of the union subject to its prior approval.

9.3.1.3 Gram Sabha

Gram sabha is the foundation of the Panchayat Raj. It is a general body. It has been recognised as a statutory and corporate body. It is composed of all the eligible voters of the village panchayat. The jurisdiction of a village panchayat may be confined to one or more villages with an average population of 500. Being a grass root organisation at the very lowest level it serves as the basic unit of direct democracy. Hence it is considered as a vital device of democratic control. The Gram sabha should hold at least three meetings in a financial year. The president of the village panchayat has the responsibility to convene the meetings of the Gram sabha.

The functions of the gram sabha are as follows

1. Grama Sabha reviews the progress of the works done by the panchayat.
2. It draws plan for the development of the sabha area.
3. It considers the annual statement of accounts and audit report of the panchayat.
4. It considers the administrative report of the last year and the programme of work for the ensuing year.
5. It approves the annual budget and development schemes of the village panchayat.

The gram sabha is a sovereign body. Hence it can authorise the village panchayat to do certain things by itself.

Gram Sabha Meeting

The village panchayat is the primary unit and the first of the Panchayat Raj system. It is constituted for each panchayat village which has a minimum population of 500. The minimum strength of the village panchayat will be five and maximum fifteen depending upon the population. The village panchayat is the executive committee of the gram sabha. Its members are directly elected by the gram sabha by secret ballot. The entire village is divided into wards and each ward elects one to three members. There is provision for one-third reservation of seats for scheduled castes, scheduled Tribes of women.

The village panchayat is headed by a President. The President of the village panchayat is directly elected by the members of the Gram sabha. He can be removed from office on a resolution of no-confidence passed against him by a two-thirds Majority of the Gram sabha. There is also a Vice-President for each panchayat. All adult citizens of above 18 years old are entitled to vote. Those who have completed 21 years of age alone can be elected as members and President and Vice President of the panchayat. The duration of the village panchayat of the tenure of its members is 5 years. If the panchayat is dissolved earlier, elections must be held within six months.

Powers and functions of the President

The President is the political executive of the village panchayat. He has the following powers and functions.

1. He convenes the meetings of the gram sabha and the village panchayat
2. He presides over the meetings of the panchayat

3. He maintains the records of the panchayat.
4. He exercises administrative control over the panchayat staff.
5. He supervises the implementation of the resolutions passed by the panchayat.
6. He is responsible for the proper execution of the decisions taken in the village panchayat.
7. He is authorised to manage the panchayat funds
8. He attends the meeting of the panchayat union and represents his panchayat
9. He exercises all powers as are conferred on him by the Act or the rules made under the Act by the state government.

The Vice-President discharges these functions in the absence of the President.

Functions of the Village Panchayat

The village panchayat is entrusted with several welfare functions and developmental activities. Its fundamental responsibility is the preparation of plans and implementation of schemes for economic development and social Justice at the village level. The village panchayat must perform all such functions as are prescribed by the law of the State Government. These are classified into compulsory and optional functions.

Compulsory Functions

1. Development of agriculture.
2. Promotion of cottage industries.
3. Maintenance of public wells and tanks.
4. Supply of drinking water.
5. Provision for sanitation and drainage.
6. Lighting of village streets and other public places.
7. Maintenance of burial and cremation grounds.
8. Registration of births, deaths and marriages.
9. Maintenance of cattle ponds and the general care of the live stock.
10. Protection of the property of the village panchayat.
11. Construction and maintenance of minor irrigation works.
12. Regulation of public market and fairs.
13. Ear marking places for dumping the refuses.

14. Promotion of social education and supervision of schools.
15. Collection and maintenance of statistical data.
16. Arrangement for the distribution of imposed seeds and measures.
17. Maintenance of maturity homes and slaughterhouses.
18. Assistance in the implementation of the land reforms schemes.
19. Vaccination, innoculation and anti-epidemic measures.

Optional Functions

1. Planting and nursing of trees on road sides
2. Construction and maintenance of play grounds, libraries, reading rooms, parks etc.
3. Reclamation of unhealthy localities.
4. Managing the community centers.
5. Relief to the poor and looking after public health.
6. Establishment of crop godowns.
7. Promotion of cooperative farming, family planning and animal husbandry.
8. Regulation of pig rearing.
9. Removal of untouchability.
10. Construction and maintenance of houses for the conservancy staff of the village panchayat.

Sources of Income

1. Animal Tax.
2. Building Tax.
3. Fines on account of violation of panchayat laws.
4. Fees paid for presenting legal case before the panchayat.
5. Registration of animal fees for selling the animals in its area.
6. Rent from village properties.
7. Local trade tax.
8. Tax on vehicles such as bullock carts.
9. Grants-in-aid sanctioned by the state government.
10. Matching grants given by the state government.

