

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі ұсынған

Н.А. Закирова
Р. Р. Аширов

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің
жаратылыстару-математикалық
бағытындағы 10-сыныбына арналған оқулық

10



ӘОЖ 373.167.1

ҚБЖ 22.3.я72

3-16

Закирова Н.А., Аширов Р.Р.

3-16
Физика: жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математикалық бағытындағы 10-сыныбына арналған оқулық. Н.А.Закирова, Р.Р.Аширов – Нұр-Сұлтан: «Арман-ПВ» баспасы, 2019. – 336 б.

ISBN 978-601-318-230-8

ӘОЖ 373.167.1

ҚБЖ 22.3.я72

«Физика» оқулығы жалпы білім беретін мектептің жаратылыстану-математикалық бағытындағы 10-сыныбына арналған жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасына сәйкес жазылды. Материалдарды мазмұндауда оқытудың ғылыми ұстанымдары мен оқушылардың жас ерекшеліктері еске-рілген.

© Закирова Н.А.,
Аширов Р.Р., 2019

© «Арман-ПВ» баспасы, 2019

ISBN 978-601-318-230-8

Барлық құқығы қорғалған. Баспаның рұқсатынсыз көшіріп басуға болмайды.

Шартты белгілер

Анықтамалар

Бақылау сұрақтары

Теориялық материал бойынша өзін тексеруге арналған сұрақтар

★ Жаттығу

1

Сыныпта орындалатын жаттығулар

Эксперименттік тапсырмалар

Зерттеу жұмыстарына арналған тапсырмалар

Шығармашылық тапсырма

Шығармашылық, деңгейдегі тапсырмалар

2 Жауабы қандай?

Физикалық құбылыстардың мәнін түсіндіруді талап ететін сұрақтар

3 Тапсырма

Сыныпта орындалатын тапсырмалар

4 Өз тәжірибел

Сыныпта орындалатын эксперименттік тапсырмалар

5 Бұл қызық!

Тақырыпқа қатысты қосымша ақпараттар

6 Маңызды ақпарат

Жаратылыстану ғылымдарынан ақпарат

7 Естеріңе түсіріңдер!

Менгерілген материалды қайталауға арналған тапсырмалар

8 Назар аударыңдар!

Жаттығуды орындау кезінде қыындық тудыратын оқу материалы

9 Есте сақтаңдар!

Жадынама

Назар аудар

Электронды қосымша жүктелген CD қолжетімсіз болған жағдайда, қосымшаны atman-rv.kz сайтынан тауып, өз компьютеріңе жүктеп алудыңа болады

Алғы сөз

Балалар, бұған дейін физиканы оқу арқылы сендер механикалық, жылулық, электромагниттік құбылыстармен, атом мен ядроның құрылымымен таныс болдыңдар. Негізгі мектептің физика курсында оның негізгі бөлімдерімен танысады аяқтадыңдар. 10-сыныпқа арналған осы физика окулығын параптап қарасандар, жоғарғы сыныпта механиканы, молекулалық физиканы, электродинамиканы әрі қарай оқытындарыңды байқайсыңдар. Оқуды одан әрі жоғарғы оқу орындарында жалғастырганда да сендер физиканың осы бөлімдерін қарастырасыңдар. Бұл – физика ғылымын оқып-зерттеудің ерекшелігі.

Физика зерттейтін әрбір құбылыс табиғаттың басқа құбылыстарымен үздіксіз байланыста болады. Қоршаған ортада тек механикалық, жылулық немесе электромагниттік құбылыстарға болмайды, әлем біртұтас. Ғылыми дүниетанымның бірыңғай тұтастай көрінісін қалыптастыру үшін біз оның жекелеген көріністерін қарастыратын боламыз.

Табиғат құбылыстарын зерттеу нәтижесінде жылулық және оптикалық құбылыстар, денелердің өзара серпімді әрекеттесуінен денені құрайтын зарядталған бөлшектердің өзара әрекеттесуі туындастыны белгілі болған. Электромагниттік өзара әрекеттесу заңдарын білмesten, механикалық, жылулық және оптикалық құбылыстарды соңына дейін түсіну мүмкін емес. Механиканың көптеген заңдары мен теңдеулерін микроәлемге қолдануға болатындығы танғажайып сияқты көрінеді. Электр және магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің үдеуі Ньютоның екінші заңын колдану арқылы анықталады. Кинематиканың қозғалыс теңдеуі олардың жылдамдықтары мен орын ауыстыруларын анықтау үшін қолданылады.

Сонымен, негізгі мектептің физика курсында танысқан физика құбылыстары шынайы құбылыстардың жалпылама ұлгісінде жасалған, сондықтан олар әрі қарай егжей-тегжейлі нақтылауды қажет етеді. Жоғары сынып пен жоғарғы оқу орындағы физика курсында физиканың сол бөлімдері терендетіле оқытылады.

Іс жүзінде физиканың барлық заңдары математика тілінде беріледі, сондықтан олар күрделі болады. Математика тілінің күрделілігі мен байлығы табиғат құбылыстарының модельдерін барынша шынайы құбылыстарға жақыннатуға мүмкіндік береді. Бұл – физика құбылыстарын тағы қайтара зерттеудің бір себебі.

Оқулықтың әр параграфының соңына бақылау және «жаяубы қандай?» сұрақтары мен есептеу тапсырмалары берілген. Физикалық құбылыстарды терең танып-білу үшін есеп жинақтарын қосымша қолдану қажет. Оқулықта сонымен қатар, үйге арналған эксперименттік және шығармашылық тапсырмалар берілген.

Зертханалық жұмыстарды, кестелік шамаларды, жаттығулардың жауаптарын оқулықтың соңындағы қосымшадан таба аласындар.

Физиканы оқып-үйрену – өзіміз өмір сүретін әлемді тану. Осы қызықты пәнді игеруде сәттілік тілейміз!

Авторлар

«Механика» (μηχανική) сөзі ежелгі грек тілінен аударғанда – «құрылғыларды жасау өнері» дегенді білдіреді. Физиканың бөлімі ретінде «механиканың мағынасы кеңірек».

Механика – материалың денелердің механикалық қозғалысы мен олардың өзара әрекеттесуі туралы ғылым.

Оқулықтың осы бөлімінде механиканың: кинематика, динамика, статика, сақталу заңдары, аэродинамика және гидродинамика тарауларының бір-қатар мәселелері қарастырылады.

1-ТАРАУ

КИНЕМАТИКА

Кинематика (*κίνειν* – қозғалыс сөзінен шыққан) – денелердің массасын және әсер етуші күштерін ескермей, олардың қозғалыс заңдылықтарын сипаттайтын механика бөлімі.

Кинематика қозғалыстағы нысандың қасиеттеріне тәуелсіз, мынадай бөлімдерге жіктеледі: нүкте кинематикасы, қатты деңе кинематикасы және үнемі өзгеретін орталар – деформацияланатын қатты деңе, сұйықтар мен газдар кинематикасы. Кинематикада қозғалысты жіктеу, оларды қандай да бір белгілері бойынша түрлерге бөлу жүргізіледі.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- физиканың қазіргі замандағы рөлі туралы пікірлерінді білдіруді және оған дәлелдер келтіруді;
- жүйелі және кездейсоқ қателерді ажыратуды;
- тәуелді, тәуелсіз және тұрақты физикалық шамаларды анықтауды;
- физикалық шамалардың өлшеу дәлдігін ескере отырып, тәжірибелік зерттеулердің соңғы нәтижелерін жазуды;
- денениң теңдемелі қозғалысы кезінде жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графигін пайдалана отырып, орын ауыстыру формуласын қорытып шығаруды;
- сандық және графикалық есептерді шешуде кинематикалық теңдеулерді пайдалануды;
- инварианттық және салыстырмалы физикалық шамаларды ажыратада білуді;
- есептер шығаруда орын ауыстыру мен жылдамдықтарды қосудың классикалық заңдарын пайдалануды;
- қисықсызықты қозғалыс кезінде денениң тангенциалды, центрге тартқыш және толық үдеулерін, траекторияның қисықтық радиусын анықтауды;
- көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған денениң қозғалысы кезінде кинематикалық шамаларды анықтауды;
- көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған деңе қозғалысының траекториясын зерттеуді үйренесіндер.

§ 1. Физиканың қазіргі замандағы рөлі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- қазіргі замандағы физиканың рөлі туралы ойлауынды білдіріп, пікірлеріне дәйектемелер келтіре аласыңдар.



1-тапсырма

1. Интернет желісіндегі материалдарды пайдаланып, жаңа ғылымдар: химиялық физика, геофизика, агрофизика биофизика, психофизика қандай зерттеулер жүргізетінін анықтаңдар.
2. Жаңа ғылымдар тізімін ездерің білетін жаңа бағыттармен толықтырындар.



Жауабы қандай?

1. Қазіргі кезеңде жаратылыштану ғылымдарының біріктірілуінің себебі неде?
2. Неліктен ғылым тікелей өндірگіш күшке айналды?



2-сүрет. Қазақстандық «КАЗЦИНК» компаниясының геофицикалық зерттеулерге арналған тікұшақ-зертханасы

Ғылым мақсаты – қоғам және келешек үрпак үшін білімді арттыру мен сақтау.

Андре Мишиль Льевов

I Қазіргі замандағы физика

Қазіргі замандағы физиканың рөлі өте маңызды. Ол бізді қоршаған орта туралы ең маңызды білім көзі болып табылады. Табиғат құбылыстарын зерттеу физика заңдарының ашылуына, техниканың және табиғатты зерттейтін басқа да ғылымдардың дамуына алып келді. Физиканың және де басқа да ғылымдардың тоғызының нәтижесінде зерттеудің жаңа бағыттары: химиялық физика, геофизика, агрофизика, психофизика, биофизика пайда болды (*1-сүрет*).



1-сүрет. Жүректің электркардиограммасы

Ғылым тікелей өндірігіш күшке айналды. Кенді Алтайда қазір қазақстандық «КАЗЦИНК» компаниясы жұмыс жасайды. Компания аэрогеофицикалық зерттеулер үшін қайта жабдықталудан өткен, ұша алатын зертханаға айналған 5 орынды жөніл AS-350B тікұшағын қолданады (*2-сүрет*).

Физиканың дамуы біздің қоршаған орта туралы түсінігімізді түбекейлі өзгертіп қана қоймай, заманауи технологияларды қолдану арқылы қоғамға алдыңғы қатарлы өзгерістер алып келді. Заманауи байланыс құралдарының арқасында Жер бетінің барлық түрғындары бірыңғай ақпараттық кеңістікте өмір сүруде, жаңа технологиялармен алмасу жылдам іске асуда. Ақпарат басты құндылыққа айналуда (*3-сүрет*). Алайда ғылым жетістіктері қоршаған орта мен жануарлар әлеміне пайдалымен қатар зиянын да тигізуі мүмкін. Адамның ойланбай жасаған әрекеттерінің табиғат үшін орны толmas, кейде тіпті жойқын

салдары болуы мүмкін. Ядролық энергияны пайдалану, микроағзалар әсеріне төзімді заттарды өндіру экологиялық мәселелерге алып келетін адам іс-әрекетіне мысал бола алады. Адамзаттың болашақ тағдыры ғаламдық мәселелерді бірлесе отырып шешуге тәуелді. Жергілікті деңгейде шешім қабылдау үшін біздің планета айтарлықтай үлкен болмай шыкты. Адамның санасы да өзгеруі қажет: адам – «табигат патшасы» емес, ол – табигаттың бір бөлшегі.



3-сурет. Біртұтас ақпараттық өріс

II Физика – қоршаған орта туралы білім көзі

Физиктер табигат құбылыстарын зерттеу барысында XVIII–XIX ғасырларда әлемнің механикалық көрінісін, XIX ғ. екінші жартысы – XX ғ. басында әлемнің электромагниттік көрінісі қалыптасты. XX ғ. басында туындаған Эйнштейннің салыстырмалылық теориясы механика мен электродинамика заңдары арасындағы қайшылықтарды жойды. Ол классикалық физиканың қалыптасуының соңғы қадамы болды. Осы кезде туындаған кванттық теория, керісінше, материяны зерттеудің жаңа кезеңін ашты, ол жаңашыл, тіптен басқаша, қазіргі замандағы физиканың туындауының бастамасы болды. XX ғасырдың ортасынан бастап, әлемнің қазіргі заманғы физикалық көрінісі қалыптасты.

III Физика және ғылыми-техникалық прогресс (FTП)

Физиканың дамуы мен ғылыми-техникалық прогресс (FTП) өзара байланысты. Техниканың дамуының негізі – физика жетістіктері, ал техниканың деңгейін көтеру арқылы жаңа принциптік зерттеулерді жүргізуге жағдай жасалады. Мысал ретінде ядролық реакторларда немесе зарядталған бөлшектердің үдегіштерінде орындалатын маңызды зерттеулерді атап көрсетуге болады. Техникалық жабдықталу қүшейіп, жаңа технологиялар жасалып жатыр. FTП электрондық есептеуіш мәшинелер, қоғамның тіршілігі мен ғылымның әртүрлі саласына енгізілген автоматтандырылған басқару жүйесі сияқты жаңа типті техниканы қолдану мәселесін алдыңғы қатарға шығарды. Осы маңызды салалардың дамуындағы жетістіктер оның құнделікті қолданылу нәтижесіне тікелей тәуелді болды. Қазіргі қоғамда техника мен техникалық білімнің рөлі арта тусти.

Жауабы қандай?

1. Неліктен әлемнің механикалық көрінісінде электромагниттік көрінісінен бұрын қалыптасқан?
2. Әлемнің механикалық көрінісінде қалай елеестемесіңдер? Электромагниттік көрінісін ше?
3. Әлемнің қазіргі замандағы көрінісінде үнемі зерттеулерді қажет етуінің себебі неде?

2-тапсырма

- 1-кестені өздерін білетін физика мен оларға байланысты техника бөлімдері және техникалық құрылды мысалдарамын толықтырыңдар.
2. Келтірген мысалдарының негізінде қазіргі заманғы физика мен техниканың рөлі туралы пікірлерінді айтыңдар.

Жауабы қандай?

Неліктен ғылыми-техникалық прогрессі тоқтату мүмкін емес?

1-кесте. Физиканың техникамен байланысы

Физика бөлімі	Техника бөлімі. Техникалық құрылғы
Динамика	Фарыштану. Фарыштық жасанды Жер серіктегі, орбиталық стансылар, фарыштық кемелер.
Аэродинамика	Авиация. Аэроплан, ұшақтар, тік-ұшақтар.
Жылулық құбылыстар	Жылу техникасы. Жылулық қозғалтқыштар.
Электромагнетизм	Электротехника. Телеграф, электрлік жарықтағыштар, электркозгалтқыштар, электр генераторы, телефон, метрополитен сзықтары, зарядталған бөлшектерді үдеткіштер. Микроэлектроника. Радиобайланыс, радио басқару, радиолокация, теледидар, ЭЕМ, өндірістік роботтар. Лазерлі техника.
Оптика	Оптикалық құралдар. Фотоаппарат, телескоп, микроскоп.
Ядролық физика	Ядролық энергетика. Ядролық реактор, АЭС.

IV Физика және адам мәдениеті

XXIғ. адамзат барлық елдер мен халықтар үшін ұлken маңызы бар ғаламдық мәселелермен бетпе-бет келді. Олардың қатарына дүниежүзілік мұхит пен Жер атмосферасының ластануы, озондық қабатта тесіктің пайда болуы, күн сәулелерінің Жер биосферасына есерінің артуы жатады. Заманауи физика ғаламшарлық ойлауды қалыптастырады. Ойлаудың сипаты және стиліне есеп ете отырып, физика адамның белсенді өмірлік ұстанымына, адам санаасында өмір бойы әлемді танып-білу керек деген ой қалыптастыруға септігін тигізеді. Кешегі білім қазіргі кездегі кейбір мәселелерді шеше алмайды. Физика ғылымы «тіреу нұктелерінің» – іргелі заңдарының болуымен ерекшеленеді. Мысалы: біздің әлемде бәрі өзгерсе де энергияның сақталу заңы орындалады. Қазіргі заманғы физикадағы жаңалықтар оның іргелі заңдарына сүйенеді.

Біздің біліміміз тольықан сайын, біртіндеп бірқатар физикалық ұғымдардың аражігі жойыла бастайды. Осылайша, «корпускулалық» және «толқындық» қозғалыстарды, зат пен өрісті жікке айыру жойылып келе жатыр. Элементар бөлшектер үшін табиғи процестер өзара түрлену болып табылады. Табиғаттағы барлық жіккे

Назар аударындар!

ХХ ғ. – ФТП ғасыры,
XXI ғ. – ақпарат ғасыры.

3-тапсырма

1. Қазіргі даму кезеңіндең адамзат алдында шешімін күтіп тұрған жаһандық мәселелерге мысалдар келтіріндер.
2. Осы мәселелердің туындау себептерін көрсетіндер.
3. Аталған мәселелерді шешу жолдарын ұсынындар.

Жауабы қандай?

1. «Адам – табиғаттамашасы» ұғымы қоршаған ортага неге зиянын тигізуде?
2. Адам неге табиғаттың бөлігі болуы керек? Ол өзінің іс-әрекетінде нені өзгертуі қажет?
3. Неге біз табиғаттың құбылыстарын зерттей отырып, қаралайымдалған үлгілерді (материялық нұкте, еркін тұсы) пайдаланыз, бірқатар шарттарды енгіземіз (үйкеліс күшінің, ауа кедергі күшінің жоқ болуы)?
4. Неліктен әр адам үшін физика ғылымдарын білу маңызды?

бөлінушілік шартты түрде салыстырмалы, қозгалмалы, олар біздің ақыл-ойымыздың әлемді танып-білудегі мүмкіндітерін бейнелейді. Табиғат құбылысының зерттей отырып, біз табиғат құбылыстарының қарапайым үлгілерін жасаймыз. Таным процесі – абсолют шындықта біртіндеп жақындау процесі. Бұл – белгілі нәрсelerге жана фактілерді механикалық түрде қосу емес, жаңаның ескіні теріске шығара отырып, бұрын жинақталған барлық сенімді және негізгі білімді жүйелі түрде жалпылау процесі. Біздің әлем туралы түсінігіміз үздіксіз терендетіледі және кеңеяді, материалық әлемді тану процесі шексіз.

Әрбір мәдениетті адам өзі өмір сүріп жатқан әлем қалай құрылғанын елестете алуы керек. Табиғаттың бізді білімсіздігіміз ушін жазалағанын көрсететін мысалдар көп, солардан сабак алатын уақыт келді.

Табиғат занбарын білу адамға күрделі мәселелердің ең тиімді шешімін табуға мүмкіндік береді. Білімнің қажеттілігінің мәні – осы.

Бақылау сұрақтары

1. Қазіргі замандағы физиканың рөлі қандай?
2. Физикада әлемнің қандай көріністері қалыптасқан?
3. Заманауи физика мен классикалық физиканың айырмашылығы неде?
4. Физика техникаға қалай әсер етеді?
5. Таным процесінің мәні неде?



Жаттығу

1

1. Жұмыс істеу тәртібі радиоактивті, электромагниттік толқындардың, ультрадыбыстардың, реактивті қозғалыстардың ашылуына негізделген техникалық құрылғыларға мысал келтіріндер.
2. Астрофизиктер алыстағы планеталардың құрамын қандай әдіспен анықтағанын түсіндіріндер.
3. Ашылу мен оның қолданылуы арасындағы сәйкестікті көрсетіндер:

Ашылулар	Қолданылуы
Спектроскопия	Автоматтандырылған басқару жүйесі
Ультрадыбыс	ДНҚ құрылымының мағынасын ашу
Жарықтану кезіндегі жартылай өткізгіштердің өткізгіштігінің артуы	Суасты нысандарын бақылау

Шығармашылық тапсырма

Ғалымдар туралы хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша): Леонардо да Винчи, М.В.Ломоносов, Ж.Л.Бюффон, В.И.Вернадский.

§ 2. Физикалық шамалардың қателіктері.

Өлшеу нәтижелерін өндөу

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жүйелі және кездейсоқ қателерді ажыратма аласындар;
- тәуелді, тәуелсіз және тұрақты физикалық шамаларды анықтайсындар;
- физикалық шамаларды өлшеу дәлдігіне сәйкес-тендіріп, тәжірибелік зерттеулердің соғы нәтижелерін жаза аласындар.

I Өлшеу түрлері.

Өлшеу қателіктерінің себептері

Физикалық шамаларды өлшеу түрлерін тұра және жанама деп бөледі. Тұра өлшеу кезінде шамалардың сандық мәндері өлшеу аспабының шкаласынан мәліметтер тікелей алынып жатқан кезде анықталады. Егер ізделініп жатқан шама тұра өлшеу арқылы анықталған шамаларға қатысты формула бойынша есептелінетін болса, онда өлшеу жанама деп аталаады. Кез келген өлшеудің нәтижесі жуық болып табылады. Өлшеу дәлдігі қателікпен сипатталады.

Өлшеу қателігі – шаманың өлшенген мәнінің оның нақты мәнінен ауытқуы.

Өлшеу қателігінің себептеріне: өлшеу аспабының дәлдігінің шектелуі; өлшеу аспабын қолданудың қалыпты жағдайынан ауытқуы; тәжірибе жасаушының әрекеті, өлшенетін шамаларды табу үшін қолданылатын заңдардың жуық сипаты; тәжірибе жүргізу әдісінің жетілмегендігі жатады.

Аталған себептер кездейсоқ немесе жүйелі қателіктерге алып келеді.

II Кездейсоқ және жүйелі қателіктер

Кездейсоқ қателік – берілген шарттарды өзгертпей, бір шаманы бірнеше рет қайталап өлшеу кезінде кездейсоқ түрде өзгеретін қателік.

Ол өлшеу процесіне әсер ететін көптеген басқа-рылмайтын себептерден, мысалы, желдің лебінен, кернеудің кенеттен өзгеруінен туындаиды. Кездейсоқ қателіктің әсері тәжірибені көп рет қайталуа барысында азаоы мүмкін.

Жүйелі қателік – бір шаманы бірнеше рет қайталап өлшеу кезінде тұрақты болып қалатын немесе уақыт өтуімен заңдылыққа сәйкес өзгеретін қателік.

1-тапсырма

- Физикалық шамаларды тұра және жанама өлшеуге мысалдар келтіріндер.
- Келтірген мысалдарың-дагы өлшеу қателіктерінің негізгі себептерін көрсетіндер.
- Кездейсоқ қателіктердің себептерін атаңдар.

Есте сақтаңдар!

Егер өлшеу кезінде салыстырмалы қателік 10%-тен көп болса, онда өлшейтін шамага бағалау жүргізілді деп айтылады. Физикалық практикум зертханаларында салыстырмалы қателігі 10%-ке дейінгі өлшеулер жүргізу ұсынылады.

Жүйелі қателік қайталаپ өлшеу арқылы жо-
йылмайды. Оны түзетулер енгізу немесе тәжірибелін
жүргізілуін өзгерту арқылы жояды.

III Шаманы бірнеше рет тұра өлшеу кезіндегі абсолют және салыстырмалы қателік

Абсолют қателікті анықтау үшін A физикалық шамасын өлшеу шарттарын өзгертией, бірнеше рет қайталап өлшеу жүргізіледі. Бұл жағдайда өлшеніп отырған шаманың $A_{\text{жүйк}}$ жуық мәні барлық өлшеу нәтижелерінің арифметикалық ортасы ретінде анықталады:

$$A_{\text{жүйк}} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n}.$$

Әр ΔA_n өлшеу кезінде кездейсок қателікті мына формуламен анықтайды: $\Delta A_n = |A_{\text{жүйк}} - A_n|$, мұндағы n – өлшеудің реттік нөмірі.

Абсолют қателікті барлық өлшеу нәтижелерінің кездейсок қателіктерінің арифметикалық ортасы ретінде анықтайды:

$$\Delta A = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n}{n}.$$

Өлшеудің абсолют қателігінің модулі өлшеніп отырған шаманың ақиқат мәні орналасқан интервалды көрсете алады. Интервалдың ұзындығы $2\Delta A$. Бұл интервалға кіретін барлық мәндер айқын болып саналады.

Салыстырмалы қателік өлшеу сапасын сипаттайды. Ол мынадай формуламен анықталады:

$$\varepsilon = \frac{\Delta A}{A_{\text{жүйк}}} \cdot 100\%.$$

IV Бірінші реттік тұра өлшеулер мен олардың қателігі

Көптеген өлшеуіш аспаптар үшін аспаптық қателік оның шкаласында немесе паспорттында көрсетілетін дәлдік класымен беріледі. ғ дәлдік класын біле отырып, абсолют аспаптық қателікті анықтауга болады:

$$\Delta_u = \frac{\text{өлшеу шегі} \cdot \gamma}{100}.$$

Егер көрсеткіш шкаланың сзызықшасымен сәйкес келсе, өлшеудің абсолют қателігі аспаптық қателікten аспайды:

$$\Delta = \Delta_u.$$

Егер көрсеткіш шкаланың сзызықшасымен сәйкес келмесе, абсолют қателік санақ қателігінің мәніне артады:

$$\Delta = \Delta_u + \Delta_{\text{сан.}}$$

2-тапсырма

Қашықтыққа жүгіру жаттығу кезінде жеңіл атлет мына нәтижелерді көрсетті:
11,5 с; 11,7 с; 12,0 с; 11,8 с;
11,2 с. Уақыттың жуық мәнін және абсолют қателігін анықтаңдар.

Есте сақтаңдар!

Санақтың $\Delta_{\text{сан}}$ абсолют қателігі аспап шкаласының бөлік құнының жартысына тең:

$$\Delta_{\text{сан}} = \frac{c}{2},$$

c – аспап шкаласының бөлік құны.

3-тапсырма

4-суретте көрсетілген вольтметрдің аспаптық қателігін анықтаңдар.



4-сурет. 2-дәлдіктегі
класқа жататын
вольтметр шкаласы

V Жанама өлшеулер және олардың қателіктері

Жанама өлшеу кезінде өлшеу нәтижесінің айқындылығын бағалауды мынадай ретпен орындау қажет:

1. Берілген шаманы есептеу формуласына кіретін шамаларға тұра өлшеу жүргізу.
2. Осы өлшеулердің абсолюттік және салыстырмалы қателіктерін есептеу.
3. Есептеу формуласы бойынша ізделініп отырған $A_{\text{жүйк}}$ шаманы есептеп шығару.
4. Формула түрі бойынша жанама өлшеу нәтижесінің ε салыстырмалы қателігін анықтау (2-кесте).
5. Мына формула бойынша абсолюттік қателікті табу: $\Delta A = A_{\text{жүйк}} \cdot \varepsilon$.
6. Изделініп отырған шаманың айқын мәндер интервалын көрсету:

$$A_{\text{жүйк}} - \Delta A \leq A \leq A_{\text{жүйк}} + \Delta A.$$

2-кесте. Абсолюттік және салыстырмалы қателік формулаларының ізделіп отырған шаманың формуласымен сәйкестілігі

Функция түрі	Абсолюттік қателік	Салыстырмалы қателік
$f = x + y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x + y}$
$f = x - y$	$\Delta f = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon_f = \frac{\Delta x + \Delta y}{x - y}$
$f = x \cdot y$	$\Delta f = x\Delta y + y\Delta x$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = \frac{x}{y}$	$\Delta f = \frac{x\Delta y + y\Delta x}{y^2}$	$\varepsilon_f = \varepsilon_x + \varepsilon_y$
$f = x^n$	$\Delta f = n \cdot x^{n-1} \cdot \Delta x$	$\varepsilon_f = n \cdot \varepsilon_x$
$f = \sqrt[n]{x}$	$\Delta f = \frac{\Delta x}{n \cdot \sqrt[n]{x^{n-1}}}$	$\varepsilon_f = \frac{1}{n} \cdot \varepsilon_x$

Егер $f = x \pm y$ болса, онда бірден абсолюттік қателік есептеледі.

VI Кестелік шамаларды анықтау кезіндегі өлшеу қателігін бағалау

Кестелік немесе тұракты физикалық шамаларды өлшеген кезде қателікті бағалау табылған мәнді белгілі (кестелік) мәнмен салыстыру нәтижесінде жүргізіледі:

$$\Delta A = [A_{\text{жүйк}} - A_{\text{кест}}].$$

Салыстырмалы қателік мынадай қатынаспен анықталады:

Оның мәні өлшеу сапасының бағасы болып табылады.

$$\varepsilon_A = \frac{|A_{\text{жүйк}} - A_{\text{кест}}|}{A_{\text{кест}}} \cdot 100\%$$

VII Шамаларды біріктіріп өлшеу кезінде тәжірибелер нәтижесін график түрінде беру

Шамалар арасында функционалды байланыс түрі орнаған кезде тәжірибе нәтижелерін графикалық түрде береді. A және B шамаларын өлшеу нәтижесінде нүктө алынбайды, $2\Delta A$ және $2\Delta B$ қабырғалары бар аудан алынады (мұндағы ΔA , ΔB

өлшенетін шамалардың абсолют қателігі). Бұл ауданның әр нүктесі айқын болып табылады, сондықтан осы аудандар арқылы график сызықтарын шамалардың функционалды тәуелділігіне сәйкес келетіндей етіп жүргізу керек (5-сурет).

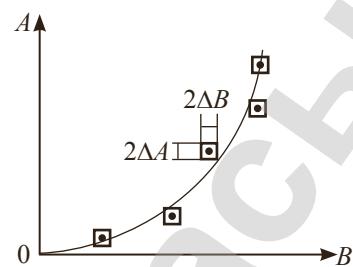
VIII Өлшеу нәтижелерін қателіктерді ескере отырып жазу

Өлшеу нәтижелерін қателіктерді ескере отырып жазу мына ережелер бойынша орындалады:

Қателік жоғары қарай бір мәнге, ал өлшеу нәтижесі жазылған қателіктен аспайтын белгіге дейін жуықталады.

Мысалы, егер есептеу нәтижесінде абсолют қателік $\Delta A = 0,0769$ тең болса, онда бұл санды жоғарыдағы бір мәнге қарай жуықтаймыз: $\Delta A = 0,08$. Онда шаманың жуық мәнін $A_{\text{жуық}} = 0,928514$ абсолют қателіктің дәлдігінен аспайтын дәлдікпен жазу керек. Мына цифрлар олардың мәндеріне тәуелсіз алғынып тасталады $A_{\text{жуық}} \approx 0,92$. Шаманың ақиқат мәні кіретін интервал мына түрде жазылады:

$$\varepsilon = \frac{0,08}{0,92} \cdot 100\% \approx 9\% \text{ болғанда } A = 0,92 \pm 0,08.$$



5-сурет. А және В нүктелерінің айқын интервалдары көрсетілген А нүктесінің В нүктесіне тәуелділік графигі



6-сурет. Дәлдік класы 2,5 болатын зертханалық вольтметр

4-тапсырма

Егер онда 2,5 дәлдіктеңінің 15 В болатын вольтметрдің көрсеткіші 3,5 В болса, кернеуді өлшеу нәтижелерін жазыңдар.

Бақылау сұрақтары

1. Тура және жанама өлшеудің айырмашылығы неде?
2. Өлшеу қателігінің қандай негізгі себептерін білесіңдер?
3. Қандай қателіктерді кездейсоқ деп атайды? Жүйелі қателіктер деп ше?
4. Жүйелі қателіктерді қандай әдіспен жоюға болады?
5. Өлшеудің кездейсоқ қателіктерін қандай әдіспен кемітуге болады?
6. Бірнеше рет тура өлшеу кезінде абсолют және салыстырмалы қателіктерді қалай анықтайды?
7. Аспаптық қателік неге тең?
8. Жанама өлшеу кезінде қателікті қалай анықтайды?
9. Қателікті ескеріп, өлшеу нәтижесін қалай жазады?



1. Тізбек бөлігіне бірінші вольтметрді (*4-сурет*) және екінші вольтметрді (*6-сурет*) жалғау арқылы кернеуді екі рет аныктады. Вольтметр екі жағдайда да 2,8 В көрсетті. Екі өлшеу үшін кернеудің айқын мәндер интервалын анықтаңдар. Қандай жағдайда өлшеу дәлірек болады?
2. Амперметр мен вольтметрді қолданып, тізбек бөлігінің кедегісін жанама өлшеу арқылы анықтады. Вольтметрдің дәлдік класы 4, амперметрдің дәлдік 2,5. Аспаптардың көрсеткіші 4,2 В және 0,3 А болса, тізбек бөлігі кедегісінің айқын мәндер диапазонын көрсетіндер.

Эксперименттік тапсырма

Тура өлшеу арқылы бөлме температурасын, жанама өлшеу арқылы картоп тығыздығын анықтаңдар. Ұсынылатын өлшеуіш аспаптар: термометр, таразы және мензурка. Нәтижелерді қателікті ескере отырып жазыңдар.

Шығармашылық тапсырма

Екі тақырыптың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Метрология, стандарттау және сертификаттау.
2. Қазақстан Республикасының метеорологиялық қызметі.

§ 3. Тенұдемелі қозғалатын дene кинематикасының негізгі түсініктері мен тендеулері

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың иегергенде:
- денениң тенұдемелі қозғалысы кезінде жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графигін пайдаланып, орын ауыстыру формуласын қорытып шығара аласыңдар;
 - сандақ және графикалық тапсырмаларды шешуде кинематикалық тендеулерді пайдалана аласыңдар.



Жауабы қандай?

Денениң қозғалысын зерттегендеге неліктен кинематикада орын ауыстыру жылдамдығымен қатар жол жылдамдығы пайдаланылады?

Проекцияларының қатынастарының бір-бірінен айырмашылығы болмайды. Мысалы, векторлық түрдегі үдеуді есептеу формуласын: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$ векторлардың проекциялары арқылы жазуға болады $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$, бұл кезде теңдік бұзылмайды.

Вектордың проекциялары скаляр шамалар болып табылады, демек, оларды қосу, азайту, көбейту және болу амалдары сандарға қолданылғандай жүргізіледі.

Есептерді координаталық тәсілмен шығару кезіндегі қадамдар реттілігі: координата осьтерін таңдау, берілген векторлардың проекцияларын табу; оларға амалдар қолдану, белгісіз векторлық шаманың таңдалған осьтерге түсірілген проекциясын анықтау.

Вектордың координаталық осьтерге түсірілген проекциясының мәні белгілі болғанда, оның модулін анықтауға болады. Мысалы, егер үдеу векторы $0x$ осіне параллель болғанда, оның модулі осы оське түсірілген проекцияға тең ($7, a$ -сурет):

$$a = a_x.$$

Қарастырылып отырған $0x$ және $0y$ осьтеріне қатысты проекциялары бар болса ($7, a$ -сурет), онда оның модулін Пифагор теоремасы бойынша анықтайды:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}.$$

Дене қозғалысын сипаттау үшін үш координата осін пайдаланған кезде, ($7, b$ -сурет) үдеу модулі:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$

I Кинематиканың негізгі міндеті

Кинематикада денелердің қозғалысын сипаттау үшін үдеу, орын ауыстыру жылдамдығы, жол жылдамдығы, орын ауыстыру, жүрілген жол, дene координатасы, уақыт сияқты шамалармен қатар санақ жүйесі, санақ денесі, координата жүйесі, траектория, салыстырмалы қозғалыс, механикалық қозғалыс сияқты физикалық түсініктерді қолданады. Денелер қозғалысының бір-бірінен айырмашылығы бар: траектория түзу сыйықты және қисықсызықты болуы мүмкін, бір денелердің қозғалыс жылдамдығы тұрақты, біреулерінде айнымалы болуы мүмкін.

Кинематиканың негізгі міндеті – математикалық нұктелердің немесе денелердің қозғалыс түрлерін және сәйкесінше осы қозғалыстардың кинематикалық сипаттамаларын анықтау.

II Есептерді шығарудың координаталық тәсілі

Кинематика есептерін координаталық тәсіл бойынша шығару векторларға амалдар қолданудан скаляр шамаларға амалдар қолдануға көшеді. 9-сыныптың физика курсынан векторлық шамалар мен олардың

проекцияларының бір-бірінен айырмашылығы болмайды.

Мысалы, векторлық түрдегі үдеуді есептеу формуласын: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$ векторлардың

проекциялары арқылы жазуға болады $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$, бұл кезде теңдік бұзылмайды.

Вектордың проекциялары скаляр шамалар болып табылады, демек, оларды қосу, азайту, көбейту және болу амалдары сандарға қолданылғандай жүргізіледі.

Есептерді координаталық тәсілмен шығару кезіндегі қадамдар реттілігі: координата осьтерін таңдау, берілген векторлардың проекцияларын табу; оларға амалдар қолдану, белгісіз векторлық шаманың таңдалған осьтерге түсірілген проекциясын анықтау.

Вектордың координаталық осьтерге түсірілген проекциясының мәні белгілі болғанда, оның модулін анықтауға болады. Мысалы, егер үдеу векторы $0x$ осіне параллель болғанда, оның модулі осы оське түсірілген проекцияға тең ($7, a$ -сурет):

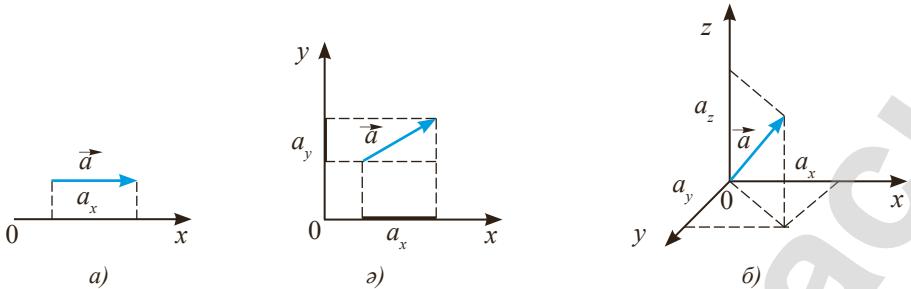
$$a = a_x.$$

Қарастырылып отырған $0x$ және $0y$ осьтеріне қатысты проекциялары бар болса ($7, a$ -сурет), онда оның модулін Пифагор теоремасы бойынша анықтайды:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}.$$

Дене қозғалысын сипаттау үшін үш координата осін пайдаланған кезде, ($7, b$ -сурет) үдеу модулі:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}.$$



7-сурет. Таңдал алынған координатта осытеріне түсірілген вектордың проекциялары

III Тұзу сзықты теңайнымалы қозғалыс үшін кинематика формулалары

3-кестеде деңениң тұзу сзықты теңайнымалы қозғалысын сипаттайтын шамаларды есептөу формуласы берілген: a_x үдеу, v_x орын ауыстыру жылдамдығы, s_x орын ауыстыру және x дene координатасы. Деңелердің еркін түсінік тұзу сзықты теңайнымалы қозғалыстың дербес жағдайы болып табылады, бұл кезде деңе қозғалысының үдеуі $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$.

3-кесте. Кинематика формулалары

Физикалық шамалар	Қозғалыс түрі	
	Тұзу сзықты теңайнымалы қозғалыс	Еркін түсі
Үдеу	$a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$	$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$
Орташа жылдамдық	$v_{avg,x} = \frac{v_0 + v_x}{2}$	$v_{avg,y} = \frac{v_0 + v_y}{2}$
Лездік жылдамдық	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g_y t$
Орын ауыстыру	$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}; s_x = \frac{v_0 + v}{2} t$	$h_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$ $h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}; h_y = \frac{v_0 + v}{2} t$
Дене координатасы	$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$

Дене координаталарының уақытқа тәуелділік теңдеуін қозғалыс теңдеуі деп атайды.

Тұзу сзықты бірқалыпты қозғалыс формулаларын $a = 0$ екенін ескеріп, теңайнымалы қозғалыс формулаларынан алуға болады.

IV Тәңайнымалы қозғалыс кезіндегі бірдей уақыт аралықтарындағы орын ауыстырулардың қатынасы

Денениң бастапкы жылдамдығы $v_0 = 0$ болсын, де-
нениң t уақыттағы орын ауыстыруын $s_1 = \frac{at^2}{2}$ формула-
сымен анықтаймыз. $2t$ уақыттағы орын ауыстыру
 $s_2 = \frac{a(2t)^2}{2} = 4 \frac{at^2}{2}$ болады. Онда, екінші t уақыт аралы-
ғында дene

$$s_{12} = s_2 - s_1 = 4 \frac{at^2}{2} - \frac{at^2}{2} = 3 \frac{at^2}{2}$$

қашықтыққа орын ауыстырган.

Дәл осылай денениң үшінші t уақыт аралығын-
дағы орын ауыстыруын анықтаймыз:

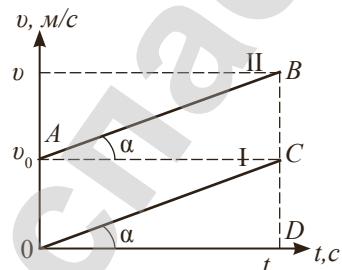
$$s_{23} = s_3 - s_2 = 9 \frac{at^2}{2} - 4 \frac{at^2}{2} = 5 \frac{at^2}{2}.$$

Алынған нәтижелер бойынша денениң бірдей
уақыт аралығындағы орын ауыстыруы тақ сандар
қатары сияқты қатынаста болады:

$$s_1 : s_{12} : s_{23} \dots = 1 : 3 : 5 \dots$$

Жауабы қандай?

Неліктен орташа жыл-
дамдық тек жолдың белгілі
бір бөлігіне тиесілі?



8-сурет. Тәңайнымалы
қозғалыс кезіндегі
жылдамдықтың
уақытқа тәуелділік
графиктері

Тапсырма

8-суреттегі графиктерді пайдаланып:

1. а бұрышының тангенсінің сандық мәні қозғалып бара жатқан I және II денелердің үдеуіне тең;
2. OCD үшбұрышы ауданының сандық мәні бірінші денениң орын ауыстыруына $s_1 = \frac{at^2}{2}$ тең;
3. OABD трапециясының ауданы екінші денениң орын ауыстыруына $s_2 = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ тең
болатынын дәлелдендер.

V Денелердің түзу сыйықты тәңайнымалы қозғалысын сипаттайтын шамалардың уақытқа тәуелділік графиктері

Физикалық шамалардың тәуелділік графикте-
рін салу үшін математикалық әдістер қолданылады.
Сыйықтық тәуелді шамалардың графикін салу үшін
екі нүктө жеткілікті. Шамалардың квадраттық тә-
уелділігін сипаттайтын график параболаны береді,
ол есептеуді және нүктелер санының көп салынуын
қажет етеді (4-кесте).

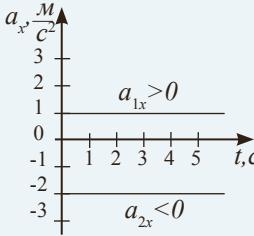
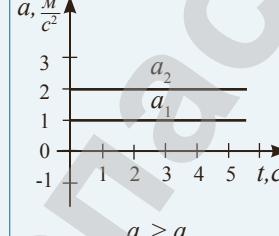
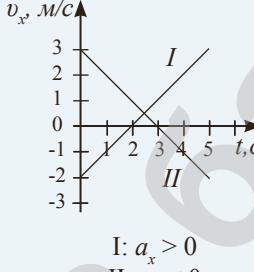
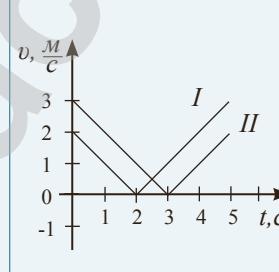
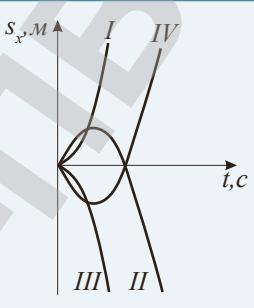
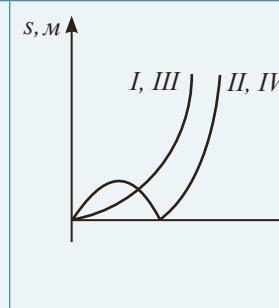
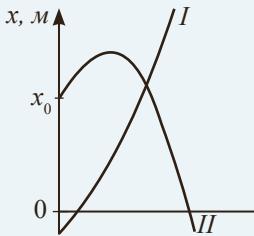
Шамалар модульдерінің теріс мәндері болмайды,
сондықтан шама модулінің уақытқа тәуелділік графикі уақыт осінің үстінде орнала-
сады.

Жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графикі астындағы фигура ауданы сандық
мәні бойынша денениң орын ауыстыруына тең екендігін дәлелдеу қын емес.

Жауабы қандай?

Неліктен қозғалыстағы
денениң үдеуін дene жыл-
дамдығының уақытқа
тәуелділік графикінің көлбей
бұрышының тангенсі
ретінде анықтауға болады?

4-кесте. Кинематикалық шамалардың уақытқа тәуелділік графиктері

Физикалық шама	Уақытқа тәуелділік тендеуі, тәуелділік түрі	Шама проекциясының уақытқа тәуелділік графикі	Шама модулінің уақытқа тәуелділік графикі
Үдеу	$a_x = \text{const}$ Үдеу уақытқа тәуелді емес		
Лездік жылдамдық	$v = v_{0x} + a_x t$ жылдамдық уақытқа тұра пропорционал тәуелді		
Орын аудыстыру	$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ Орын аудыстырудың уақытқа тәуелділігі квадраттық функцияны береді		
Координата	$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ дene координатасы – уақыттың квадраттық функциясы		<p>I: $x_0 < 0, v_{0x} > 0, a_x > 0$ II: $x_0 > 0, v_{0x} > 0, a_x < 0$</p>

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Құлау уақыты 5 с болғандағы, дененің құлау биіктігін анықтаңдар. Ол әр секунд сайын қандай арақашықтықты өтеді?

Берілгені:

$$t = 5 \text{ с}$$

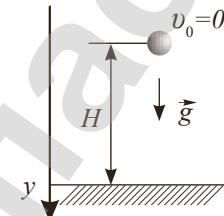
$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$v_0 = 0$$

$$\begin{aligned} H - ? \\ h_1 - ? \\ h_2 - ? \\ h_3 - ? \\ h_4 - ? \\ h_5 - ? \end{aligned}$$

Шешуі:

Суретте денені, еркін тұсу удеуі векторының бағыты \vec{g} , Oy осін бейнелейміз. Дененің бастапқы орын нөлдік биіктік деңгейімен сәйкестендіреміз. Ұшу биіктігін H әрпімен белгілейміз. Еркін тұсу кезінде дене координаталары



$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}$ (1) заңы бойынша өзгереді. (1) формуласын Oy осіне проекциясы мынадай түрге келеді: $H = \frac{gt^2}{2}$.

$$H = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 25 \text{ с}^2}{2} \approx 125 \text{ м}.$$

Алғашқы секундта дене $h_1 = \frac{gt^2}{2}$ қашықтыққа орын ауыстырыды.

$$h_1 = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 1 \text{ с}^2}{2} \approx 5 \text{ м}.$$

Әр кезекті секунд сайынғы орын ауыстыру қатынасы тақ сандар қатарының қатынасымен анықталады:

$$h_1 : h_2 : h_3 : h_4 : h_5 = 1 : 3 : 5 : 7 : 9. \quad (2)$$

Демек: $\frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{3}$ немесе $h_2 = 3h_1$, осы сияқты $h_2 = 15 \text{ м}$.

Дәл осылайша $h_3 = 25 \text{ м}$,

$h_4 = 35 \text{ м}$, $h_5 = 45 \text{ м}$ екенін табамыз. Әр секундтағы биіктіктердің қосындысынан жалпы биіктікті табамыз: $H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = 125 \text{ м}$ болады.

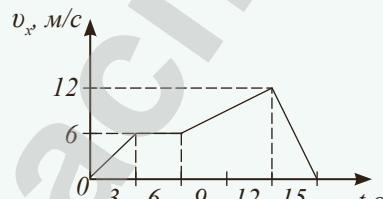
Жауабы: $H = 125 \text{ м}$, $h_1 = 5 \text{ м}$, $h_2 = 15 \text{ м}$, $h_3 = 25 \text{ м}$, $h_4 = 35 \text{ м}$, $h_5 = 45 \text{ м}$.

Бақылау сұрақтары

- Кинематиканың негізгі теңдеуінің мәні неде?
- Денелердің қозғалысын сипаттайтын шамаларды атаңдар, оларға анықтама беріңдер.
- Дененің бірдей уақыт аралықтарында орын ауыстыру үшін қандай қатынас орындалады?



- Тенүдемелі қозғалған дene бастапқы $t_1 = 4$ с уақытта $s_1 = 2$ м жол жүреді, ал келесі ұзындығы $s_2 = 4$ м болатын бөлікті $t_2 = 5$ с ішінде жүріп өтеді. Денениң үдеуін анықтаңдар.
- Тас жерге 10 м биіктікten құлайды. Онымен бір уақытта 8 м биіктікten тік жоғары қарай басқа тас лақтырылды. Егер тастар Жерден 5 м биіктікте соқтығысатын болса, екінші тас қандай бастапқы жылдамдықпен лақтырылған? Ауа кедергісі ескерілмейді, еркін түсү үдеуі 10 м/с^2 .
- Денениң бастапқы жылдамдығы 5 м/с және бесінші секундта $4,5 \text{ м}$ жол жүріп өтті. Денениң үдеуін анықтаңдар.
- 9-суретте жолдың түзу сызықты бөлігіндегі денениң қозғалысы жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі бейнеленген.
 - Жолдың әр бөлігіндегі дene қандай үдеумен жүріп өткенін анықтаңдар. Дене қанша жол жүрді? Оның орын ауыстыруы қандай?
 - Жолдың алғашқы екі бөлігі үшін дene қозғалысының заңын жазыңдар.
 - Денениң бастапқы координатасы $x_0 = 5 \text{ м}$ болғандағы, осы бөліктер үшін денениң орын ауыстыруы мен координаталарының уақытқа тәуелділік графигін салыңдар.
- Балық ұстай үшін бірқазандар суға еркін түседі (10-сурет). Егер балыктың шабуылдан қашып үлгеруіне 0,15 с қажет болса, ол бірқазанды қандай биіктікте байқауы керек? Балық су бетінде жүзіп жүр, бірқазан 5 м биіктікten құлайды деп алындар. Еркін түсү үдеуін 10 м/с^2 деп алып, жауаптарынды жүздікке дейін дөңгелектендер.



9-сурет. 4-есепке қатысты



10-сурет. 5-есепке қатысты

Эксперименттік тапсырма

Өз велосипедтерінің (автокөлік) тежелу жолын және қандай үдеумен қозғалыс жасағандарынды анықтаңдар. Бастапқы жылдамдықты қалай анықтауға болатындығын ойластырыңдар.

Шығармашылық тапсырма

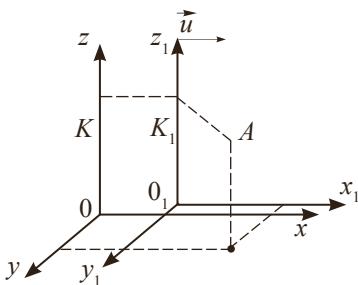
Хабарлама дайындандар (таңдау бойынша):

- Әртүрлі көліктің тежелу жолдарын қысқартудың тәсілдері.
- Ұшатын аппараттар үшін ұшып-қону жолағын қалай есептейді?

§ 4. Инвариантты және салыстырмалы физикалық шамалар. Галилейдің салыстырмалылық принципі

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың иегергенде:
- инвариантты және салыстырмалы физикалық шамаларды ажыратма аласыңдар;
 - орын ауыстыру мен жылдамдықтарды қосудың классикалық заңын есептер шығаруда қолдана аласыңдар.



II-сурет. K – бақылаушыга қатысты қозгалмайтын санақ жүйесі, K_1 – қозгалатын санақ жүйесі

себебі t уақыт ішінде қозгалатын санақ жүйесі $0x$ осі бойымен қозгалмайтын жүйеге қатысты $0O_1 = u_x t$ қашыктыққа орын ауыстырады. Екі санақ жүйесінде де y, z және y_1, z_1 координаталары бірдей. Қарастырылып отырған санақ жүйелерінде уақыт біркелкі өтеді. K_1 жүйесінен K жүйесіне өткенде Галилей жасаган координаталық түрлендіру мына түрге келеді:

$$\begin{aligned} x &= x_1 + u_x t \\ y &= y_1 \\ z &= z_1 \\ t &= t_1 \end{aligned} \tag{1}$$

Қозгалатын санақ жүйесі қозгалмайтын жүйеге қатысты $0x, 0y$ және $0z$ осьтері бойымен бір уақытта орын ауыстырғанда Галилей түрлендіруі былай болады:

$$\begin{aligned} x &= x_1 + u_x t \\ y &= y_1 + u_y t \\ z &= z_1 + u_z t \\ t &= t_1 \end{aligned}$$

I Механикалық қозғалыстың салыстырмалылығы. Инвариантты және салыстырмалы шамалар

Механикалық қозғалысты сипаттайтын кинематикалық түсініктер: траектория, координата, орын ауыстыру, жылдамдық бір инерциялық санақ жүйесінен екіншісіне өткенде өзгерулері мүмкін. Бұл механикалық қозғалыстың салыстырмалылығын білдіреді.

Егер шама бір санақ жүйесінен екіншісіне өткенде өзгеретін болса, онда оны салыстырмалы деп атайды. Егер шама өзгермей қалса, онда ол инвариантты болып табылады.

Кинематикада бір-біріне қатысты қозгалатын әртүрлі координата жүйелеріндегі механикалық қозғалыстарды сипаттайтын кинематикалық шамалар арасында байланыс орнату маңызды мәселе болып табылады.

II Галилей түрлендірулері

Декарттық координаталар жүйесінде бір-біріне қатысты \vec{u} жылдамдықпен қозгалатын K және K_1 санақ жүйелерінде материялық нүктенің орнын анықтайық (II-сурет). K_1 санақ жүйесінде A нүктесінің координаталарының мәні x_1, y_1, z_1 . Қозгалмайтын санақ жүйесінде A нүктесінің x координатасының x координатасынан $u_x t$ мәнге айырмашылығы бар,

Бұл жағдайда қозгалатын санақ жүйесінің қозгалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыру жылдамдығының модули:

$$u = \sqrt{u_x^2 + u_y^2 + u_z^2} \quad (2)$$

тән. Дене координаталары салыстырмалы шамалар, аз жылдамдықпен қозгалатын денелер үшін уақыт инвариантты болып табылады.

III Орын ауыстыруларды қосу ережесі

Денениң жазықтық бойымен қозгалысын қарастырайық, бұл жағдайда оның орны екі координатамен анықталады. Бірі тыныштықта болатын денемен, ал екіншісі қозгалатын денемен байланысты координаталар жүйесін таңдайық. Бастапқы уақыт мезетінде O_1 және O нүктелері қарастырып отырган денениң орнымен сәйкес келеді. t уақыт өткен соң дене A нүктесіне орын ауыстырады. Қозгалатын санақ жүйесінің O_1 нүктесі O нүктесіне қатысты \vec{s} жылдамдықпен қозгала отырып, $\vec{s}_2 = \vec{s}t$ орын ауыстырады (12-сурет).

Карастырылып отырган денениң қозгалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруын \vec{s} , қозгалатын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруын \vec{s}_1 деп белгілейік.

Векторларды қосу ережесі бойынша:

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2 \quad (3)$$

Денениң қозгалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруы денениң қозгалатын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруы мен қозгалатын санақ жүйесінің қозгалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруының геометриялық қосындысына тең. Орын ауыстыру – салыстырмалы шама.

Орын ауыстыруларды қосу формуласының $0x$ және $0y$ осьтеріне проекциялары мына түрге келеді:

$$s_x = s_{1x} + s_{2x} \quad (4)$$

$$s_y = s_{1y} + s_{2y}$$

$s_x = x$, $s_{1x} = x_1$, $s_y = y$, $s_{1y} = y_1$ болғандықтан (12-сурет), таңдалап алынған осьтерге түсірілген проекциялары арқылы формулаларды билай жазамыз:

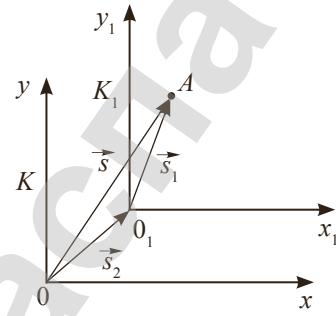
$$x = x_1 + s_{2x} \quad (5)$$

$$y = y_1 + s_{2y}$$

Егер қозгалатын санақ жүйесі қозгалмайтын санақ жүйесіне қатысты $0x$ осі бойымен u_x жылдамдықпен және $0y$ осі бойымен u_y жылдамдықпен қозгалатын болса, онда жоғарыда жазылған тендеулер мына түрге келеді:

$$x = x_1 + u_x t$$

$$y = y_1 + u_y t$$



12-сурет. Әртүрлі санақ жүйесінде орналасқан бақылаушылар үшін A нүктесінің орын ауыстыруы



Өз тәжірибелен

Екі окушының өзара перпендикуляр екі бағытта орын ауыстыруын бастапқы нүктеге және бір-біrine қатысты анықтаңдар. Тәжірибе бойынша қозгалып бара жатқан денені, қозгалатын және қозгалмайтын санақ жүйелерін атандар.



Жауабы қандай?

Санақ нүктесін таңдау окушылардың бір-біrine қатысты орын ауыстыруына қалай өсер етеді?

Орын ауыстыруларды қосу арқылы біз жазықтың бойымен қозғалатын дene үшін Галилей түрлendірulerін аламыз.

IV Жылдамдықтарды қосу ережесі

$\vec{s}_1 = \vec{v}_1 t$, $\vec{s}_2 = \vec{u} t$, $\vec{s} = \vec{v} t$ екенін ескерсек, онда (1) теңдеубыңай жазылады: $\vec{v} t = \vec{v}_1 t + \vec{u} t$ немесе

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{u}. \quad (6)$$

Дененің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы дененің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы мен қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығының геометриялық қосындысына тең.

Жылдамдықтарды есептеу ыңғайлы және көрнекі болу үшін салыстырмалы және тасымал жылдамдық деген түсніктерді пайдаланады.

Салыстырмалы жылдамдық – дененің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

Тасымал жылдамдық – қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

Мысалы, жүзуши суға қатысты $\vec{v}_{cas} = \vec{v}_1$ (13-сурет) салыстырмалы жылдамдықпен қозғалады, ағын оны жағаға қатысты $\vec{v}_m = \vec{u}$ тасымал жылдамдықпен алдып кетеді. Жүзуши жағаға қатысты \vec{v} жылдамдықпен қозғалады. Осылайша, жылдамдықтарды қосу формуласы мынадай түрге келеді:

$$\vec{v} = \vec{v}_{cas} + \vec{v}_m \quad (7)$$

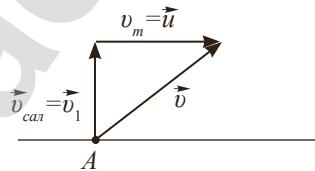
Дененің жылдамдығы – салыстырмалы шама.

V Екі дененің салыстырмалы жылдамдығы

А және В екі дene жерге қатысты \vec{v}_A және \vec{v}_B жылдамдықтармен қозғалады (14, a-сурет). В денесінің А денесіне қатысты жылдамдығын анықтайық. Ол үшін А денесін қозғалатын санақ жүйесі ретінде аламыз, яғни осы дene ойша орналасып, қоршаған дeneлердің қозғалысын қарастырамыз. Барлық дeneлер жермен бірге кеңістікте модулі бойынша A нүктесінің жылдамдығына тең, бірақ бағыты қарама-қарсы жылдамдықпен орын ауыстырады (14, a-сурет).

Жауабы қандай?

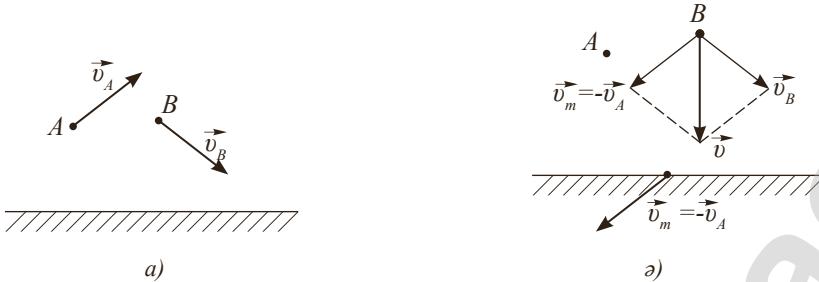
Неліктен Жерді қозғалмайтын санақ жүйесі ретінде санағанда, оның Күнді айнала қозғалуы мен төүліктың қозғалысы ескерілпемейді?



13-сурет. Жүзушиңің \vec{v}_1 суга қатысты жылдамдық багыты және А бақылауышыга қатысты жылдамдық багыты \vec{v} .

Жауабы қандай?

- Бір-біrine қатысты тұрақты жылдамдықпен қозғалатын санақ жүйелерінде неге дene үдеуінің мәні өзгермейді?
- Неліктен Жерге қатысты қозғалатын дene қозғалмайтын санақ жүйесі деп қабылдалап, ойша осы дene орналасып, қоршаған дeneлердің қозғалысын соған қатысты қарастырамыз?



a)

б)

14-сурет. В нүктесінің А нүктесіне қатысты жылдамдығының бағытын анықтау

Осылайша, В нүктесінің А нүктесіне қатысты қозғалыс жылдамдығын анықтау үшін векторларды қосу формуласын пайдаланамыз:

$$\vec{v} = \vec{v}_B + \vec{v}_m$$

немесе $\vec{v}_m = -\vec{v}_A$ қатынасын ескеріп, мына теңдікті жазамыз:

$$\vec{v} = \vec{v}_B - \vec{v}_A.$$

Екі дененің салыстырмалы жылдамдығы олардың жылдамдық векторларының айырымымен анықталады.

Егер жылдамдықтарды азайту нәтижесінде кез келген бұрыштары бар үшбұрыши құралатын болса, онда белгісіз жылдамдықтың сандық мәні косинустар теоремасы бойынша анықталады:

$$v = \sqrt{v_B^2 + v_A^2 - 2v_B v_A \cos \alpha},$$

немесе синустар теоремасы бойынша табылады:

$$\frac{v_a}{\sin \alpha} = \frac{v_B}{\sin \beta} = \frac{v_A}{\sin \gamma}.$$

Бақылау сұрақтары

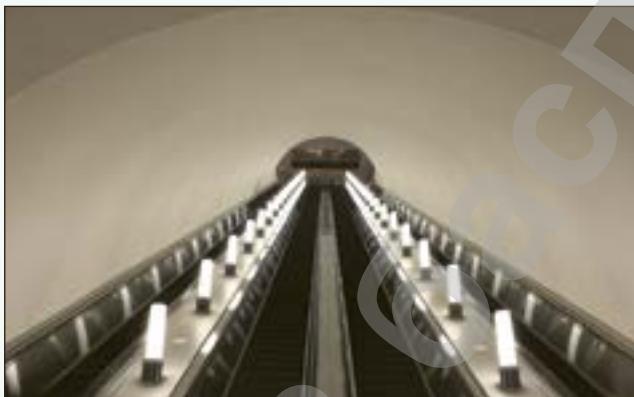
- Дене қозғалысының салыстырмалылығының мәні неде?
- Галилей түрлендірулерін қандай шамалар байланыстырады?
- Сендерге Галилей түрлендірулерінің қандай салдары белгілі?
- Екі дененің салыстырмалы жылдамдығы қалай анықталады?

Жаттығу

4

- Екі автобус бір бағытта қозғалады. Олардың жылдамдық модульдері сәйкесінше 90 км/сағ және 60 км/сағ. Бірінші автобустың екінші автобусқа қатысты және екіншінің бірінші автобусқа қатысты жылдамдығы неге тең?
- Екі параллель теміржол бойымен бір-біріне қарама-қарсы екі пойыз 72 км/сағ және 108 км/сағ жылдамдықпен қозғалып келе жатыр. Бірінші пойыздың ұзындығы 800 м, екіншісінің ұзындығы 200 м. Қандай уақыт аралығында бірінші пойыз екінші пойыздың жанынан өтеді?

3. Ағыс жылдамдығы 2 м/с өзенде катер жағаға қатысты 3,5 м/с жылдамдықпен перпендикуляр қозгалуы үшін мотор катерге қандай жылдамдық беруі керек?
4. Метро эскалаторы оның бойымен қозғалып келе жаткан адамды 1 мин ішінде төмен тұсіреді. Егер адам екі есе жылдамырақ жүрсе, ол төменге 45 с уақытта тұседі. Егер адам қозғалмай тұрса, онда ол қанша уақытта төмен тұседі? Егер эскалатор жылдамдығы 0,9 м/с болса, оның ұзындығы қанша болады? Егер «Жібек жолы» стансысында эскалатордың ұзындығы 104 м құраса, ол жүргіншіні қанша уақытта төменге тұсіреді (15-сурет)?



15-сурет. Алматы метрополитенінің «Жібек жолы» стансысы

Эксперименттік тапсырма

Секундөлшеуіш аспабы мен өлшеуіш таспаны пайдаланып, екі оқушының бір бағытта және қарама-қарсы бағыттағы қозғалысы кезіндегі орын ауыстыруының салыстырмалы жылдамдықтарын анықтаңдар. Алынған нәтижелерге талдау жүргізіндер.

Шығармашылық тапсырма

«Әртүрлі қызмет саласында: өнеркәсіpte, ауылшаруашылығында, цирк аттракциондарында, авиацияда, спорт түрлерінде және т.б. қозғалыстың салыстырмалылығын пайдалану» деген тақырыпта хабарлама дайындаңдар.

§ 5. Қисықсызықты қозғалыс кинематикасы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- қисықсызықты қозғалыс кезінде дененің тангенциал, центрге тартқыш және толық үдеулерін, траекторияның қисықтық радиусын анықтай аласындар.

Кез келген қисықсызықты қозғалатын дene қозғалысын зерттеген кезде траекторияны тұзу сызықты бөліктер мен оған сәйкес шеңбер дөғалары радиустарының үйлесімі ретінде қарастыруға болады. Дененің шеңбер бойымен қозғалысын қарастырайық.

I Шеңбер бойымен дененің теңайнымалы қозғалысының сипаттайтын сызықтық шамалар

Шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалатын дene нің сызықты жылдамдығы кез келген тен уақыт аралығында бірдей мәнге өзгереді. Тенұдемелі қозғалыс кезінде (*16, a-сурет*):

$$v = v_0 + a_{\text{ж}} t \quad (1)$$

Тенкемімелі қозғалыс кезінде (*16, ə-сурет*):

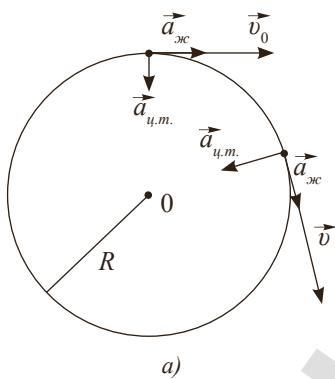
$$v = v_0 - a_{\text{ж}} t \quad (2)$$

(1) және (2) формулалардағы $a_{\text{ж}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ үдеу

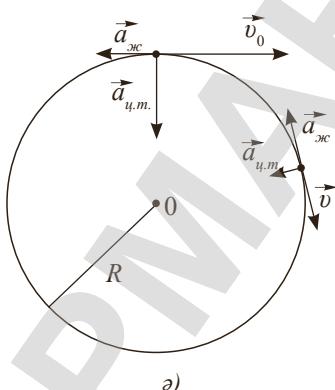
жанама немесе тангенциал үдеу деп аталады. Ол сызықтық жылдамдықтың бағыты бойынша траекторияға жанама бойымен немесе оған қарама-қарсы бағытталады. Егер шеңбер радиусы R тұракты шама болатын болса, онда сызықтық жылдамдықтың өзгеруі нәтижесінде центрге тартқыш үдеу $a_{\text{u.m.}} = \frac{v^2}{R}$ айнымалы шама болады. Егер центрге тартқыш үдеу жылдамдықта 90° бұрышпен бағытталса, онда ол нормаль үдеу деп аталады және $a_{\text{n.m.}}$ әрпімен белгіленеді.

Шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалатын дene нің толық үдеуін анықтайыңыз (*17-сурет*):

$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{ж}} + \vec{a}_{\text{u.m.}}$$

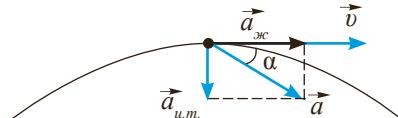


a)



ə)

16-сурет. Материялық нүктениң шеңбер бойымен бірқалыпты айнымалы қозғалысы



17-сурет. Толық үдеу мен оның құраушылары: жанама және нормаль үдеу

Толық үдеудің құраушылары $\vec{a}_{\text{ж}}$ мен $\vec{a}_{\text{u.m.}}$ өзара перпендикуляр, себебі шеңберге жүргізілген жанама радиусқа перпендикуляр болады. Пифагор теоремасына сәйкес толық үдеу:

$$a = \sqrt{a_{\text{u.m.}}^2 + a_{\text{ж}}^2} \quad (3)$$

Жылдамдық пен толық үдеудің арасындағы бұрыштың мәні белгілі болса, нормаль және жанама үдеуді мына формуламен байланыстыруға болады:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a_{\perp.m}}{a_{\text{ж}}}$$

немесе

$$a_{\text{ж}} = \frac{a_{\perp.m}}{\operatorname{tg} \alpha}.$$

Шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалыс кезінде үдеу векторы шеңбердің ішіне қарай бағытталады. Осы вектордың тангенциал (жанама) құраушысы жылдамдықтың модулі бойынша өзгерісін, ал нормаль құраушы (центрге тартқыш) бағыты бойынша өзгерісін сипаттайды

II Дененің шеңбер бойымен қозғалысын сипаттайтын бұрыштық шамалар

Тенайнымалы қозғалыс кезінде ω бұрыштық жылдамдықтың үдеу – бұрыштық жылдамдықтың өзгеру шапшандығының сипаттайтын физикалық шама.

Тенұдемелі қозғалыс үшін бұрыштық үдеу:

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} \quad (4)$$

Теңкемімелі қозғалыс үшін бұрыштық үдеу:

$$\varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega}{\Delta t} \quad (5)$$

Бұрыштық үдеудің өлшем бірлігі $[\varepsilon] = 1 \text{ рад/с}^2$. Бұрыштық жылдамдықтың өлшем бірлігі $[\omega] = 1 \text{ рад/с}$.

(4), (5) формулардан бұрыштық жылдамдықтың лездік мәнін өрнектейік:

$$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t.$$

Алынған формула теңайнымалы қозғалыс кезінде сзықтық жылдамдықты есептеу формулаларына үксас. Демек, бұрыштық орын ауыстыру формуласы сзықтық орын ауыстыруды есептейтін формулаға үксас болады.

Шеңбер бойымен теңұдемелі қозғалыс үшін:

$$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon},$$

Жауабы қандай?

- Неге жанама үдеуді тангенциал үдеу деп атайды?
- Радиусы тұрақты шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалыстың толық үдеуі не себепті Пифагор теоремасы бойынша анықталады?

1-тапсырма

Сызықтық және бұрыштық шамаларды есептеу формулаларының үксастығы мен айырмашылығын көрсетіңдер.

Жауабы қандай?

- Неліктен дененің шеңбер бойымен қозғалысын сипаттау үшін бұрыштық шамаларды қолдану ынғайлырақ?

Шенбер бойымен теңкемімелі қозғалыс үшін:

$$\varphi = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}, \quad \varphi = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{2\varepsilon}.$$

Бұрыштық жылдамдықтың орташа мәнін енгізейік:

$$\omega_{opt} = \frac{\omega_0 + \omega}{2},$$

онда бұрыштық орын ауыстыруды мынадай формула бойынша анықтауга болады:

$$\varphi = \frac{\omega_0 + \omega}{2} t.$$

Естеріне түсіріндер!

Сызықтық және бұрыштық шамалар арасындағы байланыс:

$$l = \varphi R$$

$$v = \omega R$$

$$a_{\text{п.т.}} = \omega^2 R$$

III Сызықтық және бұрыштық шамалардың байланысы

Үдеулер арасында байланыс орнатайық. (4) формуладағы бұрыштық жылдамдықты сызықтық жылдамдыққа алмастырайық:

$\varepsilon = \frac{\frac{v}{R} - \frac{v_0}{R}}{t} = \frac{v - v_0}{tR} = \frac{a_{\text{ж}}}{R}$. Осылайша, бұрыштық үдеудің жанама немесе тангенциал үдеумен мына қатынас арқылы байланысады:

$$a_{\text{ж}} = \varepsilon R \quad (6)$$

(3) және (6) формуланы пайдаланып, толық үдеудің бұрыштық шамалармен қатынасын табамыз:

$$a = \sqrt{a_{\text{п.т.}}^2 + a_{\text{ж}}^2} = \sqrt{\omega^4 R^2 + \varepsilon^2 R^2} = R \sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}.$$

$$a = R \sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2} \quad (7)$$

5-кесте. Сызықтық және бұрыштық кинематикалық шамалардың салыстырмалы кестесі

Есте сақтандар!

$$a_{\text{ж}} = \varepsilon R$$

$$a = R \sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$$

Жауабы қандай?

Шенбер бойынша қозғалысты сипаттайтын қандай шамалар бойынша қисықтық радиусын есептеуге болады?

Бұрыштық шамалар	Сызықтық шамалар
$\omega = \omega_0 + \varepsilon t; \quad \omega = \omega_0 - \varepsilon t$	$v = v_0 + at; \quad v = v_0 - at$
$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}; \quad \varphi = \omega_0 t - \frac{\varepsilon t^2}{2}$	$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}; \quad s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$
$\omega > \omega_0$ болғанда, $\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon};$	$s = \frac{v_0^2 - v^2}{2a}; \quad s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$
$\omega_0 > \omega$ болғанда, $\varphi = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{2\varepsilon}$	
$\omega_{\text{опт}} = \frac{\omega_0 + \omega}{2}$	$v_{\text{опт}} = \frac{v_0 + v}{2}$

2-тапсырма

Қисықтық радиусты есептейтін барлық мүмкін формулаларды жазындар. Сызықтық және бұрыштық шамаларды есептеу формулаларының үксастығы мен айырмашылығын көрсетіндер

Естеріне түсіріндер!

Сызықтық және бұрыштық шамалар арасындағы байланыс:

$$l = \varphi R$$

$$v = \omega R$$

$$a_{\text{п.т.}} = \omega^2 R$$

Естеріне түсіріндер!

Математика курсынан шенбердің радиусын есептеудің қандай тәсілдерін білесіндер?

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРИ

1-есен. Радиусы 10 см дөңгелек 3,14 рад/с² тұрақты бұрыштық үдеумен айналады (суретке қараңдар). Қозғалыс басталғаннан кейінгі бірінші секундтың аяғында 1) бұрыштық жылдамдықты, 2) сзықтық жылдамдықты, 3) тангенциал үдеуді, 4) центрге тартқыш үдеуді, 5) толық үдеуді, 6) жарты дөңгелек жиегіндегі нүктелер үшін толық үдеудің бағыты мен шеңбер радиусы арасындағы бұрышты анықтаңдар.

Берілгені:

$$R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$\varepsilon = 3,14 \text{ рад/с}^2$$

$$v_0 = 0, \omega_0 = 0$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$\omega -? v -? a_{\text{ж}} -? a_{\text{у.м.}} -?$$

$$a -? \alpha -?$$

$$v = 3,14 \text{ м/с.}$$

Тангенциал (жанама) үдеу уақытка тәуелді емес, ол тұрақты және $a_{\text{ж}} = \varepsilon R = 0,314 \text{ м/с}^2$ -ке тең.

Центрге тартқыш үдеу уақыттың квадратына пропорционал өседі:

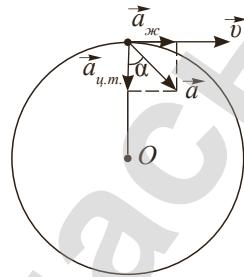
$$a_{\text{у.м.}} = \omega^2 R = \varepsilon^2 t^2 R, \text{ бірінші секундтың аяғында } a_{\text{у.м.}} = 0,986 \text{ м/с}^2.$$

Толық үдеуді Пифагор теоремасы бойынша анықтаймыз: $a = \sqrt{a_{\text{у.м.}}^2 + a_{\text{ж}}^2}$.

$$t = 1 \text{ с болғанда } a = 1,03 \text{ м/с}^2.$$

Бірінші секундтың аяғында (суретке қараңдар) $\sin \alpha = \frac{a_{\text{ж}}}{a} = \frac{0,314}{1,03} = 0,305$, яғни $\alpha = 17^\circ 46'$.

Жауабы: $\omega = 3,14 \text{ рад/с}, v = 3,14 \text{ м/с}, a_{\text{ж}} = 0,314 \text{ м/с}^2, a_{\text{у.м.}} = 0,986 \text{ м/с}^2, a = 1,03 \text{ м/с}^2, \alpha = 17^\circ 46'$.



Шешуі:

Дененің шеңбер бойымен тенұдемелі қозғалысы кезінде оның бұрыштық жылдамдығы: $\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$.

Есептің шарты бойынша: $\omega_0 = 0$, сонда: $\omega = \varepsilon t$.

Бірінші секундтың аяғында $\omega = 3,14 \text{ рад/с.}$

Сзықтық жылдамдықтың бұрыштық жылдамдықпен байланыс формуласы: $v = \omega R$. Бірінші секундтың аяғында $v = 3,14 \text{ м/с.}$

Бақылау сұрақтары

- Сзықтық жылдамдық модулінің өзгеру жылдамдығын толық үдеудің қандай құраушысы сипаттайты? Жылдамдық бағытының өзгеруін ше?
- Қисықсзықты қозғалатын дene траекториясы қандай шарттарда түзу сзықты болады?
- Қандай шаманы бұрыштық үдеу деп атайды? Ол жанама үдеумен қалай байланысты? Толық үдеумен ше?



Жаттығу

5

- Радиусы 1 м болатын шеңбер бойымен тенұдемелі қозғала бастаған нүкте 50 метр жолды 10 с жүріп өтті. Қозғалыс басталғаннан кейін 5 с өткен соң нүктенің нормаль үдеуі неге тең?

- Пойыз 54 км/сағ бастапқы жылдамдықпен жолдың дөнгелектенген бөлігіне кіреді және 30 с ішінде 600 м жол жүріп өтеді. Дөнгелектеу радиусы 1 км. Осы жолдың соңындағы пойыздың жылдамдығы мен толық үдеуінің модулін табындар. Тангенциал үдеуді модулі бойынша тұрақты деп есептендер.
- Бастапқы бұрыштық жылдамдығы $\omega_0 = 2\pi$ рад/с сермер (маховик) 10 айналым жасап, үйкеліс салдарынан мойынтыректе тоқтады. Сермердің бұрыштық үдеуін тұрақты деп есептеп, оның мәнін табындар.
- Нұктесі шеңбер бойымен $0,04$ рад/ s^2 тұрақты үдеумен айналады. Үдеу векторы қанша уақыттан соң жылдамдық векторымен 45° бұрыш құрайды?
- Нұр-Сұлтан қаласының «Думан» ойын-сауық кешенінің жаңында орналасқан шолу дөнгелегінің биіктігі 65 метр (*18-сурет*). Айналу периоды 7 минутты құрайтын болса, жұмыс кезінде дөнгелек кабиналары бекітілген нұктelerдің сыйықтық және бұрыштық жылдамдықтары, нормаль және бұрыштық үдеулері қандай?



18-сурет. ТМД елдеріндегі биіктігі жасынан екінші орындағы шолу дөнгелегі

Эксперименттік тапсырма

Велосипедтің асфальт пен топырақ, бетінде тежелген кездегі дөнгелегінің қозғалысын сипаттайтын сыйықтық және бұрыштық шамаларын анықтаңдар. Бұл жағдайда дөнгелек айналуын зерттеу үшін қандай өлшеуіш аспаптар қажет?

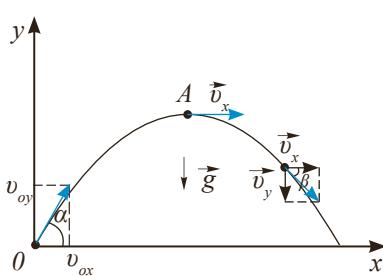
Шығармашылық тапсырма

«Дүниежүзінің саябақтарындағы экстремалдық аттракциондардың кинематикалық сипаттамалары. Оларды қолдану кезіндегі қауіпсіздік техникасы» деген тақырыпта хабарлама дайындаңдар.

§ 6. Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ішегеренде:
- көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы кезіндегі кинематикалық шамаларды анықтай аласындар;
 - көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дene қозғалысының траекториясын зерттей аласындар;
 - траектория қисықтығының радиусын анықтай аласындар.



19-сурет. Ұшу траекториясының әртүрлі нүктесерінде жылдамдық векторын құраушыларға жіктеу

болады: $v_y = v_{0y}$. $0y$ осі бойынша тең болады: $v_y = v_{0y} - gt$

Траекторияның кез келген нүктесінде жылдамдық құраушыларының уақытқа тәуелділігін ескергенде лездік жылдамдық мәні мына формуламен анықталады:

$$v = \sqrt{v_{0x}^2 + (v_{0y} - gt)^2}.$$

A максимал көтерілу нүктесінде дененің лездік жылдамдығы $0x$ осіне түсірілген жылдамдық проекциясына тең болады:

$$v_A = v_0 \cos \alpha.$$

Жылдамдық векторының көлденеңнен алғанда β бұрылу бұрышының мәні белгілі болса, онда траекторияның кез келген нүктесіндегі жылдамдықтың мәнін мына формула бойынша анықтауға болады:

$$v = v_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

I Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің лездік жылдамдығы

Лездік жылдамдық модулін оның құраушыларының модульдері немесе $0x$ пен $0y$ осьтеріне түсірілген проекциялары бойынша анықтайды (19-сурет):

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

0 нүктесінде лездік жылдамдық:

$$v_0 = \sqrt{v_{0x}^2 + v_{0y}^2}$$

болады, мұндағы

$$v_{0x} = v_0 \cos \alpha$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

Қозғалыстың тәуелсіздігі принципін пайдалана отырып, дene қозғалысын $0x$ пен $0y$ осьтері бойынша жекелеп қарастырайық. Егер орта кедергісін ескермесек, онда дene $0x$ осі бойынша бірқалыпты қозғалады, траекторияның барлық нүктесілерінде жылдамдық векторының $0x$ осі бойынша құраушысының модулі тұрақты болып қалады және бастапқы жылдамдық проекциясына тең болады $v_x = v_{0x}$.

$0y$ осі бойынша дene теңайнималы қозғалады: жылдамдық векторының ось бойынша құраушысының модулі денені көтергенде нөлдік мәнге дейін кемиді, ал түсіргендеге – артады. Лақтыру деңгейінде оның мәні бастапқы жылдамдық проекциясына тең болады: $v_y = v_{0y} - gt$

болады.

Траекторияның кез келген нүктесінде жылдамдық құраушыларының уақытқа тәуелділігін ескергенде лездік жылдамдық мәні мына формуламен анықталады:

A максимал көтерілу нүктесінде дененің лездік жылдамдығы $0x$ осіне түсірілген жылдамдық проекциясына тең болады:

$$v_A = v_0 \cos \alpha.$$

Жылдамдық векторының көлденеңнен алғанда β бұрылу бұрышының мәні белгілі болса, онда траекторияның кез келген нүктесіндегі жылдамдықтың мәнін мына формула бойынша анықтауға болады:

$$v = v_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$$

II Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің координаталары

Дене $0x$ осі бойымен бірқалышты қозгалады, демек, қозғалыс заңы мына түрге ие болады:

$$x(t) = x_0 + s_x.$$
$$x_0 = 0, s_x = v_{0x}t, v_{0x} = v_0 \cos\alpha$$
 екенін ескерсек, онда:
$$x(t) = (v_0 \cos\alpha)t. \quad (1)$$

0у осі бойынша дене g еркін түсу үдеуімен теңайнымалы қозгалады, бұл қозғалыс түрі үшін заң мынадай түрде болады:

$$y(t) = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Карастирылып отырған дене үшін $y_0 = 0$, $v_{0y} = v_0 \sin\alpha$, $g_y = -g$ екенін ескерсек, онда:

$$y(t) = (v_0 \sin\alpha)t - \frac{gt^2}{2}. \quad (2)$$

Алынған (1) және (2) теңдеулер көкжиекке бұрыши жасай лақтырылған дененің қозғалыс заңдары болып табылады.

III Траектория теңдеулері

Екі (1) және (2) теңдеулерден құралған жүйені шешіп, $y(x)$ тәуелділігін табамыз. (1) теңдеуден уақытты өрнектеп $t = \frac{x}{v_0 \cos\alpha}$, (2) теңдеуге қойсақ,

$$y(x) = v_0 \sin\alpha \frac{x}{v_0 \cos\alpha} - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2\alpha}$$

немесе $y(x) = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2\alpha} x^2 + (\tan\alpha)x \quad (3)$

болады.

Көкжиекке бұрыши жасай лақтырылған дене траекториясының (3) теңдеуі тармақтары төмен бағытталған парабола теңдеуін береді.

1-тапсырма

- Садақтан 60 м/с жылдамдықпен көкжиекке 20° бұрыш жасай ($\sin 20^\circ \approx 0,34$; $\cos 20^\circ \approx 0,94$) атылған жебенің (20-сурет) бастапқы жылдамдығының құраушыларын анықтандар.
- Жебенің көкжиекке бұрылу бұрышы 10° ($\cos 10^\circ \approx 0,98$) болған кездеңіг үшу жылдамдығын анықтандар.
- Траекторияның жоғарғы нүктесіндегі жебенің жылдамдығын табындар.



20-сурет. Республикалық садақ ату жарысына дайындық жастығызы.
Жамбыл облысы

2-тапсырма

- (3) траектория теңдеуін пайдаланып, жебенің үшу траекториясын құрастырындар. Жебенің бастапқы координаталарын 0-ге тең деп алындар.
- Егер атылған жебе деңгейімен нысана центри сәйкес келсе, онда нысана қандай қашықтықта орналасқан? Жауаптарында өздерің түрғызған графикті пайдаланындар.

IV Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысын сипаттайтын шамалар

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысын сипаттайтын негізгі шамалар: биіктік, үшү қашықтығы, көтерілу уақыты, түсу уақыты және үшү ұзактығы болып табылады. Денелердің еркін түсу формуласын (4-кесте, 18-бет) көкжиекке

бұрыш жасай лақтырылған дene координаталары мен $0x$, $0y$ осьтері бойынша жылдамдық құраушыларын пайдаланып, аталған шамаларды есептеу формулаарын табамыз.

$$\text{Үшү биіктігін } h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y} \text{ есептейтін формулаға}$$

бастапқы уақыт мезетінде және келген t уақыт мезетінде $0y$ осіне түсірілген жылдамдық проекцияларын $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, $v_y = v_0 \sin \beta$ қоямыз. $g_y = -g$ еркін түсу үдеуі проекцияның танбасын ескерсек:

$$h = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha - v^2 \sin^2 \beta}{2g} \quad (4)$$

Ең жоғарғы көтерілу нүктесінде жылдамдықтың $0y$ осі бойынша құраушысы нөлге тең $v_y = 0$, $\beta = 0$, (4) өрнек мына түрге ие болады:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (5)$$

Ең жоғарғы биіктікке көтерілуге кеткен уақытты лездік жылдамдықты есептеу формуласынан шығарымыз:

$v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt$.
 $v_y = 0$ болған кезде жазылған тендеуден көтерілу уақытын есептейтін формуланы табамыз:

$$t_{\text{көтерілу}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g} \quad (6)$$

Үшү уақыты дененің $0y$ осі бойынша координатасы нөлге тең $y = 0$ болған кезде құлау уақыты арқылы анықталады. Берілген шарттарда дene координаталарын есептеу формуласынан:

$$y(t) = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{gt^2}{2} = 0$$

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}. \quad (7)$$

(6) және (7) формулаларды салыстырып, түсу уақытын табамыз:

$$t_T = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Лақтыру деңгейіне дейінгі көтерілу мен түсу уақыты бірдей мәнге ие болады. Үшү қашықтығы дененің $0x$ осі бойынша координатасымен анықталады:

$$l = x(t) = (v_0 \cos \alpha)t = \frac{(v_0 \cos \alpha) \cdot 2v_0 \sin \alpha}{g}. \quad (8)$$

Бұдан

$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}.$$

3-тапсырма

- Жебенің ең жоғарғы көтерілу биіктігін, көтерілу уақытын, түсу уақытын, үшу уақытын анықтандар.
- Жебені жібергеннен кейін көжеккеге қатысты бұрылу бұрышы 10° болғанға дейін қанша уақыт өтетінін анықтандар.
- Осы уақыт ішінде ($\sin 10^\circ \approx 0,17$) жебенің көтерілу биіктігін есептедер.

Жауабы қандай?

Ең жоғарғы биіктікке көтерілу және бастапқы деңгейге түсү уақыты неліктен бірдей мәнге тек үйкеліс күші болмаған кездеғана ие болады?

V Траекторияның қисықтық радиусы

Көкжиеек бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалыс траекториясы құралатын шеңберлердің кіші догаларының радиусы қисықтық радиусы деп аталаады.

$a_{u.m} = \frac{v^2}{R}$ формуласынан қисықтық радиусы $R = \frac{v^2}{a_{u.m}}$ екені шығады. Параболаның

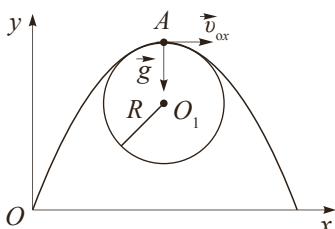
A, O және B нүктелерінің қисықтық радиусын анықтаймыз (21-сурет).

а) A нүктесінде ($21, a$ -сурет) $v = v_{0x} = v_0 \cos \alpha$, $a_{u.m} = g$ демек:

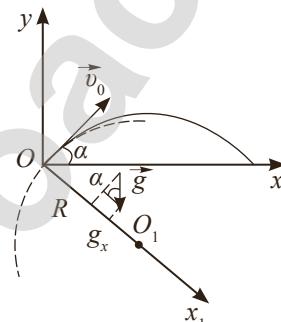
$$R_A = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}.$$

ә) O нүктесінде ($21, \partial$ -сурет) $v = v_0$, еркін тұсу үдеуінің Ox осіне проекциясы центрге тартқыш үдеу болып табылады: $a_{u.r} = g \cos \alpha$, онда:

$$R_O = \frac{v_0^2}{g \cos \alpha}$$



а)



ә)

21-сурет. Парабола нүктелері үшін қисықтық радиусын салу

VI Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысы

Егер жылдамдық бағыты мен көкжиек сзығы арасындағы бұрыш $\alpha = 0$ нөлге тең болса, онда дene төбесі лақтыру нүктесінде болатын парабола тармағы бойынша қозғалады (22-сурет).

Қозғалысты сипаттау үшін жоғарыда қарастырылған барлық формулалар қолданылады. Oy осі бойынша дene g еркін тұсу үдеуімен тенүдемелі қозғалады, ұшу биіктігі:

$$h_y = \frac{g_y t^2}{2}$$

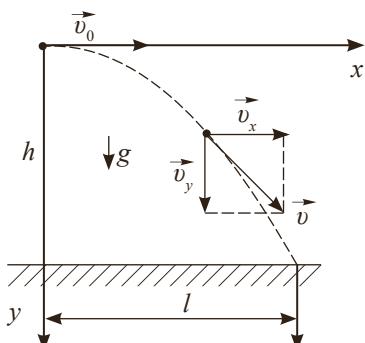
Ox осі бойынша v_0 бастапқы жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады, ұшу қашықтығы мына формуламен анықталады:

$$l = v_0 t$$

Лездік жылдамдық траекторияның кез келген нүктесінде

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2}$$

болады.



22-сурет. Горизонталь лақтырылған дененің жылдамдығы траектория жанамасы бойымен бағытталған

Бақылау сұрақтары

1. Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің лездік жылдамдығын қалай анықтайды?
2. Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысын сипаттайтын негізгі шамаларды атаңдар. Оларға анықтама беріндер.
3. Қозғалыс заңының траектория теңдеуінен негізгі айырмашылығы қандай?



Жаттығу

6

1. Дене 10 м/с жылдамдықпен көкжиекке 45° бұрыш жасай лақтырылған. Дененің x координатасы 3 метрге тең болған кездеңі көтерілу биіктігін анықтаңдар.
2. Қолдененінен 10 м/с жылдамдықпен лақтырылған дененің ұшу қашықтығы лақтыру биіктігіне тең. Дене қандай биіктікten лақтырылған?
3. Егер ең жоғарғы көтерілу нүктесінде қисықтық радиусы ұшу биіктігінен 2 есе асып түссе, дене көкжиекке қандай бұрышпен лақтырылған?
4. Таудың іргесінде орналасқан мина атқыштан таудың жазық бөктеріндегі қарсыластардың нысандарын ату жургізіліп жатыр. Бөктер көкжиекпен 30° құрайды. Мина атқыштың ұғымы көкжиекке қатысты 60° бұрышпен орнатылған. Мина атқыш пен минаның түскен орнының арасындағы мимималь қашықтықты анықтаңдар.
5. Далада алдында кедергі кездестірмеген жел дауылдың күшіне дейін жетуі мүмкін. Әсіресе, Жонғар және Гашун Гобиіндегі жел қауіпті, ол үйлердің шатырын жұлып алады, киіз үйлерді аударып, 3–5 км қашықтыққа дейін домалатып, апарып тастанады. Желдің әсерін қысқа мерзімді деп санап, көкжиекке 45° бұрышпен бағытталған оның бастапқы жылдамдығын анықтаңдар.

Эксперименттік тапсырма

Ойыншық тапаншадан атылған оқтың ұшу қашықтығының ату бұрышына тәуелділігін зерттеңдер. Сендерге қандай құралдар қажет? Алынған нәтижелерді теориядағымен салыстырыңдар, өз өлшеулеріңің кездейсоқ және жүйелі қателіктерінің себептерін көрсетіңдер.

1-тараудың қорытындысы

Қозғалыс түрі	Қозғалыс заңы	Траектория тендеуі	Қисықтық радиусы
Көкжиекке бұрыш жасай лактырылған дene қозғалысы	$x(t) = (v_0 \cos \alpha)t$ $y(t) = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{gt^2}{2}$	$y(t) = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + (\operatorname{tg} \alpha)x$	$R = \frac{v^2}{a_{u.m}}$
	Үдеу	Бұрыштық үдеу	Үдеулер байланысы
	$a = \sqrt{a_{u.m}^2 + a_{\omega}^2}$	$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$ $\varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega}{\Delta t}$	$a_{\omega} = \varepsilon R$
Шенбер бойымен тәсайынмалы қозғалыс	Бұрыштық жылдамдық	Бұрыштық орын ауыстыру	Үдеу мен бұрыштық жылдамдық байланысы
	$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$	$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$ $\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon}$	$a_{u.m} = \omega^2 R$ $a = R\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$
	$\omega_{opm} = \frac{\omega_0 + \omega}{2}$	$\varphi = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{2\varepsilon}$	
Галилей түрлендірушілері		Галилей түрлендірушілерінің шығатын салдары	
$x = x_1 + ut$	$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$		
$y = y_1$	$\vec{v} = \vec{v}_{cas} + \vec{v}_m$		
$z = z_1$			
$t = t_1$			

Глоссарий

Қозғалыс тендеуі – денинің x координатасының t уақытқа тәуелділігі.

Жанама үдеу – сыйықтық жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

Кинематика – дene массасы мен денеге әсер ететін күштерді ескермей, денелердің қозғалысын зерттеуге арналған механиканың бөлімі.

Механика – материялық денелердің механикалық қозғалысы мен олардың арасындағы өзара әрекеттесулер туралы ғылым.

Бұрыштық үдеу – бұрыштық жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

Кинематиканың негізгі есебі – нүктелер немесе денелер қозғалыстарының берілу тәсілдерін және сәйкесінше осы қозғалыстардың кинематикалық сипаттамаларын анықтау.

Абсолют жылдамдық – денинің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

Салыстырмалы жылдамдық – денинің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

Тасымал жылдамдық – қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

2-ТАРАУ

ДИНАМИКА

Қандай да бір қозғалыс түрінің пайда болу себептерін механиканың динамика бөлімі қарастырады.

Динамика (грек. **δύναμις** – «күш» сөзінен шыққан) – денелердің түсірілген күш әсерінен болатын қозғалысын қарастыратын механиканың бөлімі. Бөлім Ньютоның үш заңына негізделген, динамиканың есептерін шешуге арналған барлық теңдеулер мен теоремалар – осы заңдардың салдары.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- денелердің бірнеше күш әсерінен болатын қозғалысы кезінде есептерді шешудің мүмкін болатын алгоритмін құруды;
- инертті және гравитациялық массалардың физикалық мағынасын түсіндіруді;
- материалық нұктенің гравитациялық өрісінің кернеулігі мен потенциалының арақашықтыққа тәуелділігін графикалық түрде түсіндіруді;
- есептер шығаруда бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдануды;
- материалық денелердің инерция моменттерін есептеу үшін Штейнер теоремасын пайдалануды;
- есептерді шығаруда айналмалы қозғалыс динамикасының теңдеуін әртүрлі формада қолдануды;
- ілгерілемелі және айналмалы қозғалысты сипаттайтын физикалық шамалар арасында байланыс орнатуды;
- дененің инерция моментін тәжірибелік әдіспен анықтауды үйренисіндер.

§ 7. Күштер. Күштерді қосу. Ньютон заңдары

Күтіледін нәтиже:

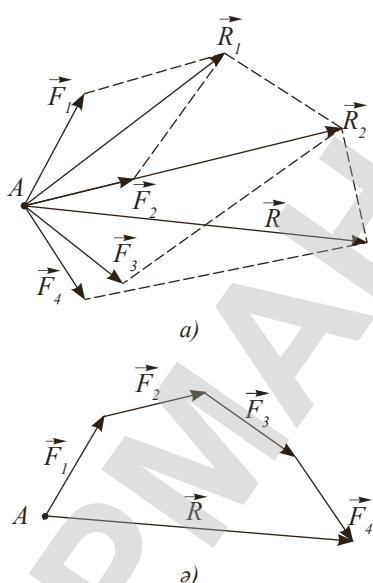
Осы параграфтың иегергенде:

- күштерді графикалық түрде бейнелей аласындар;
- теңәсерлі күшті анықтай аласындар;
- бірнеше күш әсер еткен денелердің қозғалысы кезінде есептер шығарудың мүмкін болатын алгориттімнің құра аласындар.



1-тапсырма

1. Массасы 2500 кг жонғыш білдекке әсер еткен ауырлық күшін, оның салмағын өздерің қалаған масштабта бейнелеңдер.
2. Күш векторын графикалғык бейнелеу алгориттік құрастырындар.



23-сурет. Теңәсерлі күшті анықтаудың геометриялық тәсілі

I Табиғаттағы күштер

Біздің күштердің деңгелері өзара әрекеттесу нәтижесінде кеңістіктегі орнын өзгертеуді немесе деформацияланады. Деңгелердің әсер ету өлишемі – күш, бағыты бар физикалық шама. Күш әсерінің нәтижесі оның сандық мәніне, бағытына және түсү нүктесіне тәуелді. Деңгениң қозғалыс жылдамдығының өзгеруінің себебі күш болып табылады.

Пайда болу табиғатына байланысты күш төрт түрлі болады: гравитациялық, электромагниттік, күшті (ядролық), әлсіз.

Механикада деңгелердің гравитациялық және молекула текті электромагниттік күштердің әсерінен пайда болған қозғалыстары қарастырылады.

II Күштерді қосу

Денеге әсер ететін барлық күштердің теңәсерлі күшін анықтаудың екі тәсілі бар – геометриялық және аналитикалық. Геометриялық тәсіл векторларды үшбұрыш немесе параллелограмм ережесі бойынша қосуға негізделген. Теңәсерлі күшті аралық теңәсерлі күштерді (23, a-сурет) немесе күштің көпбұрышты (23, ә-сурет) түрғызу арқылы күштерді тізбектей қосу жолымен анықтайды. Теңәсерлі күшті графикалғык жолмен анықтауда күш векторларын кез келген тәртіпте сынуга болады, бұдан теңәсерлі күштің бағыты мен шамасы өзгермейді. Теңәсерлі күштің векторы бірінші вектордың басынан соңғы вектордың үшінша бағытталған.

Аналитикалық тәсіл барлық күштердің екі өзара перпендикуляр $0x$ және $0y$ осьтеріне түсірілген проекцияларының қосындысын анықтауда негізделген:

$$\begin{aligned}F_{Rx} &= F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} \\F_{Ry} &= F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}.\end{aligned}$$

Алғынған нәтижелерді Пифагор теоремасы бойынша теңәсерлі күш модулін анықтау үшін қолданады:

$$F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}.$$

Бұл тәсіл координаталық әдіс деп аталады.

III Динамиканың негізгі заңдары

Денелердің қозғалыс түрлері мен олардың пайда болу себептерін корытындылай келе, И.Ньютон үш түрлі заң тұжырымдады.

Ньютонның I заңы:

Егер денеге күш әсер етпесе немесе күштердің әсері теңгерілген болса, онда дene инерциялық санақ жүйелеріне қатысты тыныштық күйін сақтайды немесе бірқалыпты және түзу сзықты қозғалады.

Егер денеге түсірілген күштердің әсері теңгерілген болса, онда Ньютонның I заңы мына түрге келеді:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0, a = 0, v = \text{const}$$

$$\text{немесе } \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0.$$

Ньютонның бірінші заңы дene түзу сзықты және бірқалыпты қозғалатын шарттарды анықтайды.

Ньютонның бірінші заңы орындалатын санақ жүйелері **инерциялық санақ жүйесі** (ИСЖ), ал заң – **инерция заңы** деп аталады.

Планетамыздағы механикалық құбылыстарды сипаттау үшін ИСЖ ретінде Жерді, тыныштықтағы денелерді және Жерге қатысты тұрақты жылдамдықпен қозғалатын денелерді алады.