The receipts of the village panchayat are credited into the village panchayat fund. The money required for expenditure to carry out its various functions and to meet other obligations is released from this fund.

There is an executive authority in each village panchayat. He is appointed by the state government. He carries out the resolutions of the village panchayat. He controls all the officers and servants of the village panchayat. By discharging his duties, he also looks after the day-to-day administration of the village panchayat under his Jurisdiction.

9.4 EVALUATION

Local government both rural and urban has not been a great success. A part of the fault lies in the system, a part in the immediate social environment but a large part is to be attributed to the controlling state government itself. Secondly even when elected, these bodies suffered supersession by the state government on flimsy grounds. Thirdly inadequacy of funds available to local bodies has been a chronic problem before all local bodies with weak financial base they are hardly in a position to initiate measures for the advancement of the local community. Fourthly the local government bodies are dominated by powerful local groups based on castes. This makes the local level decision making partisan and sectarian. What is work a certain politicalisation of the criminal is well in evidence in several states, which is a dangerous sign work culture is low. But these and many others are national problems and thus not peculiar to local government.

Local government is the backbone and nursery of democracy. Problems about civic amenities arise from community living. Hence the rural and urban local governments aim at solving these problems. The knowledge and understanding of the local needs and conditions are necessary to tackle the local problems such attentions can be provided only by the local governments, which are very close to the public. Hence, the local governments have a direct and immediate impact on the life of the citizens. Their impact is greater than that of the central and state governments. Further, the efficient and successful working of the decentralised democracy depends upon the participation and involvement of the local people in the administration. The central and state governments are increasing expansively and widely in order to decentralise these things the local governments have gained significance.

The Constitution (73rd and 74th Amendment) Acts, 1992, have removed most of the traditional defects. The constitution has made it compulsory that the state governments should reorganise the rural and urban local bodies in our country. The constitution has ensured their pattern, elections, tenure, powers and functions. The creation of independent Finance Commissions, Election Commissions and the planning bodies at various levels in the states has also been constitutionally ensured. There is also a provision to audit the accounts of the local bodies by the Controller and Auditor General of India. All these arrangements are bound to have a good impact

on the future of the rural and urban local bodies in India. Consequently the state governments have suitable amended their panchayat and municipalities. Elections are regularly and periodically conducted.

Total of Rural Local Bodies in Tamilnadu			
No.	Name of the District Panchayats	Number of Panchayat Unions	Number of Village Panchayats
1	Kancheepuram	13	648
2	Tiruvallur	14	539
3	Cuddalore	13	681
4	Villupuram	22	1104
5	Vellore	20	753
6	Tiruvannamalai	18	860
7	Salem	20	385
8	Namakkal	15	331
9	Dharmapuri	8	251
10	Krishnagiri	10	337
11	Erode	20	343
12	Coimbatore	19	389
13	Nilgiris	4	35
14	Thanjavur	14	589
15	Nagapattinam	11	434
16	Tiruvarur	10	430
17	Tiruchirapalli	14	408
18	Karur	8	158
19	Perambalur	10	22
20	Pudukottai	13	498
21	Madurai	13	431
22	Theni	8	130
23	Dindugul	14	306
24	Ramanathapuram	11	429
25	Virudhunagar	11	450
26	Sivagangai	12	445
27	Tirunelveli	19	425
28	Toothukudi	12	408
29	Kanniyakumari	9	99
	Total	385	12618

Exercise

PART A

Fill in the blanks

1. 74thAmendment Act was enacted in the year_____.
2. Father of local self government is_____.
3. Article _____of the Indian Constitution talks about organisation of Panchayat Act.

PART B

4. Define Townships.
5. Explain Town Area Committee.
6. Define Notified Area Committee.

PART C

7. Write short notes on Municipality.
8. Explain Contonment Board.
9. Explain the importance of Local Government.
10. What are the functions of Local Government?

PART D

11. Write an essay on the obligatory and discretionary functions of Village Panchayat.

CHAPTER 10

INDIA IN THE 21ST CENTURY

India during the 20th century and particularly in the second half or the century had witnessed several developments in the social. economic more particularly in the fields of agriculture and the politics. Unity in diversity happened to be the main factor which Influenced the Indians to unite and initiate several steps towards the realization of their nationhood and independence. It was more or less in the form of fighting the foreigners throwing them out of the country rearranging the existing systems and institutions for finding livelihood and security for the millions of the people especially since 1947 and specifically from the inauguration of the republican pattern of the polity.