Үдеумен қозғалатын денелерге қатысты Ньютонның бірінші заңы орындалмайды. Үдеумен қозғалатын денелермен байланысқан жүйелерді **инерциялық емес** (ИЕСЖ) деп атайды.

Ньютонның II заңы:

Денениң алдын үдеуі оған түсірілген теңәсерлі күшке тұра пропорционал және оның массасына кері пропорционал.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n}{m}.$$

Үдеудің бағыты дene түсірілген барлық күштердің теңәсерлі күшінің бағытымен сәйкес келеді: $\vec{a} \uparrow\uparrow \vec{F}_R$.

Ньютонның екінші заңы дene тенайымалы немесе бірқалыпты емес қозғалатын шарттарды анықтайды. Ньютонның екінші заңы инерциялық санақ жүйесінде орындалады.

Үдеу денениң қозғалыс жылдамдығының өзгеру шапшаңдығын $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$ білдіретінін ескеріп, Ньютонның екінші заңын импульстік турде жазайық:

2-тапсырма

- Молекула текті электромагниттік күштерді есептеу формулаларын жазыңдар.
- Аталған күштердің бағыттарын және тусу нүктелерін көрсетіп, графикалық түрде бейнелендер.

Күштік көпбұрыш құры алгоритмі

- Жазықтықта A нүктесін немесе денненің массалар центрін таңдаймыз.
- Таңдалған нүктеге \vec{F}_1 бірінші вектордың басын түсіріп, пішінін немесе ұзындығын сақтай отырып, өз-өзіне параллель орналастырамыз.
- Бірінші вектордың ұшына \vec{F}_2 екінші вектордың басын орналастырайық. Осыған ұқсас келесі вектордың ұшын одан кейінгі вектордың басымен қосып, барлық векторларды сызамыз.
- Тенәсерлі күштің векторы алынған сынық сзықты түйіктайды. Ол бірінші вектордың басын соңғы вектордың ұшымен жалғайды және соңғы вектордың ұшына бағытталады.

3-тапсырма

- 23-суреттегі A нүктесіне түсірілген күштердің теңәсерлі күшін аналитикалық әдіспен анықтандар.
- Тенәсерлі күшті аналитикалық әдіспен табудың алгоритмін құрастырыңдар.

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0,$$

мұндағы \vec{F} – денеге әсер ететін теңәсерлі күш.

Ньютоның III заңы:

Денелер модулі жағынан тең, бағыттары қарама-қарсы қыштермен өзара әрекеттеседі. Олар – әртүрлі денеге түсірілген табиғаты бірдей қыштер, бір тұздың бойында әсер етеді.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Динамика есептерін шешуде стандартты есептерді шешуге мүмкіндік беретін алгоритм қолданылады.

Динамикада есептер шешу алгоритмі

- Суреттен денеге әсер ететін қыштерді және үдеудің бағытын көрсету (24-сурет).
- Негізгі қозғалыс заңын векторлық түрде жазу:

$$m\vec{a} = \vec{F} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{үк}} + \vec{N}.$$

- Есептеуге ынғайлы $0x$ және $0y$ осьтерін таңдау, олардың бірін денениң қозғалыс бағыты бойынша бағыттау.
- Қозғалыстың негізгі заңын таңдалған осьтерге проекциялар түрінде жазу:

$$\begin{aligned} ma_x &= F_x + mg_x + F_{\text{үк},x} + N_x \\ ma_y &= F_y + mg_y + F_{\text{үк},y} + N_y. \end{aligned}$$

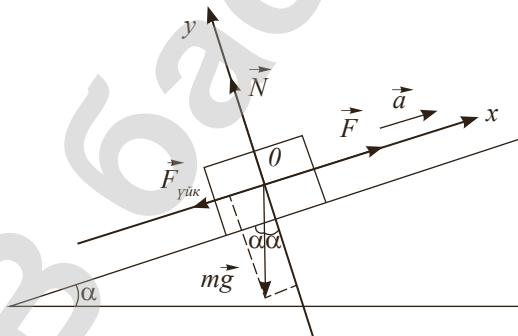
- Векторлар проекцияларын таңбаларын ескеріп, модульдері арқылы ернектеу:

$$\begin{aligned} ma &= F - mg \cdot \cos \alpha - F_{\text{үк}} \\ 0 &= -mg \cdot \sin \alpha + N. \end{aligned}$$

- Қажет болған жағдайда кинематикалық шамалар мен қыштерді есептеу формулаларын жазу, мысалы:

$$\begin{aligned} F_{\text{үк}} &= \mu N \\ a &= \frac{v^2 - v_0^2}{2s} \end{aligned}$$

- Тендеулер жүйесін белгісіз шамага, мысалы, соңғы жылдамдыққа қатысты шешу.



24-сурет. Төрт қыштың әсерінен дene көлбейу жасықтық бойынша жоғары қарай үдеумен қозғалып бара жатыр.

IV Инерциялық емес санақ жүйелері үшін Ньютоның екінші заңы. Инерция күші

Егер денеге әсер ететін қарапайым қыштермен қатар инерция күшін енгізетін болсақ, онда Ньютоның екінші заңын инерциялық емес санақ жүйесінде пайдалануға болады.

Инерция күші дегеніміз – денелерге басқа денелердің әсер етуінен тауелсіз түрде пайдада болатын күш. Инерциялық емес санақ жүйесін таңдау инерция күшін енгізуге алып келді.

Инерция күші дene массасының санақ жүйесінің үдеуіне көбейтіндісіне тең және ол денеге түсірілген жүйенің үдеуіне қарама-қарсы бағытталған:

$$\vec{F}_u = -m\vec{a}$$

25, a -суретте денеге әсер ететін ауырлық қүші мен лифт кабинасының Жерге қатысты үдеуі көрсетілген. 25, α -суретте инерция қүші енгізілген, дене лифт кабинасына қатысты дene $\vec{g} + \vec{a}$ үдеумен қозгалады.

V Байланысқан денелер қозғалысы

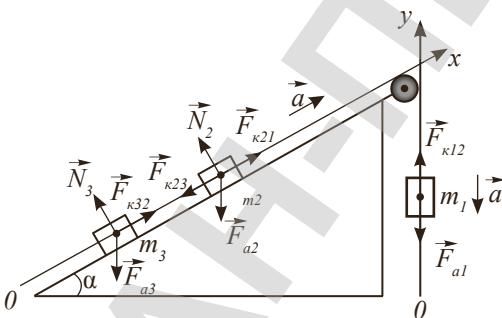
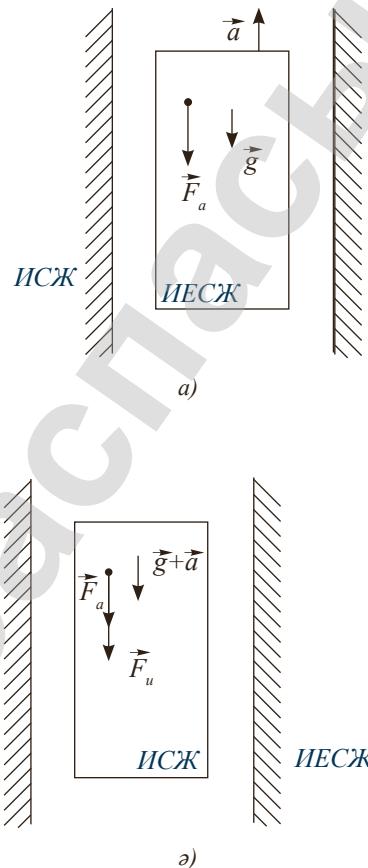
26-суретте \vec{a} үдеумен қозгалатын байланысқан денелер жүйесі бейнеленген. Денелер жүйесінің қозғалысын сипаттайтын шамаларды есептегендеге денеге әсер ететін барлық қүштерді көрсету қажет. Әр дene үшін Ньютоның екінші заңын жазамыз:

$$m_1\vec{a} = \vec{F}_{a1} + \vec{F}_{k12}$$

$$m_2\vec{a} = \vec{F}_{k21} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{k23} + \vec{F}_{a2}$$

$$m_3\vec{a} = \vec{F}_{k32} + \vec{N}_3 + \vec{F}_{a3}.$$

мұндағы F_{k12} – бірінші дene үшінші дene тарапынан әсер ететін қүш, F_{k21} – екінші dene үшінші dene тарапынан әсер ететін қүш, F_{k23} – екінші dene үшінші dene тарапынан әсер ететін қүш, F_{k32} – үшінші dene үшінші dene тарапынан әсер ететін қүш.



26-сурет. Көлбеку жазықтық бойымен байланысқан денелер қозғалысы

Шешу үшін ыңғайлыштық осьтерді таңдаймыз, тендеудерді проекциялар арқылы, содан кейін шамалардың модульдері арқылы жазамыз, жүйені белгісіз шамаға қатысты шешеміз. Шешу кезінде Ньютоның үшінші заңы негізінде денелердің өзара әрекеттесу қүштері:

$$\vec{F}_{12} = \vec{F}_{21}; \quad \vec{F}_{23} = \vec{F}_{32} \text{ екенін ескереміз.}$$

Егер бір-бірімен байланысқан жүйе денелерінің арасындағы өзара әрекеттесу қүштері Ньютоның үшінші

Есте сақтаңдар!

Денелер жүйесінің үдеуін анықтау үшін жүйені қозғалысқа келтіретін сыртқы қүштерден қозғалысқа қарама-карсы әсер ететін сыртқы қүштердің азайтып, нәтижесін жүйенің массасына бөлу керек.

заңына сәйкес бір-біріне тең болғандықтан, оны қозғалысқа келтіре алмайтынын ескерсек, есепті шешу жөнілірек болады.

Жүйе денелері арасындағы өзара әрекеттесу күштерін ішкі күштер деп атайды.

Сыртқы күштер жүйені қозғалысқа келтіреді. 26-суретте көрсетілген денелер жүйесі үшін денені қозғалысқа келтіретін сыртқы күштер ауырлық күштер F_{a1}, F_{a2}, F_{a3} болып табылады. Жүйенің үдеуі денелерді байланыстыратын жіптің бойында осы күштердің құрайтын теңәсерлі күшке тұра пропорционал және жүйенің массасына көрі пропорционал:

$$a = \frac{F_{a1} - F_{a2} \sin \alpha - F_{a3} \sin \alpha}{m_1 + m_2 + m_3}$$

Бақылау сұрақтары

- Ньютон заңдарын тұжырымданадар.
- Күштер пайда болу табиғатына қарай неше түрге бөлінеді?
- Қандай күштерді инерция күші деп атайды?
- Байланысқан денелер жүйесін қандай күштер қозғалысқа келтіреді?

Жаттығу

7

- Вертикаль болат пешке жабысып тұрған массасы 50 г магнит бірқалыпты вертикаль жоғары орын ауыстыру үшін оған қандай күш түсіру керек? Магниттің бірқалыпты вертикаль төмен қозғалуы үшін 1,5 Н күш жұмысалады.
- Көлбеу бұрышы 30° тегіс көлбеу жазықтықта массасы 50 кг дene орналасқан, оған горизонталь бағытталған 294 Н күш әсер етеді. Көрсетілген күш а) солдан онға қарай; ә) оннан солға қарай әсер ететін жағдайдағы дененің үдеуін анықтандар. Еркін түсу үдеуі $g = 10 \text{ м/с}^2$.
- 1,2 м/с^2 үдеумен вертикаль жоғары қарай қозғалатын лифт төбесіне динамометр жабыстырылған, оған горизонталь ось бойымен еркін айналатын блок ілінеді. Блок үстіне тасталған жіптің екі ұшына массасы 0,2 кг және 0,3 кг жүк байланған. Блок пен жіпті салмақсыз деп есептеп, динамометрдің көрсеткішін анықтандар, $g = 10 \text{ м/с}^2$.
- Қылыш-балық шабуылдаған кезде оның жылдамдығы 140 км/сағ-қа жетеді. Ол өзіне ешқандай закым келтірмestен, қайықты тесе алады. Оның үшкір тұмсығы – «қылышының» түбінде, гидравликалық амортизатор – май толған кішірек қабаттар бар, олар соққыны әлсіретеді. Егер массасы 10 кг балық калыңдығы 20 см қайықты 0,5 с уақытта тесіп өтсе, қайық қаптамасының кедергі күші қандай болады?

Шығармашылық тапсырма

Күштердің негізгі сипаттамалары мен өзара байланысын көрсете отырып, «Табиғаттағы күштер» тақырыбына кластер құрастырыңдар.

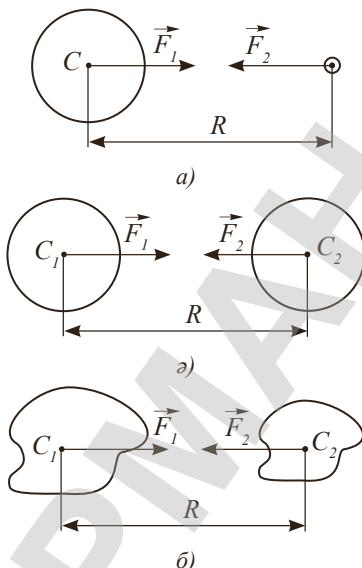
§ 8. Бүкіләлемдік тартылыс заңы

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың иегергенде:
- инертті және гравитациялық массалардың физикалық мағынасын түсіндіре аласыңдар;
 - материялық нүктенің көрнеулігі мен гравитациялық өріс потенциалының арақашықтықта тәуелділік графигін түсіндіре аласыңдар;
 - есептер шығаруда бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдана аласыңдар.



27-сурет. Бүкіләлемдік тартылыс күштері бір түзудің бойында қарама-қарсы бағытта әсер етеді



28-сурет. Бүкіләлемдік тартылыс күштері – центрлік күштер. C_1, C_2 – ауырлық центрлері

I Материялық нүктелерге бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдану

Бүкіләлемдік тартылыс заңын 1667 жылы И.Ньютон тұжырымдады.

Массалары m_1 және m_2 , кез келген екі материялық бөлиең бір-біріне олардың массаларының көбейтіндісіне тұра пропорционал және R арақашықтықтарының квадратына көрі пропорционал күшпен тартылады:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}, \quad (1)$$

мұндағы $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ – гравитациялық тұрақты.

Бүкіләлемдік тартылыс заңы өлшемдеріден елеңдер арасындағы арақашықтықпен салыстырғанда кіші денелер үшін, материялық нүктелер үшін орындалады (27-сурет).

Массалары аз денелердің тартылыс күштері мардымсыз. Ол көбінесе шар тәріздес аспан денелері үшін қолданылады (28-сурет). Гравитациялық өзара әрекеттесу күштері денелердің ауырлық центрлерін қосатын тұзу бойымен бағытталады, олар центрлік күштер болып табылады. Гравитация күшін есептеу үшін денелердің ауырлық центрлері арасындағы арақашықтықты анықтау қажет.

II Масса – гравитация өлшемі

Денелердің өзара тартылыс немесе гравитациялық өзара әрекеттесу күші денелердің массаларына тәуелді, бұл бүкіләлемдік тартылыс заңынан шығады. Демек, **масса** денелердің гравитациялық қасиеттерінің өлшемі болып табылады.

Денелердің тартылыс күшінің әсерінен болатын қозғалысын қарастыра отырып, дene инерттілігінің өлшемі масса болып табылатын Ньютоның екінші заңын пайдаланады:

$$m_{un}a = \frac{GMm_{ep}}{R^2}.$$

Ньютон гравитациялық және инерциялық массалар өзара тең және барлық денелер өз массаларына тәуелсіз аспан денелерінің тартылыс өрісіне бірдей

$a = g = \frac{GM}{R^2}$ үдеумен құлайды деген қорытындыға келген.

III Гравитациялық өрістің күштік сипаттамасы

9-сынып курсынан гравитациялық өрістің күштік сипаттамасы кернеулік $\vec{F} = \frac{\vec{F}}{m}$ екені белгілі. Ол еркін тұсу үдеуіне тең. \vec{F} кернеулік пен \vec{g} еркін тұсу үдеуі аспан денесі бетінің маңында тұрақты шама болып қалады:

$$g = \frac{GM_d}{R_d^2}, \quad (2)$$

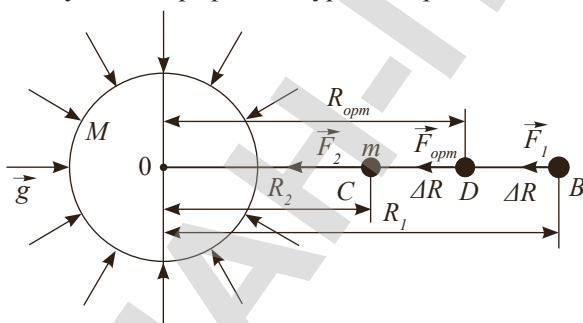
мұндағы M_d – аспан денесінің массасы, R_d – аспан денесінің радиусы.

Кернеулік векторы Жер центріне бағытталған және оның бетіне перпендикуляр. Жердің кисықтығын есепке алмаған жағдайда гравитациялық өрістің күш сзықтары бір-біріне қатысты параллель орналасады. Бұндай жағдайда өрісті *bіртекті* деп санауга болады.

Аспан денесінен алыстағанда гравитациялық өріс әлсіздене бастайды:

$$g = \frac{GM_d}{(R_d + h)^2}, \quad (3)$$

оның күш сзықтары сирей тұсады. Жерден алыстаған жағдайда оның кисықтығын ескермеуге болмайды. Жердің гравитациялық өрісі *біртекті емес*, күш сзықтары параллель болмайды. Аспан денесіне жақындағанда тартылыс күші артады: $F_2 > F_1$ (29-сурет). Өріс кернеулігінің (еркін тұсу үдеуі) арақашықтыққа тәуелділік графигі 30-суретте көрсетілген.



29-сурет. Біртекті емес гравитациялық өрістің күш сзықтары

IV Гравитациялық өрістің энергетикалық сипаттамалары

Өрістің энергетикалық сипаттамасы *потенциал* деп аталады, ол потенциалдық энергияның дene масасына қатынасымен анықталады:

$$\varphi = \frac{W_p}{m}. \quad (4)$$



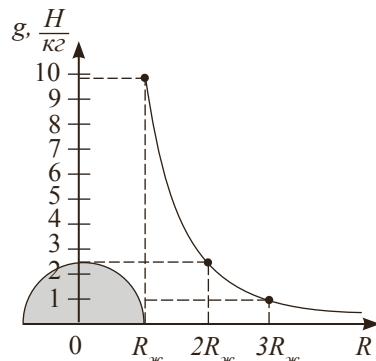
Жауабы қандай?

Көлемі үлкен денелер арасындағы тартылыс күшін анықтауда неліктен олардың ауырлық центрлерінің орналасуын білу қажет?



1-тапсырма

Біртекті гравитациялық өрістің күш сзықтарын дәпперде бейнелендер.



30-сурет. Өріс кернеулігінің арақашықтыққа тәуелділік графигі



2-тапсырма

Гравитациялық өріс нүктелері потенциалының аспан денесіне дейінгі арақашықтыққа тәуелділік формуласын пайдаланып, тәуелділік графигін $\varphi = \varphi(R)$ түрғызындар.

Біртекті гравитациялық өрісте дененің потенциалдық энергиясы $W_p = mgh$ формуласымен анықталады, демек, Жердің маңындағы гравитациялық өріс нүктелерінің потенциалы дененің Жер бетінен көтөрілу биіктігімен анықталады:

$$\varphi = gh, \quad (5)$$

мұндағы h – өрістің потенциалы нөлге тең деңгейнен қатысты таңдал алғынған нүктесінің биіктігі.

Біртекті емес өрістің потенциалы екі айнымалы шамага: кернеулік пен кеңістік нүктесінің аспан денесіне дейінгі арақашықтығына тәуелді $R = R_d + h$. (3) және (5) формулалар негізінде зерттелетін кеңістік нүктесіне дейінгі R арақашықтықты ескеріп, мынаны табамыз:

$$\varphi = -gR = -\frac{GM_d}{R_d + h} \text{ немесе } \varphi = -\frac{GM_d}{R}. \quad (6)$$

Аспан денесінің тартылыс құшін жеңіп шығу энергия шығынын қажет ететіндіктен, гравитациялық өрістің барлық нүктелерін теріс потенциалды нүктелер деп қабылдау келісілген.

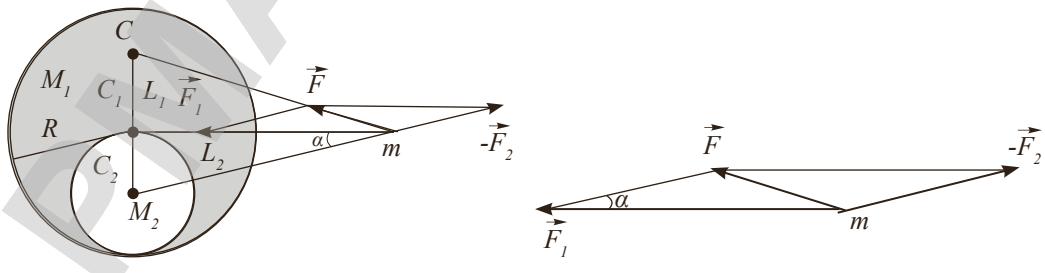
Бір-бірінен шексіз алыс қашықтыққа альстаратылған денелердің өзара әрекеттесу энергиясы нөлге тең. Аспан денесінің гравитациялық өрісінің қандай да бір нүктесінің потенциалы – оның кеңістіктің осы нүктесіне енгізілген бірлік массалы денемен өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы. Соңдықтан кеңістіктің аспан денесінен шексіз алыс қашықтыққа альстаратылған нүктесінің потенциалын нөлге тең деп санау қабылданған. Аспан денесіне жақындаған кіші ғарыштық дene гравитация өрісіне, «потенциалдық шұнқырга» түседі. Кіші дene аспан денесінің бетіне түседі.

Біртекті емес гравитациялық өріс кеңістігінің қандай да бір нүктесінде дененің потенциалдық энергиясы:

$$W_p = \varphi m \text{ немесе } W = -\frac{GM_d m}{R}. \quad (7)$$

V Қуысы бар денелер үшін бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдану

Біреуінің қуысы бар денелердің өзара әрекеттесу күштерін анықтау үшін (31, а-сурет) теріс массалар әдісін пайдаланаңы. Бұл әдісті дененің тұтас көлемінде тығыздық бірдей болған жағдайда қолдануға болады.



31-сурет. Қуысы бар дененің тартылыс құшін анықтаган кезде теріс массалар әдісін пайдалану



Жауабы қандай?

- Дененің Жерге қарай қозғалысы кезінде неліктен тартылыс құшінің жұмысы оң, ал Жерден алыстағанда теріс болады?
- Гравитациялық өріс потенциалын есептеу формуласы неліктен теріс таңбалы болады?
- Тартылыс құшінің жұмысын есептеудің нәтижесі неліктен нөлдік потенциалы бар нүктелердің таңдауға тәуелді емес?

1. Бүкіләлемдік тартылыс заңын пайдаланып, екі денені тұтас деп алғып, олардың өзара әрекеттесу күшін анықтайды:

$$F_1 = \frac{GM_1 m}{L^2},$$

мұндағы, M_1 – дененің оның ішіндегі күйгін есепке алмағандағы массасы;

$$M_1 = \rho V = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho,$$

L_1 – массасы m дene мен радиусы R шардың ауырлық центрі арасындағы арақашықтық.

2. Күйгінен құрайтын затпен ойша толтырып, оның массасы m денемен өзара әрекеттесу күшін анықтайды:

$$F_2 = \frac{GM_2 m}{L_2^2},$$

мұндағы M_2 – радиусы r күйгін толтыратын зат массасы: $M_2 = \rho \frac{4}{3} \pi r^3$, L_2 – массасы m дene мен күйгін толтыратын заттың ауырлық центрі арасындағы арақашықтық.

3. \vec{F}_1 мен \vec{F}_2 векторларының айырмасын табу:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 - \vec{F}_2.$$

Карастырылып отырган жағдайда қорытқы күштің модулін косинустар теоремасы бойынша анықтайды (31, ə-сурет):

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1 F_2 \cos \alpha}.$$

Бақылау сұрақтары

1. Бүкіләлемдік тартылыс заңын тұжырымданадар.
2. Тартылыс күші дененің қандай нұктесіне түсірілген?
3. Дененің инерциялық және гравитациялық массалары өзара қалай байланысқан?
4. Аспан денелерінің гравитациялық өрісін қандай шамалар сипаттайды?
5. Біртекті өрістің біртекті емес өрістен айырмашылығы қандай?



Жаттығу

8

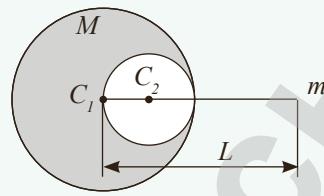
1. Массасы 33 т зымыран-тасымалдағыш массасы 410 т халықаралық ғарыш стансызына жақындейдьы. Олардың массалар центрі арасындағы арақашықтық 100 м болған кездеңі тартылыс күшін анықтаңдар.
2. Марс бетінен қандай қашықтықта массасы 1000 кг Маринер–9 планетарлық стансызының өзара әрекеттесу күшінің мәні 1,78 кН болатынын анықтаңдар. Марстың массасы $6,4 \cdot 10^{23}$ кг, радиусы 3400 км.
3. Жер мен Айдың центрлері арасындағы орташа арақашықтық 60 жер радиусына тең, ал Айдың массасы Жер массасынан 81 есе кіші. Дене олардың екеуіне де бірдей күшпен тартылуы үшін оны Жер мен Айдың центрлерін қосатын түзудің қай нұктесіне орналастыру керек?



Жауабы қандай?

Теріс массалар әдісі не себепті тек біртекті денелер үшін қолданылады?

- Ишінде радиусы $R/2$ сфералық жазықтық орналасқан біртекті шар мен массасы m кішкене шар арасындағы тартылыс күшін анықтаңдар (32-сурет). Біртекті шардың радиусы R , массасы M , ауырлық центрлері арасындағы арақашықтық L .
- Байқоңыр ғарыш айлағынан 1959 жылдың 12 қыркүйегінде «Восток-Л» зымыраны ұшырылды. Ол Жердің табиғи серігі Айдың ұшу траекториясына «Луна-2» автоматтандырылған планетаарапалық стансызын алғып шықты, стансы келесі күні адамзат тарихында бірінші рет Айдың бетіне қонды (33-сурет). Планета бетінен алшақтаған кезде стансыға әсер ететін Жердің тартылыс күші $R_{ж}$, $2R_{ж}$, $3R_{ж}$ қашықтықтарда неше есе азаяды?
- Жердің геостационар орбитасындағы гравитациялық өрістің потенциалын анықтаңдар. Массасы 1,3 тонна KazSat-3 жерсеріктік байланыстың ғарыштық аппараты (34-сурет) қандай потенциалдық энергияға ие? Жер бетінен орбитада деңгейлі арақашықтық 36000 км. Жердің массасы $6 \cdot 10^{24}$ кг, радиусы 6400 км.
- Жердің жасанды серігі Жердің айналасында оның бетінен H қашықтықта қозғалады. Жердің радиусы $R_{ж} \gg H$. Жасанды Жер серігінің айналу периодын анықтаңдар. Орбитаны шенбер деп алындар.



32-сурет. 4-есепке арналған сурет



33-сурет. 5-есепке арналған сурет



34-сурет. KazSat-3

Шығармашылық тапсырма

Күн мен Күн жүйесі планеталары арасындағы тартылыс күшін анықтаңдар. Алынған нәтижелерді талданңдар.

§ 9. Абсолют қатты дененің инерция моменті

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ишергенде:
- материялық денелердің инерция моменттерін есептөу үшін Штейнер теоремасын пайдалануды үйренисіндер.



35-сурет. Өз осі бойымен айналатын абсолют қатты дene



Жаубы қандай?

Күштің нормаль құраушысы неліктен айналу моментін тудырмайды?



Естеріне түсіріндер!

Күш моменті – күштің оның ініне көбейтіндісі: $M = F \cdot d$.

Күштің іні – айналу нүктесінен (тіреу нүктесі) күштің әсер ету сызығына дейінгі ең қысқа арақашыктық.

I Абсолют қатты дene

Кандай күш әсер етсе де, дene бөліктерінің арақашыктығы өзгермей тұрақты болып қалатын денені абсолют қатты дene деп атайды.

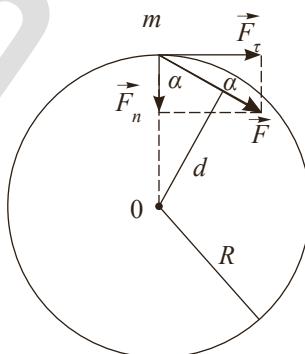
Күн жүйесі планеталарының айналмалы қозғалысын сипаттайтын шамаларды жыныктап алғанда, оларды абсолют қатты дene деп қабылдауға болады (35-сурет).

Абсолют қатты дененің және оның әрбір нүктесінің айналмалы қозғалысын жеке-жеке кинематикалық бұрыштық шамалар: бұрыштық үдеу, бұрыштық жылдамдық, бұрыштық орын ауыстыру, сонымен қатар динамикалық шамалар: *куш моменті, инерция моменті және импульс моменті* сипаттайды.

II Материялық нүктенің инерция моменті.

Айналмалы қозғалыс үшін Ньютоонның II заңы

Айналмалы қозғалыс жасайтын материялық нүктенің инерциялық қасиеттері тек массага ғана емес, сонымен қатар айналу радиусына да тәуелді (36-сурет).



36-сурет. Айналмалы қозғалыстагы дененің инерциялық қасиеттері масса мен айналу радиусына тәуелді

Осыны дәлелдейік. \vec{F} күштің әсерінен шенбер бойымен қозгалатын массасы m нүктенің Ньютоонның II заңын жазайық, тангенциал үдеу F_{τ} құраушының траекториясына қарай жанама жасайды:

$$ma_{\tau} = F_{\tau}. \quad (1)$$

Тангенциал үдеу ε бұрыштық үдеумен мына формула арқылы байланысқан:

$$a_{\tau} = \varepsilon R. \quad (2)$$

(2) тендеуді ескерсек, (1) тендеу ол мына түрге ие болады:

$$m\varepsilon R = F_r. \quad (3)$$

(3) тендеудің екі жағында қарастырылып отырған нүктө қозғалатын шеңбер радиусына көбейтеміз:

$$m\varepsilon R^2 = M, \quad (4)$$

мұндағы M – күш моменті.

Күш моментінің өлшем бірлігі $[M] = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

mR^2 – инерция моменті.

Массаның дене қозғалып бара жатқан шеңбер радиусының квадратына көбейтіндісіне тәң шама инерция моменті деп аталады.

$$I = mR^2, \quad (5)$$

мұндағы I – инерция моментінің белгіленуі, оның өлшем бірлігі:

$$[I] = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

(5) өрнекті (4) өрнекке қойып, айналмалы қозғалыс үшін Ньютоның екінші заңын жазамыз:

$$M = I\varepsilon. \quad (6)$$

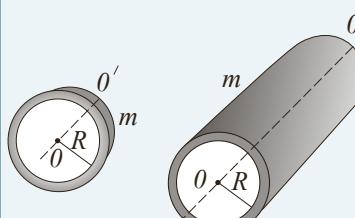
III Абсолют қатты дененің инерция моменті

Қатты дененің инерция моменті осы денені құрайтын материалық нүктелердің инерция моменттерінің қосындысына тән:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2.$$

Айналатын денелердің инерттілік қасиеттері тек массаға ғана емес, сонымен қатар оның дене көлемі бойынша таралуына, айналу радиусына тәуелді. Массалар центрі арқылы өтетін ось бойымен айналатын бірқатар геометриялық фигурандар үшін инерция моментін есептеу формулалары 6-кестеде берілген.

6-кесте. Массалар центрі арқылы өтетін ось бойымен айналатын денелердің инерция моменттері

Дене пішіні	Инерция моментін есептеу формуласы
Жіңішке сақина, жіңішке цилиндр	 $I = mR^2$



1-тапсырма

Айналып жатқан абсолют қатты дененің барлық нүктесіне әсер ететін күштің иіні радиус болып табылатынын дәлелдендер:
 $d = R$.

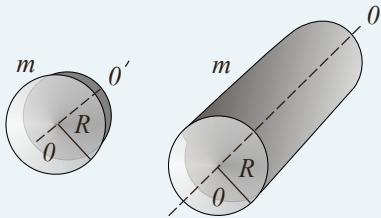
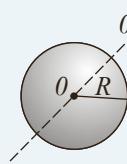
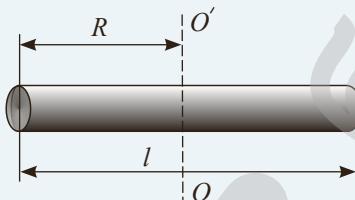


Жауабы қандай?

Қысқа жілтегі денеге қараганда ұзын жілтегі денені айналдыру неліктен қынырақ?

Өз болжамдарыңды тәжірибе арқылы тексеріп, дұрыс-тығына көз жеткізіңдер.

Әртүрлі ұзындықтағы жілтерге ілінген кішкене шарды көлденең жазықтықта айналдырыңдар.

Дене пішіні	Инерция моментін есептөу формуласы
Тұтас диск, тұтас цилиндр	 $I = \frac{mR^2}{2}$
Тұтас шар	 $I = \frac{2}{5}mR^2$
Жіңішке өзек	 $I = \frac{1}{12}ml^2 = \frac{1}{3}mR^2$



2-тапсырма

6-кестенің формулаларын пайдаланып, массалары бірдей, пішіндері әртүрлі денелердің инерция моменттерін салыстырыңыздар. Не себепті массалары бірдей болғанда құыс цилиндрдің инерция моменті тұтас цилиндрдің инерция моментінен артық болатынын, сақинаның инерция моменті дискінің инерция моментінен артық болатынын түсіндіріңдер.

IV Штейнер теоремасы

Егер дене үшін массалар центрі арқылы өтетін оське қатысты I_1 инерция моменті белгілі болса, онда инерция моментін центрлік оське параллель кез келген оське қатысты швейцариялық ғалым-математик Штейнер алған формула бойынша табуға болады:

$$I_2 = I_1 + md^2,$$

мұндағы d – массалар центрінен айналу осіне дейінгі арақашықтық. Өзектің айналу осін бастапқы орнынан

$$d = \frac{1}{4}l \quad \text{қашықтыққа жылжытайтық, сонда:}$$

$$I_2 = \frac{1}{12}ml^2 + m\frac{1}{16}l^2 = \frac{7}{48}ml^2.$$



Жауабы қандай?

- Дененің массалар центри арқылы өтетін оське қатысты инерция моменті осы бағыттағы осьтерге қатысты дененің барлық инерция моменттерінің ішіндеңі ең кішісі болады деп тұжырымдауға болады?
- Айналу осі массалар центріне қатысты орнынан ығысқанда неліктен өзектің инерция моменті артады?

V Айналатын дененің энергиясы

$v = \omega R$ екенін ескеріп, айналатын абсолют қатты дененің кинетикалық энергиясын анықтайык:

$$W_{\text{аүн}} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i \omega_i^2 R_i^2}{2}.$$

Дененің күрәйтін барлық нүктелердің инерция моменттерінің қосындысы мынаған тен:

$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2.$$

Осылайша, айналатын дененің энергиясын мына формуламен анықтаймыз:

$$W_{\text{аүн}} = \frac{I \omega^2}{2}.$$

Ілгерілемелі козғалыспен қатар айналмалы қозғалыс жасайтын дененің кинетикалық энергиясы мынаған тен болады:

$$W = W_{\text{из}} + W_{\text{аүн}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2}.$$

Мысалы, айналып жатқан шығыршықтың немесе дөңгелектің толық энергиясы:

$$W = W_{\text{из}} + W_{\text{аүн}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{I \omega^2}{2} = \frac{mv^2}{2} + \frac{mR^2v^2}{2R^2} = mv^2.$$

Алынған мән массасы осындай дененің кинетикалық энергиясынан екі есе артық.

3-тапсырма

Өзінің ұшының маңында айналатын өзектің инерция моментін анықтаңдар. Инерция моменті массалар центре маңында айналатын өзектің инерция моментімен салыстырғанда неше есе артты?

4-тапсырма

Абсолют қатты дененің инерциялық қасиеттерін пайдалануға мысалдар келтіріңдер.



37-сурет. «Сарыарқа» велотрекінде өткен жарыс



Жауабы қандай?

1. Жарысушылардың велосипедтерінде қаралайым дөңгелектердің орнына неліктен дискілер орнатады (37-сурет)?
2. Абсолют қатты дененің барлық нүктелері үшін айналмалы қозғалыстың кинетикалық энергиясын есептегендеге неліктен бұрыштық жылдамдықтың бір мәні пайдаланылады?
3. Абсолют қатты дененің қандай нүктелері бірдей сзығытың жылдамдықпен қозгалады?



38-сурет. Диск лақтыруышының лақтырууга дейінгі айналуы



Жауабы қандай?

1. Волейбол ойыншысы допты соққанда неліктен оған ілгерілемелі қозғалыспен қатар айналмалы қозғалыс беріледі?
2. Неліктен диск лақтыруышы оны лақтырмасстан бұрын айналмалы қозғалыс жасайды (38-сурет)?

Бақылау сұрақтары

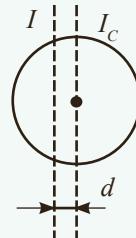
1. Қандай денені абсолют қатты дене деп атайды?
2. Дененің айналмалы қозғалысын сипаттайтын шамаларды атаңдар.
3. Қандай шаманы күш моменті деп атайды? Инерция моменті деген ше?
4. Штейнердің теоремасының мәні неде?
5. Айналмалы қозғалыстың энергиясы мен инерция моменті өзара қалай байланысқан?



Жаттығу

9

1. Радиусы 10 см шеңбер бойымен айналатын массасы 200 г денениң жылдамдығы нөлден 1,4 м/с-қа өзгерген кезде оның инерция моменті неге тең? Бұрыштық жылдамдықтың орташа мәнін анықтаңдар.
2. Жолдың радиусы 20 м айналмалы бөлігінде массасы 2 т автокөлікті үдемелі қозғалысқа түсіретін күш моментін анықтаңдар. Автокөліктің бұрыштық үдеуі $0,05 \text{ rad/s}^2$.
3. Айдың өз осінен айналу энергиясын ескермей, оның инерция моменті мен кинетикалық энергиясын анықтаңдар. Орбитаның радиусын 384000 км, Айдың массасын $7 \cdot 10^{22}$ кг, Жерді айналу периодын 27,3 тәулік деп алындар.
4. Массасы 2 кг диск горизонталь жазықтық бойымен сырғанаусыз 4 м/с жылдамдықпен дөңгелеп бара жатыр. Оның кинетикалық энергиясын анықтаңдар.
5. Массасы 4,08 кг тұтас болат шардың массалар центрі арқылы өтетін ось бойымен айналу мезетіндегі инерция моментін анықтаңдар (39-сурет). Егер шар ось бойымен 2 см параллель ығысатын болса, инерция моменті неге тең болады? Болаттың тығыздығы 7800 kg/m^3 .



39-сурет. 5-есепке арналған сурет

Эксперименттік тапсырма

Дөңгелектерінің радиусы әртүрлі екі велосипедтің тежелу жолын салыстырыңдар. Қай дөңгелектердің инерциясы көбірек болады?

Шығармашылық тапсырма

«Сермерді (маховикті) пайдалану тарихынан» деген тақырыпта баяндама дайындаңдар.

§ 10. Импульс моменті. Импульс моментінің сақталу заңы мен оның кеңістік қасиеттерімен байланысы. Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі тендеуі

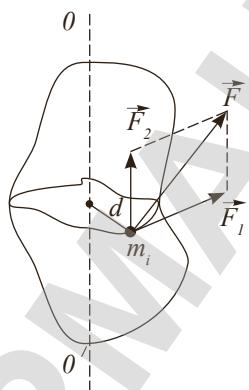
Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ишергенде:
- есептер шығаруда айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі тендеуін өртүрлі тәсілде қолдана аласындар;
 - ілгерілемелі және айналмалы қозғалысты сипаттайтын физикалық шамаларды сәйкетендіре аласындар.



Тапсырма

Массасы 200 г, жиілігі 2 Гц деген үшін инерция моменті мен импульс моментінің айналу радиусына тәуелділік графигін бір координаталық жазықтықта салындар. Инерция моменті мен импульс моменті айналу радиусына қалай тәуелді?



40-сурет. 00' осі бойымен айналатын абсолютті қатты дене

I Материялық нүктенің айналмалы қозғалысы үшін Ньютоның екінші заңы. Инерция моменті мен импульс моментінің байланысы

Ньютоның екінші заңын импульстік түрде жазайык:

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t}. \quad (1)$$

Тендеудің екі жағын шеңбер радиусына көбейтіп, мынаны жазамыз:

$$\vec{F}R = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} R \text{ немесе } M = \frac{\Delta mvR}{\Delta t}. \quad (2)$$

mvR өрнегін импульс моменті L деп атайды:

$$L = mvR. \quad (3)$$

Дене импульсінің дененің қозғалып бара жатқан шеңбер радиусына көбейтіндісіне тең шаманы импульс моменті деп атайды.

Импульстік түрде жазылған екінші заң (2) мына түрге келеді:

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t}.$$

Импульс моментінің инерция моментімен қатынасын анықтайық. Ол үшін сызықтық жылдамдықтың бүрыштық жылдамдықпен байланысын $v = \omega R$ қолданамыз, (3) формуладан:

$$L = mvR = m\omega R^2 = I\omega$$

немесе

$$L = I\omega. \quad (4)$$

Импульс моменті инерция моментіне тұра пропорционал.

II Айналатын абсолютті қатты дене үшін Ньютоның екінші заңы немесе айналмалы қозғалыс үшін динамиканың негізгі тендеуі

Айналатын абсолютті қатты денені массасы m және 00' осі бойымен айналатын материалдық нүктелердің жиыны ретінде қарастыруға болады (40-сурет).

Абсолют қатты дененің барлық нүктелерінің бұрыштық жылдамдықтары мен ұдеулөрі бірдей. Қарастырылып отырған жағдай үшін Ньютонның екінші заңын жазайық:

$$\sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n \frac{I_i \Delta \omega}{\Delta t}. \quad (5)$$

Өрнектің сол жақ бөлігі денеге түсірілген сыртқы күштердің моменттерінің қосындысын береді:

$$M = \sum_{i=1}^n M_i. \quad (6)$$

(5) теңдеудің оң жақ бөлігіндегі нүктелердің инерция моментінің қосындысын $\sum_{i=1}^n I_i$ дененің инерция моментіне I ауыстырайық.

(6) теңдеуді ескерсек, айналатын абсолют қатты дене үшін Ньютонның екінші заңы мына түрде болады:

$$M = I \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \text{ немесе } M = I \varepsilon.$$

Абсолют қатты дененің айналмалы қозгалысы үшін Ньютонның екінші заңын тұжырымдайық:

Денеге түсірілген сыртқы күштердің моменттерінің қосындысы дененің инерция моментінің бұрыштық ұдеуге көбейтіндісіне тең болады.

Жауабы қандай?

1. Өз осінен айналатын көлемі үлкен дене үшін Ньютонның II заңы неліктен бұрыштық шамалар арқылы жазылады?
2. Абсолют қатты денеге F_2 күшінің құрауышы қалай өсер етеді (40-сурет)?

Бұл қызық!

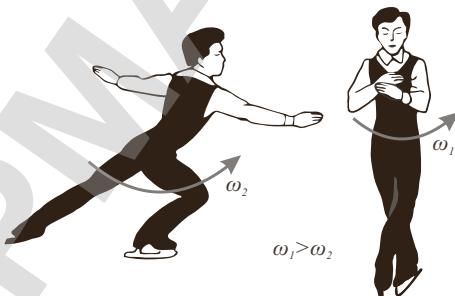
Жер бетінде су пайда болмас бұрын тәулік 5–6 сағатқа қана созылған. Айдың тартылысы нәтижесінде мұхиттарда судың көтерілуі біздің планетамыздың тәуліктік айналуын бәсендептеді.

Назар аударындар!

Айналмалы қозгалыс кезінде ішкі күштердің жұмысы жүйенің айналу жылдамдығы мен энергияның өзгеруіне алып келеді, мұндай өзгеріс дененің ілгерілемелі қозгалысы кезінде мүмкін емес. Егер жүйенің денелері немесе бір дененің бөліктері айналу осіне жақындаса, онда жүйенің кинетикалық энергиясы артады. Бұл жағдайда ішкі күштер денені айналу центрінен алыстатуға тырысатын центрден тепкіш күштерге қарсы оң жұмыс жасайды. Денелер айналу центрінен алыстағанда жүйенің энергиясы азаяды, айналу жылдамдығы төмендейді.

Жауабы қандай?

Мәнерлеп сырғанаушы қолдарын кеудесіне қысқан кезде неліктен оның айналу жылдамдығы артады (41-сурет)?



41-сурет. Айналу техникасы

III Импульс моментінің сақталу заңы және оның кеңістік қасиеттерімен байланысы

Денеге материалың нүктелер жүйесі сияқты сыртқы күштер есепе, денені тұйық жүйе деп алсақ болады, бұл жағдайда оған есеп ететін күш моменттерінің косындысы M нөлге тең. Айналатын дene үшін Ньютоның екінші заңын импульстік түрде жазайык:

$$M = \frac{\Delta L}{\Delta t} = 0. \quad (7)$$

(7) тендеуден импульс моменті – тұрақты шама екені, импульс моментінің өзгерісі нөлге тең екені шығады $\Delta L = 0$:

$$L = I\omega = \text{const} \quad (8)$$

немесе

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2. \quad (9)$$

Алынған (8) және (9) тендеулер импульс моментінің сақталу заңын береді.

Тұйық жүйеде айналатын денелердің импульс моменті тұрақты шама болып қалады.

Импульстің сақталу заңы бізді қоршаған кеңістіктің изотроптығы мен біртектілігінің салдары болып табылады.

Біртектілік табигат зандары кеңістіктің барлық нүктесінде орындалатынын, олардың бірдей түрге ие болуын білдіреді. Кеңістіктің изотроптығы оның қасиеттері бағытқа тәуелді емес екенін білдіреді. Катты дene қай бағытта айналса да, оның импульс моменті тек инерция моменті және бұрыштық жылдамдық арқылы анықталады. Дененің деформациялануы нәтижесінде инерция моментінің өзгеруі бұрыштық жылдамдықтың өзгеруіне алып келеді. Алайда импульс моменті тұрақты шама болып қалады.

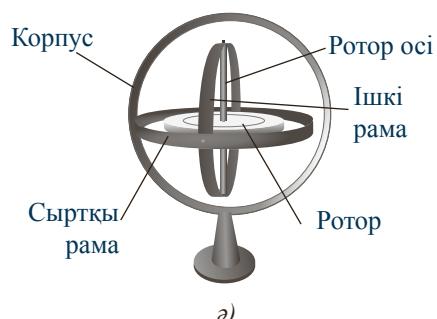


a)

IV Гирокоп

Айналатын денелердің гирокопиялық эффектісінің мәнісі – кеңістікте денелердің айналу осьтерінің бағдарының сақталуында, бұл – материалының инерттілік қасиеттерінің көрінісі.

Гирокопиялық эффектінің көліктерде кеңістіктің бағдар алу үшін пайдаланады. Негізгі элементі тез айналатын ротор болып табылатын навигациялық аспап гирокоп деген атауга ие болған (42-сурет). Гирокоп (грек. *gugeo* – айналамын және *skopeo* – бақылаймын) роторының арнағы бекіткіштің арқасында үш еркіндік дәрежесі болады. Егер мұнданың құрылышы сыртқы күштер етсе, онда ротордың өз осінен айналуы кеңістіктің тұрақты бағытын сақтайды, себебі бекіткіш оның айналу осіне айтарлықтай есеп етпейді.



ә)

42-сурет. Гирокоп
құрылышы

Күн жүйесінің планеталары алғы гироскоптар болып табылады. Жер және Күн жүйесінің басқа да планеталарының айналу осі мындаған жылдар бойы кеңістіктері өз бағдарларын сақтап келеді.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Массасы m және радиусы R тұтас диск түріндегі блокка жіп оралған, ол жіптің ұшына массасы m_0 жүк ілінген. m_0 жүк қозғалысының сыйықтық үдеуін табындар. Осьте үйкеліс жоқ, ал жіп салмақсыз болып табылады.

Берілгені:

m, R, m_0

$a - ?$

Шешуі:

Есептің шарты бойынша массасы m_0 жүк a үдеумен ілгерілемелі қозғалыс, массасы m блок ε бұрыштық үдеумен айналмалы қозғалыс жасайды (суретті қараңдар).

Векторлардың бағыттарын ескеріп, айтылған дәнелер үшін Ньютоның екінші заңын жазайық:

$$m_0 g - F_k = m_0 a \quad (1)$$

$$F_k R = I \varepsilon \quad (2)$$

Тангенциал үдеудің $a = \varepsilon R$ бұрыштық жылдамдықпен байланысын ескеріп, мынаны табамыз:

$$m_0 g - F_k = m_0 a$$

$$F_k R = I \frac{a}{R}.$$

Екінші теңдеуден $F_k = I \frac{a}{R^2}$ керілу қүшін өрнектеп, бірінші теңдеуге қоямыз:

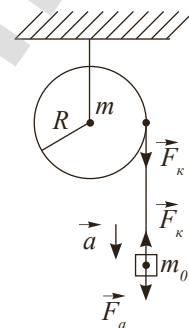
$m_0 g - I \frac{a}{R^2} = m_0 a$, сонда жүктің үдеуін есептеуге арналған формууланы аламыз:

$$a = \frac{m_0 g}{\frac{I}{R^2} + m_0}.$$

Блок тұтас диск сияқты, оның инерция моменті

$$I = \frac{m R^2}{2} \text{-ге тең, демек: } a = \frac{2m_0}{m + 2m_0} g.$$

Жауабы: $a = \frac{2m_0}{m + 2m_0} g$.



Бақылау сұрақтары

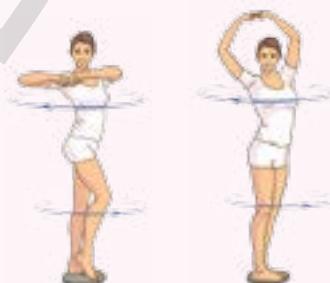
- Қандай шаманы импульс моменті деп атайды?
- Айналатын абсолют қатты дене үшін Ньютоның екінші заңын тұжырымдандар.
- Импульс моментінің сақталу заңының мәнісі неде? Ол қандай шарттарда орындалады?
- Гироскоп деген не? Ол қайда қолданылады?



- Горизонталь жазықтықта радиусы 2 м шеңбер бойымен 2π рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналатын массасы 0,1 кг дененің импульс моментін анықтандар.
- Горизонталь жазықтықта радиусы 2 м болатын шеңбер бойымен 2π рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналатын массасы 0,1 кг дененің импульс моментін бір айналымда екі есе арттыратын күш моментін анықтандар.
- Дене шеңбер бойымен $\phi = 30^\circ$ орын ауыстырганда 3,14 Дж жұмыс жасаған күш моментін анықтандар.
- Жіптің екі ұшына байланған массалары 0,2 кг және 0,1 кг екі гір тастары массасы 0,1 кг блок арқылы асырылып тасталған. Гір тастарының ұдеулерін, жіптің керілуін анықтандар. Блокты біртұтас диск дег алындар. Үйкелісті ескермендер.
- Массасы 9 кг барабанға бау оралған, ал оның ұшына массасы 2 кг жүк байланған. Жүктің қозғалыс ұдеуін анықтандар. Барабанды біртұтас цилиндр дег алындар, үйкелісті ескермендер.

Эксперименттік тапсырма

Денсаулық дискісімен айналып, импульс моментінің сақталу заңының орындалуын тексеріңдер (43-сурет).



43-сурет. Денсаулық дискісі

Шығармашылық тапсырма

- Ілгерілемелі және айналмалы қозғалыс теңдеулерінің ұқсастық кестесін құрастырыңдар.
- «Гирокоптардың кеме қатынастары, авиация және ғарыш саласында қолданылуы» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

2-тараудың қорытындысы

Ньютоның I заңы	Ньютоның II заңы	Ньютоның III заңы
$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0$ $a = 0, v = const$	Ілгерілемелі қозғалыс үшін $\vec{F} = m\vec{a}$; $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$ Айналмалы қозғалыс үшін $M = I\varepsilon$; $M = \frac{\Delta L}{\Delta t}$	$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$
Бүкіләлемдік тартылыс заңы		
Бір-бірінен қашықтықта орналасқан денелер үшін $F = \frac{Gm_1m_2}{R^2}$	Басқа дененің бетінде орналасқан дene үшін $F = mg$	Басқа дененің ішінде орналасқан дene үшін $F = \frac{4}{3}\pi G\rho m R$

Динамика заңдары:

Ньютоның I заңы

Егер денеге күш әсер етпесе немесе күштердің әсері тенгерілген болса, онда дene инерциялық санақ жүйелеріне қатысты тыныштық күйін сақтайды немесе бірқалыпты және тұзузықты қозгалады.

Ньютоның II заңы

Денениң алатын үдеуі оған түсірілген тендерлік күшке тұра пропорционал және оның масасына көрі пропорционал.

Абсолют қатты дененің айналмалы қозғалысы үшін Ньютоның II заңы

Денеге түсірілген сыртқы күштердің моменттерінің қосындысы денениң инерция моментінің бұрыштық үдеуге көбейтіндісіне тең болады.

Ньютоның III заңы

Денелер модулі жағынан тең, бағыттары қарама-қарсы күштермен өзара әрекеттеседі. Олар әртүрлі денелерге түсірілген табиғаты бірдей күштер, бір түзудің бойында әсер етеді.

Импульс моментінің сакталу заңы

Тұйық жүйеде айналатын денелердің импульс моменті тұракты шама болып қалады.

Глоссарий

Абсолют қатты дene – басқа денелермен өзара әрекеттесу кезінде деформациясын ескермеуге болатын дene.

Динамика – денелердің түсірілген күш әсерінен болатын қозғалысын қарастыратын механиканың бөлімі.

Импульс моменті – дene импульсінің денениң қозғалып бара жатқан шеңбер радиусына көбейтіндісіне тең шама.

Инерция моменті – массаның дene қозғалып бара жатқан шеңбер радиусының квадратына көбейтіндісіне тең шама.

Күш моменті – күштің оның иініне көбейтіндісі.

Ішкі күштер – тұйық жүйенің денелері арасындағы өзара әрекеттесу күштері.

Инерция күші – денелерге басқа денелердің әсер етуіне тәуелсіз түрде пайда болатын күш. Инерциялық емес санақ жүйесін таңдау инерция күшін енгізуге алып келді.

3-ТАРАУ

СТАТИКА

Статика (грек. στατός – тере-тендік туралы ілім сөзінен шыққан) – материалық денелердің күш әсерінен болатын тере-тендік шарттарын зерттейтін механика бөлімі.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- абсолют қатты дene мен материалық денелер жүйесінің массалар центрін табуды;
- әртүрлі тере-тендікті түсіндірген кезде себеп-салдар байланысын орнатуды;
- тәжірибелік жолмен күш шамаларын анықтауды және күштерді қосу заңын эксперименттік түрде тексеруді үйренесіңдер.

§ 11. Массалар центрі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- абсолют қатты дене мен материалылық денелер жүйесінің массалар центрін таба аласындар.

I Денениң массалар центрі мен ауырлық центрі

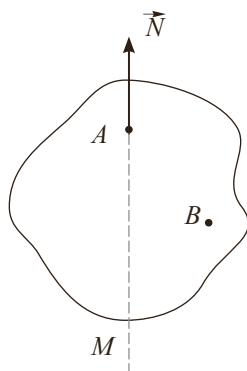
Сендерге массалар центрі мен ауырлық центрі ұғымдары 7-сыныптың физика курсынан белгілі.

Ауырлық центрі – кез келген жағдайда денеге әсер ететін ауырлық күшінің тұсу нүктесі.

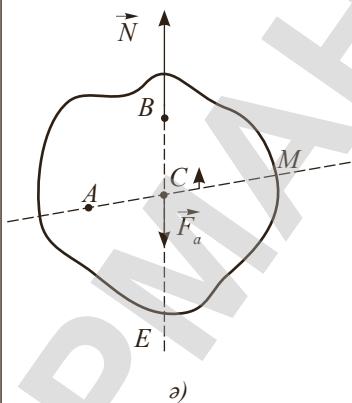
Массалар центрі – денениң ілгерілемелі қозғалысқа келтіретін күштердің әсер ету сзызықтарының қиылышу нүктесі.

1-тапсырма

44-сурет бойынша денениң ауырлық центрін табу әдісін түсіндіріңдер.



a)



б)

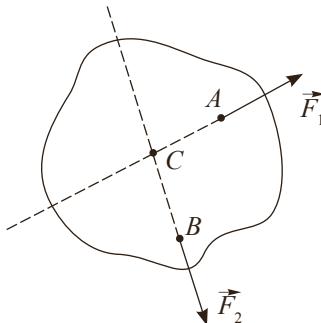
44-сурет. Тіктеме сзыық бойынша денениң ауырлық центрін табу

Ауырлық центрі Жердің бетінде болатын барлық өзара әрекеттесудерде массалар центрімен сәйкес келеді, себебі барлық денелердің өлшемдері Жердің өлшемдеріне қарағанда анағұрлым кіші болады.

Ауырлық күшінің әсерінен дене ілгерілемелі қозғалады, денениң барлық нүктelerі бірдей орын ауыстырады.

2-тапсырма

- Қарастырылған әдіске сәйкес бұрыс пішінді денениң ауырлық центрін анықтаңдар.
- Ауырлық күшінің тұсу нүктесін өзгертіп (45-сурет), сол заттың массалар центрін анықтаңдар.



45-сурет. Денениң массалар центрін анықтау

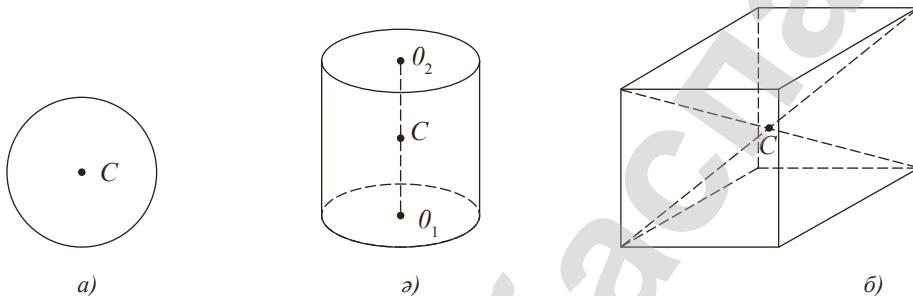


Жауабы қандай?

- Денениң массалар центрін табуға арналған тәжірибеде нені өзгерту қажет болды?
- Неліктен массалар центрі ауырлық центрімен сәйкес келеді?

Дұрыс пішінді дененің ауырлық центрі оның симметрия центрімен сәйкес келетін еске түсірейік. Шар, сақина, диск үшін бұл – олардың геометриялық центрі (46, *a*-сурет), цилиндр мен құбыр үшін осьтерінің ортасы (46, *ә*-сурет). Куб, тікбұрышты параллелепипед үшін симметрия центрі – диагональдарының нүктесі (46, *б*-сурет).

Дененің бірнеше күштің әсерінен болатын қозгалысын зерттей отырып, біз оларды дененің барлық массасы жинақталған материалдық нүктеге алмастырық, осы нүктесі *массалар центрі* болып табылады.



46-сурет. Дұрыс пішінді фигуralардың массалар центрі олардың геометриялық центрінде орналасады

II Абсолют қатты дененің айналмалы қозгалысының шарты

Бізді қоршаған денелер ілгерілемелі қозгалыспен қатар айналмалы қозгалыс жасайды. Егер денеге түсірілген күштің немесе барлық күштердің тендерлері күшінің әсер ету сызығы дененің массалар центрі арқылы өтсе, онда дene қозгалысы ілгерілемелі болатыны белгілі.

Әсер ету сызығы дененің массалар центрі арқылы өтпейтін күш денені айналмалы қозгалысқа келтіреді.

Гимараттар, көпірлер, басқа да алуан түрлі құрылыштарға әртүрлі табиғи күштермен қатар, техникалық күштер әсер етеді, дегенмен, олар тыныштық күйде болуы керек. Тыныштықтағы денелер туралы олар тепе-тендік күйде деп айтады. *Абсолют қатты денелердің тепе-тендігін зерттейтін механика бөлімін статика деп атайды.*

III Абсолют қатты дененің тепе-тендік шарттары

Дене екі шарт орындалғанда фана тепе-тендікте болады:

1) Денеге түсірілген сыртқы күштердің қосындысы нөлге тең:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i \text{ немесе } \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0. \quad (1)$$

Тандап алынған осьтерге проекция түсірілгенде (1) өрнек мынадай болады:



Есте сактанадар!

Әсер ету сызығы дененің массалар центрі арқылы өтпейтін күштің әсерінен дene айналмалы қозгалыс жасайды.



Жауабы қандай?

1. Әсер ету сызығы дененің ауырлық центрі арқылы өтпейтін күш неліктен денені айналдырады?
2. Неліктен ұзын өзекті бір ұшынан ұстаганнан гәрі көлденеңінен қойып, ортасынан ұстаган ыңғайлыштың негізгілерін анықтаңыз?

$$\begin{aligned} F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} &= 0, \\ F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} &= 0, \\ F_{1z} + F_{2z} + \dots + F_{nz} &= 0. \end{aligned}$$

2) Кез келген айналу осіне қатысты денеге әсер ететін барлық сыртқы күш моменттерінің қосындысы нөлге тең:

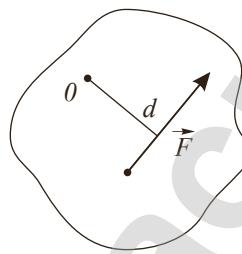
$$\sum_{i=1}^n M_i = 0 \text{ немесе } M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0, \quad (2)$$

$$M = Fd$$

мұндагы M – күш моменті, d – күш іні (47-сурет).

Егер күш денені сағат тілінің бағытына қарама-қарсы айналдыrsa, күш моменті – он, ал егер сағат тілі бағытымен айналдыrsa, теріс болады.

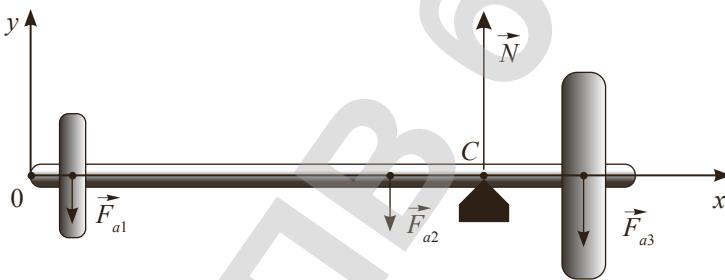
Бастапқы уақыт мезетінде дененің бұрыштық жылдамдығы нөлге тең болғанда, екінші шарт орындалатын болса, дene бірқалыпты айналмайды.



47-сурет. Иін күштің әсер ету сзызығымен тік бұрыши жасайды

IV Массалар центрінің координаталары

Күрделі құрылымды денелер үшін массалар центрінің координаталарын анықтайық.



48-сурет. Зілтемірдің C массалар центрінің координаталарын анықтау

Үштарында әртүрлі массадағы дискілер ілінген зілтемірдің тепе-тендігін қарастырайық (48-сурет). C массалар центрінің координаталарын анықтайық, ол үшін зілтемір осінің шеткі сол жақ нүктесін 0 айналу нүктесін ретінде алаійық. Тепе-тендік шартын жазайық:

$$\vec{F}_{a1} + \vec{F}_{a2} + \vec{F}_{a3} + \vec{N} = 0 \quad (3)$$

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 0 \quad (4)$$

Күш иіндерін координаталар арқылы жазайық, сонда зілтемірдің дискілері мен өзегіне әсер ететін ауырлық қүштерінің иіндері x_1, x_2, x_3 . Ауырлық центрінің координатасын x_c арқылы белгілейік. (4) тендеу мынадай түрге ие болады:

$$-m_1gx_1 - m_2gx_2 - m_3gx_3 + Nx_c = 0. \quad (5)$$

Оу осіне проекциясында (3) тепе-тендіктің бірінші шартынан тіректің реакция күшін анықтаймыз:

$$-m_1g - m_2g - m_3g + N = 0,$$



Өз тәжірибелен

- Екі сомыны бар қозғаыш бұранданың массалар центрінің координаталарын анықтаңдар (49-сурет).
- Массалар центріне тірек қойып, есептеулердің дұрыстығын тексеріңдер.



49-сурет. Сомындары бар қозғағыш бұранда

сонда:

$$N = (m_1 + m_2 + m_3) g. \quad (6)$$

Алынған өрнекті (5) тендеуге қойып, ауырлық центрінің координатасына қатысты шешеміз:

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3}{m_1 + m_2 + m_3}. \quad (7)$$

Денелер саны n болған жағдай үшін нәтижені жалпылайық:

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

немесе

$$x_{cx} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (8)$$

$0x$ пен $0z$ осьтері бойынша ауырлық центрінің координатасын осыған ұқсас анықтаймыз:

$$y_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad z_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$$

2-тапсырма

Денениң (денелер жүйесі) массалар центрін табуға арналған есептерді шешудің алгоритмін құрастырыңдар.

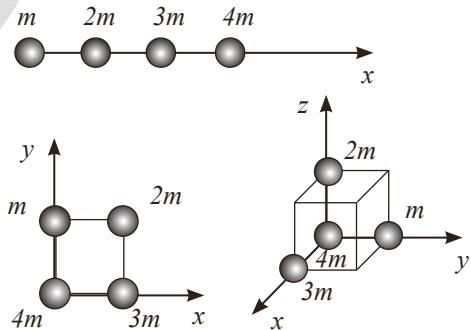


Назар аударындар!

Денелер жүйесінің кеңістіктік қозғалысын, мысалы, гравитациялық күштермен байланыскан кос жұлдызы, олардың массалар центріне қатысты қарастырады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Массалары сәйкесінше m , $2m$, $3m$ және $4m$ болатын төрт шардан тұратын жүйенің массалар центрінің орнын мына жағдайларда анықтаңдар: а) шарлар бір түзудің бойында орналасады; ә) шарлар шаршының төбелерінде орналасады; б) шарлар текшерінде төрт іргелес төбелерінде орналасады. Барлық жағдайда көршілес шарлар арасындағы қашықтық 15 см болады. Координата осьтерінің бағыттары суретте көрсетілген.



Берілгені:

m

$2m$

$3m$

$4m$

$x_c - ?$

$y_c - ?$

$z_c - ?$

Шешуі:

$$\text{а)} \quad x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

шарлардың координаталарын бірінші шарға қатысты анықтаймыз, массалар центрінің координаталарын есептеу формуласына қоямыз:

$$x_c = \frac{m \cdot 0 + 2m \cdot 0,15 + 3m \cdot 0,30 + 4m \cdot 0,45}{m + 2m + 3m + 4m} = 0,3 \text{ м.}$$

$$\text{ә)} \quad x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}; \quad y_c = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + m_4 y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}.$$

шарлардың координаталарын төртінші шарға қатысты анықтаймыз, массалар центрінің координаталарын есептеу формуласына қоямыз:

$$x_c = \frac{m \cdot 0 + 2m \cdot 0,15 + 3m \cdot 0,15 + 4m \cdot 0}{m + 2m + 3m + 4m} = 0,075 \text{ м};$$

$$y_c = \frac{m \cdot 0,15 + 2m \cdot 0,15 + 3m \cdot 0 + 4m \cdot 0}{m + 2m + 3m + 4m} = 0,045 \text{ м}.$$

$$\text{б)} \quad x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + m_4 x_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}; \quad y_c = \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + m_3 y_3 + m_4 y_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}; \quad z_c = \frac{m_1 z_1 + m_2 z_2 + m_3 z_3 + m_4 z_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}$$

шарлардың координаталарын төртінші шарға қатысты анықтаймыз, массалар центрінің координаталарын есептеу формуласына қоямыз:

$$x_c = \frac{m \cdot 0 + 2m \cdot 0 + 3m \cdot 0,15 + 4m \cdot 0}{m + 2m + 3m + 4m} = 0,045 \text{ м}.$$

$$y_c = \frac{m \cdot 0,15 + 2m \cdot 0 + 3m \cdot 0 + 4m \cdot 0}{m + 2m + 3m + 4m} = 0,015 \text{ м}.$$

$$z_c = \frac{m \cdot 0 + 2m \cdot 0,15 + 3m \cdot 0 + 4m \cdot 0}{m + 2m + 3m + 4m} = 0,030 \text{ м}.$$

Жауабы: а) $x_c = 0,3 \text{ м};$

ә) $x_c = 0,075 \text{ м}; y_c = 0,045 \text{ м};$

б) $x_c = 0,045 \text{ м}; y_c = 0,015 \text{ м}; z_c = 0,03 \text{ м}.$

Бақылау сұрақтары

1. Қандай шарттарда дене айналмалы қозғалыс жасайды?
2. Статика нені зерттейді?
3. Қандай шарттарда дене тепе-тендікте болады?
4. Дененің, денелер жүйесінің массалар центрінің координаталары қалай анықталады?

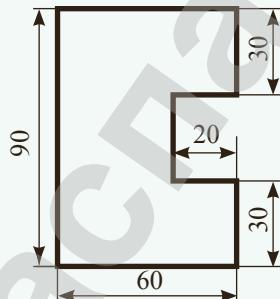
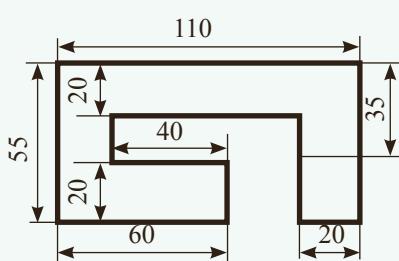


Жаттығу

11

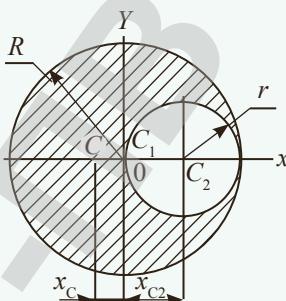
1. Ұзындығы 12 м бөренені көлденен күйде оның қалың ұшынан 3 м қашықтықта тіреуіш қойып, тепе-тендікке келтіруге болады. Егер тіреуіш бөрененің қалың ұшынан 6 м қашықтықта орналасса және жіңішке ұшына массасы 60 кг жұмысшы отырса, онда бөрене қайта тепе-тендікке келеді. Бөрененің массасын анықтаңдар.
2. Массасы 10 кг және ұзындығы 40 см өзектің ұштарына массалары 40 кг және 10 кг жүктөр ілінген. Өзек тепе-тендікте болуы үшін оны қай жерінен тіреу қажет?
3. Цилиндрлік өзектің бір жартысы болаттан, екінші жартысы алюминийден жасалынған. Егер өзектің ұзындығы 30 см болса, оның ауырлық центрін анықтаңдар.

4. Автокөліктің алдыңғы және артқы дөңгелектерінің арасындағы қашықтық 2,3 м. Автокөлікті салмақтық платформада өлшегендे, оның алдыңғы дөңгелектеріне түсірілген жүктеме 9 кН, ал артқы дөңгелектеріне түсірілген жүктеме 6,5 кН екені белгілі болды. Ауырлық центрі алдыңғы осытенаң қандай қашықтықта орналасқан?
5. Өлшемдері 50-суретте берілген біртекті пластинадардың массалар центрінің координаталарын анықтаңдар.



50-сурет. Біртекті пластинадар

6. Радиусы R , 0 нүктесіне қатысты дөңгелек саңылауы бар біртекті дисктің x_c центрінің координатасын анықтаңдар. Саңылау радиусы диск радиусының жартысына тең $r = R/2$ (51-сурет).



51-сурет. 11.6-жаттығуга арналған

Эксперименттік тапсырма

50-суретте көрсетілген өлшем бойынша картон қағаздан фигураштар қып алынадар. Өздерінің есептеулерінің дұрыстығына көз жеткізіндер.

Шығармашылық тапсырма

Кішкене секторда алты планета: Шолпан, Жер, Марс, Юпитер, Сатурн, Уранның Күннің бір жағында қатарласу мезетін планеталардың үлкен шеруі деңгейлі атайды. Осы кездегі Күннің массалар центріне қатысты Күн жүйесінің массалар центрі координаталарын анықтаңдар. Барлық планеталар бір тұзудің бойында орналасқан деп алып, координаталарын есептендер.

§12. Тепе-тендік түрлері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ішергенде:

- әртүрлі тепе-тендіктің түсіндірген кезде себеп-салдар байланысын орната аласындар.

I Тепе-тендік түрлері

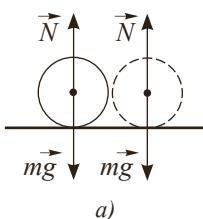
Тепе-тендіктің үш түрі бар: орнықты, орнықсыз және талғаусыз күй (52-сурет).

Егер тепе-тендік күйінен шығарылған дене бастапқы күйіне қайта оралса, онда тепе-тендік орнықты деп аталады.

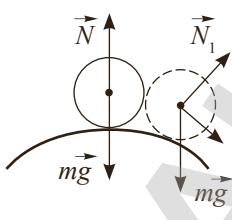
Дене орнықты тепе-тендік күйінен ауытқыған кезде оны қайта тепе-тендік күйіне келтіретін күштер пайда болады. Орнықты тепе-тендік күйінде дененің ауырлық центрі барлық мүмкін күйлердің ең төменгі мәнінде орналасады. Орнықты тепе-тендік күйінде дене ең минимал потенциалдық энергияға ие болады. Мысалы, тербелмелі орындық орнықты тепе-тендік күйде болады.

1-тапсырма

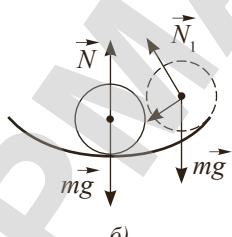
52-суретте бейнеленген тепе-тендік түрлерін атап шығындар.



a)



б)



в)

52-сурет. Тепе-тендік түрлері

Егер тепе-тендік күйінен шығарылған дене одан әрі тепе-тендік күйден ауытқи беретін болса, тепе-тендік орнықсыз деп аталады.

Дене орнықсыз тепе-тендік күйінен сәл ғана ауытқыса да, денеге әсер ететін күштердің тенәсерлі күші дененің тепе-тендік күйден ауытқуын арттыра туреді. Орнықсыз тепе-тендік күйінде ауырлық центрінің биіктігі ең үлкен мәнге ие болады, демек, дененің потенциалдық энергиясы максимал мәнге ие болады. Орнықсыз тепе-тендік күйдегі денеге даршы (аркан бойымен жүретін адам) мысал бола алады (53-сурет).

Егер тепе-тендік күйінен шығарылған дене өзінің бастапқы күйін өзгерпесе, тепе-тендік талғаусызы деп аталады.

Талғаусыз тепе-тендік күйдегі дененің потенциалдық энергиясы өзгермейді, себебі ауырлық центрінің биіктігі бұрынғы қалпында қалады. Талғаусыз тепе-тендік горизонталь жазықтықта домалап бара жатқан шар тәріздес денелерге, дөңгелектерге тән.

2-тапсырма

Орнықты, орнықсыз және талғаусызы тепе-тендік күйдегі денелерге мысалдар келтіріңдер.



Бұл қызық!

Адамдар мен жануарлардың құлағы тек есту қызметін ғана атқармайды, құлақтың ішкі бөлігінде дененің тепе-тендігіне жауап беретін мүше бар (54-сурет).



54-сурет. Есту мүшесінің құрылышы



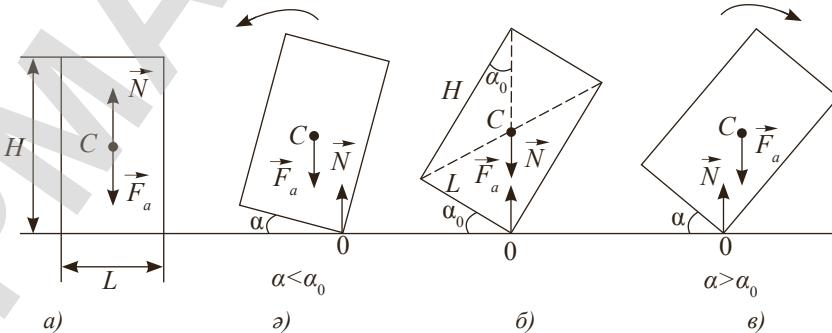
53-сурет. Дағысы орнықсыз тепе-теңдік күйінде

II Тіректегі дененің тепе-тендік орнықтылығы. Аударылу

Бізді қоршаган денелердің көбісі: гимарат, жиһаз бен тұрмыс заттары, мәшинелер, алтыбақан, әткеншектер, тіпті адамның өзі тірекке сүйену арқылы тыныштықта болады. Қандай жағдайда гимараттың орнықтылығы артатындығын анықтайық. Кесектің тепе-тендік орнықтылығын қарастырайық (55-сурет). Оны қандай да бір шектік бұрышқа дейін бұруға болады, одан ері ол аударылып түседі. Бұрылудың шекті бұрышын геометриялық түрде

анықтаймыз: $\operatorname{tg} \alpha_0 = \frac{L}{H}$ (55, б-сурет). Тіректегі денені

ауырлық центрі арқылы өтетін тік сызық тіректің ауданын қып өткенше бұра беруге болатынына тәжірибе арқылы көз жеткізуге болады (55, ə-сурет). Бұл жағдайда ауырлық күшінің моменті оң мәнге ие болады, дene сағат тіліне қарама-қарсы бағытталады, ол бастапқы күйіне қайтып келеді. Тік сызық тірек ауданының шегінен шыға



55-сурет. Тіректегі дененің аударылу шарты



Бұл қызық!

Майлк Грэб – американлық суретші, ол – тастандан құрылышы ғажап мүсіндер жасаудың маманы (56-сурет). Ол бекіткіш материалдарды пайдаланбастан, тас мүсіндер тұрғызады.



56-сурет. Мүсіндер тастар орнықсыз тепе-теңдікті орналасқан.

салысымен, күш моменті теріс болады, дene аударылады (55, в-сурет). Соңдықтан тіректің ауданы үлкен болған сайын ол орнықты бола туследі.

Кесектің массалар центрі орнықты тепе-теңдік күйінде ең кіші биіктікке ие болады, ол $H/2$ -ге тең (55, а-сурет). Орнықсыз тепе-теңдік күйінде массалар центрінің биіктігі ең жоғарғы мәнге дейін артады (55, б-сурет).

Егер дененің ауырлық центрі арқылы өтетін тік сзық осы дененің тірек ауданының шегінен аспаса, онда тірек ауданы бар дene тепе-теңдікте болады.



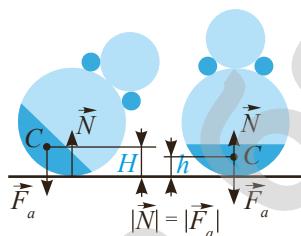
Жауабы қандай?

1. Көк тірекен гимараттардың жоғары бөлігі неліктен үшкірлеу болып келеді (57-сурет)?



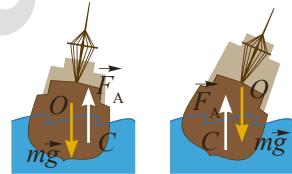
57-сурет. Дубайдагы зәулім көпқабатты үй, биіктігі 828 м, 163 қабат

2. Құламайтын қуыршақтың әрекет ету принципін түсіндіріңдер (58-сурет).



58-сурет. Құламайтын қуыршақ орнықты тепе-теңдікке ие

3. Жүкті неліктен кеменің палубасына емес, оның трюміне артады (59-сурет)?



59-сурет. Кеменің орнықты және орнықты емес тепе-теңдігі

III Аспадағы дененің тепе-тендік орнықтылығы

Егер дененің C ауырлық центрі арқылы өтетін тік сзық 0 айналу осі арқылы өтетін болса, онда айналу осі бар дene тепе-тендікте болады (61, а-сурет). Эрі осы кезде, егер C ауырлық центрі айналу осінен жоғары болса, онда кез келген тепе-тендік күйден ауытқу кезінде потенциалдық энергия азаяды және 0 осіне қатысты ауырлық күшінің моменті денені әрі қарай тепе-тендік күйден ауытқыта береді. Бұл – орнықсыз тепе-тендік күй.

Егер ауырлық күші айналу осінен төмен жақта орналасқан болса, онда тепе-тендік орнықты болады (61, ә-сурет). Кез келген ауытқу кезінде потенциалдық энергия артады, ауырлық күшінің моменті денені тепе-тендік күйге қайтып әкеледі. Егер ауырлық центрі мен айналу осі сойкес келсе (61, б-сурет), онда тепе-тендік күйі талғаусыз болады.

Талғаусыз тепе-тендік күйде теңіз жануарлары – киттер, итбалықтар болады. Механикалық сағаттың



3-тапсырма

Бос және жүк тиелген жүк көлігіне әсер ететін күштерді бейнелеңдер. Неліктен жүк тиелген автокөліктер бұрылыштарда жиі аударылады (60-сурет)?

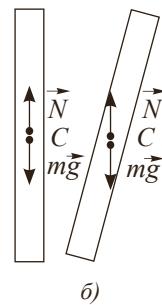
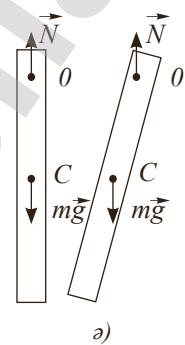
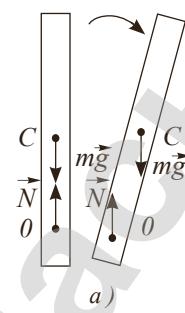


60-сурет. Ұсақ тастар тиелген жүк көлігі тіркемесінің аударылуы

маятнигі орнықты тәпеп-тендік күйде болады. Тәпеп-тендік күйден ауытқыту үшін маятникке күш түсіру қажет.

Бақылау сұрақтары

1. Тәпеп-тендіктің қандай түрлері бар?
2. Қандай шарттарда деңе орнықты тәпеп-тендік күйде, орнықсыз тәпеп-тендік күйде, талғаусыз тәпеп-тендік күйде болады?
3. Қандай шарттарда тіректегі деңе аударылады?
4. Неліктен бөрнене тігінен жүзбейді?



61-сурет. Айналу осіндегі деңенің тәпеп-тендігі

Жаттығу

12

1. Төменде көрсетілген жағдайлардағы тәпеп-тендік түрлерін анықтау қажет:
 - 1) бильярдтық шар торда орналасқан кезде;
 - 2) көлденең тартылған жіптегі моншақтың;
 - 3) көлбеу жазықтыға кесек;
 - 4) арқан үстінде келе жатқан гимнаст;
 - 5) конус құйғыштагы (сұйықты ыдысқа қуюға арналған құрал) шар;
 - 6) қабыргаға сүйеп қойған саты;
 - 7) еденде жатқан қорап;
2. Тақтайша бетінде биіктігі h және диаметрі $d = h/2$ болатын цилиндр түр. Тақтайшаны бір ұшынан ақырын көтере бастайды. Қайсысы бірінші орындалады: цилиндр төңкеріле ме, әлде сырғанай бастай ма? Тақтайша мен цилиндрдің беттері арасындағы үйкеліс коеффициенті $\mu = 0,4$.

Эксперименттік тапсырма

Интернет желісінің материалдарын пайдаланып, шегелермен тәжірибе жүргізіндер (62-сурет). Шегелер неліктен тәпеп-тендік күйін сақтайдынын түсіндіріндер.

Шығармашылық тапсырма

1. Қолда бар материалдардан құламайтын қуыршақ дайындаңдар.
2. Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша): «Цирк трюктеріндегі тәпеп-тендік түрлері»; «Спорт түрлеріндегі тәпеп-тендіктің рөлі».



62-сурет. Эксперименттік тапсырма үшін

3-тараудың қорытындысы

Тепе-тендік шарттары	Массалар центрінің координаталары
$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ $\sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad M = Fd$	$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i}; y_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i}; z_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{\sum_{i=1}^n m_i}$

Абсолют қатты дененің тепе-тендік шарттары

- Денеге түсірілген сыртқы күштердің қосындысы нөлге тең.
- Денеге әрекет ететін барлық сыртқы күштердің моменттерінің қосындысы кез келген оське қатысты нөлге тең.

Глоссарий

Күш иіні – дененің айналу осінен күштің әсер ету сызығына дейінгі ең қысқа арақашықтық.

Статика – күш әсерінен болатын материалық денелердің тепе-тендік шарттарының зерттейтін механика бөлімі.

Массалар центрі – денені ілгерілемелі қозғалысқа келтіретін күштердің әсер ету сызықтарының қиылысу нүктесі.

Ауырлық центрі – кез келген жағдайда денеге әсер ететін ауырлық күшінің орналасқан нүктесі.

Тепе-тендік – дene немесе денелер жүйесінің қүйі, бұл кезде түсірілген күштердің әсерінен дene немесе денелер жүйесі тыныштықта болады.

4-ТАРАУ

САҚТАЛУ ЗАНДАРЫ

Тұйық жүйедегі денелер үшін импульс пен энергияның сақталу зандары Ньютон зандарының салдары болып табылады.

Сақталу зандары денелер жүйесіне әсер ететін құштерді қарастырмай-ақ, денелердің бір күйден екінші күйге өтуін бақыламай-ақ, динамика есепте-рін шешуге мүмкіндік береді.

Импульс пен толық механикалық энергияның сақталу зандары кез келген өлшемдері тұйық жүйе: микродүниенің бөлшектері, сонымен қатар ғарыш денелері үшін де орындалады.

Зандар жүйе денелеріне теңәсерлі күші нөлге тең сыртқы құштер әсер еткен жағдайда да орындалады. Жер жағдайында мұндай құштерге Жердің тар-тылыс қүші мен тіректің реакция қүші жатады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- сандық және эксперименттік есептерді шығару кезінде сақталу зандарын қолдануды үйренесіңдер.

§ 13. Импульстің және механикалық энергияның сақталу зандары, олардың қеңістік пен уақыттың қасиеттерімен байланысы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты ішергенде:

- сандақ және эксперименттік есептер шығару кезінде сақталу зандарының қолдана аласындар.

I Тұйық жүйе үшін импульстің сақталу заны

Импульстің сақталу заны Ньютонның екінші және үшінші зандарының салдарынан шығатынын дәлелдендер.

Егер жүйедегі денелерге әсер ететін сыртқы күштердің қосындысы нөлге тең болса, онда өзара әрекеттесетін денелердің тұйық жүйесінің импульсі тұрақты шама болып қалады.

1-тапсырма

Импульстің сақталу заны Ньютонның екінші және үшінші зандарының салдарынан шығатынын дәлелдендер.

2 Жауабы қандай?

- Неліктен абсолют серпімді соқтығысу үшін импульстің сақталу занының жазылуы серпімсіз соқтығысу үшін жазылуынан басқаша болады?
- Сақталу зандары неліктен тұйық жүйелер үшін ғана орындалады?

2-тапсырма

63–65-суреттерде бейнеленген денелер үшін импульстің сақталу занын жазындар.

$$\vec{p}_{\text{ж}} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}, \quad (1)$$

мұнда $\vec{p}_{\text{ж}}$ – жүйеге кіретін денелер импульстерінің геометриялық қосындысы, n – жүйедегі денелер саны, i – денениң реттік нөмірі, Σ – қосынды белгісі. Үш денениң өзара серпімді әрекеттесуі кезінде (1) формула мына түрге келеді:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 + m_3 \vec{u}_3, \quad (2)$$

мұндағы $\vec{v}_1, \vec{v}_2, \vec{v}_3$ – денелердің өзара әрекеттесуге дейінгі жылдамдықтары, $\vec{u}_1, \vec{u}_2, \vec{u}_3$ – денелердің өзара әрекеттесуден кейінгі жылдамдықтары.

Өзара серпімсіз әрекеттесу кезінде сақталу заны мынадай түрге келеді:

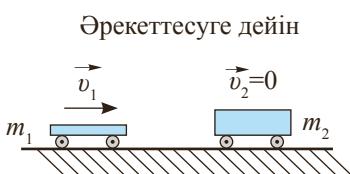
$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + m_3 \vec{v}_3 = (m_1 + m_2 + m_3) \vec{u}, \quad (3)$$

мұндағы \vec{u} – денелердің өзара әрекеттесуден кейінгі жылдамдығы.

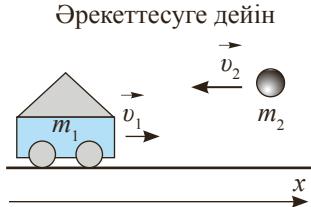
II Тұйық жүйе денелерінің импульстері қосындысының модулі

Денелер импульстерінің қосындысының модулін анықтау үшін координаталық әдісті пайдалануға болады. Бұл әдіс жүйе денелерінің импульстерінің қосындысының модулін денелердің импульстерінің $0x, 0y, 0z$ осьтеріне түсірілген проекцияларының қосындысы арқылы өрнектеуге мүмкіндік береді:

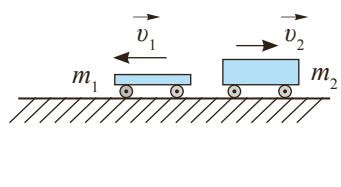
$$p = \sqrt{p_x^2 + p_y^2 + p_z^2}. \quad (4)$$



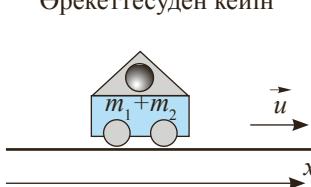
Әрекеттесуге дейін



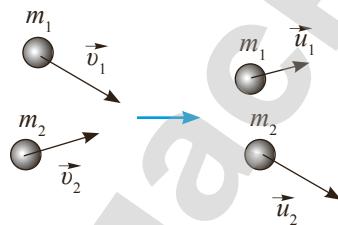
Әрекеттесуден кейін



63-сурет. Козгалмайтын арбамен серпімді соқтығысу



64-сурет. Денелердің өзара серпімсіз әрекеттесуі



65-сурет. Козгалыстағы шарлардың серпімді соқтығысы

Таңдал алынған p_x , p_y , p_z осьтеріне түсірілген проекциялардың қосындысы мына формулалар бойынша анықталады:

$$p_x = p_{1x} + p_{2x} + \dots + p_{nx},$$

$$p_y = p_{1y} + p_{2y} + \dots + p_{ny},$$

$$p_z = p_{1z} + p_{2z} + \dots + p_{nz}.$$

Мұндагы p_{1x} , p_{2x} , ..., p_{nx} – жүйеге кіретін n денелердің импульстерінің $0x$ осіне проекциялары,

p_{1y} , p_{2y} , ..., p_{ny} – импульстердің $0y$ осіне проекциялары, p_{1z} , p_{2z} , ..., p_{nz} – $0z$ осіне проекциялары.

III Энергияның сақталу заңы

Кинетикалық және потенциалдық энергиялардың қосындысына тең жүйенің толық механикалық энергиясы жүйеде *денелер арасындағы арақашықтық* қа^{та}туелді күштер есебе еткенде фана сақталады. Оларды консервативті күштер деп атайды.

Консервативті күштерге тартылыс күші мен серпімділік күші жатады. Консервативті күштердің жұмысы *теріс таңбамен* алынған потенциалдық энергияның өсімісесі ретінде өрнектелуі мүмкін:

$$A = -(mgh_2 - mgh_1); \quad A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right) \text{ немесе}$$

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}) \quad (5)$$

Кез келген күштің жұмысын *кинетикалық энергияның өзгерісі туралы теорема бойынша* анықтауга болады:

$$A = Fs = ma \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \text{ немесе}$$

$$A = W_{k2} - W_{k1}. \quad (6)$$



Жауабы қандай?

Неліктен денелердің серпімді соқтығысына арналған есептерді тек импульстің сақталу заңын ғана пайдаланып шешу мүмкін емес?



Жауабы қандай?

Неліктен Ньютон маятнигінде массалары бірдей шарлар қолданылады?



3-тапсырма

- Потенциалдық энергияны есептеудің формуласын:
 - аспан денесінің бетіндегі және одан алыстағы гравитациялық өрісте орналасқан дene үшін;
 - деформацияланған серіппе (өзек) үшін жазындар.
- Козгалыстағы дененің кинетикалық энергиясын есептеу формуласын жазындар.

(5) және (6) теңдіктерден: $W_{k1} + W_{p1} = W_{k2} + W_{p2}$
осылайша:

$$W = W_k + W_p = \text{const},$$

бұл – толық механикалық энергияның сақталу заңының өрнегі.

Нedeneden тұратын жүйенің энергиясы жүйенің әр денесінің энергиясының қосындысы ретінде анықталады. Бірінші күй үшін кинетикалық және потенциалдық энергия:

$$W_{k1} = \sum_{i=1}^n W_{ki}, \quad W_{p1} = \sum_{i=1}^n W_{pi} \quad \text{болады};$$

екінші күй үшін:

$$W_{k2} = \sum_{i=1}^n W_{ki}, \quad W_{p2} = \sum_{i=1}^n W_{pi},$$

мұндағы i – дененің жүйедегі реттік нөмірі.

Тек консервативті құштер әсер ететін денелердің тұйық жүйесінде толық механикалық энергия тұрақты шама болып қалады.

IV Кеңістік пен уақыт қасиеттерінің сақталу заңдарымен байланысы

§ 10-та кеңістіктің негізі қасиеттері: біртектілік және изотроптық туралы айтылды. Кеңістіктің біртектілігі оның барлық нүктелерінің теңдігімен, изотроптық оның барлық бағыттарының теңдігімен тұжырымдалады. Уақыт біртектілік қасиетіне ие. Уақыттың біртектілігі – барлық уақыт мезеттері тен екені, олардың кез келгенін бастапқы санақ нүктесі ретінде қабылдауға болатыны. Кеңістік пен уақыттың аталған қасиеттері импульс пен энергияның сақталу заңдарымен байланысты.

Импульстің сақталу заңының негізінде кеңістіктің біртектілік қасиеті жатыр. Көптеген тәжірибелер мен зерттеулер тұйық жүйені бөлшектердің жылдамдықтары мен өзара орналасуларын өзгертуей, кеңістіктегі бір орыннан екінші орынға тасымалдау жүйенің механикалық қасиеттерін өзгертуейтінің көрсетті. Денелер жүйесінің импульсі тұрақты шама болып қалады.

Энергияның сақталу заңының негізінде уақыттың біртектілік қасиеті жатыр. Тұйық жүйе үшін энергияның сақталу заңы кез келген уақыт аралығы үшін орындалады.

Кеңістіктің-уақыттың аралықтар тұйық жүйе денелерінің өзара әрекеттесуі караптырылатын барлық санақ жүйелері үшін инвариантты және абсолютті.

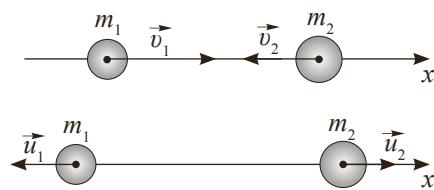


Есте сақтаңдар!

Егер шаралардың бастапқы жылдамдықтары олардың центрлерін қосатын сызық бойымен бағытталған болса, соққы центрлік соқтығысу деп аталады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Массалары m_1 және m_2 , жылдамдықтары v_1 және v_2 екі дene бір-біріне қарама-қарсы қозғалып келеді (суретті қарандар). а) $v_{2x} = 0$; ә) $m_1 = m_2$ болатын дербес жағдайлар үшін денелердің центрлік серпімді соқтығысдан кейінгі u_1 және u_2 жылдамдықтарын анықтаңдар.



Берілгені:

$$\begin{array}{l} m_1 \\ m_2 \\ v_1 \\ v_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} u_1 - ? \\ u_2 - ? \end{array}$$

Шешуі:

Ох осіне түсірілген проекцияларда импульстің сақталу заңы мына түрге келеді:

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = m_1 u_{1x} + m_2 u_{2x}. \quad (1)$$

Екі шар үшін кинетикалық энергияның сақталу заңын жазайық:

$$\frac{m_1 v_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 v_{2x}^2}{2} = \frac{m_1 u_{1x}^2}{2} + \frac{m_2 u_{2x}^2}{2}. \quad (2)$$

Алынған u_{1x} және u_{2x} екі белгісізі бар тендеулер жүйесін шешейік.
Алынған тендеулерде бірінші дененің импульсі мен энергиясын тендеудің оң жағына, екінші дененің импульсі мен энергиясын тендеудің сол жағына апарып, нәтижесін мына түрде жазамыз:

$$m_1(u_{1x} - v_{1x}) = m_2(v_{2x} - u_{2x}) \quad (3)$$

$$m_1(u_{1x}^2 - v_{1x}^2) = m_2(v_{2x}^2 - u_{2x}^2) \quad (4)$$

(4) тендеуді (3) тендеуге бөліп, мынаны табамыз:

$$u_{1x} + v_{1x} = v_{2x} + u_{2x}. \quad (5)$$

(5) тендеудің екі жағын да m_2 көбейтеміз, алынған нәтижені

(3) тендеумен қосамыз, сонда бірінші дene үшін серпімді соқтығысдан кейінгі жылдамдықты есептеу формуласын жазамыз:

$$u_{1x} = \frac{(m_1 - m_2)v_{1x} + 2m_2v_{2x}}{m_1 + m_2}. \quad (6)$$

(6) тендеуді (5) тендеуге апарып қойып, екінші дene үшін жылдамдық проекциясын табуға арналған өрнекті табамыз:

$$u_{2x} = \frac{(m_1 - m_2)v_{2x} + 2m_1v_{1x}}{m_1 + m_2}. \quad (7)$$

Дербес жағдайларды қарастырайық:

a) Екінші шар соқтығысуға дейін тыныштықта тұрса: $v_{2x} = 0$, онда (6) мен (7)-ден:

$$u_{1x} = \frac{(m_1 - m_2)v_{1x}}{m_1 + m_2}, \quad u_{2x} = \frac{2m_1v_{1x}}{m_1 + m_2} \quad \text{екені шығады.}$$

Корытынды:

Егер $m_1 > m_2$ болса, бірінші шар қозғалысын соқтығысуға дейінгі бағытымен жалғастырады, бірақ оның жылдамдығы кемиді.

Егер $m_1 < m_2$ болса, онда бірінші шар соқтығысдан кейін артқа қарай кетеді.

Екінші шар екі жағдайда да бірінші шардың соқтығысуға дейінгі бағытымен қозғалады.

ə) Екі шардың да массалары бірдей болсын делік, онда:

$$u_{1x} = \frac{2m v_{2x}}{2m} = v_{2x}, \quad u_{2x} = \frac{2m v_{1x}}{2m} = v_{1x}.$$

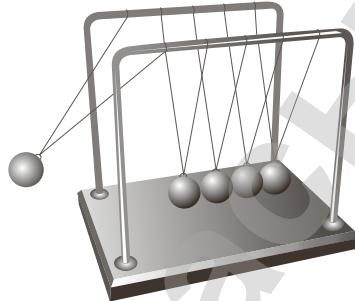
Корытынды:

массалары бірдей шарлар абсолют серпімді соқтығысқанда олар бір-бірінің соқтығысуға дейінгі жылдамдықтарын иеленеді.



Бұл қызық!

Ньютон маятнигінің әрекеті массалары бірдей денелердің өзара серпімді әрекеттесуі кезінде импульс пен энергияның сақталу заңдарына негізделген. Бірінші шарды суреттегідей белгілі бір биіктікке тартып, жібере салсақ, онда оның энергиясы өзгеріссіз ортадағы шарлар арқылы соңғысына беріледі де, соңғы шар сол жылдамдықты алғып, сол биіктікке көтеріледі. Соңғы шар импульсі мен энергиясын тізбек бойынша қайтадан бірінші шарға береді (66-сурет).



66-сурет. Ньютон маятнигі

Бақылау сұрақтары

- Импульстің сақталу заңын тұжырымдаңдар.
- Денелердің импульстерінің қосындысы координаталық әдіспен қалай анықталады?
- Қандай энергияны потенциалдық деп атайды?
- Аспан денесінің бетінде дененің потенциалдық энергиясын қалай анықтайды? Аспан денесінен алыстатылғанда ше?
- Консервативті күштердің жұмысы дененің потенциалдық энергиясымен қалай байланысты?
- Толық механикалық энергияның сақталу заңын тұжырымдаңдар.
- Толық механикалық энергияның және импульстің сақталу заңдары кеңістіктің қандай қасиеттерінің салдары болып табылады?



Жаттығу

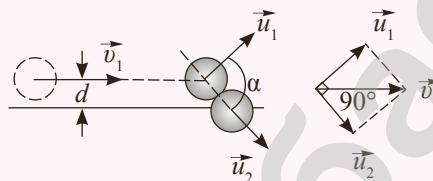
13

- Массасы 10^4 кг теміржол вагоны 25 м/с жылдамдықпен қозгалып келе жатып, массасы $1,5 \cdot 10^4$ кг болатын қозгалмайтын вагонмен соқтығысады. Егер олар бір-біріне тіркелсе, қандай жылдамдықпен қозгалатын болады?
- Жалпы массасы 600 г зымыран моделінде 350 г оқ-дәрі бар. Газ бірден 300 м/с жылдамдықпен шығарылады. Зымыранның қозгалысына қарсы аяу кедергісі көтерілу биіктігін 6 есе азайтады. $g = 10 \text{ м/с}^2$ деп алып, зымыранның көтерілу биіктігін анықтаңдар,
- Екі бірдей абсолют серпімді шарлар тегіс горизонталь жазықтықта бір-біріне қарама-қарсы 10 м/с және 5 м/с жылдамдықтармен қозгалып келеді. Соқтығысқаннан кейін шарлар қандай бағытта, қандай жылдамдықтармен қозгалатын болады?
- Массасы 70 кг жүзуши 10 м биіктікте орналасқан тәбеден секіріп, 3 м терен-дікке сунгіді. Судың бетін нөлдік деңгей деп алып, жүзушінің тәбеде түрған кездегі және максимал сұнгу кезіндегі потенциалдық энергиясын анықтаңдар.
- Массасы 1000 кг Жердің жасанды серігі Жердің айналасында оның бетінен 1000 км қашықтықта шенберлі орбита бойымен қозгалады. Жердің жасанды серігінің потенциалдық, кинетикалық және толық энергияларын анықтаңдар.