10.1 PRESENT POSITION

It was a long long process which concerned every aspect of the life of the Indian population. The giantic task of economic development was before them. Great men and visionaries like Pandit Jawaharlal Nehru, Rajendra Prasad, Patel and Ambedkar, among several other personalities to begin with in the 50s and 60s did everything possible for them for the people to march towards the economic prosperity, social harmony and political stability coubled with security. But, in trying to achieve these they had to meet several challenges which sometimes looked insurmountable but which fortunately they could overcome and usher in an era of steady growth however much it looked from the point of view of critics slow. Then came revolutionary leaders like Mrs. Indira Gandhi who boldly undertook the task of reconstructing nascent India from some of the set backs to forward positions However, this period in the history of independent India did not last long. It was followed by a period of uncertainty with weak leaders assuming the responsibility of guiding the nation through most difficult situations to stability of the nation and solidarity of the people. The reference here is to Governments like Janatha United front, National front and the like. More recently, there was in command of the Indian political system and its institutions the National Democratic Front government headed by Shri Atal Bihari Vajpayee. During this period, it was claimed that India witnessed all round progress in many fields of activity both national and international. It was also claimed that the National Democratic Alliance governments foreign policy resulted in close cooperation with India's immediate neighbours and purposeful positive relationship with great powers such as the US, UK, Russia and China.

The recent general elections to Lok Sabha during May 2004 witnessed the electors of India reposing their confidence in a new set of rulers at the helm of which is Dr. Manmohan Singh as Prime Minister and many stalwarts belonging to different political parties national as well as regional. This rather an unforeseen or unexpected development where there happens to be a domination of regional parties and where the left and right elements of communist parties desirous of having a share in the

control of government and governance of the nation from outside. This is a view that is prevalent at the moment in the country among some of the critics of the National government. .However, it looks that the present United Progressive Government given the cooperation of the constituent elements would deliver the goods. One can hope that government in the 21st century could go forward, initiate appropriate programmes and implement them with determination to help Indians to achieve a glorious India in the years ahead.

The following are some of the areas in which India attained satisfactory or more than satisfactory results in terms of concrete achievements. These could help and serve as a guide for the future of this great country.

The areas taken for and reviewed are social development. economic progress, constitutional change and administrative reforms. Each of these is described and analysed under some sub fields for a clear understanding.

I. Social Development

Generally, India is a plural society in which various castes religions, languages, cultures and races exist in different perspectives. India is the second largest country after China in terms of population in the world, The first all-India census was completed i n 1872. Since 1881, the census has been taken every decade. India's population grew slowly till the 1920. There was decline in population growth during the decade from 1911 to 1920 and 1921 which may be attributed partly to the occurence of epidemic diseases. The growth of population has been spectacular after independence as shown in Table 1.

Table 1 - Decade wise population of India and growth rate

Year	Population (in millions)	Growth rate during decade (%)	Average annual growth rate (%)
1921	251.3	-0.31	-0,03
1931	278.9	11.00	1.04
1941	318.6	14.22	1.33
I951	361.0	13.31	I 25
1961	439.2	21.51	1.96
1971	548.1	24.80	2 20
198I	683.3	24.66	2.22
1991	846.3	23.85	2.14
2001	1027.0	21.34	1.90
2011	1210.19	17.64	1.64

Further, the population in India according to 2001 census was put at 102.7 crores. There was an increase of 21.34 percent over the 1991 census. This was due to a decrease in the death rate and increased life expectancy during the same period The following are some interesting population figures as per 2001 census

(a) The average population density for the whole country is 324 persons per square kilometers.

(b) Delhi had the highest density with 9294 persons per square km.

(c) Among the states while West Bengal had the highest density of 904 persons in Arunachal Pradesh it was 13 persons per square km.

(d) Among the cities, Calcutta, Chennai, Mumbai, Hydrabad, Delhi, Chandigarh and Bangalore have a density of more than 2000 persons per square km.

(e) The sex-ratio on an average was 933 females per 1000 males. Kerala has a high of 1058 females per 1000 males. Haryana has a low of 861 females per 1000 males.

(f) The average literacy rate for the whole country is 65.38 percent. The literacy rate in Kerala is the highest with 90.92 percent whereas Bihar has the lowest with 47.53 percent. The literacy rate in Tamilnadu is 73.47 percent.

The Government of India in order 10 enable it to formulate a population policy appointed an Expert Group with Dr. M.S. Swaminathan as chairperson which made the following recommendations on 21st May 1994.