- Серіппелі ойыншық тапаншадан атылған массасы 0,02 кг шар вертикаль жоғары 57,6 см биіктікке дейін ұшады. Қатаңдығы 400 Н/м серіппенің сыйылуын анықтаңдар.
- Біздің планетамыз үшін екінші ғарыштық жылдамдықты анықтаңдар.

Эксперименттік тапсырма

- Массалары бірдей шарлардың центрлік емес серпімді соқтығысусын зерттеңдер. Соқтығысудан кейін массалары бірдей шарлар қандай бұрышпен ұшатынын анықтаңдар. α ұшу бұрышы шарлардың массалар центрлерінің d ұғысына тәуелді ме (67-сурет)? Есептеулерді теориялық түрде жүргізіп, эксперимент барысында алынған нәтижелермен салыстырындар.



67-сурет. 1-эксперименттік тапсырмага

- Дене тыныштықтағы кедергімен серпімді соқтығысан кезде оның жылдамдығы мен импульс моменті тек бағыты бойынша өзгереді. Жылдамдық пен импульс мәндерінің кедергі бағыты мен жылдамдығының шамаларына тәуелділігін зерттеңдер. Тәжірибелі қалай жүргіzetіндерінді өздерің шешіндер. 68-суретте волейболдағы шабуылдау соққысының техникасы берілген. Өздерің жүргізген зерттеу бойынша спортшының әрекетін түсіндіріңдер. Қандай спорт түрлерінде дене импульсі өзгерісінің кедергінің қозғалыс жылдамдығына тәуелділігі қолданылады?



68-сурет. 2-эксперименттік тапсырмага

Шығармашылық тапсырма

Екінші ғарыштық жылдамдықты есептеуде және ғарыштық кемелердің бірінші континентаралық ұшырылуы кезіндегі энергияның сақталу заңының рөлі туралы хабарлама дайынданадар.

4-тараудың қорытындысы

Сақталу заны	Энергия	Жұмыс
Импульстің сақталу заны $\vec{P}_{\infty} = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$	Кинетикалық энергия $W_k = \frac{mv^2}{2}$	$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$ $A = -(W_{p2} - W_{p1})$
Энергияның сақталу заны $W = W_k + W_p = \text{const}$	Потенциалдық энергия $W_p = \frac{kx^2}{2}$ $W_p = mgh$ $W_p = \frac{GMm}{R}$	$A = \left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2} \right)$ $A = -(mgh_2 - mgh_1)$ $A = -\left(\frac{GMm}{R_2} - \frac{GMm}{R_1} \right)$

Динамика заны:

Импульстің сақталу заны:

Егер жүйедегі денелерге әсер ететін сыртқы күштердің қосындысы нөлге тең болса, онда өзара әрекеттесетін денелердің тұйық жүйесінің импульсі тұрақты шама болып қалады.

Энергияның сақталу заны

Тек консервативті күштер әсер ететін денелердің тұйық жүйесінде толық механикалық энергия тұрақты шама болып қалады.

Глоссарий

Консервативті күштер – тек өзара әрекеттесетін денелер арасындағы қашықтыққа тәуелді күштер, оларға тартылыс күші мен серпімділік күші жатады.

Центрлік соқтығысу – денелердің бастапқы жылдамдықтары олардың массалар центрлерін қосатын сызық бойымен бағытталған соқтығысуы.

5-ТАРАУ

СҰЙЫҚТАР МЕН ГАЗДАРДЫҢ МЕХАНИКАСЫ

Массасы орасан зор атмосфералық ауаңың қозғалысы, өзендеңгі немесе су құбырындағы судың қозғалысы, қанның тамырлар бойымен қозғалысы гидродинамика және аэродинамика заңдарына бағынады.

Сұйықтар мен газдардың қозғалысын зерттегендеге олардың қабаттары арасындағы ішкі үйкеліс және газдардың сыйылуы сияқты құбылыстар қыындық тудырады. Осы бөлімде біз идеал сұйықтың ағысын және ондағы қатты денелердің қозғалысын қарастырамыз.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- сұйықтар мен газдардың ламинарлық және турбуленттік ағыстарын сипаттауды;
- эксперименттік, сандық және сапалық есептер шығаруда үзіліс-сіздік теңдеуі мен Бернулли теңдеуін қолдануды;
- эксперименттік, сандық және сапалық есептерді шығаруда Торричелли формуласын пайдалануды;
- эксперимент нәтижесіне әсер етуші факторларды анықтап, оны жақсарту жолдарын ұсынуды үйренесіңдер.

§ 14. Гидродинамика. Сұйық пен газдардың ламинарлық және турбуленттік ағыстары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ішергендегі:
• сұйық пен газдардың ламинарлық және турбуленттік ағыстарын сипаттай аласындар.



Даниил Бернулли (1700–1782) – швед физигі және математигі, 1725–1733 жылдары Петербург Ғылым академиясының мүшесі, 1748 жылдан бастап, Париж Ғылым академиясының мүшесі, гидродинамика мен математикалық физиканың, газдардың кинетикалық теориясының негізін қалаушылардың бірі, «Гидродинамика» монографиясының авторы.

I Гидро- және аэродинамика

Гидро- және аэродинамика теніздерде жүру сапасын арттыру мақсатында кемелердің қозгалистарын, желкеннің, бұранданың, қанаттардың, сорғылардың және басқа да құрылғылардың жұмыс істеу принципін бақылап, зерттеуге байланысты пайда болды. XVIII ғасырда Даниил Бернуллидің, Жан Лерон Д'Аламбердің, Леонардо Эйлердің еңбектерінде гидродинамиканың негізі қаланған.

Гидро- және аэродинамика – сұйықтар мен газдардың қозғалысын, қозғалыстағы сұйықтар мен газдардың қатты денелермен өзара әрекеттесуін зерттейді.

Гидродинамика түрлі салаларда – кемелер мен ұшу аппараттарын, су және мұнай құбырларын, сорғылар мен су турбиналарын жобалау барысында пайдаланылады. Гидродинамиканың міндегіне қозгалистағы денеге әсер ететін көтергіш күш пен кедергі күшті есептеу жатады. Гидродинамика есептерін шешуді жеңілдету үшін «идеал сұйық», «ағын элементі» деген түсініктер енгізілген.

Идеал сұйық – тұтқырлығы мен сығылуын ескермеуге болатын сұйық.

Идеал сұйықтың қабаттары арасында үйкеліс болмайды.

Ағын элементі – сұйықтың (газдың) қозғалыс кезінде пішінінің өзгерісін ескермеуге болатын шартты түрде бөлінетін аз көлемі.

II Сұйықтардың қозғалысын бақылау. Ағын сыйықтары. Ағын түтігі

Сұйық қозғалысын зерттеудің бір әдісі – сұйыққа металл жылтырақтарын араластырып, қатты жарықтандыруда жылдам суретке түсіру. Суреттегі жылтырақтар ұзындығы сұйық ағысы жылдамдығына пропорционал кішкентай сыйықшалар сияқты көрінеді. Жылтырақтардың қозғалыс бағытына қарап, сұйық ағысының оның беткі қабатының кез келген нұктесіндегі бағытын анықтауға болады. Суретке түсіру уақытын сәл ұзартсақ, сыйықшалар тұтас сыйыққа бірігеді, бұл сыйықтар *ағын*

сзыықтары деп аталады (69-сурет). Эйлер сұйықтарды осындай әдіспен зерттеген.

Ағын сзыықтары – жанамаларының бағыты кеңістіктің кез келген нүктесінде сұйық ағыны жылдамдығының бағытымен сәйкес келетін сзыықтар.

Сұйық қозғалысын зерттеген кезде ағын түтігін қарастыруға болады.

Ағын түтігі – сұйықтың немесе газдың ағын сзыықтарымен шектелген көлемі.

Сұйықтың немесе газдың жылдамдығы ағын сзыығының барлық нүктесінде жанама бойымен бағытталады, демек, ағын түтігінің ішіндегі сұйық оның бүйір бетімен қиылышпайды.

III Ламинарлық және турбуленттік ағыс

Ламинарлық ағысы бар сұйықтар үшін гидродинамика заңдары орындалады.

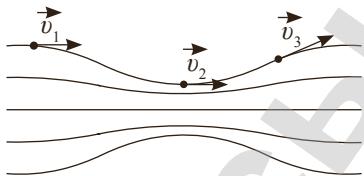
Егер сұйық қабаттары араласып кетпей, бір-біріне қатысты жылжыса, ағыс ламинарлық деп аталады.

70-суретте ламинарлық ағыс кезіндегі ағын сзыықтары көрсетілген. *Ламинарлық немесе қаттарлы ағыс* деп ақырын ағатын өзендердегі судың ағысын айтады (71-сурет). Бұрқақтың ламинарлық ағысы шыны өзек тәрізді болып көрінеді (72-сурет). Ламинарлық ағыс жасауға арналған құрылғылар жарық динамикалық және жарық музыкалық бұрқақтарда пайдаланылады.

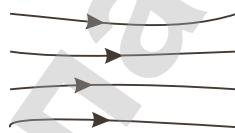
Сұйықтың ағыс жылдамдығын арттыру кезінде іірімдер пайда болады, ол кезде ағыс турбуленттік сипатқа ие болады (73-сурет).

Егер сұйық қабаттары араласып, іірімдер пайда болатын болса, ағыс турбуленттік болады.

Турбуленттік ағыстарда сұйықтың немесе газдың берілген нүктесінде жылдамдық пен қысымының лездік мәндөрі кездейсок түрде өзгереді. Шарттар өзгермеген кезде бұкіл көлем бойынша осы шамалардың таралуы әртүрлі болады және қайталанбайды.



69-сурет. Ағын сзыықтары



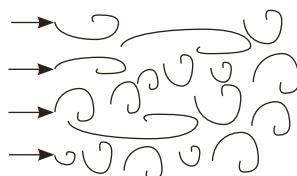
70-сурет. Ламинарлық ағыс кезіндегі ағын сзыықтары



71-сурет. Бұрқтырма өзені, ламинарлық ағыс



72-сурет. Ламинарлық ағыс кезінде ағын түтігінің қимасының ауданы сақталады



73-сурет. Турбуленттік ағыс кезіндегі ағын сзыықтары

Турбуленттік ағыс үшін жылдамдық пен қысымың орташа мәндері қолданылады. Турбуленттік ағыстарды тәжірибе жүзінде зерттейді.

Сұйық пен газдың ағысы әртүрлі – қалыптасқан және қалыптастаған болуы мүмкін. Сұйықтың қалыптастаған немесе стационар қозғалысы деп берілген нүктеде қысымы мен жылдамдығы уақыт бойынша өзгермейтін сұйық қозғалысын айтамыз.

Кеңістіктің барлық нүктесіндегі сұйық элементтерінің жылдамдығы уақыт бойынша өзгермейтін болса, ағыс стационар болады.

Жылдамдығы пен қысымы кез келген нүктеде уақыт бойынша өзгеретін сұйық ағысы қалыптастаған немесе стационар емес деп аталады.



Жауабы қандай?

1. Неліктен өзеннің ағысы арнасы кең жерінде ламинарлық, ал арнасы тар жерінде турбуленттік болады?

Неліктен сарқырамадағы судың ағысы турбуленттік болады (74-сурет)?



74-сурет. Бұрқан buquerque, Жемісу Алатауы

1. Сұйықтың турбуленттік ағысының орташа жылдамдығын анықтау әдістерін ұсыныңдар.
2. Желдің жылдамдығын анықтайтын құрылғы құрастыру жолын ұсыныңдар.

IV Сұйық немесе газ қозғалысының кинематикалық сипаттамасы

Ідеал сұйықтың қозғалысын сипаттаған кезде қатты денелер үшін орындалатын механика заңдары қолданылады. Сұйық немесе газдың тұтас көлемін кіші элементтерге бөледі және олардың қозғалысын кеңістікте қарастырады. Мысалы, ая ағынының қабырғаға түсіретін қысымын анықтағанда, импульстік түрдегі Ньютоның екінші заңын қолдануға болады:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i t = \sum \Delta m_i \Delta \vec{v},$$

мұндағы Δm_i – ая ағынының элементі, $n - t$ уақыт аралығында қабырғамен соқтығысқан ая ағынының элементтер саны, \vec{F}_i – ая ағынының элементінен туындаған қысым күші.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай сұйықты идеал деп атайды?
2. Ағын сзызықтары дегеніміз не? Ағын түтігі дегеніміз ше?
3. Сендер сұйық пен газ ағыстарының қандай түрлерін білесіндер? Олардың айырмашылықтары қандай?
4. Сұйық пен газ қозғалысының кинематикалық сипаттамасының мәні неде?



1. Қабырғага 200 Па қысым түсіретін желдің жылдамдығын анықтаңдар. Жел қабырғага перпендикуляр соғады. Ауа тығыздығы $1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$.
2. Биіктігі 30 м, ұзындығы 50 м үйдің қабырғасына құйынды желдің түсіретін қысым қүшін анықтаңдар. Желдің жылдамдығы $40 \text{ м}/\text{с}$ және қабырғага 30° бұрышпен бағытталған. Жел қысымын атмосфералық қысыммен салыстырыңдар. Қабырғага жақын ауа ағынын ламинарлық деп алындар.
3. Егер диаметрі 13 мм ламинарлық ағыстың максимал көтерілу биіктігі 2 м болса, оның су бетіне тұсу нүктесіндегі жылдамдығы мен су бетіне түсіретін қысым қүшін анықтаңдар. Ағын құрылғысы бұрқақтағы судың бос бетінің деңгейінде көкжиекке 45° бұрыш жасай бекітілген. Ауа кедергісін ескермендер.

Эксперименттік тапсырма

Өзен (арық) жағасындағы су ағынының жылдамдығын анықтаңдар. Өлшеніп отырған бөліктегі ағыс түрін сипаттаңдар. Өзенде (арықта) турбуленттік ағысы бар бөліктердің бар-жоғын анықтаңдар. Қандай шарттарда ағыс турбуленттік болады?

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. Гидродинамиканың негізін салушылар.
2. Ауа райын болжағанда гидро- және аэродинамика заңдарын қолдану.
3. Ламинарлық ағысы бар басқарылатын бұрқақтар: құрылымы мен жұмыс істеу принципі (75-сурет).



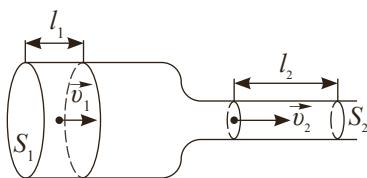
75-сурет. Ламинарлық ағысы бар бұрқақ, Нұр-Сұлтан қ.

§ 15. Үзіліссіздік теңдеуі. Бернулли теңдеуі. Көтергіш күш

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

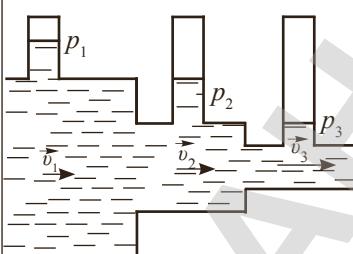
- үзіліссіздік теңдеуі мен Бернулли теңдеуін эксперименттік, сандық және сапалық есептер шығаруда қолдана аласындар.



76-сурет. Қималары әртүрлі ағын тутігі

Өз тәжірибелен

Сүмен толтырылған әртүрлі қималары түсіз түтіктегі қысымды мынадай жағдайларда өлшеңдер: 1) су тыныштықта тұр; 2) су түтік бойымен ағады (77-сурет).



77-сурет. Түтіктің әртүрлі қималарындағы сүйиқтың қысымының өлишесі

1-тапсырма

Қимасы кіші түтіктегі қысымының төмендеуін Ньютоның екінші заңы мен үзіліссіздік теңдеуі негізінде түсіндіріндер.

I Сүйиқ пен сығылмайтын газ үшін үзіліссіздік теңдеуі

Ағын түтігінің аудандары S_1 және S_2 жылдамдықтары сәйкесінше v_1 және v_2 екі кимасын қарастырайық (76-сурет). Түтіктегі сүйиқ қозғалысы стационар болсын делік. Стационар қозғалыс кезінде барлық бөлшектер кеңістік нүктелерінен өздеріне сәйкес жылдамдықтарымен өтеді. Δt уақыт аралығында S_1 кимасы арқылы көлемі $V_1 = S_1 l_1 = S_1 v_1 \Delta t$ сүйиқ өтеді. S_2 екінші қима арқылы осы уақыт ішінде көлемі $V_2 = S_2 l_2 = S_2 v_2 \Delta t$ сүйиқ өтеді. Сығылмайтын сүйиқ үшін $V_1 = V_2$, демек:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ немесе}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Алынған қатынасты үзіліссіздік теңдеуі деп атайды.

Сығылмайтын сүйиқтың жылдамдықтарының модульдері ағын түтігінің қималарының аудандарына көріпропорционал.

II Қозғалыстағы сүйиқ пен газдағы қысым

Айнымалы қимасы бар түтіктегі сүйиқ қысымын сүйиқтық манометрінің көмегімен анықтайық (77-сурет). Тәжірибеден түтіктің көң белілтеріндегі қысым оның тар белілтеріндегі қысымға қарағанда көп екені белгілі болды. Үзіліссіздік теңдеуі негізінде түтіктің қимасы үлкен белілгінде ағыс жылдамдығы азырақ екені анықталды.

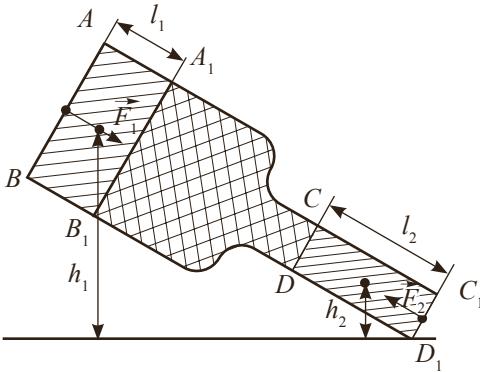
Сүйиқтың стационар ағысы кезінде ағыс жылдамдығы аз болған белілкте қысым көп болады.

Сүйиқ қысымының оның стационар ағысының жылдамдығына тәуелділігін математикалық түрде 1738 жылы швед физигі Даниил Бернулли анықтады.

III Бернулли теңдеуі

Түтікте немесе құбырда қозғалып бара жатқан идеал сүйиққа қолданылатын энергияның сақталу заңы Бернулли теңдеуі деген атап алды.

Айнымалы қимасы бар ток түтігі көкжиекке қандай да бір бұрышпен орналасқан делік (78-сурет).



78-сурет. Идеал сұйықтың қимасы әртүрлі түтіктегі ағыны

Құбырдың кең бөлігінде AB қимасымен және тар бөлігінде CD қимасымен шектелген сұйық көлемін бөліп алайық. Ауырлық күші мен \vec{F}_1 және \vec{F}_2 сыртқы қысым күштерінің әсерінен сұйықтың бөлініп алынған көлемі Δt аз уақыт аралығында құбырдың A_1B_1 мен C_1D_1 қималарымен шектелген бөлігін алады. 78-суреттің көрсеткішінде A_1B_1 және CD қималарының арасындағы сұйық энергиясы өзгеріссіз калады деген қорытындыға көлеміз. Сыртқы күштердің жұмысы AB және A_1B_1 қималарымен шектелген сұйықтың, құбырдың CD және C_1D_1 қималарымен шектелген тар бөлігінен еткен кездегі энергиясының өзгерісімен анықталады:

$$A = \Delta E. \quad (1)$$

\vec{F}_1 және \vec{F}_2 сыртқы күштердің жұмысын анықтайық:

$$A = A_1 + A_2 = F_1 l_1 - F_2 l_2 = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t, \quad (2)$$

Мұндағы $F_1 = p_1 S_1$, $F_2 = p_2 S_2$, $l_1 = v_1 \Delta t$, $l_2 = v_2 \Delta t$.

Бөлініп алынған сұйық көлемінің бір күйден екінші күйге өткен кездегі толық механикалық энергиясының өзгерісін потенциалдық және кинетикалық энергияның өзгерістерінің қосындысы ретінде анықтайық:

$$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p = \frac{1}{2} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) + \rho g (S_2 l_2 h_2 - S_1 l_1 h_1) \quad (3)$$

(2) және (3) теңдеулерді (1) теңдеуге апарып қояйық және $S_1 v_1 \Delta t - S_2 v_2 \Delta t = \Delta V$ екенін ескерсек:

$$(p_1 - p_2) \Delta V = \frac{1}{2} \rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) + \rho g \Delta V (h_2 - h_1).$$

ΔV -ға қысқартсақ, теңдік мына түрге ие болады:

$$(p_1 - p_2) = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_2 - \rho g h_1,$$

$$\text{бұдан } p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \quad (4)$$

$$\text{немесе } p + \rho g h + \frac{\rho v^2}{2} = \text{const}. \quad (5)$$

Жауабы қандай?

- Бернулли теңдеуін қорытқанда сыртқы күштің \vec{F}_2 жұмысы неліктен теріс таңбамен алынған?
- Түтіктегі сұйыққа әсер ететін \vec{F}_1 және \vec{F}_2 сыртқы күштерін қандай құрылғылар тудыруы мүмкін?
- Егер сұйықты түтіктің немесе құбырдың тар бөлігінен кең бөлігіне қарай бағытасақ, не болады?

2-тапсырма

- Қималары әртүрлі көлденең құбырда;
- ұштары ашық көлбеу құбырларда ағатын сұйықтар үшін Бернулли теңдеуін жазындар.

Алынған (4) және (5) өрнектерді идеал сұйық үшін Бернулли теңдеуі немесе қозгалатын сұйық пен газ үшін энергия тығыздығының сақталу заңы деп атайды.

Бернулли теңдеуіне сәйкес:

Сұйықтың қалыптасқан ағынындағы толық қысым осы ағынның бойында тұрақты болып қалады.

Толық қысым ρgh салмақтық, ρ статикалық және $\frac{\rho v^2}{2}$ динамикалық қысымдардан тұрады.

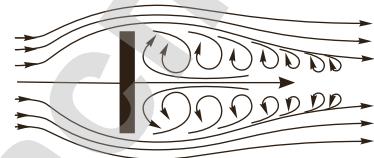
IV Қанаттың көтергіш күші

Аудағы денелердің қозгалыс заңдылығын зерттеуге арналған негізгі жабдық аэродинамикалық құбыр болып табылады. Құбырдың бір үшіна қуатты желдеткіш орнатылады, оны электрқозгалтқыш арқылы айналдырамыз (79-сурет). Оларда тек үлгілер ғана емес, сонымен қатар шын ұшақтар да зерттеледі, аэродинамикалық құбырлар әртүрлі өлшемде болуы мүмкін.

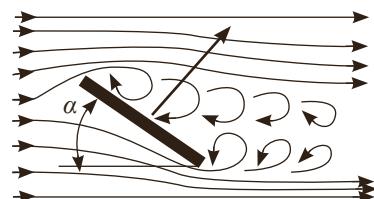


79-сурет. Аэродинамикалық құбырда ұшақ үлгісін сынай

80-суретте жазықтығы аэродинамикалық құбырдағы ағынға перпендикуляр бағытталған пластиның қапталдай ағу көрінісі берілген. Ауа тығыздығы пластиның алдында артады, ал артында кемиді. Ауа сиретілген кеңістікке қарай бағытталады және құйын тудырады. Алайда осы уақытта пластина тігінен орын ауыстырмайды. Егер пластина мен ауа ағыны арасында сүйір бұрыш түзілсе, онда қысымдар айырымы аэродинамикалық қүш тудырады, пластина көтеріледі (81-сурет) немесе төмен түседі. Бұрылу бұрышы шабуыл бұрыши деп аталады, оны гректің α ерпімен белгіленеді.



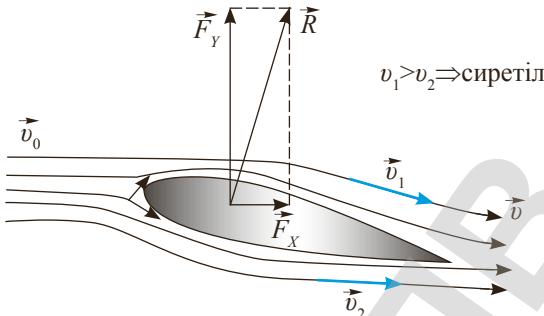
80-сурет. Ауа ағынның ағын бағытына перпендикуляр жазық пластинаның қапталдай ағуы



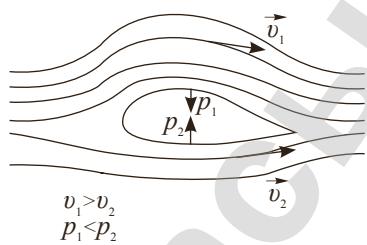
81-сурет. Аэродинамикалық қүш шабуыл бұрышина тәуелді

Аэродинамикалық күш шабуыл бұрышынан ғана емес, ол қанаттың симметриялық емес профилінен де туындайды. Қанат үстіндегі ая ағынының жылдамдығы қанат астындағы қараганда көп болады, себебі үстіңгі бөлік көбінесе деңестеу болып келеді (82-сурет). Бернулли теңдеуіне сәйкес қанаттың төмөнгі бөлігінің қысымы үстіңгі бөлігінен азайып қараганда көбірек болады. Қанатқа келетін ағынының жылдамдығы артқан сайын F_y көтергіш күш мен F_x маңдайлыш кедергі күшине жіктелетін R аэродинамикалық күште, қысымдар айырымы да көбірек болады (83-сурет).

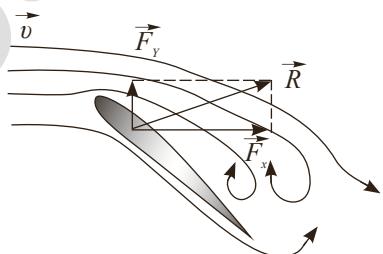
Көлбей бұрыш артқан сайын, көтергіш күш өседі, маңдайлыш кедергі азаяды. Шабуыл бұрышының мәні кезінде ағын қанаттың бетінен ажырайады, көтергіш күш жоғалады, кедергі күші бірден өседі. Ұшак «штопорға» кіреді (84-сурет).



83-сурет. F_y көтергіш күш пен F_x маңдайлыш кедергі күши – аэродинамикалық R күшінің құраушылары



82-сурет. Аэродинамикалық күш қанат қимасының пішініне тәуелді



84-сурет. Шабуылдың сындық бұрышы ұшақты «штопорға» кіргізеді

Бұл қызық!

Аэродинамиканы дамытуда «орыс авиациясының атасы» Николай Егорович Жуковский (1847–1921) алғатын орны ерекше. Жуковский ең алғаш қанаттың көтергіш күшінің пайдасын түсіндірді және осы күшті есептеу теоремасын тұжырымдады.

Бақылау сұрақтары

1. Үзіліссіздік теңдеуін тұжырымдаңдар. Ол қандай сұйықтар мен газдар үшін орындалады?
2. Түтіктегі сұйықтың қысымы сұйық ағынының жылдамдығына қалай тәуелді?
3. Бернулли теңдеуі қандай шамалардың қатынасын орнатады?
4. Қандай күшті маңдайлыш кедергі күші деп атайды? Қандай күшті көтергіш күш деп атайды?

1. Көлденең құбырдың кең бөлігіндегі су $1,5 \cdot 10^5$ Па қысымда 8 см/с жылдамдықпен ағады. Құбырдың тар бөлігінде қысым $1,4 \cdot 10^5$ Па. Үйкеліс күшін ескермей, құбырдың тар бөлігіндегі ағыс жылдамдығын анықтаңдар.
2. Құбырдың кең бөлігінде мұнай 2 м/с жылдамдықпен ағады. Егер құбырдың кең және тар бөліктеріндегі қысымдардың айырымы 50 мм сын. бағ. болса, онда оның тар бөлігіндегі мұнай ағысының жылдамдығы қандай?
3. Қимасы айнымалы көлденең құбыр бойымен су ағып жатыр. Құбырдың тар және кең бөліктеріндегі көлденең қималарының аудандары сәйкесінше 10 см^2 және 20 см^2 . Қорсетілген қималардағы су бағандарының қысымдарының айырымы 200 мм сын. бағ. Құбырдың еркін қимасы арқылы 1 с ішінде өтетін су көлемін анықтаңдар.
4. Құбыр көлденең орналасқан. Құбырдың диаметрі D кең бөлігінде поршень орналасқан, оған F тұрақты күші әсер етеді. Құбырдың тар бөлігінің диаметрі d , одан су ағыны ағады. Поршеньнің орын ауыстыру жылдамдығын анықтаңдар. Үйкелісті ескермәндер.

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындандар (таңдау бойынша):

1. Батпирауықты дайындау мен ұшыру технологиясы.
2. Ұшақтың ұшу режимдері.
3. Суағынды сорғының, карбюратордың құрылымы мен жұмыс істеу принципі.

§ 16. Тұтқыр сұйық ағыны. Стокс формуласы. Денелерді қапталдай ағу

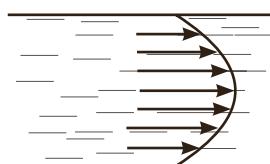
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:
• эксперименттік, сандық және сапалық есептерді шығаруда Торричелли мен Стокс формулаларын пайдалана аласыңдар.

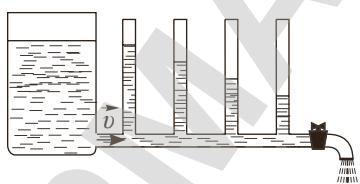


Жауабы қандай?

- Неліктен сұйық желім төменгі температурада созылмалы болып қалады?
- Неліктен май тамшысы шыны бетімен су тамшына қарағанда ақырын ағады?



85-сурет. Құбыр ортасында судың ағыс жылдамдығы максималь мәнге ие болады



86-сурет. Сұйық қысымының ағыс бағыты бойынша төмендеуі

I Тұтқыр сұйық ағыны

Құбырдағы немесе өзендердегі сұйық қабаттарының ағыс жылдамдығы бірдей емес. Құбырдың шетіндегі немесе өзен жағасы мен түбіндегі жылдамдық су ортасындағы жылдамдығының құбырдың қимасындағы өзгерісі бейнеленген: жылдамдық қабырға жаңында нөлден басталып, ортасында максимал мәнге дейін жетеді. Жылдамдықтардың әртүрлі болуы сұйықтың тұтқырлығына байланысты немесе оның қабаттары арасындағы ішкі үйкеліс күшінің әсерімен түсіндіріледі.

Тұтқырлық – реал сұйықтардың бір бөлігінің екіншісіне қатысты орын ауыстыруына кедегі көлтіру қасиеті.

Температура төмендеген сайын сұйықтың тұтқырлығы арта түседі. Өзендердегі судың жылдамдығы күз мезгілінде азаяды, ал қыс мезгілінде мұлдем тоқтатуы мүмкін.

Ішкі үйкеліс күшінің болуы қысымының сұйық ағысының құбыр бойымен бағыты бойынша төмендеуіне алып келеді: құбырдың басынан алыстаған сайын, сұйық ағынының қысымы да азая береді. Бұған 86-суретте бейнеленген аспапты қолданып, тәжірибе жасау арқылы көз жеткізуге болады.

Егер аспаптың шүмегі жабық болса, онда барлық манометрлік тұтқітерде сұйық деңгейі бірдей болады, себебі тыныштықта тұрган сұйықтарда үйкеліс күші болмайды. Су құбырларында құбырдағы қысымының түсін ескеру қажет, ашық тұрган шүмектер саны көп болған сайын су тез ағады және судың қысымы тез түсетін болады. Құбырда сұйықтың ста-



Есте сақтандар!

Қималары әртүрлі су құбырларындағы қысымының кемуіне әсер ететін факторлар: құбыр қимасы ауданының кішіреоі, сұйықтың тұтқырлығы.

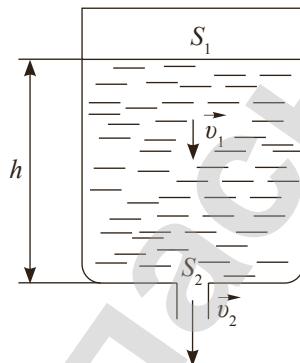
ционар ағысын ұстап тұру үшін оның кірісі мен шығысындағы қысымдардың айырымы қажет.



1-тапсырма

Бернулли теңдеуін пайдаланып, ыдыстың тесігінен ағатын судың жылдамдығын есептеу формуласын қорытып шығарыңдар (87-сурет). Э.Торичелли алған формуламен салыстырыңдар:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$



87-сурет. 1-тапсырмага



Жаубы қандай?

Неліктен тесігі бар ыдыстағы идеал сұйықтың баған биіктігінің азаюы тесік арқылы өтетін сұйықтың ағу жылдамдығының мәніне әсер етпейді?

II Сұйықтар мен газдардағы денелердің қозғалысы. Стокс формуласы

Денелердің сұйықтар мен газдардағы қозғалысы кезінде кедергі күші пайда болады. Олардың пайда болуының екі себебі бар:

- 1) ортаның дene бетіне үйкелуі;
- 2) денені қапталдай ағу кезінде сұйық немесе газ ағынының өзгеруі.

Ортаниң маңдайлық кедергі күші ортаниң тұтқырлығына және дененің қозғалыс жылдамдығына, оның өлшемдері мен пішініне тәуелді.



88-сурет. Вискозиметр

Тұтқыр сұйыққа немесе газға құлаған шарға әсер ететін маңдайлық кедергі күші гидродинамикаға зор үлес косқан ағылшын физигі Джордж Габриел Стокстың құрметіне аталған Стокс формуласымен анықталады:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

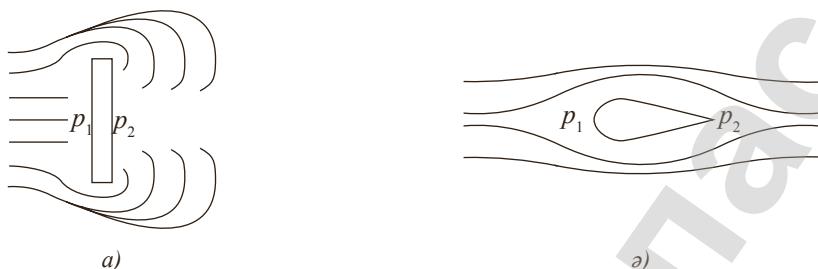
мұндағы: η – сұйықтың немесе газдың ішкі үйкеліс коэффициенті немесе динамикалық тұтқырлық, өлшем бірлігі $[\eta] = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$; r – шар радиусы; v – шардың жылдамдығы.

Стокс формуласы сұйықтардың тұтқырлығын анықтауға мүмкіндік береді. Сұйық тұтқырлығын анықтауға арналған құралды *вискозиметр* деп атайды. Геплер вискозиметрінің әрекеті Стокс заңына негізделген, ол тұтқыр орта орналасатын түтік түрінде жасалған (88-сурет). Тұтқырлық құлап бара жатқан шарлардың вискозиметр тұтігіндегі белгілер арасынан өту жылдамдықтары бойынша анықталады, ал өлшеу қателігі 1–3 % аралығында болатын өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

III Денелерді қапталдай ағу

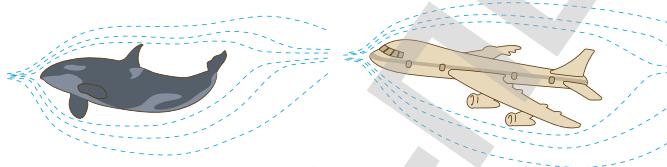
Сұйық немесе газ ағысының өзгерісінен туындаған кедергі күшін азайту үшін қатты денелерге қапталдай ағуға ыңғайлы пішін беріледі. 89-суретте пластина айналасындағы және сүйір пішіндегі денелер айналасындағы ағын сзықтары

көрсетілген. Пластинаның артындағы бөліктеге ретсіз құйынды қозғалыс аймағы түзіледі, мұнда қысым өте төмен болады (89, a-сурет), ал қапталдай сүйір пішінді дене ағын сызықтарын сәл ғана бұзады (89, ə-сурет).



89-сурет. Ортаниң кедергі күшидененің пішініне тәуелді

Жылдамдықтың аз мәнінде дененің алдыңғы бөлігінде қысымның артуы артқы бөліктеге қысымды кемітуден маңызды емес, сондыктан артқы бөліктің сүйір пішінді болуы бұл жағдайда өте маңызды (90-сурет). Ұшактардың, дирижабльдердің, суасты қайықтарының, тез жүзетін теңіз жануарлары – дельфиндердің, акулалардың, киттердің пішіндері осында болады.



90-сурет. Жылдамдықтар аз болған кезде қапталдай ауга ыңғайлыш сүйір пішін құрылғының артқы бөлігіне беріледі

Асқындыбысты жылдамдықпен қозғалғанда ауа кедергісі дененің алдыңғы бөлігінде қатты өседі. Асқындыбысты жылдамдықпен қозғалатын ұшактардың, зымыран мен снарядтардың тұмсық бөліктеріндегі сығылған ауа дененің қозғалыс бағыты бойымен тарамайтын болғандықтан, өте қуатты дыбыстық тосқауыл пайда болады. Ауа тартылған садақ адырнасы сияқты, ауа кедергісін азайту үшін қозғалып бара жаткан дененің алдыңғы бөлігін сүйір ету керек (91-сурет). Осы мақсатпен асқындыбысты жылдамдықтағы ұшактар ауа тығыздығы едәуір азаятындаидай биіктікке көтеріледі.



Жауабы қандай?

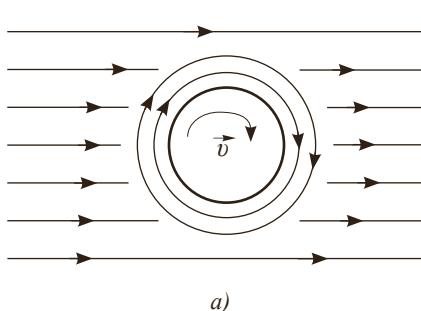
1. Жылдамдығы аз болған кезде неліктен ұшактың құйырық бөлігі, ал асқындыбысты жылдамдық кезінде тұмсық бөлігі қапталдай ауга ыңғайлыш сүйір пішінде болуы керек?
2. Асқындыбысты жылдамдықпен қозғалатын ұшактарда реактивті тарту күшин туындалату үшін неліктен зырылдауық (пропеллер) емес реактивті қозғалтыш пайдаланылады?
3. Барлық денелер үшін ауа немесе сұйық кедергісін есептейтін бірыңғай формула неге жоқ?



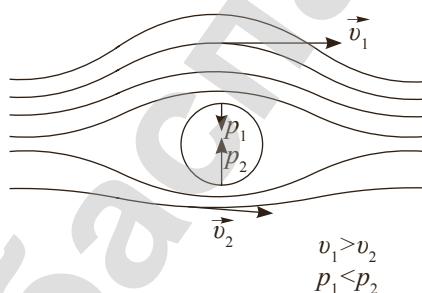
91-сурет. Асқындыбысты жылдамдық кезінде ұшактың алдыңғы бөлігіне қапталдай ауга ыңғайлыш пішін берілген

IV Магнус эффектісі. Ауа циркуляциясы

Бірқалыпты ауа ағынының айналатын цилиндрді қапталдай ағуын қарастырайық. Айналу кезінде цилиндр әсерінен ауаның оған жанасатын қабаттары (92, *a-сурет*) айналмалы қозғалыс жасайды. Ілгерілемелі және айналмалы қозғалыс жылдамдықтарының қосылуы цилиндр айналасындағы ауа ағыны жылдамдығының өзгерісіне алып келеді: $v_1 > v_2$ (*92, ә-сурет*). Нәтижесінде цилиндрге түрлі жактардан әсер ететін қысым әртүрлі болады. Бернулли занының негізінде қысым: $p_1 < p_2$. Цилиндрге түсірілген күштердің теңәсері ағын бағытына перпендикуляр бағытталады, цилиндр көтеріледі.



a)

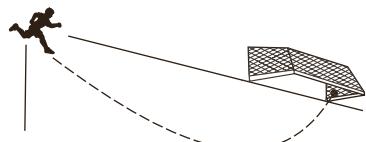


ә)

92-сурет. Ауа қабатының циркуляциясы нәтижесінде көтергіш күштің пайда болуы

Айналып жатқан доптың маңайындағы ауа циркуляциясы оның қозғалыс бағытының өзгеруімен түсіндіріледі, соның арқасында футбол алаңының бұрышынан гол соғуға мүмкіндік туады (*93-сурет*).

Ауа айналып жатқан деңені қапталдай аққанда ағынга перпендикуляр күштің пайда болуы осы құбылысты зерттеген неміс ғалымының құрметтіне Магнус эффектісі деп аталған.



93-сурет. Магнус эффектісінің нәтижесінде доптың ұшу траекториясының өзгеруі

2) Жауабы қандай?

Жеңіл мәшинелерде неліктен спойлер орнатылады (*94-сурет*)?



94-сурет. Спойлері бар автокөлік



2-тапсырма

Магнус эффектісі байқалатын құбылыстар тізімін жалғастырындар: бумерангтың ұшуы, дауылдың үй шатырын жүлгіп алуы, қатты желдің қолшатырды ұшыруы.

Бақылау сұрақтары

- Сүйиқтың тұтқырлығы дегеніміз не?
- Ішкі үйкеліс күші құбырлардағы сүйиқтың ағыс жылдамдығына қалай әсер етеді?
- Сүйиқтар мен газдарда қозғалысқа кедергі күштердің пайда болу себептерін атаңдар.
- Сүйиқ тұтқырлығын қалай анықтайды? Ол қандай өлшем бірлігімен өлшениді?
- Магнус эффектісінің мәні неде?
- Айналып жатқан дене мен ұшақ қанатындағы көтергіш күштің пайда болу себептерінің айырмашылығы қандай?
- Қандай күшті маңдайлық кедергі күші деп атайды? Қандай күшті көтергіш күш деп атайды?



Жаттығу

16

- Су толтырылған биіктігі 50 см болатын бактың түбінде ауданы 1 см^2 тесік бар, ол бак қимасының ауданынан едәуір кіші. Егер тесікті ашсақ, онда одан су ағатын болады. Бак түбінен 20 см төмен биіктікте ағын қимасының ауданы неге тең?
- Бұрқақтың тік ағынының көлденең қимасының ауданы қандай биіктікте түтік шығу тесігінен 3 есе үлкен болады? Шығу тесігіндегі судың жылдамдығы 9 км/сағ. Ауа кедергісін ескермендер.
- Су құбырында қимасының ауданы 4 мм^2 тесік пайда болды, одан тік жоғары қарай 80 см биіктікке су атқыладап ағып жатыр. Тәулік ішінде құбырдан судың қандай мөлшері ағып шығады?
- Шар тұрақты жылдамдықпен сүйиқта жүзіп бара жатыр, сүйиқтың тығыздығы шар жасалған материалдың тығыздығынан 4 есе артық. Шарға әсер ететін үйкеліс күші осы шардың салмағынан неше есе артық?
- Егер ауаның динамикалық тұтқырлығы $1,2 \cdot 10^{-5}$ Па·с болса, диаметрі $d = 0,3$ мм жаңбыр тамшысының ең үлкен жылдамдығы қандай болады?
- Диаметрі 1 мм болат шар майсана (кастор) майымен толтырылған үлкен тұрақты жылдамдықпен құлайды. Майсана майының динамикалық тұтқырлығын анықтаңдар. Майсана майының тығыздығы – 900 кг/м³.

Эксперименттік тапсырма

Магнус эффектісін көрсететін тәжірибелі түсіндіретін бейнеказба дайындаңдар.

5-тараудың қорытындысы

Үзіліссіздік теңдеуі	$S_1 v_1 = S_2 v_2$
Бернулли теңдеуі	$p_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$ $p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const$
Торричелли формуласы	$v_2 = \sqrt{2gh}$
Стокс формуласы	$F = 6\pi\eta rv$

Гидро- және аэродинамиканың негізгі теңдеулері

Үзіліссіздік теңдеуі: Сығылмайтын сұйықтың жылдамдықтарының модульдері ағын түтігінің қималарының аудандарына көрі пропорционал.

Бернулли теңдеуі: Сұйықтың қалыптасқан ағынындагы толық қысым осы ағынның бойында тұрақты болып қалады.

Глоссарий

Гидро- және аэродинамика – механиканың сұйықтар мен газдардың қозғалысын, қозғалыс-тағы сұйықтар мен газдардың қатты денелермен өзара әрекеттесуін зерттейтін бөлімі.

Идеал сұйық – тұтқырлығы мен сығылуын ескермеуге болатын сұйық.

Ағын сзызығы – жанамаларының бағыты кеңістіктің кез келген нүктесінде сұйық ағыны жылдамдығының бағытымен сәйкес келетін сзызыктар.

Ағын элементі – сұйықтың (газдың) қозғалыс кезінде пішінін өзгерісін ескермеуге болатын шартты түрде бөлінетін аз көлемі.

Ламинарлық ағыс – сұйық қабаттарының араласып кетпей, бір-біріне қатысты жылжуы.

Турбуленттік ағыс – сұйық қабаттары араласып, иірімдердің пайда болуы.

Стационар ағыс – кеңістіктің барлық нүктесіндегі сұйық элементтері жылдамдығы уақыт бойынша өзгермейтін ағыс.

Тұтқырлық – реал сұйықтардың бір бөлігінің екіншісіне қатысты орын ауыстыруына кедері келтіру қасиеті.

Вискозиметр – сұйық тұтқырлығын анықтауға арналған құрал.

Органың мәндайлық кедергі қүші органың тұтқырлығына, сонымен катар дененің қозғалыс жылдамдығына, оның өлшемдеріне және пішініне тәуелді.

Молекулалық физикада жылу процестерін зерттеу үшін екі әдіс пайдаланылады: статистикалық және термодинамикалық.

Статистикалық әдістің негізінде молекулалық-кинетикалық теория жатыр. Атапған теорияда физикалық процестерді заттың ішкі құрылымы туралы білім негізінде қарастырады.

Заттың ішкі құрылымы туралы түсініктерді қолданбай-ақ, термодинамика заңдарының негізі мен жүйені тұмастай сипаттайтын параметрлер температура, қысым және көлемді пайдаланып, жылу құбылыстарын зерттеуге арналған әдісті – термодинамикалық әдіс дегендейтайды.

6-ТАРАУ

МОЛЕКУЛАЛЫҚ-КИНЕТИКАЛЫҚ ТЕОРИЯ НЕГІЗДЕРІ

Заттың атомдық құрылышы туралы гипотезаны ең алғаш Демокрит ұсынды. Молекулалық-кинетикалық теорияны жасауға орыс ғалымы М. Ломоносов, неміс физигі Р.Клаузиус, ағылшын физиктері Дж.Джоуль, Дж.Максвелл, аустрия физигі Л.Больцман зор үлес қосты. ХХ ғасырға таман әртүрлі заттардың молекулаларының өлшемі, олардың массалары мен жылдамдықтары өлшеніп, молекулаларда атомдардың орналасуы анықталды, яғни заттар құрылышының молекулалық-кинетикалық теориясы түбегейлі аяқталған болатын.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

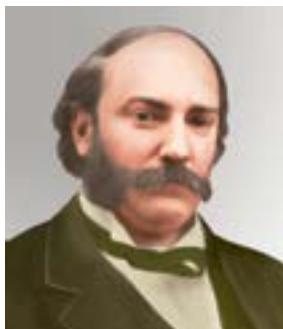
- молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы мен температуралың байланысын сипаттауды;
- идеал газ моделін сипаттауды;
- есептер шығаруда молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеулерін қолдануды үйренесіндер.

§ 17. Газдардың молекулалық-кинематикалық теориясының негізгі қағидалары және олардың тәжірибелік дәлелдемелері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың изергенде:

- МКТ негізгі қағидаларына дәлелдер көлтіруді;
- жылулық құбылыстарды МКТ негізінде түсіндіруді, молекуланың массасы мен өлшемін, молекулалар саны мен зат мөлшерін есептеуді үйренесіңдер.



Джон Уильям Стретт лорд Рэлей (1842–1919) – ағылшын физигі, механик, 1904 жылы «Газ тәріздес элементтердің тығыздығын зерттегені және осыған байланысты аргонды ашқаны үшін» Нобель сыйлығын алған. 1879 жылы Кембридж университетінің профессоры және Кавендиш зертханасының директоры, 1908–1919 жылдары Кембридж университетінің президенті болды.



95-сурет. Мұнайдың төгілдүi

I Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидалары

Диффузия және броундық қозғалыс, сұйықтың жұғуы және капилляр бойынша көтерілуі, кебу мен қайнау, балқу мен кристалдану сиякты құбылыстарды МКТ – молекулалық-кинетикалық теория және оның үш қағидасы негізінде оңай түсіндіруге болады:

1. Барлық заттар бөлшектерден – араларында бос араликтары бар молекулалар мен атомдардан тұрады.
2. Заттың бөлшектері үздіксіз және бейберекет қозғалыста болады.
3. Зат бөлшектері бір-бірімен өзара әрекеттеседі.

II МКТ I қағидасының тәжірибелік дәлелдемесі

МКТ I қағидасының сенімді дәлелі – ағылшын физигі Дж. Рэлейдің молекулалардың массалары мен өлшемдерін анықтауды болып табылады.

Ол олеин майының тамшылары су бетінде қалыңдығы бір молекуланың қалыңдығындағы қабатпен жайылады деп болжап, оның өлшемін анықтады:

$$d = \frac{V}{S},$$

мұндағы d – молекула диаметрі, V – тамшы көлемі, жайылған тамшының көлемі, S – тамшы ауданы.

Молекуланың көлемін $V_0 = d^3$ деп алып, заттың барлық көлеміндегі молекулалар санын анықтады:

$$N = \frac{V}{V_0}.$$



Назар аударындар!

Мұхит бетінде қалыңдығы 1/16 мкм жұқа қабат түрінде жайылған 1 тонна мұнай 12 км² ауданды алады.



Өз тәжірибел

1. Молекуланың өлшемі шамамен, 10^{-9} м деп алып, оқылытың бір бетіндегі молекулалар санын анықтандар.
2. Қолдан жасалған палетка көмегімен мұнай дағының ауданын анықтандар. Түсірілім масштабын М 1:100000 деп алыңдар (95-сурет).

Тамшы массасы мен ондағы молекулалар саны белгілі болғанда, Дж.Рэлей бір молекуланың массасын есептеп шығарды:

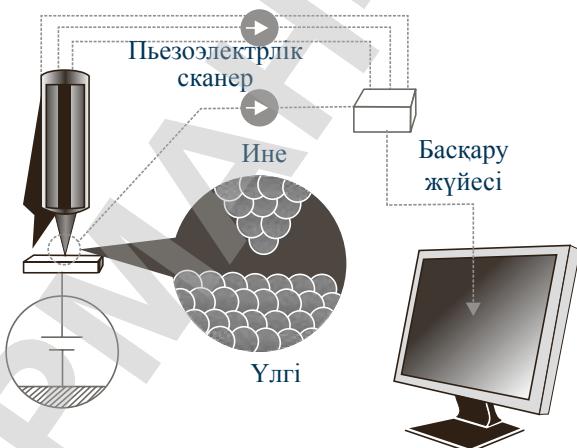
$$m_0 = \frac{m}{N}.$$

Рэлей әдісі бойынша жүргізілген тәжірибе молекула өлшемі шамамен 10^{-9} м, ал оның массасы жуық шамамен 10^{-26} кг болатынын көрсетті.