1. The objective of the policy will continue to be population stabilization, but it should be achieved through a stronger emphasis on social development with the involvement of decentralised institutions.

2. Family planning strategies should be linked with the provision of minimum needs.

3 Greater emphasis on removal of chiId-marriage, dowry and other social evils.

4. Dispensing with national method of specific targets and cash incentives.

5 Allowing locally elected bodies to set social development-cum-demographic targets.

6 Establishment of an apex body called the Population and Social Development Commission similar to the Space Commission and the Atomic Energy Commission, which will replace the departments dealing with health and family welfare.

The government announced in February 2000. the National Population Policy (NPP) with the following objectives.

1. The immediate objective is to address the unmet needs for contraception, health care infrastructure, and basic reproductive and child health care.
2. The medium term objective is to bring that Total Fertility Rate (TFR) to replacement levels of 2 .1 by 2010.
3. The long term objective is to achieve a stable population by 2045, at a level consistent with the requirements of sustainable economic growth, social development and environmental protection.

As a result a National Commission on Population has been set up with the Prime Minister as the President and the state Chief Ministers, Union Ministers, NGOs, demographers and public health professionals as members. This commission of more than 100 members will oversee and review the implementation of the policy. Also, the policy emphasises the pivotal role of urban and rural local bodies in implementing it. Rewarding the local bodies for exemplary performance, cash incentives to mothers and couples who undergo sterilisation and the like are some of the promotional and motivational measures suggested in the policy,

Achievements

Indeed, India has achieved a remarkable success in the national family welfare programme to control the population during the last fitly years. Examples:

1. The Crude Birth Rate has come down from 40.8 in 1951 to 25.8 in 2000.
2. Infant Mortality Rate has decreased from 146 per 1000 live births in 1951 to 68 per 1000 live births in 2000.
3. The Crude Death rate has come down from 25 in 1951 to 8.5 in 2000.
4. The life expectancy of an average .Indian has increased from 37 in 1951 to 67 years in 2000.
5. Total Fertility Rate (TFR - the average number of children born to a woman during her life time) has reduced from 6.0 in 1951 to 2.8 in 2000.

Poverty Alleviation

According to the Human Development Report of 1997, “poverty is the denial of opportunities to lead a long, healthy and creative life and to enjoy a decent standard of living, freedom, dignity, self-respect and the respect of others”. Poverty is of two types namely, absolute poverty and relative poverty. Absolute poverty is when a person cannot obtain certain absolute standards of minimum requirements, usually measured in terms of income. Relative poverty is when a person falls behind others. Thus, it is a measure of in-equaling of income. Hence, income is only one measure of poverty. Another approach is the basic needs approach, according to which poverty is when a person is unable to fulfil his basic needs.

Table 2 - People below the Poverty Line in the selected states in India in 1999-2000

		Poverty Line		
S. No.	**State**	**Rural (%)**	**Urban (%)**	**Total**
1.	Andhra Pradesh	11.06	26.63	15.77
2.	Assam	40.04	7.47	36.09
3.	Bihar	44.30	32.91	42.60
4.	Gujarat	13.17	15.59	14.07
5.	Haryana	8.27	9.99	8.74
6.	Karnataka	17.38	25.25	20.04
7.	Kerala	9.38	20.27	12.72
8.	Madhya Pradesh	37.06	38.44	37.43
9.	Maharashtra	23.72	26.81	25.02
10.	Orissa	48.01	42.83	47.15
11.	Punjab	6.35	5.75	6.18
12.	Rajasthan	13.74	19.85	15.28
13.	Tamil Nadu	20.55	22 11	21.12
14.	Uttar Pradesh	31.22	30.89	31.15
15	West Bengal	31.85	14.86	27.02
	All India	**27.10**	**23.60**	**26.10**

The working group of the Planning Commission defined poverty in terms of a "minimum level of living". It included not only private sources of consumption but also public goods such as health and education. The following Table shows the state wise (selected) percentage of persons below poverty line in 1999-2000.

Indian poverty is predominantly rural The Planning Commission estimated that the population below the poverty line was 51 5% in 1972-73 and came down to 18.90% in 1993-94. But in 1999-2000, it was 26.10% strictly speaking, the population below me poverty line has declined to 260 million from 300 million for almost 30

years since 1971 The government of India have formulated and implemented several programmes as shown in the Table 2.

Thus, the central and the state governments have been trying to eradicate the social problems with the formulation and implementation of suitable policies and programmes.

II Economic Development

Indian economy is a mixed economy which includes the public and private sectors. The earlier objective was to achieve a socialistic pattern of society. However, recent trends are towards liberalisation, globalisation and privatisation. This change has become inevitable as other countries have switched over to these methods for achieving maximum progress.