Ғалымдар электронды, одан кейін туннельдік микроскоптарды ойладап тапқанда, МКТ I қағида-сының дұрыстығына еш күмән қалмады.

Жұмыс істеу принципі заттардың беттерін сканерлеуге негізделген туннельдік микроскоптың арқасында, молекулалар мен атомдардың орналасуының суреттері алынған (97-сурет).

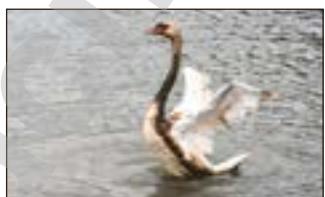
Сканерлеуші туннельдік микроскоптың металл инесі нысанның үстінде одан нанометрден де кіші арақашықтықта сырғанайды (98-сурет). Қозғалыс кезінде инеге аз ғана потенциал беріледі, нәтиже-сінде ине мен үлгі арасында туннельдік ток түзіледі, үлгідегі электрондар инеге дейінгі арақашықтықты жүріп өтіп, инеге өтеді. Электрондар саны ине үшінә дейінгі қашықтықка тәуелді, сондықтан туннельдік токтың шамасын анықтай отырып, ғалымдар үлгі бетіндегі рельефтің қандай болатынын түсіне алады. 1986 жылы Цюрихтегі IBM компаниясының зерттеу орталығының қызметкерлері Г.Биннинг пен Г.Рорерге осы жетістіктері үшін Нобель сыйлығы берілді.



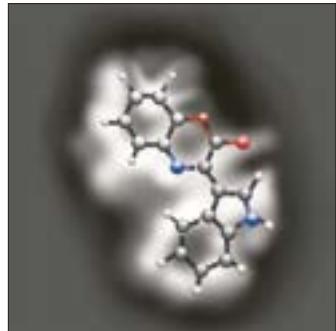
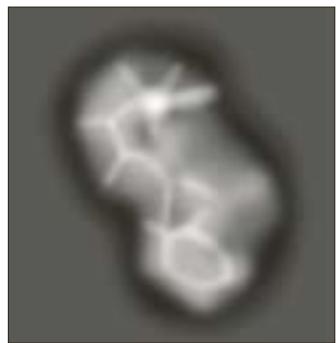
98-сурет. Туннельдік микроскоптың жұмыс істеу принципі

Жауабы қандай?

1. Жүк көтергіштігі 550 мың тонна танкереңден төгілген мұнайдың ауданының анықтаңдар. Оны Каспий теңізінің ауданымен салыстырыңдар (371000 km^2).
2. Мұнайдың төгілігі қандай экологиялық мәселелерді тудырады (96-сурет)?



96-сурет. Мұнай төгілген аймақта құстар мен жануарлардың қырылуы



97-сурет. Заттағы молекулалардың орналасуының суреті

III Салыстырмалы молекулалық және мольдік масса. Зат мөлшері. Авогадро саны

Салыстырмалы молекулалық масса, мольдік масса, зат мөлшері және олардың өлшем бірліктері Халықаралық өлшемдер мен салмақтардың Бас конференциясында енгізілген. Бұл шамалар сендерге химия курсынан белгілі. Оларды еске түсірейік:

7-кесте. МКТ негізін шамалары

Анықтама	формула	Өлшем бірлік
Заттың салыстырмалы молекулалық массасы $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{oc}}$ – осы зат молекуласы массасының көміртек атомы массасының $1/12$ бөлігіне қатынасына тең шама.	$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{oc}}$	Өлшем бірлігі болмайды
Зат мөлшері – берілген денедегі молекулалар санының $0,012$ кг көміртектең атомдар санына қатынасына тең шама. Моль – 12 г көміртекте қанша атом болса, сонша молекуладан тұратын зат мөлшері.	$v = \frac{N}{N_A}$ $v = \frac{m}{M}$	$[v] = 1$ моль
Мольдік масса – бір моль мөлшеріндегі алынған заттың массасы.	$M = m_0 N_A$ $M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$	$[M] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$

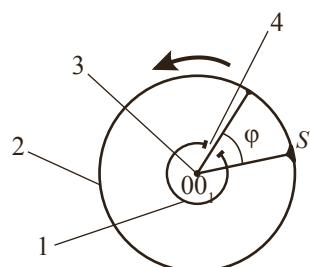
IV Штерн тәжірибесі МКТ II қағидасының дәлелдемесі ретінде

1920 жылы неміс физигі Отто Штерн молекулалардың орташа жылдамдықтарын анықтау үшін тәжірибе жүргізді. Ол көлденең жазыққа 00_1 осін айналған қозғалатын (1) және (2) екі коаксиалді цилиндрлік беттерді бекітті (*99-сурет*). Ішкі цилиндрдің тар тесігі (4) болды. Барлық жүйе вакуумда орналасқан. Ол 00_1 осі бойына күміспен қапталған және жоғары темпера турага дейін қыздырылған платина сым (3) орналас тырды. Күміс атомдары булаңып, ішкі цилиндрдің (1) қабырғасындағы тар тесік арқылы өтіп, сыртқы цилиндрдің ішкі бетіне дейін ұшып жетіп, онда тесікке қарама-қарсы жіңішке жолақ ретінде тұнатын болған. Цилиндрлер ω бұрыштық жылдамдықпен айналған кезде, сыртқы цилиндр атомдарға екінші цилиндрдің қабырғасына жету үшін қажетті t уақыт аралығында ϕ бұрышқа бұрылатын. Нәти же сінде атомдар алдыңғы жолақтан S қашықтықта бұлышыңыр жолақтар сияқты тұнатын болған. Екі цилиндр арасындағы күміс атомдары қозғалысының орташа жылдамдығын Штерн мына түрде анықтады:



Есте сақтандар!

Кез келген заттың бір моліндегі молекула мөлшері бірдей болады, бұл сан италиялық ғалым, физик және химик А.Авогадроның деп аталған, ол $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹-ге тең.



99-сурет. Штерн тәжірибесі үшін құрылғының сұзбасы

$$v = \frac{R - r}{t} \quad (1)$$

мұндағы R – сыртқы цилиндр радиусы, r – ішкі цилиндрдің радиусы.

Күміс жолақтың ығысуын цилиндрдің айналу жылдамдығы арқылы өрнектейміз:

$$S = v_u t = \omega R t \quad (2)$$

мұндағы v_u – сыртқы цилиндрдің айналуының сыйықтық жылдамдығы, Штерн атомдардың цилиндрлер арасында ұшу уақытын анықтаған:

$$t = \frac{s}{\omega R}$$

Осы өрнекті (1) формулаға қойып, мына формуланы аламыз:

$$v = \frac{\omega R (R - r)}{s} \quad (3)$$

R, r, ω және S мәндері белгілі болған кезде, тәжірибе жүзінде күміс атомдары қозгалысының орташа жылдамдығы анықталды, ол 650 м/с-қа тең болды.

V Молекулалар арасындағы өзара әрекеттесу күштері МКТ III қағидасының дәлелдемесі ретінде

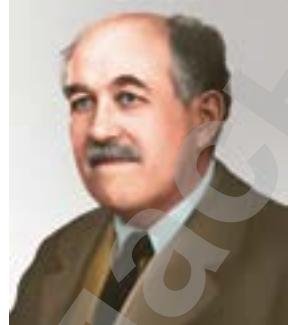
100-суретте графиктер берілген: 1-график – атомдар арасында тебілу күшінің, 2-график – атомдардың тартылыс күшінің олардың арасындағы аракашықтықта тәуелділігіне сәйкес келеді, 3-график – молекулалық өзара әрекеттесудің қорытқы күші. Графиктен $r \leq r_0$ болғанда, тебілу күштерінің, ал $r \geq r_0$ болғанда тартылыс күштерінің болатыны көрінеді. $r = r_0$ аракашықтықта тартылыс және тебілу күштері тең болады, сондыктан теңсерлі күш нөлге тең: $F = 0$.

Күштің аракашықтыққа тәуелділік графикі молекулааралық күш молекулалардың өлшемдеріне сай келетін қашықтықтарда пайда болатынын дәлелдейді. 2-3 молекуланың өлшеміне тең қашықтықтарда молекулалар арасында өзара әрекеттесу күші жоғалып кетеді.



Жауабы қандай?

- Штерн тәжірибесінде құрылғы неліктен вакуумдық камераға орналастырылады?
- Штерн тәжірибесінде айналатын цилиндрдің бетіне тұнған күміс қабатының қалындығы неліктен барлық жерде бірдей емес?

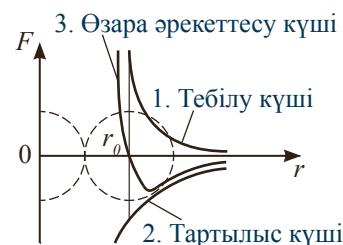


Отто Штерн (1888–1969) – неміс физигі. 1923 жылдан бастап Гамбургтегі университеттің физика-химия зертханасының профессоры және директоры болған. 1933 жылдан бастап Питсбургтегі (АҚШ) Карнеги Технологиялық институтының профессоры. 1943 жылы Штерн физика бойынша Нобель сыйлығын иеленген.



Маңызды ақпарат

Күрделі молекулалардың молекулалық массаларын Менделеев кестесін пайдаланып, ондағы элементтердің салыстырмалы атомдық массаларын A_r қосу арқылы анықтаймыз. Мысалы, судың молекулалық массасы (H_2O): $M_r(H_2O) = 2A_r(H) + A_r(O) \approx 2 \cdot 1 + 16 = 18$



100-сурет. Атомдардың өзара әрекеттесу күшінің олардың арасындағы аракашықтыққа тәуелділік графикі

Бақылау сұрақтары

1. Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын түжіримдаңдар.
2. Қандай массаны салыстырмалы молекулалық деп атайды? Қандай массаны мольдік деп атайды?
3. Молекула саны деп қандай шаманы айтады, оны немен өлшейді?
4. Штерн тәжірибесінің мәні неде?
5. Молекулалық өзара әрекеттесу күштерінің қандай қасиеттері бар?

★ Жаттығу

17

1. Инертті газдың $14,92 \cdot 10^{25}$ молекуласының массасы 5 кг. Бұл қандай газ?
2. Амазонка сағасында массасы 62,3 кг ірі таза алтын табылған. Оның зат мөлшерін анықтаңдар.
3. Су бетіне тамызылған тығыздығы $\rho = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, массасы 0,023 мг минералды май тамшысы құраған ауданы 60 см² болатын қабықшадағы молекулалар бір қатарда орналасқан деп, олардың диаметрлерін анықтаңдар.
4. Алюминийдің тығыздығы $2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 1 м³ алюминийде қанша зат мөлшері бар?
5. Аспаптың айналу жиілігі 150 с⁻¹ болғанда, Штерн тәжірибесінде күміс жұбы молекулаларының бұрыштық ығысуы 5,4° құраса, олардың жылдамдықтары қандай болуы мүмкін? Ішкі және сыртқы цилиндрлер арасындағы қашықтық 2 см.

Шығармашылық тапсырма (таңдау бойынша).

1. Мұнай танкерлері мен мұнайды тасымалдайтын құбырларда болған апартардың статистикасын зерттеңдер. Елдер мен фирмалар бойынша салыстырмалы кесте (диаграмма, графиктер) құрындар.
2. «Диффузияның табигат пен техникадағы рөлі» тақырыбында хабарлама дайындаңдар.

§ 18. Термодинамикалық жүйелер мен термодинамикалық параметрлер. Термодинамикалық жүйелердің тепе-тендік және тепе-тендік емес күйлері. Температура - зат бөлшектерінің жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі ретінде

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі тендеулерін есептер шыгаруда қолдана аласыңдар.

I Термодинамикалық жүйелер мен термодинамикалық параметрлер

Өзара және қоршаған ортамен жылулық әрекеттесу жүріп тұратын денелердің жыныстығын *термодинамикалық жүйе* деп атайды. Қарастырылып отырған жүйенің шекарасынан тыс орналасқан барлық денелердің қоршаған орта деп атайды. Біздің қоршаған денелердің қасиеттері мен күйін сипаттау үшін микроскопиялық және макроскопиялық параметрлерге болуға болатын физикалық шамалар қолданылады.

Молекулалық дүниенің сипаттайтын шамаларды, мысалы, молекулалар жылдамдығын, оның масасын, энергиясын *микроскопиялық* (грек. «*микрос*» – кішкене) шамалар деп атайды.

Макроскопиялық (грек. «*макрос*» – үлкен) параметрлер деп, тұтастай термодинамикалық жүйелердің немесе денелердің қасиеттерін олардың ішкі құрылыштарын ескермей сипаттайтын шамаларды айтады.

Дененің күйін сипаттайтын макроскопиялық шамаларды *термодинамикалық параметрлер* деп атайды. Термодинамикалық параметрлерге V көлем, p қысым, T температура жатады.

1-тапсырма

1. Термодинамикалық жүйеге мысал келтіріңдер.
2. Термодинамикалық жүйе үшін қоршаған орта болып табылатын денелерді атандар.
3. Атапған шамалардан макроскопиялық параметрлерді таңдаңдар: дene көлемі, молекула жылдамдығы, молекула массасы, қысым, молекуланың қозғалысы энергиясы, молекулалар саны, температура, молекула өлшемі, концентрация.

II Термодинамикалық тепе-тендік. Температура – молекулалардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі

Егер температуралары әртүрлі екі немесе бірнеше денелердің байланыстырылған орнағанда энергия алмасу жүреді: ішкі энергиясы жоғары денелер оны энергиясы аз денелерге береді.

Дене температурасы молекулалардың жылулық қозғалысының энергиясымен анықталады, ол молекулалардың орташа кинетикалық энергиясының өлишемі болып табылады: молекулалардың кинетикалық энергиясы көп болған сайын, дененің

температуры да жоғары болады. Демек, энергия қатты қыздырылған денелерден аз қыздырылған денелерге беріледі.

Термодинамикалық тепе-тендік – түйік денелер жүйесінің барлық макроскопиялық параметрлері ұзақ уақыт бойы өзгермей тұратын кездегі күйі.

Сыртқы шарттар өзгермейтін кезде келген түйік денелер жүйесі өздігінен термодинамикалық тепе-тендік күйіне өтеді. Жылулық тепе-тендік күйінде денениң барлық бөліктеріндегі температура бірдей болады.

Температура – макроскопиялық жүйенің термодинамикалық тепе-тендік күйін сипаттайтын физикалық шама.

III Температураны өлшеу.

Термометрлердің түрлери

Денелердің температураларын өлшеу үшін термометрлерді пайдаланады. Денемен жылулық байланыс, жылулық тепе-тендік орнаған сәтте термометр дene температурасын көрсетеді.

Термометр – зерттеліп отырған ортамен байланысу арқылы температураны өлшеудеге арналған құрал.

Олардың әрекеті негізделген физикалық құбылыстарға сәйкес термометрдің мынадай түрлері болады: сұйықтық, механикалық, газдық, электрлік, оптикалық және инфрақызыл.

Сұйықтық термометрлерінің әрекеті сұйықтың жылулық ұлғаюына негізделген.

Сұйықтық термометр капилляр жапсырылған мөлдір шыны резервуардан тұрады. Шкала капиллярга бекітілген пластинаға белгіленеді. Термометрлік сұйық – денелердің температурасын өлшеу үшін пайдаланылады, онымен резервуар және капиллярың бір бөлігі толтырылады. -80°C және 70°C аралығындағы температураны өлшеу үшін сұйықтық термометрін этил спиртімен, -35°C және 750°C аралығындағы температураны өлшеу үшін оны синаппен толтырайды. Сұйықтық термометрінің өлшеу

Есте сақтаңдар!

Егер термодинамикалық жүйеде оған енетін келген денениң бір параметрі өзгеретін болса, онда жүйеде термодинамикалық процесс жүре бастайды. Жүйе тепе-тендік емес күйде болады.

Жауабы қандай?

- Медициналық термометрлерде неліктен спирт емес синаапты пайдаланады?
- Сұйықтық термометрінің диаметрі неліктен бірдей болуы керек?
- Сұйықтық термометрінің өлшеу дәлдігі неліктен оның бату тереңдігіне тәуелді?
- Сұйық тамашысының температурасын сұйықтық термометрмен дәл анықтау неліктен мүмкін емес?
- Термометрдің капилляры мен шкаласы бар пластинасы жасалған заттардың жылулық ұлғаю коэффициенті неліктен бірдей болу керек?

дәлдігі аспаптың бөлік құнына, жылулық тепе-теңдіктің орнау мезетін дұрыс анықтауға, капилляр шыны мен шкаласы бар пластинаның жылулық ұлға коэффициентіне, өлшемін отырған ортага термометрдің бату тереңдігіне тәуелді.

Механикалық термометрлер жылулық ұлға коэффициенттері әртүрлі, бір-біріне жалғанған екі металл жолақты пластинадан тұрады. Пластиналардың ұзындықтары әртүрлі болғандықтан, оларды қыздырганда биметалдық жолақша одан әрі бұрала түседі (101-сурет). Температура қаншалықты жоғары болса, аспаптың шкаласындағы тілше соншалықты температуранның үлкен мәнін көрсетеді (102-сурет).



101-сурет. Механикалық термометрдің құрылышы

Газдық термометр – жінішке тутік арқылы манометрмен байланысқан газ толтырылған баллон (103-сурет). Баллондың температурасын өлшеу қажет денемен жылулық байланыска келтіреді, біраз уақыт өткен соң газ бен дененің арасында жылулық тепе-теңдік орнайды. Температура баллондағы газдың қысымымен анықталады. Манометрдегі қысым шкаласын оларға сәйкес келетін температуралар шкаласымен алмастыруға болады. **Барлық термометр түрлерінің ішінде газдық термометрлер көрсеткішінің дәлдігі жоғары болып табылады.**

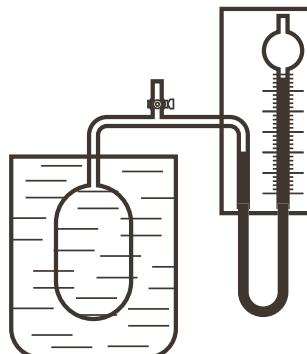
Электрлік термометрлер немесе кедергі термометрлері металдардың, коспалардың және жартылай өткізгіш материалдардың электр кедергілерінің температураға тәуелділігі негізінде әрекет етеді (104, а-сурет). Олар металл сымнан дайындалған, ұшына платинадан, күмістен немесе алтыннан жасалған ток өткізгіш сымдар жапсырылған спираль тәріздес болып келеді (104, ә-сурет). Механикалық зақымданудан және зиянды заттардың әсерінен қорғау үшін термометрді түтікке

2-тапсырма

Дәптерлерінде бөлмелік, зертханалық және медициналық сұйықтық термометрлерді бейнелендер, олардың негізгі айырмашылықтарын көрсетіңдер.



102-сурет. Механикалық термометрдің шкаласы



103-сурет. Газдық термометрдің құрылышы

орналастырады. Платина термометрлермен өлшемнен температура диапазоны -190°C және 600°C аралығында, ал мыс термометрлердің диапазоны -55°C және 200°C аралығында болады. Қорғасын термометрлер төмөнгі температураларды, ал фосфорлы қола аса төмен температураларды өлшеу үшін қолданылады.



3-тапсырма

Оқулықта көлтірілген термометрлерге салыстырмалы талдау жасандар. Термометрдің әр түрлінің қолданылу саласын көрсетіп, кесте дайындаңдар.



a)



ә)

104-сурет. Электрлік термометр

Оптикалық және инфрақызыл термометрлерге тепловизор және пиromетрлер жатады, олар денелердің температураларын байланыс жасамай-ақ өлшеу үшін пайдаланылады (105, 106-суреттер).



105-сурет. Тепловизор



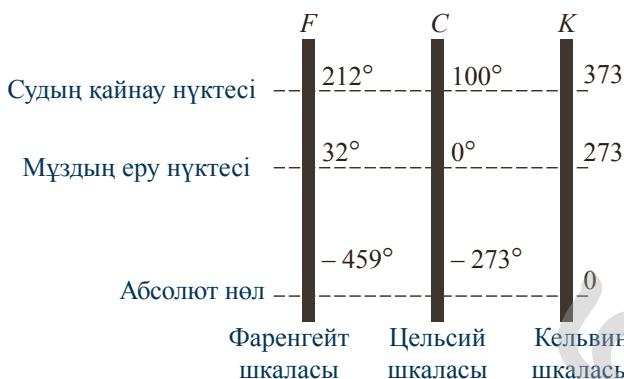
106-сурет. Пиromетр

IV Температура шкалалары

Практикада Цельсий және Фаренгейт температура шкалалары кең қолданысқа ие болды. Жылулық күбылыстарды зерттеу мен сипаттау үшін Кельвин шкаласы пайдаланылады (107-сурет).

1742 жылы швед фалымы А. Цельсий қалыпты атмосфералық қысымда мұздың еру және судың қайнау температуралары *реперлік нүктелер* болып табылатын

температура шкаласын ұсынды. Реперлік нүктелер дегеніміз – өлишеуіш аспаптың шкаласын шектейтін нүктелер. Қалыпты атмосфералық қысымда мұздың еру температурасы 0 °C деп, судың қайнауы 100 °C деп қабылданған. Реперлік нүктелер температурасының интервалдары теңдей 100 бөлікке бөлінген.



107-сурет. Термометрлер шкаласы

Фаренгейт шкаласы – мұздың еру температурасы 32 °F, судың қайнау температурасы 212 °F болып табылатын, температуралар интервалы 180 бөлікке бөлінген температура шкаласы.

Шкаланы 1724 жылы неміс физигі Г.Фаренгейт ұсынған және қазіргі уақытта бірқатар елдерде қолданылады. Фаренгейт шкаласы бойынша бөлік құнының Цельсий шкаласы бойынша бөлік құнынан айырмашылығы бар:

$$1^{\circ}\text{C} = 1,8^{\circ}\text{F}$$

Кельвин немесе абсолют температура шкаласын 1848 жылы ағылшын физигі лорд Кельвин У.Томсон ұсынған. Ол реперлік нүкте ретінде сұықтың шектік дәрежесі бар дененің молекулалардың ілгерілемелі қозгалысы толығымен тоқтайтын күйіне сәйкес келетін температуралар тапқан. Осы күйге сәйкес келетін температуралар ол абсолют нөл деп атаған.

Температуралардың абсолют нөлі – молекулалардың ілгерілемелі қозгалысы толығымен тоқтайтын, Әлемдегі барлық физикалық денеде болатын температуралардың ең төменгі шегі.

Кельвин шкаласында теріс температура жоқ, 0 K – табиғаттағы ең төменгі температура. Қазіргі уақытта абсолют нөлден градустың тек бірнеше миллиондық

Маңызды ақпарат

20 °C температураны Фаренгейт градусында өрнектейік:

$$20^{\circ}\text{C} = 32 + 1,8 \cdot 20 = 68^{\circ}\text{F}.$$

Кепі ауыстырысқа:

$$68^{\circ}\text{F} = \frac{68 - 32}{1,8} = 20^{\circ}\text{C}.$$

Есте сақтаңдар!

Фаренгейт шкаласы бойынша температура-ларды Цельсий шкаласына ауыстыру мына формула бойынша орындалады:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$$

және керісінше

$$t^{\circ}\text{F} = 32 + \frac{9}{5}t^{\circ}\text{C}$$

Жауабы қандай?

Неліктен абсолют нөлге тең температурага жету мүмкін емес?

үлесіне ғана жоғары температуралар алынды. Кельвин шкаланың бөлік құнын Цельсий шкаласындағы градусқа тең етіп алған.

Кельвин мен Цельсий шкалалары бойынша температуралар мына қатынаспен байланысқан:

$$T = (273,16 + t)\text{K} \text{ немесе } t = (T - 273,16)^\circ\text{C}$$

Жуық есептеулерде мына қатынасты қолдануға болады:

$$T = (273 + t)\text{K} \text{ немесе } t = (T - 273)^\circ\text{C}.$$



Есте сақтаңдар!

1954 жылы халықаралық өлшемдер мен салмактардың X Бас конференциясында Кельвин шкаласына екінші реперлік нүктө енгізілді, ол – судың ұштік нүктесінің температурасы, оның мәні 273,16 K деп алынған. Ұштік нүктө температурасы кезінде су қатты, сұйық және газ тәрізді күйлерде болуы мүмкін.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай параметрлерді микроскопиялық деп атайды? Макроскопиялық ше?
2. Қандай параметрлерді термодинамикалық деп атайды?
3. Температураның физикалық мәні неде?
4. Термометрлер құрылышы денелердің қандай қасиеттеріне негізделген?
5. Термометр түрлерін атаңдар.
6. Температураның абсолют нөлі деген ұғым қалай түсіндіріледі?



Жаттығу

18

1. Мына температура мәндерін Кельвинмен өрнектендер: 20 °C, 27 °C, -73 °C, 100 °C.
2. Мына температураларды Цельсиймен өрнектендер: 4 K, 200 K, 440 K, 300 K.
3. Фаренгейт шкаласы бойынша температура 84,2 °F, 80,6 °F, 71,6 °F-қа тең оны, Цельсий шкаласы бойынша анықтаңдар.
4. 30 °C; 25 °C; 20 °C температураларын Фаренгейт шкаласына ауыстырыңдар.

§ 19. Идеал газ. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ишергенде:

- идеал газ моделін сипаттап; есептер шығаруда молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін қолдана аласындар.

I Идеал газ

Газдарда болатын жылулық процестерді математикалық түрде сипаттау үшін идеал газ ұфымы енгізіледі.

Идеал газ – молекулалар арасындағы өзара әрекеттесудің потенциалдық энергиясын ескермеуге болатын, молекулалары арасындағы арақашықтық молекулалардың өлшемдерінен біршама үлкен болатын газдың физикалық моделі.

Естеріне түсіріндер!

Газдардағы қысым молекулалардың соқтығысуынан туынрайды.

ХБЖ-да қысым паскальмен өлшенеді. Ауданы 1 м² дененің бетіне 1 Н қысым күші әсер еткенде қысым 1 Па-ға тең.

Накты сиретілген газдар идеал газ сияқты болады. Барлық газдар төменгі қысым мен жоғары температурада қасиеттері бойынша идеал газдарға жақын болады. Жоғары қысымдарда газ молекулалары өзара жақынрайды, бұл жағдайда олардың өлшемдерін ескермеуге болмайды. Температура төмендеген кезде молекулалардың кинетикалық энергиясы азаяды, потенциалдық энергиямен салыстырмалы болады. Демек, жоғары қысым мен төменгі температурада газды идеал деп санауга болмайды.

II МКТ негізгі теңдеуі

Идеал газ қысымының молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясына тәуелділігін идеал газдың МКТ негізгі теңдеуі деп атайды.

Көлемі V ыдыста m_0 массалы N молекуладан тұратын идеал газ бар болсын делік (108-сурет).

Δt уақытқа созылатын бір молекуланың вертикаль қабырга соқтығысуы кезінде молекула жағынан Ньютоң заңының негізінде дene импульсінің өзгерісіне тең $F_{\text{к1}} \Delta t$ күш импульсі әсер етеді. Импульстің перпендикуляр құраушысы қабырга қысым түсіреді, демек:

$$F_{\text{к1}} \Delta t = m_0 v_x - (-m_0 v_x) = 2m_0 v_x \quad (1)$$

Қысым күшінің орташа мәні молекула санына тәуелді. Қандай да бір t уақытта қабырга одан

$$l = \bar{v}_x t \quad (2)$$

қашықтықтағы молекулалар соғылады.

0x осі бағытымен және оған қарама-қарсы қозғалатын бөлшектер саны тең, демек, қабыргадағы t уақытта N соққы тиеді, ол мынаған тең:

$$N = \frac{1}{2} n V = \frac{1}{2} n S l = \frac{1}{2} n S \bar{v}_x t, \quad (3)$$

Есте сақтаңдар!

Қысымды өлшеу үшін жүйелік емес бірліктерде қолданылады: сынап бағанының миллиметрі (торр), атмосфера: 1 мм сын. бағ. $\approx 133,3$ Па, 1 атм = 101325 Па $\approx 10^5$ Па

мұндағы n – бірлік көлемдегі молекулалар саны; $St = V$ дегеніміз N молекуладан тұратын газдың көлемі.

t уақыт ішінде қабыргаға соғылатын молекулалардың күш импульсі:

$$Ft = N \cdot 2m_0 \bar{v}_x = \frac{1}{2} nS\bar{v}_x t \cdot 2m_0 \bar{v}_x = nm_0 S\bar{v}_x^2 t, \quad (4)$$

мұндағы \bar{v}_x^2 – молекулалар қозгалысының орташа квадраттық жылдамдығы.

Молекулалар қозгалысының барлық бағыттары өзара тең болғандықтан, теңдікті былай жазуға болады:

$$\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2.$$

$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2$ өрнегін, жылдамдық модулінің оның координата осьтеріне проекцияларымен қатынасын ескерсек:

$$\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2. \quad (5)$$

(4) және (5) өрнектердің негізінде күш импульсі үшін қысым мынадай түрге келеді:

$$Ft = \frac{1}{3} nm_0 S\bar{v}^2 t. \quad (6)$$

(6) теңдеудің екі жағын да St -ға бөлсек:

$$\frac{F}{S} = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2. \quad (7)$$

$p = \frac{F}{S}$ теңдігін ескеріп, (7) теңдеуді мына түрде жазамыз:

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2. \quad (8)$$

Молекулалар концентрациясы газдың тығыздығымен $nm_0 = \rho$ қатынасымен байланысады, оны (8) формулаға қойсақ:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2. \quad (9)$$

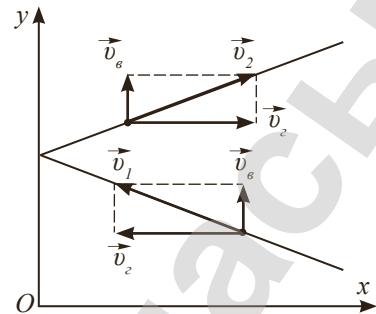
Егер молекулалардың орташа кинетикалық энергиясы $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ екенін ескерсек, онда (8) өрнек мына түрге келеді:

$$p = \frac{1}{3} nm_0 \bar{v}^2 \cdot \frac{2}{2} = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$$

немесе $p = \frac{2}{3} n \bar{E}.$ (10)

(8), (9) және (10) қатынастарды молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі деп атайды.

Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі макроскопиялық параметрлерді микроскопиялық параметрлермен байланыстырады.



108-сурет. Қабыргаға серпімді соғылу кезінде молекула импульсінің өзгеруі

Жауабы қандай?

1. МКТ негізгі теңдеуі неліктен тек идеал газ үшін ғана орындалады?
2. МКТ негізгі теңдеуін қорытқанда неліктен $1/3, 1/2$ көбейткіштері пайда болады?
3. Неліктен МКТ негізгі теңдеуін микродүние мен макродүние арасындағы «көлір» деп атайды?



1-тапсырма

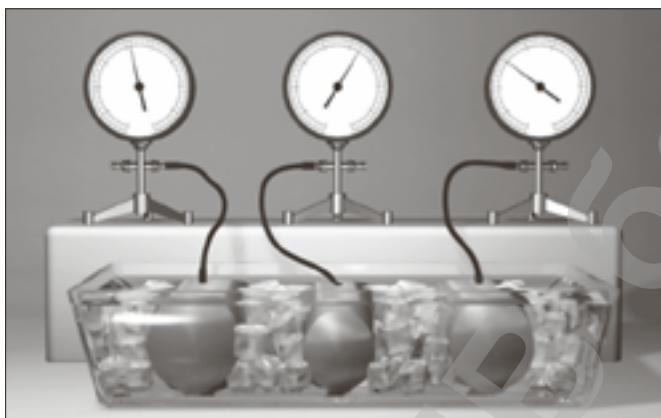
МКТ негізгі теңдеуіндегі шамалардың өлшем бірліктерімен жұмыс жасандар. Орындалған әрекеттер нәтижесінде барлық жағдайда Па алышатынын дәлелдендер.

III Энергетикалық температура.

Больцман тұрақтысы

Тәжірибе барысында сутек, оттек және гелиймен толтырылған көлемдері бірдей ыдыстар қалыпты атмосфералық қысымда еріп бара жатқан мұзға салынды (*109-сурет*). Ыдыстардағы молекулалар саны белгілі болатын. Жылулық тепе-тендік орнаған соң,

$\frac{pV}{N}$ қатынасы барлық газдар үшін тұрақты болды:
$$\frac{pV}{N} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$



109-сурет. Баллондарданғы газдардың күйін зерттеу

Ідыстардың қайнаған суға салып, қайтадан осы шамалардың қатынасын анықтағанда, барлық газ үшін бұл қатынастың тағы да тұрақты екені белгілі болды:

$$\frac{pV}{N} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

$\frac{pV}{N}$ қатынасы θ деп белгіленді және θ шамасы энергетикалық температура деп аталды:

$$\frac{pV}{N} = \theta \quad (11)$$

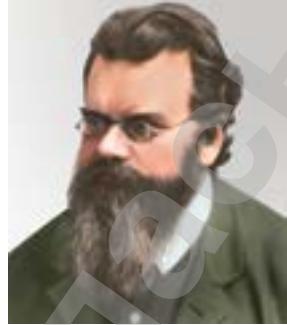
Энергетикалық температура және Кельвин шкаласы бойынша температура

$$\theta = kT \quad (12)$$

қатынасымен байланысқан, мұндағы k – *Больцман тұрақтысы* деп аталатын пропорционалдық коэффициенті. k мәнін есептейік:

$$\theta_{100} - \theta_0 = k(T_2 - T_1) \quad (13)$$

$$k = \frac{\theta_{100} - \theta_0}{T_2 - T_1} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$



Людвиг Больцман (1844–1906) – аустриялық физик-теоретик, статистикалық механика мен МКТ негізін салушы. Аустриялық ғылым академиясының мүшесі.



Жауабы қандай?

Неліктен энергетикалық температура практикалық қолданысқа ие болмады?



Есте сақтаңдар!

Больцман тұрақтысы джоульмен өрнектелген энергетикалық температураны Кельвинмен өлшенетін температурамен байланыстырады: $\theta = kT$.

IV Температура – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі

Дене температурасы молекулалар қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы мен қозғалыс жылдамдығына тәуелді.

МКТ негізгі тендеуін пайдаланып, мына шамалардың қатынасын аламыз:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}. \quad (14)$$

Анықтама бойынша зат молекуласының концентрациясы мынаған тең:

$$n = \frac{N}{V}. \quad (15)$$

(14) пен (15) формулалардан:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E} = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E} \quad (16)$$

екенін аламыз. (16) өрнекті түрлендірсек:

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}. \quad (17)$$

(11) мен (12)-ден мынадай өрнек аламыз:

$$\frac{pV}{N} = kT. \quad (18)$$

(17) мен (18) тендеулердің оң жақтарын теңестіріп, мынадай өрнек аламыз:

$$\frac{2}{3} \bar{E} = kT$$

немесе $\bar{E} = \frac{3}{2} kT. \quad (19)$

(19) формуладан молекулалардың бейберекет қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы мен абсолют температура арасындағы тәуелділік тұра пропорционал екені шығады.

Температура – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі.



2-тапсырма

- 300 К температурадағы азот, сутек, су бұры молекулаларының қозғалыс жылдамдығын анықтаңдар.



Жауабы қандай?

- Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы мен дene температурасы арасында қандай тәуелділік бар?
- Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы 1,2 есе артқанда дene температурасы неше есе артады?
- Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы 20 % артқанда дene температурасы неше процентке көтеріледі?

VI Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы және дене температурасы

$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ және $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ теңдеулерінің он жақтарын теңестіріп, молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығын есептеу формуласын аламыз:

$$\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT,$$

бұдан шығатыны:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \quad (20)$$

Алынған формуладагы түбір астындағы өрнекті Авогадро санына көбейтеміз және бөлеміз:

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{m_0 N_A}}, \\ \bar{v} &= \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \end{aligned} \quad (21)$$

Мұндағы $R = kN_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$ – универсал газ тұрақтысы.

Бақылау сұрақтары

- Идеал газ қандай қасиеттерге ие?
- Қысымның өлшем бірлігін атандар.
- МКТ негізгі теңдеуі қандай параметрлерді байланыстырады?
- Больцман тұрақтысының физикалық мәні неде?



Жаттығу

19

- Көлемі $V = 1$ л ыдыста массасы 2 г сутек бар. Сутек молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығы $v = 400 \frac{M}{c}$. Сутек қысымын анықтаңдар.
- Белгілі бір шарттарда сутек тығыздығы $\rho_1 = 0,09 \frac{kg}{m^3}$. Осы шарт бойынша тығыздығы $\rho_2 = 0,72 \frac{kg}{m^3}$ болатын метанның мольдік массасын анықтаңдар.

Жауабы қандай?

Неліктен бірдей қысымда және температурада барлық газдардың молекулаларының концентрациясы бірдей болады?

3. Тығыздығы $\rho = 3,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ газдың температурасы $t = 17^\circ\text{C}$. Молекулалар масасы $m_0 = 6,6 \cdot 10^{-27}$ кг деп алып, газ қысымын анықтаңдар. Бұл қандай газ?
4. Көлемі $V = 13,8$ л ыдыста орналасқан қысымы $p = 100$ кПа идеал газдың $N = 2 \cdot 10^{22}$ молекуласының температурасын анықтаңдар.
5. $T = 300$ К температурадағы газдың тығыздығы $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы $v = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Идеал газ молекуласының концентрациясын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

1. Таңдау бойынша А.Цельский, Г.Фаренгейт, У.Томсон, Л.Больцман ғалымдар туралы хабарлама дайындаңдар.
2. Сүйиқ және оған сәйкес реперлік нүктелерді таңдап алып, өздерің термометр шкаласын ойлап табыңдар. Оның температурасының мәнін Цельсийге ауыстыру формуласын анықтаңдар. Қай шкаласының көрсеткіші дәлірек болады деп ойлайсыңдар.

6-тараудың қорытындысы

Салыстырмалы молекулалық және мольдік масса	МКТ негізгі теңдеуі	Тұрақты шамалар
Салыстырмалы молекулалық масса $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$	$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$	Больцман тұрақтысы $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Мольдік масса $M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{мол}}$	$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$	Авогадро саны $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
$M = m_0 N_A$ $M = \frac{m}{v}$	$p = \frac{2}{3} n \bar{E}$	Универсал газ тұрақтысы $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Газдар қоспасы үшін $M = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{v_1 + v_2 + \dots + v_n}$	$p = nkT$	
Молекула массасы $m_0 = \frac{m}{N}$		
Зат мөлшері	Молекулалар қозғалысының кинетикалық энергиясы	Қалыпты жағдайлар
$v = \frac{N}{N_A}$ $v = \frac{m}{M}$	$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{g}^2}{2}$	$T = 273 \text{ К}, t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ $p = 101300 \text{ Па} = 760 \text{ мм сын. бағ.}$
Молекулалар саны	Молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы	Температура шкалалары арасындағы байланыс
$N = \frac{m}{M} N_A$ $N = v N_A$ $N = \frac{m}{m_0}$ $N = \frac{V}{V_0}$	$\bar{g} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ $\bar{g} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$	Кельвин және Цельсий $T = (273 + t) \text{ К},$ $t = (T - 273) \text{ }^\circ\text{C}$ Цельсий және Фаренгейт $t^\circ C = \frac{5}{9}(t^\circ F - 32)$ $t^\circ F = 32 + \frac{9}{5} t^\circ C$

МКТ негізгі қағидалары мен заңдары

МКТ үш қағидасы:

1. Барлық заттар бөлшектерден – араларында бос аралықтары бар молекулалар мен атомдардан тұрады.
2. Заттың бөлшектері ұздіксіз және бейберекет қозғалыста болады.
3. Зат бөлшектері бір-бірімен өзара әрекеттеседі.

Глоссарий

Температураның абсолюттік нөлі – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысы толығымен токтайдын, Әлемдегі барлық физикалық денеде болатын температураның ең төменгі шегі.

Идеал газ – молекулалар арасындағы өзара әрекеттесудің потенциалдық энергиясын ескермеуге болатын, молекулалары арасындағы арақашықтық молекулалардың өлшемдерінің біршама үлкен болатын газдың физикалық моделі.

Зат мөлшері – берілген денедегі молекулалар санының 0,012 кг көміртектегі атомдар санына қатынасына тең шама.

Макроскопиялық параметрлер – тұтастай термодинамикалық жүйелердің немесе денелердің қасиеттерін олардың ішкі құрылыштарын ескермей, тұтастай сипаттайтын шамалар.

Микроскопиялық параметрлер – молекулалық әлемді мысалы, молекулалардың жылдамдығын, оның массасын, энергиясын сипаттайтын шамалар.

Моль – 12 г көміртекте қанша атом болса, сонша молекуладан тұратын зат мөлшері.

Мольдік масса – бір моль мөлшерінде алынған заттың массасы.

Заттың салыстырмалы молекулалық массасы M_r – берілген зат молекуласы массасының көміртек атомы массасының 1/12 бөлігіне қатынасына тең шама.

Термодинамикалық параметрлер – дененің күйін сипаттайтын макроскопиялық шамалар: қысым, қөлем, температура.

Термодинамикалық тепе-тендік – тұйық денелер жүйесінің барлық макроскопиялық параметрлерінің ұзақ уақыт бойы өзгермей тұратын кездегі күйі.

Температура – макроскопиялық жүйенің термодинамикалық тепе-тендік күйін сипаттайтын физикалық шама.

Термометр – зерттеліп отырған оргамен байланысу арқылы температураны өлшеуге арналған құрал.

7-ТАРАУ

ГАЗ ЗАҢДАРЫ

Газ заңдары тәжірибелік жолмен молекулалық-кинетикалық теория пайда болмастан бұрын анықталған. Бұл заңдар реал газдарды идеал газға жақынлататын жағдайда – жоғары температура мен төменгі қысым кезінде жасалған тәжірибелер нәтижесінде ашылған. Жер атмосферасын құрайтын азот пен оттек сияқты газдар қалыпты жағдайда идеал газдар ретінде қарастырылуы мүмкін.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- есептер шығаруда идеал газ күйінің тендеуін қолдануды;
- тұрақты температура кезінде қысымның көлеміне тәуелділігін зерттеуді (Бойл–Мариотт заңы);
- тұрақты қысым кезінде газ көлемінің температураға тәуелділігін зерттеуді (Гей-Люссак заңы);
- тұрақты көлем кезінде қысымның температураға тәуелділігін зерттеуді (Шарль заңы);
- сандық және графiktік есептерді шығаруда газ заңдарын пайдалануды үйренесіндер.

§ 20. Идеал газ күйінің тендеуі

Күтілетін нәтиже:

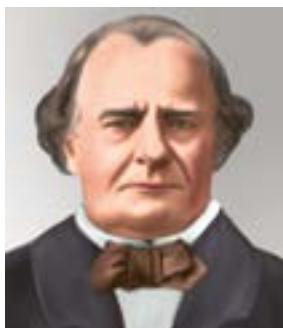
Осы параграфтың ішергендегі:
• есептер шығаруда идеал газ күйінің тендеуін қолдана аласындар.



Есте сақтаңдар!

Универсал газ тұрақтысының мәні:

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$



Бенуа Поль Эмиль Клапейрон (1799–1864) – француз физигі және инженер. 1834 жылы Бойль – Мариотт, Гей-Люссак және Авогадро заңдарын біріктіретін идеал газ күйі тендеуін қорытып шығарған, оны 1874 жылы Д.И.Менделеев жалпылаған. Заттың балқу және қайнау температурашымен қысым арасында байланыс орнататын тендеуді қорытып шығарған. Ең алғаш термодинамикалық процесті pV -диаграммаға бейнелеп, термодинамикаға графикалық өдісті енгізді.

I Идеал газ күйінің тендеуі

Газдың қандай да бір массасының күйі үш параметрдің мәнімен анықталады: қысым p , көлем V және температура T . Осы параметрлердің бірінің өзгеруі басқаларының да өзгеруіне алып келеді.

Термодинамикалық параметрлерді байланыстыратын тендеуді газ күйінің тендеуі деп атайды.

Газ күйі параметрлерінің қатынасын МКТ-нің негізгі тендеуінен аламыз:

$$p = nkT. \quad (1)$$

(1) тендеуге концентрацияны есептеу формуласын:

$$n = \frac{N}{V} \quad (2)$$

және зат мөлшері арқылы өрнектелген заттағы молекулалар санын:

$$N = vN_A, \quad (3)$$

қойып, мына өрнекті аламыз:

$$pV = \frac{m}{M} kN_A T. \quad (4)$$

Больцман тұрақтысының Авогадро санына көбейтіндісін универсал газ тұрақтысымен алмастырамыз:

$$R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}. \quad (5)$$

(5)-ті ескеріп, (4) тендеуді мына түрде жазамыз:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (6)$$

(6) тендеу газ күйінің тендеуі болып табылады, оны *Менделеев – Клапейрон тендеуі* деп атайды.

II Газ күйінің тендеуі мен біріккен газ заңы

Газ күйінің тендеуі бір күйдің параметрлері арасындағы байланысты сипаттайты. Газ заңдары газ күйінің өзгерісін сипаттайты және газдың барапқы және соңғы күйлерінің параметрлері арасында байланыс орнатады.

Қандай да бір газдың екі түрлі күйін қарастырайық. Барапқы күй параметрлері: p_1, V_1, T_1, m_1 , соңғы күй параметрлері: p_2, V_2, T_2, m_2 . Барапқы күй үшін газ күйінің тендеуі мына түрде болады: $p_1 V_1 = \frac{m_1}{M} RT_1$.

Айнымалы шамаларды тендеудің сол жағына ауыстырамыз. Сонда:

$$\frac{p_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{R}{M}. \quad (7)$$

Газдың соғы күйі үшін шамалардың дәл осындай қатынасын жазамыз:

$$\frac{p_2 V_2}{m_2 T_2} = \frac{R}{M}. \quad (8)$$

(7) және (8) тендеулердің сол жақ бөліктерін теңес-треміз:

$$\frac{p_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{p_2 V_2}{m_2 T_2} \quad (9)$$

немесе $\frac{pV}{T} = \text{const}.$ (10)

Алынған тендеу біріккен газ заңының өрнегі болып табылады, онда термодинамикалық жүйеде болатын процестерді сипаттайтын барлық параметрлер біріктірілген.

Егер газдың бастапқы күйден соғы күйге өтуі кезінде оның массасы өзгермесе: $m = \text{const}$, онда біріккен газ заңы мына түрге келеді:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (11)$$

немесе $\frac{pV}{T} = \text{const}.$ (12)

Алынған (11) және (12) өрнектер біріккен газ заңы немесе француз физигі Бенуа Клапейронның құрметіне Клапейрон тендеуі деп аталады. Ол 1834 жылы термодинамикалық параметрлердің бүл қатынасын эксперимент түрінде анықтады.

Берілген газ массасы үшін көлем мен қысым көбейтіндісінің абсолют температураға қатынасы – газ күйіне тәуелсіз тұрақты шама.

III Есептер шығаруда газ күйінің тендеуі мен біріккен газ заңын қолдану

Термодинамикалық жүйенің күйін сипаттайтын белгісіз параметрді анықтау үшін тұрақтылардың мәні белгілі болған кезде Менделеев – Клапейронның күй тендеуін (6) немесе Клапейрон тендеуін (12) қолданады.

Егер зат мөлшері өзгермейтін жүйеде термодинамикалық процесс журсе, онда белгісіз параметрді

Жауабы қандай?

- Клапейрон тендеуін неге тек зат мөлшері өзгермейтін газдар үшін қолдануға болады?
- Неліктен күй тендеуі қысымының мәні аз және температурасы ете төмен емес газдар үшін қолданылады?
- Күй тендеуінің газ заңдарынан принциптік айырмашылығы неде?

1-тапсырма

- 6, 9, 11-формулалардан оларға кіретін барлық шамаларды өрнектендер. Математика курсынан қандай ережелерді қолданулырың қажет?

2-тапсырма

- Параграфтың III бөлігін зерттеңдер. Есептер шығаруда газ күйінің тендеуі мен біріккен газ заңдарын пайдалану бойынша жадынама құрастырып, оны дәптерлеріне жазындар.
- 1 моль сутек пен 1 моль оттектен тұратын қоспаның мольдік массасының осы газдың 0,5 моль сутек пен 1,5 моль оттектен тұратын қоспасының мольдік массасынан айырмашылығы болатынын дәлелдендер.

Клапейронның біріккен газ заңын (11) қолдану арқылы есептейді.

Егер жүйедегі газ кемісе немесе керісінше, газ артса, онда Менделеев – Клапейронның біріккен газ заңы тендеуін (9) қолдану қажет.

Егер қандай да бір көлемде газдардың қоспасын жасаса, онда мольдік масса айнымалы шама болады. Бұл жағдайда есептер шығаруда мына тендеу қолданылады:

$$\frac{p_1 V_1 M_1}{T_1 m_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{T_2 m_2}.$$

Бұл тендеу Менделеев – Клапейронның газ күйі тендеуінен алынады. Қоспалардың мольдік массасы мына формула бойынша анықталады:

$$M_{\text{коспа}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{v_1 + v_2 + \dots + v_n},$$

мұнда m_1, \dots, m_n – қоспаның құрайтын газдардың массасы v_1, \dots, v_n – қоспадағы газдың әр түрінің зат мөлшері, n – қоспа құрамына кіретін газ саны.



Жауабы қандай?

1. Газ қоспасының мольдік массасын неліктен қоспаның құрайтын газдардың мольдік массаларының арифметикалық ортасы ретінде анықтауга болмайды?

2. Неліктен күй тендеуін пайдаланған кезде барлық шамаларды ХБЖ-да өрнектеу қажет, ал газ заңдарын пайдаланып есептеу кезінде физикалық шамалардың өлшем бірліктері, мысалы, көлем – литр, сәйкес келсе болғаны?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Поршень астындағы ыдыстағы массасы 10 г оттектің 10 °C температурадағы қысымы $p = 0,303$ МПа. Тұрақты қысымда қыздырылған оттектің көлемі 10 л-ге жетті. Оның V_1 бастапқы көлемі мен T_2 соңғы температурасын анықтандар.

Берілгені:

$$\begin{aligned} m &= 10 \text{ г} \\ p &= 0,303 \text{ МПа} \\ t_1 &= 10^\circ\text{C} \\ V_1 &= 10 \text{ л} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_1 - ? \\ T_2 - ? \end{aligned}$$

ХБЖ

$$\begin{aligned} 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \\ 0,303 \cdot 10^6 \text{ Па} \\ 283 \text{ К} \\ 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Шешуі:

$$\begin{aligned} \text{Менделеев – Клапейрон тендеуінен } pV_1 = \frac{m}{M} RT_1 \\ \text{бірінші күйдегі газ көлемін анықтайық: } V_1 = \frac{mRT_1}{Mp}, \\ V_1 = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 283 \text{ К}}{0,032 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot 0,303 \cdot 10^6 \text{ Па}} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Менделеев – Клапейрон тендеуінен газдың екінші күйі үшін соңғы температуралы анықтайық:

$$\begin{aligned} pV_2 = \frac{m}{M} RT_2, \quad T_2 = \frac{pV_2 M}{Rm}; \\ T_2 = \frac{0,303 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 0,032 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг}} \approx 1167 \text{ K}. \end{aligned}$$

Жауабы: $V_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $T_2 \approx 1167 \text{ K}$.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай тендеуді газ күйінің тендеуі деп атайды?
2. Клапейрон алған термодинамикалық параметрлердің қатынасы қандай жағдайда орындалады?
3. Клапейрон біріккен газ заңы мен Менделеев – Клапейрон заңының айырмашылығы неде?
4. Газ күйі тендеуінің газ заңынан негізгі айырмашылығы неде?
5. Клапейрон тендеуінің орындалуын қандай тәжірибелік жолмен тексеруге болады?