Agriculture

The backbone of economic development mainly is agriculture. Agriculture provides a number of industries with raw materials and is thus important for the industrial development of the country The normal feature of Indian agriculture is that it provides direct livelihood to 64% of die labour force in India. It accounts for about 18% of the total value of India's exports The bulk of agricultural exports consists of 13 key commodities.

Table 3 - Poverty Alleviation Programmes launched by Government of India

Sl. No.	Programme	Year of Launching
1	Integrated Rural Development Programme (IRDP)	1978
2.	Training of Rural Youth for Self-Employment (TRYSEM)	1979
3.	National Rural Employment Programme (NREP)	1980
4	Development of Women and Children in Rural Areas (DWCRA)	1982
5.	Rural Landless Employment Guarantee Programme (RLEGP)	1983
6.	India Awaas Yojana (IAY)	1985
7.	Jawahar Rozgar Yojana (JRY)	1989
8.	Prime Minister's Rozgar Yojana (PMRY)	1993
9.	Million Wells Scheme (MWS)	1996
10.	Ganga Kalyan Yojana(GKY)	1997

including tea, coffee, tobacco, cashew, spices, raw cotton and sugar. Due to variations in the physical environment various crops are cultivated in India Important crops are rice, wheat, maize, bajra, jowar, barley, sugarcane, cotton, jute, oilseeds, pulses, tea, coffee. rubber; silk and tobacco.

The green revolution was achieved in agriculture as result of the First Five Year plan In July 2000, the Government of India announced its New Agricultural Policy (NAP). It aims to increase the agricultural growth from the current 1.5% to over 4% by 2005. It seeks to promote private sector participation through contract farming and land leasing arrangements. It also seeks to remove all controls and regulations on domestic agricultural markets so that the farmers may receive a remunerative price for their produce.

National Income

The real income of a country is the sum total of goods and services produced in that country. Since these goods and services come in different measures., it is not possible to quantify' the sum total in a common measure. Therefore, the values are expressed in terms of money. Thus, national income is the money value of all the final goods and services produced in a country in a year. In India, national income is measured at constant prices with a base year. The base year is 1993-94.

Industry, Science and Technology

Actually, a variety of agricultural and mineral raw materials have provided the base for the development of a number of industries in India. The idea that the State had a prominent role to play in the development of industries found its earliest articulation in the report of the National Planning Committee (1950) Under the Chairmanship of Jawaharlal Nehru. This was reiterated in the statement of the Industrial policy (1945). Some of the major initiatives in setting the industrial agenda in post-independent India are following.

1. The Industrial Policy Resolution. 1948
2. The Industries Development and Resolution Act, 1951
3. The Industrial Policy Resolution, 1956
4. The Industrial Policy Statement, 1973
5. The Industrial Policy Statement, 1977
6. The Industrial Policy Statement, 1980
7. The New Industrial Policy, 1991.

India has developed in science and technology in terms of scientific research, establishment of the technological centres, modernisation of weapons, production of hydrogen and nitrogen bombs, space research and development, and so on.

Planning

India followed the example of Britain with regard to the political system, the polity and nuances of governance. However, so far as economic and agricultural development was concerned it followed the Soviet model which emphasised prior planning and systematic implementation. Pandit Jawaharlal Nehru, a socialist was a votary of the Russian system of planned development. At his instance, the plan system was introduced in India. There were so far nine plans and the tenth plan is in progress at present. Table 4 shows the Five Year plans and their priorities.

There was a plan holiday between 1966 to 1969 and between 1990-1992, After the disastrous experience of the plans, a plan holiday was declared for three years. It means that yearly plans were formulated and implemented during the period. Green revolution, reduction of inflation and the nationlisation of banks were the major steps during the period.

Table 4 - Five Year Plans and Priorities

Five Year plans	Priority
First Five year plan 1951-56	Priority to agriculture, irrigation and power projects
Second Five Year plan 1956-61	Priority to Industry
Third Five Year plan 1961-66	Basic industries
Fourth Five Year plan l969-74	Growth with distributive justice
Fifth Five year plan 1974-79	Poverty eradication and self reliance
Sixth Five Year plan 1980-85	Poverty alleviation
Seventh Five Year plan 1985-90	Generation of employement
Eight Five Year plan 1992-97	Employment Generation leading to achieve full employment by 2000.
Ninth Five Year plan 1997-2002	Growth with social justice and equality
Tenth Five Year plan 2002-2007	Reduction of poverty and population growth

III. Constitutional Change

Until 15th August, 1947 India was ruled by the British. Details of the character of British rule could be ascertained from history. The task of drafting a constitution was taken up by the Constituent Assembly of India. It consisted of eminent members like Pandit Nehru, Rajendra Prasad, Patel. T.T. Krishnamachary and others. It finally adopted the new constitution on Nov. 26, 1949. The same came into effect on Jan. 26, 1950. From then, India became a free, democratic republic with federal and unitary features.