Жаттығу

20

1. Қысымы $2,3 \cdot 10^5$ Па, көлемі $0,02 \text{ м}^3$, массасы 30 г аммиактың NH_3 температурасын анықтаңдар.
2. Қысымы 0,29 МПа, сыйымдылығы 10 л баллонның температурасы 17°C . Осы баллонда канша зат мөлшері бар екенін анықтаңдар.
3. Температура 47°C , атмосфералық қысым 10^5 Па болған кездеңі оттек тығыздылығын анықтаңдар.
4. Егер газ температурасы 300 К, қысымы $7,48 \cdot 10^5$ Па болса, оның $0,5 \text{ м}^3$ көлеміндегі молекулалар санын анықтаңдар.
5. Газдың көлемін 2 есе азайтқанда оның қысымы 120 кПа-ға артты, ал абсолют температурасы 10 %-ке өсті. Оның бастапқы қысымын анықтаңдар.
6. Баллондағы газ температурасы 15°C . Егер газдың 40 %-і баллоннан шығып, температура осы кезде 8°C -ге төмендесе, онда газ қысымы неше есе кемиді?

Шығармашылық тапсырма

«Сығылған және сиретілген газдарды техникада пайдалану» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 21. Изопроцестер. Изопроцестердің графиктері. Дальтон заңы

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ішергендегі:
- тұрақты температура кезінде қысымның көлемге тәуелділігін (Бойль – Мариотт заңы) зерттей аласындар;
 - тұрақты қысым кезінде газ көлемінің температурага тәуелділігін (Гей-Люссак заңы) зерттей аласындар;
 - тұрақты көлем кезінде қысымның температурага тәуелділігін (Шарль заңы) зерттей аласындар;
 - сандық және графикалық есептер шығаруда газ заңдарын пайдалана аласындар.

I Изопроцестер

Физика мен техникада изопроцестер кең қолданыска ие болған.

Изопроцесс (грек. *isos* – бірдей, тең) – массасы өзгермейтін жүйе параметрлерінің бірінің мәні тұрақты болған кезде өтетін процесс.

Изопроцестердегі өзгеретін екі термодинамикалық параметр арасындағы тәуелділік тендеуін *газ заңдары* деп аталады. Газ заңдарын Клапейронның біріккен газ заңының дербес жағдайлары ретінде қарастыруға болады:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (1)$$

II Бойль – Мариотт заңы

Тұрақты температура кезінде газ қысымының оның көлеміне тәуелділігін анықтайтын газ заңы *Бойль – Мариотт заңы* деп аталады. Газ заңының тендеуін тәжірибе жүзінде 1662 жылы ағылшын физигі Роберт Бойль және оған тәуелсіз 1676 жылы француз физигі Эдмон Мариотт ашты.

Бойль – Мариотт заңы изотермалық процесті сипаттайтын. *Изотермалық процесс* – тұрақты температурада термодинамикалық жүйе күйінің өзгеруі.

Клапейрон тендеуінен (1) $T = \text{const}$ газ үшін:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2)$$

немесе

$$pV = \text{const}. \quad (3)$$

1-тапсырма

- Клапейрон тендеуін (1) мына үш жағдай үшін түрлендіріңдер:
 - $T = \text{const}$;
 - $p = \text{const}$;
 - $V = \text{const}$.
- Алынған нәтижелерді (2), (5), (7) формуулалармен салыстырыңдар.
- Өздерің жазған заңдар қалай аталағынын анықтаңдар.

Жауабы қандай?

- Шамалардың тұра және кері тәуелділіктерін қандай белгілері арқылы ажыратасыңдар?
- Өздерің жазған заңдардың қайсысында шамалардың тәуелділігі тұра, ал қайсында – кері?
- Математикада тұра тәуелділік графигін қалай атайды?
- Кері тәуелділік графигін қалай атайды?

Температураның тұрақты мәнінде берілген газ қысымы мен көлемінің көбейтіндісі тұрақты шама болып қалады.

(2) тендеуден идеал газ қысымы оның көлеміне көріп пропорционал екенін көреміз:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (4)$$

Мұндай тәуелділіктің графигі гипербола болады, оны *изотерма* деп атайды. 110-суретте әртүрлі температура мәндерінде болатын екі процестің изотермасы көрсетілген.

III Гей-Люссак заңы

Изобаралық процесті сипаттайтын газ заңын *Гей-Люссак заңы* деп атайды. Француз физигі Жозеф Гей-Люссак 1802 жылы газ көлемінің температураға тәуелділігін эксперименттік түрде зерттеген.

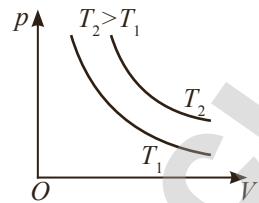
Изобаралық процесс – тұрақты қысым кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

$p = \text{const}$ болғанда Клапейрон тендеуінен шығатыны:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (5) \quad \text{немесе} \quad \frac{V}{T} = \text{const}. \quad (6)$$

Газ массасы тұрақты және қысым өзгермейтін болса, оның көлемінің температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

(5) тендеуден көлем температураға тұра пропорционал тәуелді екені шығады: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$. *VT*-диаграммасында тәуелділік графигі координаталар басы арқылы өтетін түзу сызық болып табылады (111-сурет). *Изобаралық процестің графигін изобара деп атайды. Идеал газдар үшін қолданылатын газ заңдары тәменгі температураларда орындалмайды.* Сондықтан *VT*-диаграммасында тәменгі температурада кезінде график үзік сызықтармен бейнеленген.



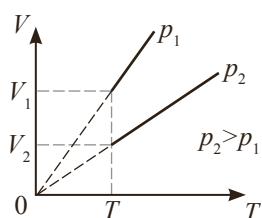
110-сурет. Изотермалар



2-тапсырма

110–112-суреттерде көрсетілген диаграммалар үшін мына шарттар орындалатынын дәлелдендер:

$$\begin{aligned} T_2 &> T_1; \\ p_2 &> p_1; \\ V_2 &> V_1. \end{aligned}$$



111-сурет. Изобаралар

IV Шарль заңы

Тұрақты көлемде газ қысымының температураға тәуелділігін 1787 жылы француз ғалымы Жан Шарль эксперименттік түрде анықтады, бұл заң Шарль заңы деп аталды.

Изохоралық процесс дегеніміз – тұрақты көлем кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

$V = \text{const}$ болғанда Клапейрон теңдеуінен шығатыны:

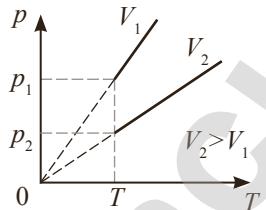
$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (7)$$

немесе

$$\frac{p}{T} = \text{const} . \quad (8)$$

Газдың массасы тұрақты және көлемі өзгермейтін болса, оның қысымының температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

Қысым абсолют температураға тұра пропорционал тәуелді: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} . p$ қысымының T температурага тәуелділік графигі 112-суретте көрсетілген, ол изохора деп аталады.



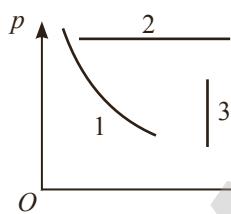
112-сурет. Изохоралар

3-тапсырма

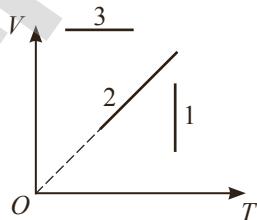
113, а, ә, б-суреттерде бейнеленген диаграммаларды қарастырыңдар. Әр диаграммада қандай процестердің графиктері бейнеленген? Өз жауаптарынды негіздендер.

V Изопроцестерді әртүрлі диаграммаларда графикалық түрде бейнелеу

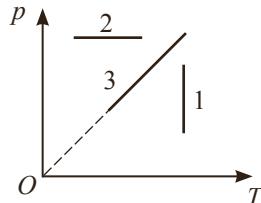
113-суретте pV , VT және pT -диаграммаларында изотерма – 1, изобара – 2, изохора – 3 бейнеленген.



а)



ә)



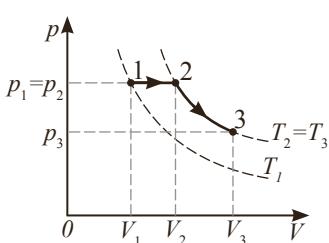
б)

113-сурет. Изопроцестер диаграммасы

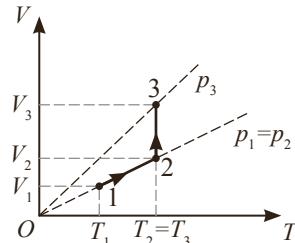
Диаграммадағы кез келген нүктө газ күйіне, ал сзызық термодинамикалық процеске сәйкес келеді. pV -диаграммасында газдың үш күйін оларға сәйкес келетін $p_1 T_1 V_1$, $p_2 T_2 V_2$, $p_3 T_3 V_3$ параметрлерімен белгілейік (114, а-сурет). Бір күйден екіншісіне өту бағытын нұсқармен белгілейік. Диаграмманы қолдану ыңғайлы болу үшін қосымша сзызық ретінде бірінші күйдегі газ температурасына T_1 тен температурада изотерма жүргізейік. Диаграммадан 1-күйден 2-күйге өту изобаралық түрде жүретіні көрініп түр: $p_1 = p_2$, бұл кезде газ температурасы артады: $T_2 > T_1$, көлем артады, демек,

1-күйден 2-күйге өткенде, газ изобаралық түрде ұлғаяды. 2-күйден 3-күйге өткенде газ қысымы азаяды: $p_3 < p_2$, көлем артады, газ изотермалық түрде ұлғаяды.

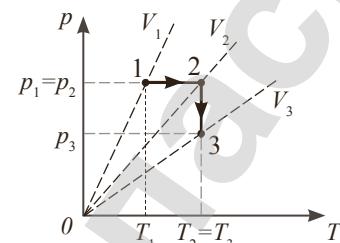
Газдың 1-күйден 2-күйге өтуін, содан кейін 3-күйге өтуін VT -диаграммасында (114, ә-сурет) және pT -диаграммасында (114, б-сурет) бейнелеуге болады.



а)



ә)



б)

114-сурет. Термодинамикалық процестердің әртүрлі диаграммада бейнеленуі: 1–2 изобаралық ұлғаю, 2–3 изотермалық ұлғаю

VI Дальтон заңы. Парциалдық қысым

Химиялық реакцияға түспейтін газдар қоспасы үшін ыдыстағы молекулалардың жалпы саны қоспа құрамына кіретін газ молекулаларының қосындысына тең:

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n.$$

Мұндай газдарға мысал ретінде азот, оттек, сутек және инерпті газдарды көлтіруге болады.

Тендеуді ыдыстың көлеміне бөлейік:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_n.$$

Газдардың концентрациясы үшін алынған теңдеуді $p = nkT$ газ күйінің теңдеуіне қоямыз:

$$p = (n_1 + n_2 + \dots + n_n)kT.$$

Жақшаларды ашсақ: $p = n_1kT + n_2kT + \dots + n_nkT$.

Бұл өрнектегі қосылғыштар қоспа құрамына кіретін газдардың қысымын береді, оларды **парциалдық қысым** деп атайды.



Есте сактанадар!

Атмосфералық қысым азоттың, оттектің, су булаresының және ауадағы барлық қоспалардың қысымдарынан құралады.

Парциалдық қысым (лат. – *partialis* – бөлшектік) – қоспа температурасының мәнінде қоспа алып тұрған көлемге қоспа құрамына енетін бір газдың ие болған жағдайда алатын қысым.

Қоспаның қысымы парциалдық қысымдардың қосындысымен анықталады.

Парциалдық қысым берілген газдың қоспадағы үлесіне сәйкес келетін жалпы қысымның бөлігін құрайды.

Химиялық реакцияға түспейтін идеал газдардың қоспасының қысымы жекелеген әр газдың парциалдық қысымының қосындысына тең болады.

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n.$$

Бұл заңды 1809 жылы ағылшын фалымы Джон Дальтон ашты, сондықтан оның құрметіне **Дальтон заңы** деп аталады.

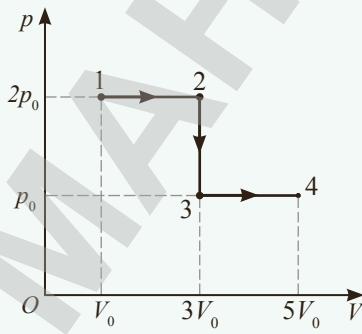
Бақылау сұрақтары

- Изопроцесс дегеніміз не?
- Қандай процесс изотермалық процесс деп атайды? Изобаралық процесс, изохоралық процесс дегеніміз не?
- Қандай зандасты газ зандасты деп атайды?
- Газ зандастын тұжырымданадар.
- Қандай қысым парциалдық қысым деп аталады?
- Дальтон, Авогадро зандастын тұжырымданадар.

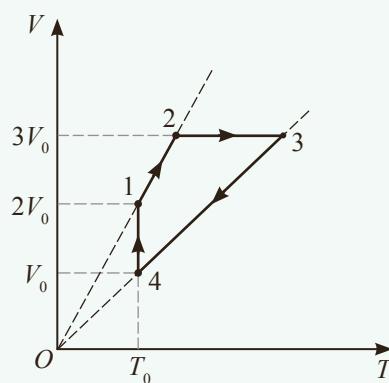
Жаттығу

21

- 1 МПа қысымда 10 л ауасы бар ыдысты сыйымдылығы 4 л болс ыдыспен жалғайды. Ійдистарда орнаған қысымды анықтаңдар. Процесс изотермалық болады.
- 27°C температурада газдың алатын көлемі 10 л . Оның көлемі бастапқы көлемінен 25% кішірею үшін оны қандай температурага дейін изобаралық түрде сұту керек?
- $T = 280 \text{ K}$ температурада тығыз тығындалған бөтелкенің ішіндегі ауа қысымы $p = 100 \text{ кПа}$. Егер сұық бөтелкеден тығынды $F = 10 \text{ Н}$ күшпен жұлдып алуға болатын болса, тығын ұшып шығуы үшін бөтелкені қандай температурага дейін қыздыру керек? Тығын қимасының ауданы $S = 4 \text{ см}^2$.
- pT және VT -диаграммаларында идеал газben жүргізілетін процестерді (115-сурет) бейнелеңдер. Газдың температурасы 4 -күйдегі 1 -күйдегі температурасынан неше есе артық?
- 116-суретте VT -координаталарында идеал газben жүргізілетін циклдің диаграммасы берілген. Осы циклдің диаграммасын pV -координатасында бейнелеңдер. Осы циклдегі ең үлкен газ көлемінің ең кішісіне қатынасын анықтаңдар.



115-сурет. 4-есепке



116-сурет. 5-есепке

7-тараудың қорытындысы

Менделеев – Клапейронның күй тендеуі	Клапейронның	Менделеев – Клапейронның
$pV = \frac{m}{M} RT$	Біріккен газ заңы	
Дальтон заңы	$m = \text{const}$ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$ $p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$	$\frac{p_1 V_1 M_1}{T_1 m_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{T_2 m_2}$ $\frac{pVM}{mT} = \text{const}$
Бойль – Мариоттың	Гей-Люссактың	Шарльдің
Газ заңдары		
$m = \text{const}, T = \text{const}$ $p_1 V_1 = p_2 V_2$ $pV = \text{const}$	$m = \text{const}, p = \text{const}$ $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ $\frac{V}{T} = \text{const}$	$m = \text{const}, V = \text{const}$ $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$ $\frac{p}{T} = \text{const}$

Заңдар

Бойль – Мариотт заңы: Температураның тұрақты мәнінде берілген газ қысымы мен көлемінің көбейтіндісі тұрақты шама болып қалады.

Гей-Люссак заңы: Газ массасы тұрақты және қысым өзгермейтін болса, оның көлемінің температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

Шарль заңы: Газдың массасы тұрақты және көлемі өзгермейтін болса, оның қысымының температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

Клапейронның біріккен газ заңы: Берілген газ массасы үшін көлем мен қысым көбейтіндісінің абсолют температураға қатынасы – газ күйіне тәуелсіз тұрақты шама болады.

Дальтон заңы: Химиялық реакцияға түспейтін идеал газдардың қоспасының қысымы жекелеген әр газдың парциалдық қысымының қосындысына тең болады.

Глоссарий

Газ заңы – изопроцесстердегі өзгеретін екі термодинамикалық параметр арасындағы тәуелділік тендеуі.

Изопроцесс – массасы өзгермейтін жүйе параметрлерінің бірінің мәні тұрақты болған кезде өтетін процесс.

Изотермалық процес – тұрақты температурада термодинамикалық жүйе күйінің өзгеруі.

Изобаралық процес – тұрақты қысым кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

Изохоралық процесс – тұрақты көлем кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

Газ күйінің тендеуі – термодинамикалық параметрлерді байланыстыратын теңдеу.

Парциалдық қысым – қоспа температурасының мәнінде қоспа алып тұрған көлемге қоспа құрамына енетін бір газдың ие болған жағдайда алатын қысым.

8-ТАРАУ

ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ

Термодинамика денелердің жылу энергиясын мәшиненің механикалық энергиясына түрлендіру тәсілдері туралы эксперименттік ғылым ретінде пайда болған. Жылу мәшинелері қол еңбегін механикаландыруда негізгі рөл атқарып келеді.

Жылу алмасу адам өміріндегі негізгі процестердің бірі болғандықтан, термодинамика негіздері физиканың қолданылады.

Термодинамика – механикалық және ішкі энергиялардың өзара түрленуін, ішкі энергияның бір денеден басқа денеге берілуін зерттейтін физика бөлімі.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- есептер шығаруда біратомды және екіатомды идеал газдың ішкі энергиясын есептеу формулаларын қолдануды;
- термодинамиканың бірінші заңын изопроцестер мен адіабаталық процестерге қолдануды;
- идеал жылулық қозғалтқыш үшін Карно циклін сипаттауды;
- есептер шығаруда жылулық қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентінің формуласын қолдануды үйренесіңдер.

§ 22. Идеал газдың ішкі энергиясы. Термодинамикалық жұмыс. Жылу мөлшері, жылусыйымдылық

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- есептер шығаруда біратомды және екіатомды идеал газдың ішкі энергиясының формулаларын пайдалана аласындар.

I Ишкі энергия

МКТ бойынша деңенің ішкі энергиясы – деңенің күрәйтін бөлиектердің өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы мен олардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының қосындысы.

Ішкі энергия температура мен көлемнің функциясы $U(T, V)$ болып табылады, себебі бөлшек қозғалысының энергиясы деңе температурасына тұра пропорционал:

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} k T, \quad (1)$$

ал өзара әрекеттесудің потенциалдық энергиясы олардың арасындағы арақашықтыққа, демек, деңе көлеміне тәуелді.

Қандай да бір көлемдегі идеал газдың ішкі энергиясын анықтайық. Идеал газдардың өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы ескермеуге болатындей өте аз, сондыктан деңенің ішкі энергиясы оның барлық молекулаларының орташа кинетикалық энергиясының қосындысына тең:

$$U = N \bar{E} = v N_A \frac{3}{2} k T = \frac{3}{2} v R T. \quad (2)$$

Зат мөлшерін массаның мольдік массаға қатынасымен алмастырсақ:

$$v = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

біратомды идеал газдың ішкі энергиясын есептей формуласын аламыз:

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} R T. \quad (4)$$

Менделеев – Клапейронның күй тендеуін пайдалана отырып, біратомды газдың ішкі энергиясын қысым мен көлем арқылы өрнектейік:

$$U = \frac{3}{2} p V \quad (5)$$

Ішкі энергия газ бір күйден басқа күйге өткен кездең өту процесіне тәуелді емес, ол тек p, V, T күй параметрлеріне тәуелді.

Температура өзгерген кезде газдың ішкі энергиясы өзгереді, ішкі энергияның өзгерісі мынаған тең:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} (T_2 - T_1)$$
$$\Delta U = \frac{3}{2} v R \Delta T. \quad (6)$$

немесе

Газдың ішкі энергиясының өзгерісі деңе температурасының өзгерісіне тұра пропорционал. Егер температура тұрақты болса, онда газдың ішкі энергиясы өзгермейді.

II Қепатомды газдардың ішкі энергиясы

Біратомды газдардың ішкі энергиясы $i = 3$ үш еркіндік дәрежесімен сипатталатын атомдардың жылулық қозғалысының кинетикалық энергиясымен анықталады, себебі қеністік – үшөлшемді. (4) және (5) формулаларға еркіндік дәрежесінің белгілеуін енгіземіз:

$$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT \quad (7)$$

немесе

$$U = \frac{i}{2} pV, \quad (8)$$

мұндағы i – еркіндік дәрежесінің саны.

Екіатомды молекулалар өздерінің екі осінің бойымен айналады, сондыктан олар үшін еркіндік дәрежесінің саны 2-ге артады да, $i = 5$ болады. Үш және одан да көпатомды газдар үшін молекулалар ішіндегі атомдар тербелмелі қозғалыс жасайды. Мұндай атомдардың еркіндік дәрежесі $i = 6$.

III Ұлғаю кезіндегі газдың немесе будың жұмысы

Ұлғаю кезіндегі газ жұмысын анықтайық. Газ салмақсыз поршень астындағы ыдыста орналасқан делік. Қыздыру кезінде газ қысымы артады, поршень қысым сыртқы ортаның қысымына тең $p_1 = p_2$ (117-сурет) немесе $F = F'$ болғанға дейін орын ауыстырады. Әрі осы кезде қозғалатын молекулалардың ішкі энергиясы поршень қозғалысының механикалық энергиясына айналады.

Жұмыс – энергияның бір түрден басқа түрге түрленуінің өлиемі. Ұлғаю кезінде газдың атқаратын жұмысы:

$$A = F(h_2 - h_1) = pS(h_2 - h_1)$$

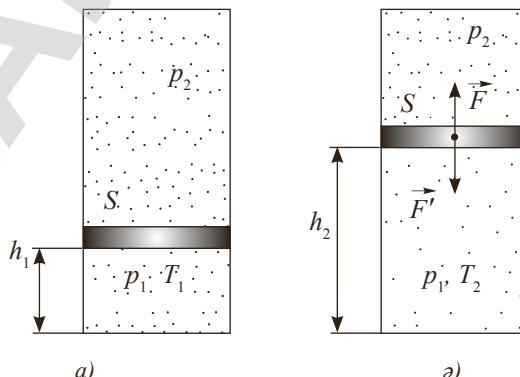
немесе: $A = p\Delta V$ (9)

мұндағы p – газ қысымы, S – поршень ауданы, ΔV – поршень астындағы газ көлемінің өзгерісі.

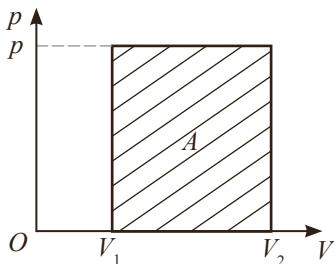
Сыртқы күштің жұмысы: $A' = -F'(h_2 - h_1) = -A$. Ұлғаю кезінде газдың жұмысы он шама $A > 0$, сыртқы қысым күшінің жұмысы теріс шама болады $A' < 0$. Сығылған кезде газ жұмысы теріс шама, сыртқы күштердің жұмысы он шама болады, осылайша:

$$A' = -A. \quad (10)$$

pV -диаграммасында (118-сурет) процесс графигімен, абсисса осімен және V_1 және V_2 нүктелерінде түргызылған перпендикулярлармен шектелген ауданның сандық мәні газ жұмысына тең.



117-сурет. Газ ұлғаю кезінде жұмыс атқарады



118-сурет. Диаграммадағы фигура ауданының сандық мәні газдың атқаратын жұмысына тең

IV Жылу мөлшері. Жылусыйымдылық

Жылу мөлшері Q – жылуберілу кезіндегі ішкі энергияның өзгеруінің сандық өлшемі. Ол джоульмен өлшенеді.

$$[Q] = 1 \text{ Дж.}$$

Қыздыру мен салқындау және заттың фазалық ауысуы кезіндегі жылу мөлшерін есептеу формулалары 8-сыныптағы физика курсынан таныс (*8-кесте*).

8-кесте. Жылу мөлшерін есептеу формулалары

Процесс	Формула
Қыздыру мен салқындау	$Q = cm(t_2 - t_1)$
Балқу	$Q = \lambda m$
Қатаю	$Q = -\lambda m$
Қайнау	$Q = r \cdot m$
Конденсация	$Q = -r \cdot m$
Отынның жануы	$Q = qm$

Қыздыру мен салқындау кезіндегі жылу мөлшерін есептеу үшін **заттың менишкіті** жылусыйымдылығы енгізілген. Фазалық ауысу кезіндегі жылу мөлшерін анықтау үшін заттың меншікті жылуы қолданылады (*9-кесте*).

Дененің жылусыйымдылығын C_d қолдану қыздыру мен салқындау кезіндегі жылу мөлшерін есептеуді жөнілдетеңіз.

Дененің жылусыйымдылығы – массасы m дененің температурасы 1 K-ға өзгерген кезде алатын немесе беретін жылу мөлшері.

Дененің жылусыйымдылығы мен заттың меншікті жылусыйымдылығы мына қатынаспен байланысады:

$$C_d = cm. \quad (11)$$

Дененің жылусыйымдылығын қолданып, жылу мөлшерін есептеу формуласы мынадай түрде болады:

$$Q = C_d (t_2 - t_1). \quad (12)$$

Жауабы қандай?

- Жылу мөлшері мен жұмыстың өлшем бірлігі ретінде неліктен джоуль алынган?
- Сендерге энергияның жүйелік емес қандай өлшем бірлігі белгілі? Осы өлшем бірліктерінің джоульмен қатынасын көрсетіңдер.

Есте сақтандар!

1 кал $\approx 4,19$ Дж

Назар аударындар!

Формулалардағы теріс таңбасы энергияденеден басқа денелерге немесе қоршаган ортаға берілетінін білдіреді.

2-тапсырма

9-кестеде берілген шамаларға анықтама беріңдер.

Есте сақтандар!

Дененің жылусыйымдылығының өлшем бірлігі:

$$[C_d] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{K}}$$

Физикалық шама	Белгіленуі	Өлшем бірлігі
Заттың меншікті жылуысының дыбысы	c	$[c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Меншікті балқу жылуы	λ	$[\lambda] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Меншікті булану жылуы	r	$[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Отынның меншікті жану жылуы	q	$[q] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

V Жылулық баланс теңдеуі

Температураларының мәндері әртүрлі жылуоқшауланған денелер жүйесінде жылу алмасу процесі жүреді. Процесс жүйеде жылулық тепе-тендік орнағанға дейін жалғасады. Бұл жағдайда денелер жүйесі үшін жылулық баланс теңдеуі орындалады:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0, \quad (13)$$

мұндағы n – жүйедегі денелер саны.

Жылу алмасу нәтижесінде дene энергия жүттатын болса, онда (9) теңдеудегі дeneге берілетін жылу мөлшері оң, ал дene энергия бөлөтін болса – жылу мөлшері теріс мәнде болады.

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Температуrasesы -20°C мұзға толығымен батырылған қыздырылған алюминий текшениң бастапқы температуrasesы анықтандар. Текшениң салқындауы кезіндегі көлемінің өзгерісін ескермеуге болады.

Берілгені:

$$t_1 = -20^{\circ}\text{C}$$

$$c_1 = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\rho_1 = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_2 = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$T_2 - ?$$

ХБЖ

$$T_1 = 253 \text{ К}$$

Шешуі:

Текше толығымен мұзға батуы үшін көлемі текше көлеміндей мұзды еріту қажет. Екі дene үшін жылулық баланс теңдеуін жазайық: $Q_1 + Q_2 = 0$, мұндағы Q_1 – мұздың 0°C -ге дейін қыздырылуы және балқуы кезінде алған жылу мөлшері, Q_2 – текшениң 0°C -ге дейін салқындауынан көзде одан бөлінетін жылу мөлшері.

$$Q_1 = c_1 m_1 (T_{\text{бал}} - T_1) + \lambda m;$$

$$Q_2 = c_2 m_2 (T_{\text{бал}} - T_2), m_1 = \rho_1 V, m_2 = \rho_2 V$$

болғандықтан, мына өрнекті жазамыз:

$$c_1 \rho_1 V (T_{\text{бал}} - T_1) + \lambda \rho_1 V + c_2 \rho_2 V (T_{\text{бал}} - T_2) = 0.$$

Соңғы теңдеуден жақшаларды ашып, мынаны табамыз:

$$T_2 = \frac{c_1 \rho_1 (T_{\text{бал}} - T_1) + \lambda \rho_1}{c_2 \rho_2} + T_{\text{бал}}.$$

Есептеулер жүргізейік:

$$T_2 = \frac{2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (273 - 253) K + 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} + 273 K = 303 K.$$

Жауабы: 303 K.

Бақылау сұрақтары

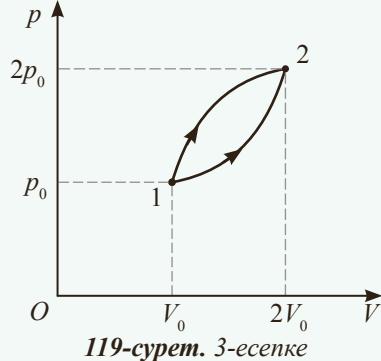
- Ішкі энергия дегеніміз не? Ол қандай параметрлерге тәуелді?
- Дененің немесе денелер жүйесінің ішкі энергиясын қандай тәсілдермен өзгертуге болады?
- Жылуберілу түрлерін атаңдар. Оларға анықтама беріңдер.
- Жылу мөлшері дегеніміз не? Сендерге жылу мөлшерін есептеудің қандай формулалары белгілі?
- Дене жылусыйымдылығының заттың меншікті жылусыйымдылығынан айырмашылығы неде?
- Атқарылған жұмыстың физикалық мағынасы қандай?



Жаттығу

22

- 240 г оттекті 100 К-ге дейін сұытқанда оның ішкі энергиясы қалай өзгереді?
- Температурасы 27°C , мөлшері 5 моль біратомды идеал газдың ішкі энергиясын анықтаңдар.
- Газдың ішкі энергиясының өзгерісі оның 1-күйден 2-күйге өту тәсіліне тәуелді ме (*119-сурет*)? Газ біратомды болса, 1 күйден 2-күйге өту кезіндегі ішкі энергияның өзгерісін анықтаңдар. $p_0 = 10^5 \text{ Па}$, $V_0 = 2 \text{ л}$.
- Бастапқы температурасы $T = 300 \text{ K}$, мөлшері 1 моль газ $A = 12,5 \cdot 10^3 \text{ Дж жұмыс}$ атқарып, изобаралық түрде ұлғаяды. Осы кезде газдың көлемі неше есе артады?
- Массасы $m = 220 \text{ г}$ заттың қандай да бір мөлшерін $t_1 = 330^{\circ}\text{C}$ температурага дейін қызырады және одан соң оны калориметрдің массасы $m = 90 \text{ г}$ алюминий ыдысына батырады. Бідыста температурасы $t_2 = 11,5^{\circ}\text{C}$, массасы $m_3 = 150 \text{ г}$ су бар. Массасы $m_4 = 17 \text{ г}$ шыны термометрмен өлшешген соңғы температура – $t_3 = 33,8^{\circ}\text{C}$. Бұл заттың меншікті жылусыйымдылығы қандай? Термометрдің бастапқы температурасы $t_4 = 20^{\circ}\text{C}$.



119-сурет. З-есепке

§ 23. Термодинамиканың бірінші заңы. Термодинамиканың бірінші заңын изопроцестерге қолдану. Адиабаталық процесс, Пуассон тендеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты шағарғанда:

- термодинамиканың бірінші заңын изопроцестер мен адиабаталық процеске қолдана аласыңдар.

I Термодинамиканың бірінші заңы

Энергияның берілуінің екі тәсілін ескеріп, термодинамиканың бірінші заңын тұжырымдайық.

Бір күйден екінші күйге өткен кездегі деңениң ішкі энергиясының өзгерісі ΔU сыртқы құштердің атқаратын жұмысы A' мен денеге берілген жылу мөлшерінің Q қосындысына тең.

$$\Delta U = A' + Q. \quad (1)$$



Жауабы қандай?

- Қатты денелердің ішкі энергиясының өзгерісін неліктен денеге берілген немесе денеден бөлінген жылу мөлшерін есептеп қана анықтауға болады?
- Неліктен зенбірек ұнғысы оқсыз атқан кезде оқпен атқанға қарағанда қаттырақ қызды?

Термодинамиканың бірінші заңы жылулық процестер үшін энергияның сақталу және түрлену заңы болып табылады. Дененің ішкі энергиясының өзгеруін оның күйіне қарап байқауға болады. Дене температурасының артуы, оның майдалануы немесе шашырауы, балкуы, қайнауы, булануы, көлемінің ұлғаюы дененің ішкі энергияның артуын көрсетеді.

Егер бір немесе бірнеше дененің күйін өзгерту үшін энергия жұмсалса, онда олардың ішкі энергиясы артады.

Газдың жұмысы мен денемен атқарылған жұмыстың таңбалары қарама-қарсы:

$$A = -A'.$$

Соңғы арақатынасты пайдаланып, газдар үшін термодинамиканың бірінші заңын жазайық:

$$Q = A + \Delta U. \quad (2)$$

Газға берілген жылу мөлшері ішкі энергияның өзгерісіне және газдың жұмыс атқаруына жұмсалады.

Ұлғаю кезінде қатты денелердің көлемі аз ғана өзгеретіндіктен, денеге берілген жылу мөлшері оның ішкі энергиясының өзгерісін анықтайды:

$$Q = \Delta U.$$

II Изохоралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы

Изохоралық процесс кезінде газ көлемі өзгермейді, демек, газ жұмыс атқармайды. Термодинамиканың бірінші заңы мынадай түрге келеді:

$$V = \text{const} \text{ болғанда } Q_V = \Delta U. \quad (3)$$

Табылған (3) өрнекке жылу мөлшерін және ішкі энергия өзгерісін есептеу формулаларын қоямыз:

$$Q_V = c_V m \Delta T,$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T,$$

онда $c_v m \Delta T = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T$.

Тендеудің екі жағын $m \Delta T$ өрнегіне бөлеміз, сонда тұрақты көлем кезіндегі газдың меншікті жылусыйымдылығын есептеу формуласын аламыз:

$$c_v = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}. \quad (4)$$

Тұрақты көлем кезінде идеал газдың меншікті жылусыйымдылығы: біратомды газ үшін: $c_v = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{M}$, екіатомды газ үшін $c_v = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M}$.

Термодинамиканың бірқатар есептерін шешу кезінде заттың мольдік жылусыйымдылығын пайдаланады, ол заттың меншікті жылусыйымдылығының мольдік массасына көбейтіндісіне тең. Тұрақты көлем кезіндегі газдың мольдік жылусыйымдылығы:

$$C_{MV} = c_v M = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M} \cdot M$$

$$C_M = \frac{i}{2} R. \quad (5)$$

Мольдік жылусыйымдылық – заттың бір молінің жылусыйымдылығы.

$$\text{Өлшем бірлігі: } [C_M] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

III Изобаралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы

Изобаралық процесс кезінде алынған жылу мөлшері газдың ішкі энергиясының өзгерісіне және газдың жұмыс атқаруына жұмсалады:

$$Q = \Delta U + A. \quad (6)$$

Изобаралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңына (6) жылу мөлшерін Q , ішкі энергияның өзгерісін ΔU және $A = p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T$ жұмысты есептеу формулаларын қоямыз:

$$c_p m \Delta T = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T. \quad (7)$$

(7) тендеуді $m \Delta T$ өрнегіне бөлеміз, сонда изобаралық процесс үшін газдың меншікті жылусыйымдылығын есептеу формуласын табамыз:

$$c_p = \frac{i}{2} \frac{R}{M} + \frac{R}{M} = c_v + \frac{R}{M} \text{ немесе } c_p = \frac{R}{M} \left(\frac{i}{2} + 1 \right).$$

Тұрақты қысым кезінде газдың мольдік жылусыйымдылығы:

$$C_{Mp} = R \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \quad (8)$$



Жауабы қандай?

- Неліктен газдар үшін меншікті жылусыйымдылықтың бірнеше мәні енгізілген?
- Газдың меншікті жылусыйымдылығы неліктен изохоралық процеске қарағанда изобаралық процесс кезінде көбірек болады?

Изохоралық және изобаралық процестер кезіндегі газдың мольдік жылусыйымдылықтары арасындағы байланысты неміс фалымы Р.Майер тағайыннады:

$$C_{Mp} = C_{MV} + R. \quad (9)$$

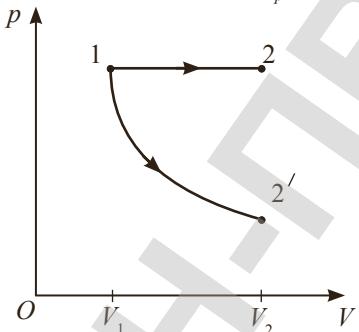
IV Изотермалық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы

Егер газ температурасы өзгермесе, оның ішкі энергиясы тұрақты шама болып қалады, онда термодинамиканың бірінші заңы мына түрге келеді:

$$Q_T = A. \quad (10)$$

Изотермалық процесс кезінде газдың қысымы мен көлемі өзгереді. Бұл газ жұмысын анықтауды киындаады. Сапалық есептерде газ жұмысын pV -диаграммасындағы фигура ауданы бойынша анықтауға болады.

120-суретте екі процесс бейнеленген: 1→2 изобаралық ұлғаю және 1→2' изотермалық ұлғаю. Қарастырылып отырған процестерде газ көлемі бірдей мәнге өзгерді: $\Delta V = V_2 - V_1$. Графиктерден көрініп тұрандай, изотермалық процесс кезінде атқарылатын жұмыс изобаралық процесс кезінде атқарылатын жұмысқа қаралада азырақ: $A_T < A_p$.



120-сурет. Изобаралық ұлғаю кезінде газдың жұмысы изотермалыққа қаралада көп болады

V Адиабаталық процесс, Пуассон теңдеуі

Адиабаталық процесс жылуоқшауланған газдардаған орындалады.

Адиабаталық процес – термодинамикалық жүйеде қоршаған денелермен жылу алмасу болмаған жағдайда орындалатын процесс.

Температура артатын адиабаталық процеске аяу оттығында жанғыш заттың буымен бірге ауа-ның сыйылуы немесе ІЖК цилиндрінде бензиндік

Бұл қызық!

Неміс дәрігері және табиғат зерттеушісі Р. Майер 1841 жылы голландиялық кемеде Ява арапына кеме дәрігері ретіндегі сапары кезінде жылу процестеріндегі энергияның сақталу заңын ашты.

Оның солтүстік және оңтүстік ендіктердегі емделушілердің күретамыр мен құттамырдағы қандарының түсін салыстыруы осы жағалықты ашуға негіз болған.

Р.Майер тірі ағзаларда болатын процестерге энергияның сақталу заңын қолдануды қарастырған. Ол Жердегі күн энергиясының аккумуляторы өсімдіктер болып табылатынын, ал басқа ағзаларда оның түрленуі ғана орындалатынын айтқан.

Назар аударындар!

Универсал газ тұрақтысы тұрақты қысымда 1 моль газдың температурасын 1 K-га арттыру үшін оның қандай жұмыс атқаруы керектігін көрсетеді.

Осылың дәлелдейік. Газ жұмысын есептеу формуласынан универсал газ тұрақтысын өрнектейік: $A = vR\Delta T$

сонда: $R = \frac{A}{v\Delta T}$.

$v=1$ моль, $\Delta T = 1 K$ болғанда, $R = A$.

Тапсырма

1. Табиғаттағы, техника мен тұрмыстағы изопроцестерге мысал келтіріңдер.
2. Барлық біратомды газдардың мольдік жылу-сыйымдылығы бірдей және изохоралық процесс кезінде ең кіші мәнге ие болатынын дәлелдендер.

коспаның сығылуы мысал бола алады. Су буынан тұратын ауаның адиабаталық ұлғаюы нәтижесінде бұлттар түзіледі.

Адиабаталық процесс үшін $Q = 0$, демек, термодинамиканың бірінші заңы мына түрге келеді:

$$\Delta U = A' \quad (11)$$

немесе $A = -\Delta U$. (12)

Адиабаталық процесс кезінде сыртқы күштердің жұмысы газдың ішкі энергиясының артуына тең (11). Адиабаталық процесс кезінде газ жұмысы тек ішкі энергияның кемуі есебінен орындалады (12). Эрі осы кезде газ салқындейды.

Бірдей мәнге ұлғайған кезде адиабаталық процесстегі газдың жұмысы изотермалық процеспен салыстырғанда аз болады. Бұл корытындыға 121-суреттегі pV -диаграммасынан көз жеткізуге болады.

Адиабаталық процесс үшін Пуассон тендеуі орындалады:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

немесе

$$p V^\gamma = \text{const}$$

мұндағы $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$.

VI Мәңгі қозғалтқышты жасаудың мүмкін еместігі

Көптеген өнертапқыштар мәңгі қозғалтқыш жасап шығуға талпынды. Барлық талпыныстардың сәтсіз аяқталуы – термодинамиканың бірінші заңының орындалуының тәжірибе жүзіндегі дәлелдемесі. Термодинамиканың бірінші заңынан $A = Q - \Delta U$ екені шығады, демек, кез келген қозғалтқыш тек сырттан алынған Q энергияның немесе $Q = 0$ болғанда өзінің ішкі энергиясының кемуі $A = -\Delta U$ есебінен жұмыс атқарады.

Бірінші ретті мәңгі қозғалтқыш – сырттан энергия алмай, шексіз ұзак, уақыт бойы жұмыс жасай алатын қиялдағы мәшине.

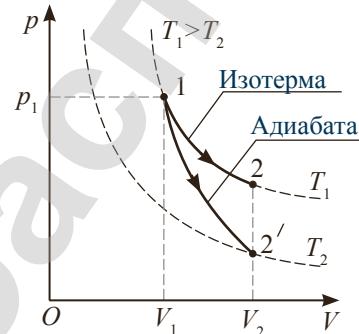
ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Поршень астында орналасқан цилиндрдегі біратомды идеал газды қыздырғанда газ 600 Дж жұмыс атқарады. Газға қанша жылу мөлшері берілді?



Есте сақтандар!

Егер процесс көршаган орта газбен жылу алмасып үлгемейтін қысқа уақыт аралығында ететін болса, онда оны адиабаталық деп санауга болады.



121-сурет. Адиабаталық процесс кезінде газдың жұмысы изотермалық процеске қараганда аз болады



Жауабы қандай?

Неліктен мәңгі қозғалтқыш жасау мүмкін емес?

Берілгені:

$$i = 3$$

$$A = 600 \text{ Дж}$$

$$Q - ?$$

Шешуі:

Термодинамиканың I заңы формуласын жазайық: $Q = A + \Delta U$. (1)

Біратомды газдың ішкі энергиясы: $\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} p\Delta V$. (2)

Газ жұмысы:

$$A = p\Delta V.$$

(3)

(1), (2) және (3) теңдеулерді қатар шешіп, мына өрнекті аламыз: $Q = \frac{3}{2} A + \Delta U = \frac{5}{2} A$.

Жұмыстың сандық мәнін қойып, есептеулер жүргіземіз: $Q = \frac{5}{2} \cdot 600 \text{ Дж} = 1500 \text{ Дж}$.

Жауабы: $Q = 1500 \text{ Дж}$.

Бақылау сұрақтары

1. Термодинамиканың бірінші заңын тұжырымдаңдар.
2. Изопроцестер үшін термодинамиканың бірінші заңын тұжырымдаңдар.
3. Қандай процесс кезінде газдың жылусыйымдылығы көбірек?
4. Газдың изохоралық және изобаралық процестер кезіндегі жылусыйымдылықтары арасында қандай байланыс бар? Олардың байланысын кім анықтады?
5. Мольдік жылусыйымдылық деген не? Ол қандай өлшем бірлігімен өлшенеді?
6. Универсал газ тұрақтысының физикалық мағынасы қандай?
7. Адиабаталық процесс қандай жағдайда орындалады?



Жаттығу

23

1. 800 моль газды 500 К-ге изобаралық қыздыру үшін 9,4 МДж жылу берілді. Газдың жұмысын және ішкі энергияның өзгерісін анықтаңдар.
2. Жабық ыдыста $T = 300 \text{ K}$ температурада 4 моль аргон бар. Егер газға $Q = 900 \text{ Дж}$ жылу мөлшері берілсе, ыдыстағы қысым неше процентке артады?
3. 1 кмоль гелий изобаралық үлғаяды. Газ температурасы $\Delta T = 30 \text{ K}$ -ге атады. Газдың ішкі энергиясының өзгерісін, оның атқарған жұмысын және газға берілген жылу мөлшерін анықтаңдар.
4. Газды $T_1 = 280 \text{ K}$ температурадан $T_2 = 340 \text{ K}$ температураға дейін изобаралық қыздыру кезінде $Q = 5 \text{ кДж}$ жылу мөлшері, изохоралық қыздыру кезінде $Q = 3,56 \text{ кДж}$ жылу мөлшері қажет болды. Температурасы 288 K, қысымы $p = 19,6 \text{ кПа}$ газ көлемін анықтаңдар.
5. Адиабаталық үлғаю кезінде газ $A = 400 \text{ Дж}$ жұмыс жасады. Оның ішкі энергиясы қалай және қаншаға өзгерді?

Шығармашылық тапсырма

Фалымдар туралы хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

Р.Майер, Д.Джоуль, Г.Гельмгольц.

§ 24. Қайтымды және қайтымсыз процестер. Энтропия. Термодинамиканың екінші заңы. Айналмалы процесс және оның пайдалы әсер коэффициенті, Карно циклі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- идеал жылулық қозғалтқыш үшін Карно циклін сипаттайды аласындар;
- есептер шығаруда жылулық қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін есептеу формуласын пайдалана аласындар.

I Жылулық қозғалтқыштардың әрекет ету принципі

Кез келген жылулық қозғалтқыш үш бөліктен: қыздырығыштан, сұытқыштан, ұлғаятын және сығылатын жұмыстық денеден (*122-сурет*) тұрады. Әдетте поршені бар ыдыстың ішіне толтырылған газ немесе бу жұмыстық денениң рөлін атқарады. Техникалық міндет – жұмыстық денениң қыздырығышпен және сұытқышпен жанасуына мүмкіндік беру. Қыздырығышпен жанасқан кезде жұмыстық дene ұлғаяды және жұмыс атқарады. Сұытқышпен жанасқан кезде жұмыстық дene сығылады, поршень бастапқы орнына қайтып келеді, цикл қайта басталады: қыздырығыштан энергия алған жұмыстық дene ұлғаяды.

II Циклдік процес.

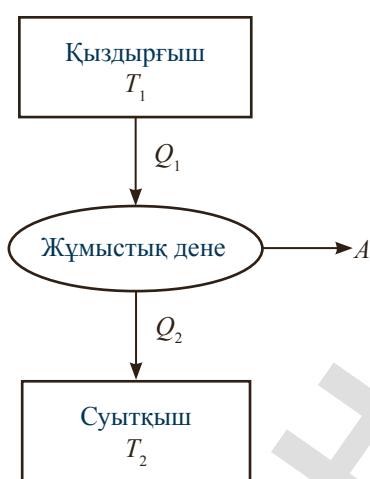
Бір цикл кезіндеғі газдың жұмысы

Екі изобара мен екі изохорадан тұратын айналмалы процесті қарастырайық (*123-сурет*).

Диаграммадан газ ұлғая отырып, сандық мәні *ABCD* фигурасының ауданына тең болатын оң жұмыс атқаратының $A_1 > 0$ көреміз. Сығылу кезінде газ жұмысы $A_2 < 0$ теріс мәнге ие, сандық мәні *AFKD* фигурасының ауданына тең жұмыс атқарады. Демек, цикл ішінде газдың атқарған жұмысы циклдің барлық күйлерінің графикаларымен шектелген *BCKF* фигурасының ауданына тең:

$$A = A_1 - A_2. \quad (1)$$

Айналмалы процесс немесе цикл – жүйе бірнеше аралық күйден өткен соң бастапқы күйіне қайтып келетін процес.



122-сурет. Жылу мәшинесінің принциптік сұлбасы

1-тапсырма

Қосымша ақпарат көзде-рін пайдаланып, дизель мен ИЖК жұмыс циклдері қандай термодинамикалық процестерден тұратынын анықтаңдар.

III Жылу мәшинелері. Мәшиненің пайдалы әсер коэффициенті

Егер айналмалы процесс тұра цикл бойынша жүретін болса: 1-күйден 3-күйге өтіп, одан соң сағат тілінің бағытымен бастапқы 1-күйіне қайтып келсе, онда мәшиненің жылу мәшинесі деп атайды. Онда қыздырығыштан жұмыстық денеге берілген энергия механикалық энергияға айналады, жұмыс атқарылады.

Жылу мәшинесі – газдың немесе будың ішкі энергиясын механикалық энергияға айналдыруға арналған құрылғы.

Жылулық қозғалтқыштағы газ жұмысын анықтайық. Газ 1-күйден 3-күйге өткен кездегі ұлғаю процесі үшін термодинамиканың бірінші заңын жазайық:

$$Q_1 = (U_3 - U_1) + A_1, \quad (2)$$

және сыйылу процесі үшін:

$$-Q_2 = (U_1 - U_3) - A_2. \quad (3)$$

(2) және (3) теңдеудерді қосып, мына өрнекті аламыз:

$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2.$$

(1) арақатынасты ескерсек:

$$Q_1 - Q_2 = A \quad (4)$$

мұндағы Q_1 – қыздырғыштан газга берілген жылу мөлшері; Q_2 – газдан сүйтқышқа берілген жылу мөлшері.

Жылулық қозғалтқыштың ПӘК-і газ жұмысының қыздырғыштан берілген жылу мөлшеріне қатынасына тен:

$$\eta_{\text{ж}} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (5)$$

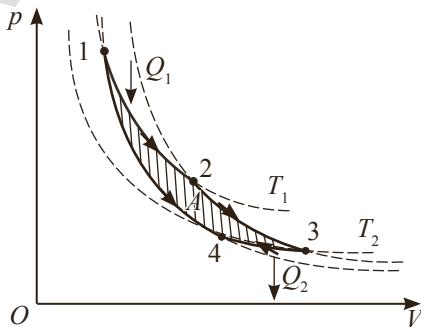
IV Карно циклі. Идеал жылу мәшинесі

Француз инженері Сади Карно 1824 жылы жылулық қозғалтқыштардың негізгі жұмыс істеу заңдарынан бекітті және ПӘК мәні максимал болатын циклді ұсынды. Карно циклі бойынша жұмыс істейтін мәшинені идеал мәшине деп атайды.