The Indian Constitution is the biggest. During the operation of the constitution, several changes in the form of amendments were introduced. Far reaching among the changes is the inclusion of Constitution Amendment Acts 73 and 74 which emphasised the need to introduce panchaythraj system compulsorily in all states of India. This was to enable the local people to participate effectively in the administration of their respective areas. The following are the some of the constitutional changes

1. Enlargement of Constitution

The original Constitution of India consisted of a preamble, 22 parts, 395 Articles and 8 schedules. Now, it consists of a preamble 26 parts, 444 Articles and 12 Schedules. Not only that, it has been amended more than 100 times according to article 368. Hence, we proudly say that ours is the most detailed constitution in the world.

2. Changes in the Preamble

In the original constitution, only three major principles such as sovereignty, Democracy and Republic placed. But, the Forty Second constitutional Amendment Act of 1976 inserted another two major principles, namely, socialism and secularism in the preamble. Hence, we say that India is a sovereign, socialist, secular, democratic and republic country. As such, unit and integrity of the nation' has been added in the preamble of the constitution by the 42nd amendment.

3. Maintenance of Basic Structures

As in the original constitution, the basic structures of principles are properly maintained without any dislocation. Sovereignty, secularism, socialism, democracy, republic, parliamentary from of government, rule of law are some of the basis features of the constitution In the Kesavanatha Bharathi Vs State of Kerala (1973), the supreme court held that the parliament may amend any part of the constitution including the preamble, but the basic structures of the constitution should ever remain unchanged.

4. Fundamental Duties

Fundamental duties were included in the constitution under Part IV A and a new article 51A was inserted. It deals with 10 fundamental duties such as to abide by the constitution, respect its ideals and institutions, the National Flag and the national unity and integrity of India; to safeguard public property and so on.

5. The Panchayats

The 73rd Constitutional Amendment Act of 1992 has placed the panchayats in part IX of the constitution from Article 243 to 243-0. This part deals with the structure and functions of panchayatiraj - the rural local bodies in India. Also, the 73rd amendment has created the 11th Schedule of the constitution in which 29 functions of the panchayats are listed.

6. The Municipalities

The 74th Constitutional Amendment Act of 1992 has created a new part - IX-A of the constitution from Article 243-p to 243-ZG. The part discusses the composition, and functions of the urban local governments. Reservation and participation have also been dealt with in this part. Also, the 74th amendment has provided the 12th schedule of the constitution in which 18 functions of the urban local bodies are listed.

7. Co-operative Federalism

Originally, the constitution of India has provided a quasi-federalism according to which the features of federal and the unitary form of governments are included in the constitution. Since India has many states and problems not only among the states but also between the centre and the states, the constitution has created an Inter-State Council. It was created only in May 1990 on the recommendations of the Sarkaria Commission. The council comprises of the prime minister, the chief ministers of all States and union - territories having legislative assemblies. In addition, the Prime Minister can nominate six ministers of cabinet rank from the union cabinet to this council. The meetings of the council are presided by the Prime Minister. Actually, the provision of this council has created a co-operative federalism in India.

8. Electoral Reforms

For electoral reforms in India, many committees and commissions were appointed. Tarkunde Committee (1974) and Dinesh Goswami Committee (1990) are two important committees which have contributed many recommendations for the electoral reforms. In addition, the election commission has also suggested certain electoral reforms from time to time. For example, in 1994, the Election Commission issued a notification which required the political parties to elect their respective office bearers as per their constitutions within four months. Anti-Defection law (1985), 61st Constitutional Amendment Act (1989) which gave the right to vote to all of 18 years of age, etc. or some of the important electoral reforms in India

9. Elections

Since independence, many elections have been conducted for the parliament and the state legislative assemblies in India. Actually, the elections have given opportunity for the people to participate in politics and have created awareness among the people.

So far, we have discussed the political development of India in general in various perspectives. Yet the political problems such as caste politics, religious politics, regionalism, role of money in politics, hereditary factors, election problems, apathetic attitude of the people, lack of participation of the people in politics, etc exist in Indian politics.

IV Administrative Reforms

Generally, many areas of Indian administration are based on British legacy. At the time of independence, India inherited a colonial administration which was primarily designed for the performance of limited functions of an imperial government, and naturally unsuited to serve the needs of a secular, independent. democratic and socialistic republic of India. Hence, the founding fathers of India independence, took several steps to reform Indian administration. Actually, the administrative reforms are the developments of administration in India .Here, let us discuss some committees which recommended for the reforms and development of Indian administration.

1. Ayyangar Committee, 1949.

The first committee setup to undertake a comprehensive review of the machinery of central government towards the end of 1949 was Gopalaswami Ayyangar Committee, which dealt with organisational changes, improvement in calibre of personnel and improvement in methods of transaction of governmental business. The committee recommended a distinction between a Ministry and a Department. It recommended that the central secretariat should be divided into 37 primary units of organisation consisting of 28 departments. 8 central administrative offices and a cabinet secretariat it also recommended for setting up of an organisation and methods division in each department.

2. Gorwala Committee, 1951

The government of India set up the planning commission in 1950. The commission felt that there were many problems in public administration. Hence, the commission requested Mr. Gorwala, a retired IAS officer to make a study and suggest measures for bringing about reforms in public administration, especially in relation to the implementation of the development programmes of the central and the state governments. He mainly recommended that parliamentary government with a cabinet system on the British model cannot be effective unless there is the standard of morality of the functionaries.

3. Appleby Report, 1953 and 1956

At the end of 1952, CD. Deshmukh. then Finance Minister, invited Paul H. Appleby, a noted authority on public administration in USA, to make a survey of public administration in India. Appleby felt the government of India was making the best effort in the world to bring development through democracy. He analysed the factors making for unity and disunity. He suggested a strong central government for the administration of programmes. He commented on the lack of action-mindedness in India administration and lack of capacity to take action in situations. He mainly recommended that there should be an all-India institute for training the personnel. He also recommended that the number of levels in hierarchy should be increased. As a result, an O & M Division was set up in the central secretarial and the India Institute of public Administration was also established in New Delhi in 1954.

4. Administrative Reforms Commission (1966-70)

The appointment of Administrative Reforms Commission (ARC) was an important landmark in the history of administrative reforms in India. The commission was setup on January 5, 1966, under the chairmanship of Morarji Desai, with five members. The Commission submitted its 20 reports containing 578 recommendations to the central Government. The commission studied the major ten areas of public administration which are following.

1. The machinery of the government of India and its procedures of work.
2. The machinery for planning at all levels
3. Central-State relations.
4. Financial Administration
5. Personnel Administration
6. Economic Administration
7. Administration at the State level.
8. District Administration.
9. Agricultural Administration.
10. Problems of redress of citizen's grievances.

Apart from the above noted committees, the central and the state Governments have setup a number of committees and commissions to reform India administration. However, the prevalent administrative problems are bribery, red-tapism. favoritism, political intervention, casteism. etc. These are not only administrative problems but administrative deceases also. The four major burning issues in India Administration are- corruption, minister versus civil servant, generalist versus specialist and administrative accountability.

10.2 PLANS FOR THE FUTURE

The details and information with statistics given above in this chapter give reasonably a fair picture and the state of progress the nation has made so far. This part, of the chapter gives a brief but a lucid account of what has to be done.

In this connection, it is worth while to take into account the example of national leaders, their visions and their contribution for guidance. Interested and learned students could have come across some writings on the subject such as Thomas More's "Utopia" and the renowned Tamil scholar Dr. Mu Varadharajan's "A,D.2000"

Mahatma Gandhi
(1869-1948)

Gandhiji is rightly called and remembered as the Father of the Nation. It is difficult to give a complete description of who he was and what he was. It can be said that the entire humanity without any exception considered him as a great missionary coupled with a concern for the well-being of mankind. It was he who fought with the mighty British and won independence. But he could not live long to steer the country through difficult times. For he was assassinated in 30th January 1948.

His ideas and contributions are known as Gandhism. The basic tenets of Gandhian ideology are non-violence or ahimsa, satyagraha and sarvodhaya. His methods for achieving the objectives were peaceful protest, hartal and boycott. During his life time, he exhorted the people of the country to work towards achieving an egalitarian society where women, children, workers and everybody lived peacefully His ideas are contained in his monumental work 'My Experiment with Truth' and his other writings and speeches.

Pandit Jawharlal Nehru
(1889-1964)

Jawaharlal Nehru is regarded as the architect of modern India. His ideas and his plans to make free India strong nation are found in some of his works like 'Glimpses of World History' and 'Discovery of India'. As the Prime Minister of independent India, he along with great leaders like Rajendra Prasad. Sardar Vallabhai Patel, K.Kamaraj. Lal Bahadur Sastri and others initiated such programmes and projects that were essential for making our country self-sufficient in the field of agriculture and industry He pursued a policy of friendship with India's neighbours and neutrality in the relationship with other nations of the world. He was a staunch proponent and supporter of Non-Aligned Movement.

Gandhiji, Nehruji and Vallabhai Patel were the tri-murtis who laid the foundation for the future of the nation. Along with them we can refer to Manmohan Singh who initiated liberal policies during 1991-1996 in the field of economics, trade and commerce which served the basis for present development towards globalization which compelled all future rulers to continue the new policies & reforms. The future of the country lies in the manner that these were continued further in the fields of industry, trade commerce and agriculture. The success depended upon the standard and quality of the produces produced for internal consumption and for exports to the other countries.

The former President A.P.J. Abdul Kalam is appropriately known as the votary of great achievements to be made in several fields by India.

His books 'Wings of Fire" (1999) and 'India - 2020 - A Vision for New Millennium'

(1998) speak volumes of achievements India has achieved so far and which India has to achieve in future. He has predicted that India could attain the status of a great economic power and a strong political entity with a status of a super power by 2020 Thus, from what has been described it could be concluded that there were two visions namely the vision of attaining independence and making India strong according to Gandhiji, Nehruji, Patel and others The other second vision is what is talked about by our former, Abdul Kalam. His vision is to develop India's internal strength, improve economy and contribute to social and economic prosperity to the people. According to Abdul Kalam. India has to face certain challenges in regard to priorities and achievements. They are:

A.P.J. Abdul Kalam
(1931- 2015)

1. Improvement in primary and secondary education.
2. Empowerment of women.
3. Investment in science and technology.
4. Entrepreneurship development.
5. Human resources development - Role of private agencies and NGOs.
6. Improvement of performance by government agencies and institutions.
7. Concern for the environment.

Thus, Abdul Kalam has given a definite time frame for the development of India. Actually, his vision or plan for future India is a practical and constructive approach He has also stressed the role of NGOs in the development of the country. He concluded that technological development is the base for socio-economic development. According to his vision, India will achieve the position of developed nation and super power by 2020.

The vision of these great leaders could be achieved through a concrete and united effort and hard work. The young men and women should strive to make India a great power in the 21st Century.

Exercise

PART A

I. Fill in the blanks

1. Indian Constitution came into force on_____
2. India is a ____ society.
3. The Integrated Rural Development programme was started in_____
4. Indian economy is a ____economy
5. _____ is called as the Father of Indian planning
6. The period of Tenth Five Year Plan is_____
7. 73rd Constitutional Amendment is related to_____
8. The Chairman of Administrative Reforms Commission was
9. Mahatma Gandhi integrated socialism with_____

II. Match the following

10.	1938	(a)	New Industrial Policy
11.	1991	(b)	National Planning Committee
12.	1992	(c)	14th Lok Sabha Elections
13.	2004	(d)	74th Amendment

PART B

14. Discuss the population policy of India
15. Describe the Agricultural Policy of India
16. Give an account of Administrative Reforms Commission

PART C

17. Discuss the political development of India.
18. Explain the Five Year Plans in India
19. Enumerate the Administrative Reforms of India
20. What are Future plans of India?

PART D

21. Discuss achievements of India in 20th century.
22. Explain the economic development of India

Presidents of India

Dr. Rajendra Prasad

Dr.S. Radhakrishnan

Dr. Zakhir Hussain

Mr. V. V. Giri

Mr. M. Hidayathullah

Mr. Fakruddin Ali Ahmed

Mr. B.D. Jatti

Mr. Neelam Sanjeeva Reddy

Mr. Gyani zail Singh

Mr. R. Venkatraman

Dr. Shankar Dayal Sharma

Mr. K. R. Narayanan

Dr. A.P.J. Abdul Kalam

Tmt. Pratibha Devi singh Patil

Shri. Pranab Mukherjee

Dr. Rajendra Prasad

Dr. Radhakrishnan

Dr. Zakir Hussain

Mr. V. V. Giri

Mr. M. Hidayathullah

Mr. Fakruddin Ali Ahmed

Mr. B. D. Jatti

Mr. Neelam Sanjeeva Reddy

Mr. Gyani Zail Singh

Mr. R. Venkatraman

Dr. Shankar Dayal Sharma

Mr. K. R. Narayanan

Dr. A. P. J. Abdul Kalam

Tmt. Pratiba Devi Singh Patil

Shri. Pranab Mukherjee