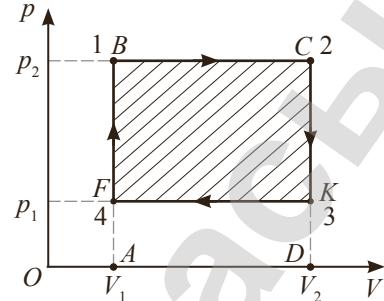
Карноның айналмалы процесі екі изотермадан және екі адіабатадан тұрады (124-сурет). 1→2 изотермалық ұлғаю кезінде қозғалтқыштың жұмыстық денесі T_1 температурасы тұрақты қыздырғыштан Q_1 жылу мөлшерін алады. 3→4 изотермалық сыйылу кезінде жұмыстық дене T_2 температурасы тұрақты сүйтқышқа Q_2 жылу мөлшерін береді.

2→3 адіабаталық ұлғаю кезінде жұмыстық денеге энергия берілмейді. Жұмыстық дененің ішкі энергиясы есебінен жұмыс атқарылады, оның температурасы азаяды. 4→1 адіабаталық сыйылу кезінде жұмыстық дененің ішкі энергиясы мен температурасы артады.

Оз есептеулерінде С.Карно идеал қозғалтқыштың ПӘК мәні 1 немесе 100 % болмайды деген қорытындыға келді, оның қыздырғыш пен сүйтқыштың температура-сымен анықталатын шегі бар:



124-сурет. Идеал мәшиненің циклдік процесінің диаграммасы



123-сурет. Екі изобара мен екі изохорадан тұратын циклдік процестің диаграммасы

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{немесе} \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (6)$$

Алынған (6) теңдеуден жылулық қозғалтқыштардың пайдалы әсер коэффициентін арттырудың екі жолы бар екені шығады: кыздырғыштың T_1 температурасын арттыру немесе сұтықшытың T_2 температурасын абсолют нөлге дейін төмөндөту. Жылулық қозғалтқыштар үшін ең ыңғайлы сұтықшы атмосфералық ауа немесе су болып табылады. Жаз мезгілінде олардың температуры шамамен 300 К болады. Қыздырғыш температурын арттыру қозғалтқыш дайындалған заттың балқу температурасымен шектеледі. Қорсетілген температура шектеулерін ескеріп, идеал жылулық мәшинениң ПЭК есептеу қыны емес, ол шамамен, 70 %.

V Термодинамиканың екінші заңы. Қайтымды және қайтымсыз процесстер

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{формуласынан} \quad \eta = 1 \quad \text{болғанда} \quad Q_2 = 0$$

екендігі шығады. Бірақ мұндай шарттарда қозғалтқыш циклді қайталай алмайды. Идеал мәшинеде де жұмыстық дene салқындан, бастапқы күйіне қайтып келуі үшін энергиясының бір бөлігін сұтықшқа беруі керек. $Q_2 = 0$ болғанда қозғалтқыштар жұмысында термодинамиканың екінші заңы орындалмайды.

Циклдік әрекет ететін жылу мәшинесінде нәтижесі қыздырғыштан алынған барлық жылу мөлшерін механикалық жұмысқа айналдыру болатын процесс мүмкін емес.

Термодинамиканың екінші заңының мұндай тұжырымын Кельвин жасаған. Барлық жылу мөлшерін жұмысқа айналдыратын қиялдағы механизмді екінші ретті мәнгі қозғалтқыш деп атайды. Мұндай механизмнің болуы мүмкін емес.

Жылу температурасы жоғары денелерден температурасы төмен денелерге өздігінен беріледі.

Назар аударындар!

Кез келген энергия түрі: механикалық, химиялық, электр энергиясы кез келген басқа энергия түріне түрлене алады.

Ішкі энергия ішінәра ғана басқа энергияға түрлену мүмкін. Дене молекулалары энергияны толығымен беріп, қозғалысты тоқтата алмайды.

Жауабы қандай?

- Екінші ретті мәнгі қозғалтқыш жасау неліктен мүмкін емес?
- Әртүрлі энергия түрлерінің жылулық энергияға түрлену процесстері неліктен қайтымсыз болып табылады?

2-тапсырма

Қайтымды және қайтымсыз термодинамикалық процесстерге мысал келтіріндер.

Бұл қызық!

Барлық ыстық денелер энергияларын сұық денелерге береді. Бүкіл әлемде энтропия артуда. Барлық температуралар тенескенде және энтропия максимумға жеткенде, әлемде тек молекулалардың ретсіз қозғалысының энергиясы қалады.

Барлық процестер тоқтайды. Ғаламның жылулық өлімі орнайды. Бұл мәселе XIX ғ. аяғындағалымдарды қатты толғандырды.

Термодинамиканың екінші заңының физикалық мағынасы мынадай: молекулалардың жылулық қозгалысының энергиясы – механикалық және ядролық энергия, электр энергиясы сияқты басқа энергия түрлеріне қарағанда толығымен басқа энергия түріне айналғанда алмайды.

Әртүрлі энергия түрлерінің жылулық энергияга түрленуі жүретін кез келген физикалық процесс қайтымсыз процесс болып табылады. Ол толығымен кері бағытта жүре алмайды. Термодинамикалық жүйе бастапқы күйіне қайтып келуі үшін энергетикалық шығындар, яғни, қоршаған ортада өзгеріс болуы қажет.

VI Энтропия

Термодинамикадағы процестердің мүмкін бағыттарын S энтропия арқылы анықтауда болады.

Энтропия – энергияның қайтымсыз шашырауының өлшемі болып табылатын физикалық шама.

Энтропияның өзгерісі жүйенің берген немесе алған жылу мөлшерінің процесс жүретін температурага қатынасымен анықталады:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

мұндағы ΔS – энтропияның өзгерісі; ΔQ – жылу мөлшері; T – процестің кельвинде берілген температурасы.

Энтропияның ХБЖ-дағы өлшем бірлігі: $1 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$.

Зерттеулер қайтымды процестер үшін энтропия тұрақты болатынын көрсетті, энтропияның өзгерісі нөлге тең. Қайтымсыз процестер үшін энтропияның өзгерісі нөлден жоғары, ол артады. Бұл табиғатта, нақты қайтымсыз процестерде барлық энергия түрлерінің ішкі энергияға түрленуі басым болатынын айқындайды. Оқшауланған термодинамикалық жүйелер абсолют орнықты тепе-тендікке жету үшін энтропияның ең жоғарғы мәніне ұмтылады.

VII Суытқыш мәшинелер. Суытқыш мәшиненің пайдалы әсер коэффициенті

Кері, сағат тілінің бағытына қарама-қарсы бағытта тұйық цикл жасайтын құрылғыны суытқыш мәшине деп атайды. Суытқыш мәшинелерде сыртқы күштердің жұмысы есебінен жұмыстық дene суытқыштан Q_2 жылу мөлшерін алады және сыртқы күштер жасаған жұмыс шамасынан A' үлкен болатын Q_1 жылу мөлшерін қыздырығышқа береді: $Q_1 = Q_2 + A'$.

Суытқыш мәшиненің ПӘК-і:

$$\eta_c = \frac{Q_2}{A'}$$

$$\eta_c = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2},$$

немесе

Бұл қызық!

Жер планетасы мен ондағы тірі және өлі табиғат ең күрделі өзіндік экожүйе болып табылады. Жер бетінде өмір сүруді қамтамасыз ету үшін энтропия мәні төмен болатын энергия көзі – күн сәулелері қажет. Ол биосфераның өмір сүру қарекетін, фотосинтез және биохимиялық және биофизикалық реакцияларды қоса алғандағы әртүрлі процестердің өтуін қамтамасыз етеді.

мұндағы Q_2 – сүйтқыштан алынған жылу мөлшері, Q_1 – қыздырғышқа берілген жылу мөлшері, A' – сыртқы күштердің жұмысы.

$$\text{Идеал сүйтқыш мәшиненің ПӘК-і: } \eta_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

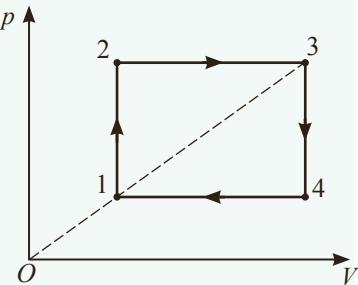
Бақылау сұрақтары

1. Қандай процесті айналмалы деп атайды?
2. Кез келген жылу мәшинесінің негізгі бөліктерін атаңдар.
3. Қандай мәшинелер тұра цикл бойынша жұмыс жасайды? Қандай мәшинелер көрі цикл бойынша жұмыс жасайды?
4. Қандай процесс Карно циклі деп аталған?
5. Термодинамиканың екінші заңын тұжырымдаңдар.
6. Энтропия қандай процестің өлшемі болып табылады?

★ Жаттығу

24

1. Жылу мәшинесі тұйық цикл бойынша жұмыс жасайды. Циклге берілген жылу мөлшері $Q_1 = 0,1$ МДж, сүйтқышқа берілген $Q_2 = 80$ кДж. Цикл үшін пайдалы жұмыс пен жылу мәшинесінің ПӘК-ін анықтаңдар.
2. Автокөліктің ПӘК-і $\eta = 22\%$. Егер автокөлік қуаты $N = 22,5$ кВт болса, онда автокөлік қозғалтқышының жану камерасында секунд сайын қанша жылу мөлшері бөлінеді?
3. Егер циклдеги ең төменгі және ең жоғары температуралар бір-бірінен 3 есе өзгеше болса (125-сурет), циклдің ПӘК-ін анықтаңдар. Жұмыстық дене – біратормды идеал газ.
4. Егер қыздырғыш пен сүйтқыштың температуралары сәйкесінше $t_1 = 200$ °C және $t_1 = 17$ °C болса, жылу мәшинесінің ПӘК-ін анықтаңдар. Циклдің ПӘК-ін $n = 2$ есе арттыру үшін қыздырғыш температурасын неше есе арттыру қажет?
5. Идеал жылу мәшинесі бір циклде $A = 73,5$ кДж жұмыс жасайды. Қыздырғыштың температурасы $t_1 = 100$ °C, сүйтқыштың температурасы $t_2 = 0$ °C. Циклдің ПӘК-ін және бір циклда сүйтқышқа берілген жылу мөлшерін анықтаңдар.



125-сурет. 3-есепке

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. Жердің және Әлемнің энтропиясы.
2. Жылулық қозғалтқыштар және қоршаған ортаны қорғау.

8-тараудың қорытындысы

Ішкі энергия, ішкі энергияның өзгерісі	Газдың жұмысы	Жылу мөлшері
$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$ $U = \frac{i}{2} pV$ $i = 3$ бір атомды газ үшін $i = 5$ екі атомды газ үшін $i = 6$ көп атомды газ үшін $\Delta U = \frac{i}{2} vR\Delta T$	$A = p\Delta V$ $A = \frac{m}{M} R\Delta T$ Сыртқы құштердің жұмысы мен газ жұмысының байланысы $A' = -A$	Қыздыру (салқындау) кезінде $Q = cm(t_2 - t_1)$ $Q = C_{\text{д}}(t_2 - t_1)$ Балку (катаю) кезінде $Q = \pm \lambda t$ Қайнау (конденсация) кезінде $Q = \pm rm$ Отын жанған кезде $Q = qm$
Термодинамиканың I заңы	Мәшинелердің ПЭК-і	Жылусыыймдылығы, жылусыыймдылықтарының байланысы
$\Delta U = A' + Q$ $Q = A + \Delta U$ Изохоралық процесс үшін $Q_v = \Delta U$ Изобаралық процесс үшін $Q_p = A + \Delta U$ Изотермалық процесс үшін $Q_T = A$ Адиабаталық процесс үшін $Q = 0$ $\Delta U = A'$ $A = -\Delta U$	Жылу мәшинесі $\eta_{\text{ж}} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ Идеал жылу мәшинесі $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ Суытқыш мәшине $\eta_c = \frac{Q_2}{A'}; \quad \eta_c = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$ Идеал суытқыш мәшине $\eta_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$	Дененің жылусыыймдылығы $C_{\text{д}} = cm$ Газдардың меншікті жылу-сыймдылығы $c_v = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}$ $c_p = \frac{R}{M} \left(\frac{i}{2} + 1 \right)$ $c_p = c_v + \frac{R}{M}$ Газдардың мольдік жылу-сыймдылығы $C_{MV} = \frac{i}{2} R$ $C_{Mp} = R \left(\frac{i}{2} + 1 \right)$ $C_{Mp} = C_{MV} + R$

Жылуоқшауланған жүйелер үшін жылулық баланс теңдеуі

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$

Термодинамика заңдары

Термодинамиканың бірінші заңы: Бір күйден екінші күйге өткен кездегі дененің ішкі энергиясының өзгерісі ΔU сыртқы құштердің атқаратын жұмысы A' мен денеге берілген жылу мөлшерінің Q қосындысына тең.

Термодинамиканың екінші заңы:

Кельвин тұжырымдамасы: Циклдік әрекет ететін жылу мәшинесінде нәтижесі қыздырпыштан алынған барлық жылу мөлшерін механикалық жұмысқа айналдыру болатын процесс мүмкін емес.

Клаузиус тұжырымдамасы: Жылу температурасы жоғары денелерден температурасы төмен денелерге жылу өздігінен беріледі.

Глоссарий

Адиабаталық процесс – термодинамикалық жүйеде қоршаган денелермен жылу алмасу болмаған жағдайда орындалатын процесс.

Бірінші ретті мәңгі қозғалтқыш – сырттан энергия алмай, шексіз ұзақ уақыт бойы жұмыс жасай алатын қиялдағы мәшине.

Екінші ретті мәңгі қозғалтқыш – барлық жылу мөлшерін жұмысқа айналдыратын қиялдағы мәшине.

Дененің ішкі энергиясы – денені құрайтын бөлшектердің өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы мен олардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының қосындysы.

Жылу мөлшері – жылуберілу кезіндегі ішкі энергияның өзгеруінің сандық өлшемі.

Айналмалы процесс немесе цикл – жүйе бірнеше аралық күйден өткен соң бастапқы күйіне қайтып келетін процесс.

Мольдік жылусыйымдылық – заттың бір молінің жылусыйымдылығы.

Дененің жылусыйымдылығы – массасы m дененің температурасы 1 K-ға өзгерген кезде оның алатын немесе беретін жылу мөлшері.

Жылу мәшинесі – газдың немесе будың ішкі энергиясын механикалық энергияга айналдыруға арналған құрылғы.

Термодинамика – механикалық және ішкі энергиялардың өзара түрленуімен, ішкі энергияның бір денеден басқа денеге берілуімен байланысты құбылыстарды зерттейтін физика бөлімі.

Универсал газ тұрақтысы – тұрақты қысымда 1 моль газ температурасын 1 K-ға арттыру үшін оның қандай жұмыс атқаруы керектігін көрсететін шама.

Энтропия – энергияның қайтымсыз шашырауының өлшемі болып табылатын физикалық шама.

9-ТАРАУ

СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕР

Сұйық және қатты денелердің қасиеттері заттың ішкі құрылышына, бөлшектер арасындағы қашықтық пен олардың орналасу ретіне тәуелді.

Сұйық молекулаларының қатты дene молекулаларымен өзара әрекеттесу ерекшеліктеріне байланысты біз капиллярлық құбылыстарды, қатты денелерге сұйықтың жұғуын бақылаймыз. Құрылымындағы айырмашылық қатты денелердің серпімділік, иілгіштік, морттық, беріктік, қаттылық, ақыштық сияқты қасиеттерін түсіндіруге мүмкіндік береді.

Кебу нәтижесінде сұйықтар пен қатты денелердің бетінде қасиеттері сыртқы жағдайларға тәуелді булар түзіледі.

Осы тарауда біз сұйықтардың, қатты денелердің және олардың булатының кейір қасиеттерін қарастырамыз.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- гигрометр мен психрометрдің көмегімен ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтауды;
- сұйықтың беттік керілу коэффициентін әртүрлі әдістермен анықтауды;
- әртүрлі қатты денелердің мысалдарында кристалл және аморфты денелердің құрылышын ажыратуды;
- серпімді деформация кезінде Юнг модулін анықтауды үйренесіндер.

§ 25. Қаныққан және қанықпаған булар, ауаның ылғалдылығы. Фазалық диаграммалар. Үштік нүктө. Заттың кризистік күйі

Күтілетін нәтиже:

Параграфты оқып сендер:

- гирометр мен психометрдің көмегімен ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтай аласындар.

Естеріңе түсіріндер!

Заттың сұйық күйден газ тәріздес күйге өту процесін булану деп атайды.
Конденсация – будың сұйыққа айналу процесі.

Жаубы қандай?

- Буланудың қандай екі өдісі бар? Оларға анықтама беріңдер.
- Булану жылдамдығы қандай факторларға тәуелді?
- Сұйық қандай жағдайда қайнайды?

I Қаныққан және қанықпаған булар

Егер булану процесі тұракты температурада жабық ыдыста өтетін болса, онда біршама уақыттан соң сұйық буның концентрациясының артуы тоқтайды. Кебу мен конденсация процестері арасында динамикалық тепе-тендік орнайды.

Динамикалық тепе-тендік – бірдей уақыт аралығында сұйықты тастап, молекулалар саны мен сұйыққа қайта оралатын молекулалар саны тең болатын термодинамикалық жүйенің күйі.

Өзінің сұйығымен динамикалық тепе-тендікте болатын буды қаныққан бу деп атайды.

Бу қысымы молекулалардың температурасы мен концентрациясына тәуелді:

$$p = nkT. \quad (1)$$

$T = \text{const}$ болғанда (1) теңдеуден будың қысымы тек молекулалар концентрациясына тәуелді болатынын көреміз.

Температура өзгерген жағдайда кезінде қысым екі параметр бойынша – молекулалардың температурасы және концентрациясымен анықталады.

Өзінің сұйығымен динамикалық тепе-тендікте болмайтын буды қанықпаған бу деп атайды.

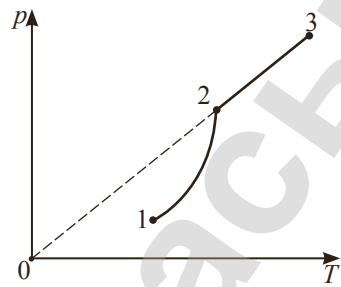
Егер сұйық бетіндегі бу қанықпаған болса, онда булану конденсациядан басым болады.

II Қаныққан булар үшін p , V , T термодинамикалық параметрлердің байланысы

Қаныққан бу қысылған кезде молекулалар концентрациясы артады, кебу және конденсация процестері арасындағы тепе-тендік бұзылады: будың бір бөлігі сұйыққа айналады. Қаныққан бу қысымы оның температурасына сәйкес мәнді қабылдайды. Сұйық бетіндегі бу қолемі артқан кезде молекулалардың концентрациясы азаяды. Нәтижесінде берілген температурада қысым қаныққан бу қысымына теңескенше кебу конденсациядан басым болады.

Осылайша, қаныққан бу қысымы оның қолеміне тәуелді емес. Әртүрлі температура мәндеріндегі қаныққан бу қысымының мәні қосымшадағы 7-кестеде берілген.

Тәжірибелер тұрақты көлемде сұйық бетіндегі қаныққан бу қысымының температураға тәуелділігі сыйықты емес екендігін көрсетеді. Тәуелділік графигі ыдыста сұйық біткенше квадраттық функция түрінде болады. 126-суретте бейнеленген графикте 1→2 аудысуы қаныққан бу қысымының температура мен концентрацияға тәуелділігіне сәйкес келеді. Бу 2-күйден 3-күйге өткен кезде (126-сурет) концентрация тұрақты шама болып қалады, себебі сұйық толығымен буға айналады, қысымның температураға тәуелділігі сыйықты болады.



126-сурет. Қаныққан бу қысымының температура мен концентрацияға тәуелділігіне сәйкес келеді

1-тапсырма

- Менделеев – Клапейронның күй тендеуінің негізінде бу қысымы мен абсолют ылғалдылық арасында тұра тәуелділік бар екенін дәлелдендер.
- 20 °C температурада су буы қысымының абсолют ылғалдылықта тәуелділік графикін бейнелеңдер.
- Шық нүктесіне тән болатын температура кезінде атмосферадағы су буының конденсациялануына мысал келтіріңдер.

III Ауаның абсолют ылғалдылығы.

Шық нүктесі

Бізді қоршаған аудада әрқашан су булары болады.

1 м³ аудада болатын су буының мөлшерін ауаның абсолют ылғалдылығы деп атайды.

Егер көлемі V аудада массасы m бу болса, онда ауаның әрбір бірлік көлеміндегі су буы мына формуламен анықталады:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

мұндағы ρ – абсолют ылғалдылық.

Әдетте, ауа құрамындағы су булары қанықпаған булар болады.

Атмосфералық аудадағы су буы қанық-қан буға айналатын температураны шық нүктесі деп атайды.

IV Салыстырмалы ылғалдылық

Судың кебу қарқындылығы салыстырмалы ылғалдылықпен сипатталатын су буларының қанығу деңгейіне тәуелді.

Жауабы қандай?

- Қаныққан булардың қысымы тәуелді болатын параметрлерді атаңдар.
- 126-суреттегі 2→3 аудысуы үшін неліктен Шарль заңы қолданылады?
- Қаныққан газ үшін газ заңдарын қолдану неліктен қолайсыз?

Есте сақтаңдар!

Белгісіз бу параметрлерінің бірін анықтаған кезде, қаныққан бу үшін Менделеев – Клапейрон тендеуін пайдалануға болады.

Есте сақтаңдар!

ХБЖ бойынша абсолют ылғалдылықтың өлшем бірлігі:

$$[\rho] - 1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}.$$

Ең жиі қолданылатын өлшем бірлігі: $1 \frac{\text{e}}{\text{cm}^3}$.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы – берілген температурада ауаның абсолют ылғалдылығының 1 m^3 ауаны қанықтыру үшін қажетті бу мөлшеріне процент түрінде өрнектелген қатынасы.

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_k} \cdot 100\%, \quad (3)$$

Мұндағы φ – салыстырмалы ылғалдылық, ρ – будың абсолют ылғалдылығы, ρ_k – берілген температурадағы қаныққан будың абсолют ылғалдылығы.

Біз абсолют ылғалдылықтардың қатынасы қысымдар катынасына тең екенін дәлелдедік, демек:

Берілген температурада ауа құрамындағы су буы қысымының осы температурадағы қаныққан су буы қысымының процентпен өрнектелген қатынасын ауаның салыстырмалы ылғалдылығы деп атайды.

$$\varphi = \frac{p}{p_k} \cdot 100\%, \quad (4)$$

Мұндағы p – су буының қысымы, p_k – осы температурадағы қаныққан бу қысымы.

V Конденсациялық гигрометр.

Шық нүктесі арқылы ауаның ылғалдылығын анықтау

Ауа ылғалдылығын анықтауга арналған құралдарды гигрометрлер (грек. «гигрос» – ылғал) деп атайды.

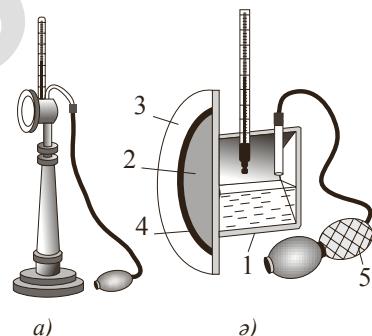
Конденсациялық гигрометр шық нүктесін анықтау үшін қолданылады. Ол штативке бекітілген металл камера (127, а-сурет) түрінде болады. Камерада екі тесік болады: бірі – термометр үшін, екіншісі – ауа үрлеу үшін (127, ә-сурет). Камераның алдыңғы қабырғасы (2) және сақиналық рама (3) айна бетіндегі тегістелген. Рама мен камера бір-бірінен жылуоқшаулағыш материалмен (4) бөлінген. Камераны (1) эфирмен немесе спиртпен жартылай толтырып, сұйық бетіне резенке бүріккіш құрал (5) көмегімен ауа үрлейді. Кебу барысында сұйық суып, қорапша қабыргаларында бу конденсацияланады. Қорапшаның тегістелген беті рама бетімен салыстырғанда күнгірттене түседі. Шық пайда болған сәттегі термометрдің көрсеткіші – шық нүктесі алынады.



Есте сақтанда!

1. Метеорологияда абсолют ылғалдылық деп ауаның құрамындағы су буының mm сын.баз. арқылы өрнектелген қысымын айтады.
2. Су буының мольдік массасы:

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}.$$



127-сурет. Конденсациялық гигрометр



2-тапсырма

1. Конденсациялық гигрометр мен психрометрдің қолдану арқылы салыстырмалы ылғалдылықты анықтау алгоритмін күрастырыңдар.
2. Физика кабинетіндегі ауа ылғалдылығын анықтаңдар.

Шық нүктесі арқылы ғимараттагы ауа ылғалдылығын анықтайды. Ол үшін 7-кестедегі қанықкан бу тығыздықтарының кестесінен шық нүктесіне сәйкес келетін ρ абсолют ылғалдылық мәнін табады. Осы кесте бойынша қоршаған органдың температурасындағы, қанықкан бу тығыздығын ρ_k анықтап, (3) формула бойынша салыстырмалы ылғалдылықты есептейді.

VI Психрометр

Психрометр ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтау үшін қолданылады. Ол корпусқа бекітілген бірдей екі термометрден тұрады (128-сурет). Термометрлердің бірінің резервуары дәкемен оралып, суы бар ыдыска салынған. Психрометрмен салыстырмалы ылғалдылықты анықтау үшін ауа температурасы мен күрғақ және ылғалды термометрлер көрсеткіші арасындағы температуralар айырmasын анықтайды.

Психрометрлік кестеден (қосымша дағы 9-кесте) ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтайды.

VII Сублимация. Десублимация. Үштік нүкте

Заттың қатты күйден сұйыққа айналмай, бірден газ тәріздес күйге отуін сублимация деп атайды.

Сублимация энергияны жұту арқылы жүреді.

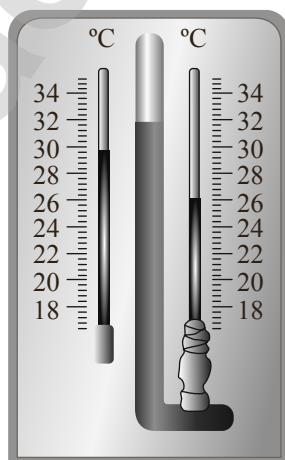
Оған кері процесс десублимация болады.

Үштік нүкте – заттың қатты, сұйық, және газ тәріздес үш агрегаттық күйі де тепе-тендікте болатын температура мен қысымның мәні.



Жауабы қандай?

Егер ауаның ылғалдылығы артатын болса, психрометрдің көрсеткіші қалай өзгереді?

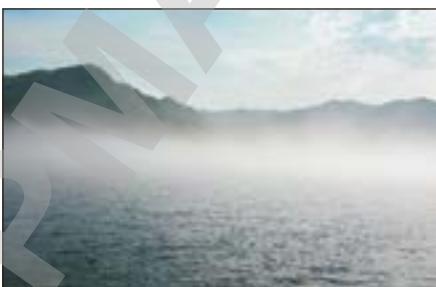


128-сурет. Психрометр



Жауабы қандай?

1. 129, 130-суреттерде қандай құбылыстар бейнеленген?
2. Неліктен қыста даалаға ілінген киімдер кеүіп қалады?



129-сурет. Бурабай көлі



130-сурет. Қарқаралы тауларындағы қысқы таң

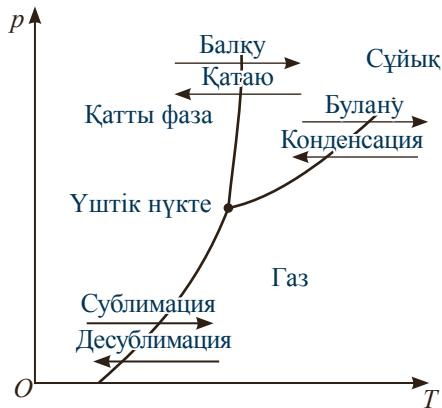
Үштік нүктесі – химиялық заттың сипаттамаларының бірі. Фазалық диаграммада бұл нүктеде балқу, қайнау және сублимация фазалық өтүлөрінің сызықтары қызылсысады (131-сурет).

Су үшін үштік нүктедегі температура 273,16 К, ал қысым 611,657 Па.



Естеріңе түсіріндер!

Сұйықтың тұтас көлемінде өтетін булану процесін қайнау деп атайды.



131-сурет. Фазалық өтүдің диаграммасы



Жауабы қандай?

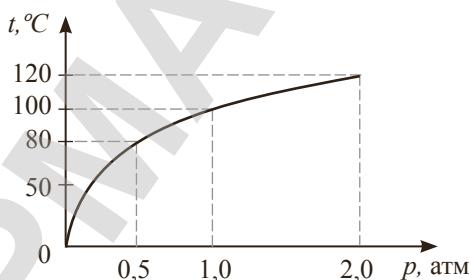
- Неліктен қайнау алдында шу естіледі?
- Сұйықтың бос бетіндегі қысым артқан кезде неліктен қайнау температурасы артады?
- Суы қайнап жатқан ыдыстың ішінде қалқып жүрген екінші ыдыстағы су неліктен қайнамайды?

VIII Қайнау. Қайнау температурасының сыртқы қысымға тәуелділігі

Егер көпіршіктер ішіндегі қанықкан бу қысымы сыртқы қысымға тең болса немесе одан артық болса, сұйық ішіндегі көпіршіктер ұлғаяды және бетіне қалқып шығады. Қалыпты атмосфералық қысымда су буласы 100 °C температурада қанығады.

Қаныққан бу қысымы сұйықтың бос бетіндегі сыртқы қысымға тең және сұйықтың барлық қабабтының температурасы бірдей болғанда сұйық қайнайды.

Егер сұйық бетіндегі газдың қысымын азайтатын болсақ, сұйықтың қайнауы тәмен температураларда орындалуы мүмкін. Газ қысымының артуы, керісінше, сұйықтың жоғары температураларда қайнауына алып келеді (132-сурет).



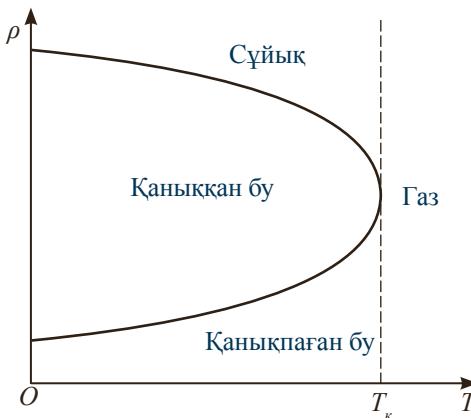
З-тапсырма

Сұйықтың тәменгі және жоғары температураларда қайнауына мысал келтіріндер.

132-сурет. Сұйықтың қайнау температурасының сыртқы қысымға тәуелділік графигі

IX Заттың кризистік күйі

Жабық ыдыста сұйықтың қыздырғанда, сұйықтың тығыздығы азаяды, қанықкан будың тығыздығы артады (133-сурет). Қандай да бір мезетте сұйық пен бу тығыздығы теңеседі және екі күйді бөлөтін шекара жоғалады. Зат кризистік күйде болады. Бұл күйде сұйықтың меншікті булану жылуы $r = 0$ болатын мәнді қабылдайды.



133-сурет. Кризистік температурадан жоғары температурада фазалық өту мүмкін емес

Сұйық пен оның қанықкан буының тығыздықтары мәндерінің арасындағы айырмашылық жоғалатын температуралы осы заттың кризистік температурасы деп атайды.

Кризистік температуралардан жоғары температураларда зат тек газ тәріздес күйде болады, оны жай сығу арқылы сұйыққа айналдыру мүмкін емес. Егер зат температурасы кризистік температурадан төмен болса, оны сығу арқылы сұйық күйге ауыстыруға болады.

Зат	Кризистік температура, t, °C
Су	374
Эфир	197
Хлор	146
Оттек	-118
Азот	-146
Сутек	-240
Гелий	-263



Жауабы қандай?

- Неліктен Жерде оттектік және азоттық көлдер жоқ?
- Сұйық азотты қандай жағдайда алуға болады?



Есте сақтаңдар!

Заттың кризистік температурадан төмен температуралардағы газ тәріздес күйін бу деп атайды.

Бақылау сұрақтары

- Қандай буды қанықкан бу деп атайды?
- Сұйықтың қайнау температурасы сыртқы қысымға қалай тәуелді?
- Қандай температуралы кризистік температура деп атайды?
- Газ бен бу үзғымдарының айырмашылығы неде?
- Ауаның абсолют ылғалдылығы деп нені айтады? Оны қандай өлшем бірліктерімен өлшейді?
- Қандай температуралы шық нүктесі деп атайды?
- Салыстырмалы ылғалдылық дегеніміз не?
- Ауаның ылғалдылығын қандай құралдармен және қалай анықтайды?



1. Температурасы $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ қанықкан су буының тығыздығын анықтаңдар.
2. Бастапқы температурасы $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ қанықкан су буын сұйықтан бөліп алып, тұрақты көлемде $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ге дейін қыздырды. Бу қысымын анықтаңдар. Мұндай буды қалай атайды?
3. Су буының қысымы 8 kPa болса, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура кезіндегі ауаның абсолютт ылғалдылығын анықтаңдар.
4. Температурасы 300 K ауаның абсолютт ылғалдылығы $12,9\text{ g/m}^3$. Ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтаңдар.
5. Ыдис аралықпен екіге бөлінген, бірінші бөліктің көлемі екіншіге қараша $n = 3$ есе үлкен. Бірінші бөлікте салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi_1 = 20\%$ ауа бар, екіншісіндегі ауаның салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi_2 = 80\%$. Егер температураны өзгертпей, аралықты алып тастасақ, ыдыштағы салыстырмалы ауа ылғалдылығы қандай болады?

Эксперименттік тапсырма

2 бөлме термометрін пайдаланып, пәтер бөлмелеріндегі ауа ылғалдылығын анықтаңдар. Нәтижелерді салыстырыңдар.

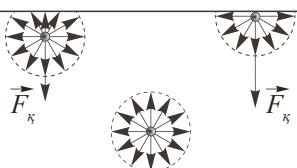
Шығармашылық тапсырма

«Заманауи гигрометрлер» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 26. Сұйықтың беткі қабатының қасиеттері. Жұғу, капиллярлық құбылыштар

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың иегергенде:
- сұйықтың беттік көрілу коеффициентін әртүрлі әдістермен анықтай аласыңдар.



134-сурет. Молекулалық қысым күші – қорытқы күш

Бұл қызық!

Сұйық көлемін азайту үшін молекулалық қысыммен салыстырмалы сыртқы қысымды тудыру қажет. Су үшін бұл қысым 2400 атт. құрайды. Мұндай қысымды техникалық түрде тудыру мүмкін емес, сұйықтар Жер жағдайында сығылмайды. Тынық мұхитының максимал терендігінде гидростатикалық қысым 1100 атт. шамасында болады. Суасты қайықтары түсетін шекті терендік 600 м-ден аспайды.

I Беткі қабаттың қасиеті.

Молекулалық қысым күштері

Сұйықтың әрбір молекуласы басқа молекулалармен радиусы 1 нм болатын молекулалық өзара әрекеттесу сферасы шегінде өзара әрекеттеседі. Сұйық түбіндегі молекулаларға әсер ететін күштердің геометриялық қосындысы нөлге тең (135-сурет). Сұйықтың бетінде орналаскан молекулалардың молекулалық өзара әрекеттесу сферасы өзара әрекеттесу күшін ескермеуге болатын аяу молекулаларымен жартылай толтырылған. Сұйықтың беткі қабаты молекулаларының өзара әрекеттесу күштерінің теңәсерлі күшін молекулалық қысым күші деп атайды.

Молекулалық қысым күші – сұйықтың беткі қабатының молекулаларына әсер ететін, оның бос бетіне перпендикуляр бағытталған қорытқы күш.

Беткі қабаттың қысым күші тек сұйық молекулаларына ғана әсер етеді.

II Беттік көрілу күштері

Сұйықтың бос бетіне паралель болатын молекулалық өзара әрекеттесу күштерінің құраушылары беткі қабаттың молекулаларын жақындауға тырысады. Осы күштердің әсерінің нәтижесінде беткі қабат көрілу күйінде болады. Сұйық пен қатты дене шекарасында беттік көрілу күштері қатты денеге оның бетіне перпендикуляр әсер етеді (135-сурет). Беттік көрілу күштерінің әсерін қарапайым тәжірибелерден бақылауга болады. Сабын ерітіндісіне шеттеріне кермей байланған жібі бар сымнан жасалған сақинаны салайық. Сақина ішінде сабынды қабықша түзіледі, онда жіп еркін орналасады (135, а-сурет).

Жіптің екі жағынан әсер ететін беттік көрілу күштері бір-бірін толықтырады. Жіптің бір жағынан қабықшаны тесеміз. Беттік көрілу күшінің әсерінен қалған қабықша жіпті тарта отырып қысқарады, оған доға төріздес пішін береді. (135, ә-сурет). Жіптен ілмек жасап, оны иекке байлап, тәжірибені қайталаймыз (135, б-сурет).

2

Жауабы қандай?

- Неліктен сұйықтар сығылмайды?
- Егер адам су бетіне жүзіп шықса, су шаштар неліктен бір-біріне жабысады, ал су астында бір-бірінен онай ажыратылады?
- Дымқыл құмнан жасалған шар су астында неліктен шашылып кетеді?

Ілмектің ішінен қабықшаны тесеміз, нәтижесінде беттік керілу күшінің әсерінен сабын қабықшасы қысқарып, оған сақина пішінін бере отырып ілмекті созады (135, в-сурет).



Өз тәжірибел

Сым сақинамен тәжірибе жүргізіндер (135-сурет).

Беттік керілу күштері – сұйықтың беттік қабатының ауданын көмітуге тырысатын және осы бетке жанама бойымен бағытталған беттік қабатының молекулаларының өзара әрекеттесу қүштері.



135-сурет. Беттік керілу күшінің әрекетін бақылау

III Беттік керілу коэффициенті.

Беттік керілу коэффициентін тамшының үзіл алу әдісі бойынша анықтау

Беттік керілу құбылысын сандық түрде сипаттау үшін беттік керілу коэффициенті енгізілген.

Беттік керілу коэффициенті – беттік керілу күшінің сұйықтың беттік қабатының ұзындығына қатынасы.



Жауабы қандай?

Жүргізілген тәжірибеде екі ортанның шекарасы неліктен шеңбер дөгасы немесе шеңбер болады? Ол қандай шарттарда мүмкін болады?

Беттік керілу коэффициентін σ (сигма) әрпімен белгілейді. Анықтама бойынша:

$$\sigma = \frac{F_k}{l}, \quad (1)$$

мұндағы l – беттік қабаттың ұзындығы, F_k – керілу күші.

Диаметрі кіші түтікшеден үзілетін сұйық тамшысы үшін беттік қабат шекарасы радиусы түтікшениң ішкі радиусына тең шеңбердің ұзындығы болып табылады (136, а-сурет):

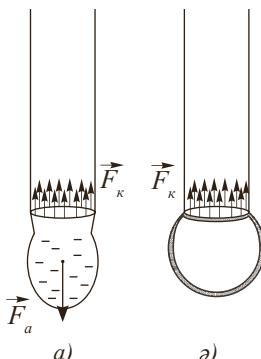
$$l = 2\pi r = \pi d. \quad (2)$$

Тамшы салмағы керілу күшіне тең болған кезде тамшы үзіледі:

$$P = F_k. \quad (3)$$

$$(1), (2), (3) \text{ формулалардан } \sigma = \frac{mg}{\pi d} \quad (4)$$

екені шығады.



136-сурет. Беттік қабаттың шекарасы түтіктің ішкі шеңберінің ұзындығы болып табылады

Тұтікшеден сабын көпіршіктерін үрлеген кезде екі беттік қабықшалар түзіледі (136, ә-сурет), демек, сабынды көпіршік сыртқы күш беттік қабаттың екі шекарасында пайда болған беттік керілу күшіне тең болғанда тұтікшеден үзіледі:

$$F_{\text{сыртқы}} = 2F_k. \quad (5)$$

Беттік керілу коэффициенті сұйықтың тегіне, оның температурасына және құрамында қоспалардың болуына тәуелді. Температуралы арттырылған кезде және қоспалар бар кезде беттік керілу коэффициенті азаяды.

IV Сұйықтың беттік қабаттының энергиясы

Молекулалардың төменгі қабаттардан бетті қабатқа көшүі молекулалық қысым күшін енсеру үшін жасалатын жұмыспен байланысты. Жұмыс жасаған кезде молекулалардың кинетикалық энергиясы бетті қабаттың молекулаларының потенциалдық энергиясына айналады. Сұйықтың ауданын азайтқан кезде бетті қабаттың энергиясының есебінен жұмыс жасалады.

Жылжымалы бөгеті бар иілген сымды сабын ерітіндісіне салайық. Жиегінде екі бетті бар қабықша түзіледі. Беттік керілу күшінің өсерінен қабықша қыскарады, қабықшаның потенциалдық энергиясы азаяды, жылжымалы бөгеттің орын ауыстыруы кезінде жұмыс жасалады (137-сурет). Беттік керілу күшінің жұмысы:

$$A = 2F_k h \quad (6)$$

мұндағы $F_k = \sigma L$. $\quad (7)$

(7) теңдеуді (6) теңдеуге қоямыз, сонда:

$$A = 2\sigma L h, \quad (8)$$

мұндағы $\Delta S_1 = L h$ – бір қабаттың ауданының өзгеруі.

Екі беттік ауданының өзгеруін $\Delta S = 2\Delta S_1$ деп белгілейік. Осыны ескерсек, (8) формула мына түрге келеді:

$$A = \sigma \Delta S \quad (9)$$

бұдан: $\sigma = \frac{A}{\Delta S}.$ $\quad (10)$

Беттік керілу коэффициенті – сұйықтың бос беті бірлік ауданға азайған кездегі молекулалық күштердің жұмысына тең шама.

Есте сақтаңдар!

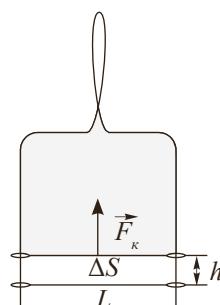
Беттік керілу коэффициентінің өлшем бірлігі:

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$



Өз тәжірибел

136-суретте бейнеленген тәжірибелі жүргізіндер. Тәжірибе сапасына ерітіндінің температурасы мен оның концентрациясы қалай өсер ететінін анықтаңдар.



137-сурет. Беттік керілу күшінің өсерінен қабықша ауданының қысқаруы

V Жұғу. Шеттік бұрыш

Сұйықтың қатты денелермен жанасу шекарасында орналасқан молекулалары сұйық молекулаларымен қатар, қатты дененің бөлшектерімен де өзара әрекеттеседі.

Егер қатты дene бөлшектерінің тартаудың күштері сұйық молекулалары арасындағы тартаудың күштерінен артық болса, онда сұйық денеге жүгеді. Сұйықтың бос беті майысады да, ойыс пішінге ие болады (138, a-сурет).

Егер сұйық қатты денеге жүқпаса, онда сұйықтың бос беті дөңес пішінде болады (138, a-сурет). Сұйықтың майысқан бос бетін менискін деп атайды.

Қатты дененің беті мен менисктің қатты денемен қиылысу нүктесіне жүргізілген жанама арасындағы бұрышты шеттік бұрыш θ деп атайды.

VI Капиллярлық құбылыстар

Сұйықтардың қатты денелердің беттеріне жүгүү немесе жүқпауы капиллярлық құбылыстың себебі болып табылады.

Капиллярлар – ішкі диаметрлері өте кіші тұтікшелер.

Латын тілінен аударғанда «капиллус» – шаш, қыл дегенді білдіреді. Егер сұйық тұтікшенің қабырғаларына жүғатын болса, капилляр тұтікшедегі сұйық деңгейі ыдыстағы сұйық деңгейімен салыстырғанда жоғары болады. Капиллярдағы сұйық бағанына әсер ететін ауырлық күші беттік көрілу күшіне тең болғанша сұйық көтеріле береді:

$$F_a = F_{\kappa}, \quad (11)$$

$$\text{мұндағы } F_a = mg = \rho Shg = \rho\pi r^2 hg, \quad (12)$$

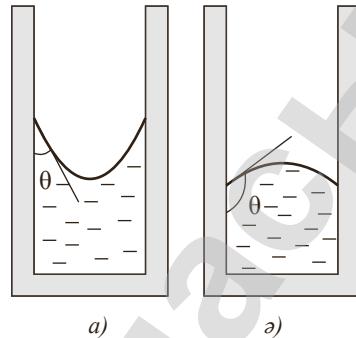
$$F_{\kappa} = \sigma l = \sigma 2\pi r. \quad (13)$$

(12) және (13) формулаларды (11) формулаға қойсақ:

$$\rho\pi r^2 hg = \sigma 2\pi r,$$

$$\text{бұдан: } h = \frac{2\sigma}{\rho gr} \quad (14)$$

$$\text{немесе } h = \frac{4\sigma}{\rho gd}. \quad (15)$$



138-сурет. Капиллярдағы сұйықтың бос беті қисаады

Өз тәжірибел

- Шыны капилляр ішінде судың бос беті ойыс болатынына;
- Диаметрі кішкентай тұтікшеде беттің қисаою біршама көлемді көбірек болатына көз жеткізіндер. Бақыланған құбылысты МКТ негізінде түсіндіріндер.

Жауабы қандай?

- Сұйық құбылыған ыдысқа салынған капилляр тұтікшениң бос бетінің деңгейі неліктен ыдыстағы сұйықтың бос бетінің деңгейінен жоғары немесе төмен болады?
- Үй салғанда неліктен ірғетасты қабырғалардан капиллярлары болмайтын арнағы төсеммен оқшаулады?

Тапсырма

Жүгү мен капиллярлық құбылыстардың қолданылуына мысал келтіріндер.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай құштерді молекулалық қысым құштері деп атайды?
2. Қандай құштерді беттік керілу құштері деп атайды?
3. Сүйік пен қатты дene шекарасында беттік керілу құштері қалай бағытталған?
4. Қандай шаманы беттік керілу коэффициенті деп атайды? Оны қандай өлшем бірліктермен өлшейді?
5. Қандай құбылысты жұғу деп атайды? Қандай құбылыс капиллярлық құбылыс деп аталады?



Жаттығу

26

1. Ұзындығы $l = 4$ см сірінке су бетінде калқып жүр. Егер сірінкенің бір шетіндегі суға майсана майын құттын болсақ, онда ол қозғалысқа түседі. Сірінкеге әсер ететін құсті және оның бағытын анықтандар. Су мен майдың беттік керілу коэффициенттері сәйкесінше $\sigma_1 = 72$ мН/м және $\sigma_2 = 33$ мН/м.
2. Егер ұшының диаметрі $d = 0,4$ мм тамызғыштың көмегімен су массасын $m = 0,01$ г дейінгі дәлдікпен өлшеуге болатын болса, онда судың беттік керілу коэффициенті неге тең?
3. Радиусы $R = 4$ см сабын көпіршігін үрлеу үшін қандай жұмыс атқару қажет?
4. Каналдарының диаметрлері сәйкесінше $d = 1$ мм және $d = 2$ мм болатын екі капилляр ішіндегі сынап деңгейлерінің айырымын анықтандар.
5. Суға салынған диаметрлері әртүрлі екі капилляр түтікшенің деңгейлер айырымы $\Delta h_1 = 2,6$ см болды. Осы түтікшелерді спиртке салғанда деңгейлер айырымы $\Delta h = 1$ см болды. Егер судың беттік керілу коэффициенті $\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м болса, онда спирттің беттік керілу коэффициентін анықтандар.

Эксперименттік тапсырма

Тәжірибелік жолмен сүйік сабын мен судың қандай қатынасында сабын көпіршіктерінің қабырғалары берік болатынын анықтандар. Капилляр түтікшенің көмегімен алынған ертіндінің беттік керілу коэффициентін анықтандар.

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. Жуғыш заттар кір мен дақты қалай кетіреді?
2. Женіл және ауыр өнеркәсіpte капиллярларды қолдану.
3. Табиғаттағы капиллярлық құбылыстар.

§ 27. Кристалл және аморфты денелер. Қатты денелердің механикалық қасиеттері

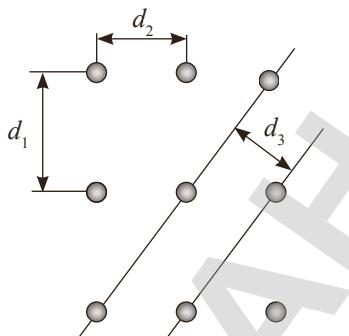
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ішергендегі:

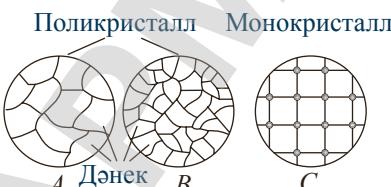
- әртүрлі қатты денелердің мысалда-рында кристалл және аморфты денелердің құрылышын ажыратма аласындар;
- серпімді деформация кезінде Юнг модулін анықтай аласындар.



139-сурет. Сутас пен сұргылттау кварцының монокристалдары



140-сурет. Монокристалдардың анизотроптығы



141-сурет. Проликристалдардың құрылымы

I Кристалл және аморфты денелер. Қатты денелердің изотроптығы мен анизотроптығы

Әдетте, пішіні мен көлемін сактайтын барлық денелер қатты дene деп аталады. Физикада бұл заттарды *кристалл және аморфты денелер* деп бөледі. Кристалл денелер монокристалл және поликристалл деп жіктеледі.

Аморфты денелердің кристалдардан айырмашылығы – олардың белгілі бір балқу температурасының болмауы. Физикада аморфты денелерді тұтқыр сұйық ретінде қарастырады. Аморфты денелерге балауызды, ермексазды, кәріптасты, (янтарь) әйнекті, қатқан шайырды жатқызуға болады. Аморфты денелердің кристалдық торы болмайды, олар изотропты.

Изотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелсіздігі.

Монокристал түріндегі кристалл денелер анизотропты болады.

Анизотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелділігі.

Табиги жағдайларда кварц, топаз, алмас, сутас, графит геометриялық дұрыс пішінді монокристалдар (139-сурет) түзеді.

Кристалдардың механикалық, жылулық, электрлік және оптикалық қасиеттерінің анизотроптығын зат бөлшектері арасындағы өзара әрекеттесу күштері кристалдық тордағы бағытты таңдауға тәуелді екенине байланысты, оның түсіндіруге болады. Әртүрлі бағыттарда олардың арасындағы арақашықтықтың айырмашылығы болады $d_1 > d_2 > d_3$ (140-сурет).

Поликристалл дene бірі-бірімен қосылып бітіскен хаосты бағдарланған монокристалдардың жиынтығын береді, олардың өлшемдері 1–2 мкм-дан бірнеше мм-ға дейінгі аралықта өзгереді (141-сурет). Жалпы поликристалл денелер изотропты болып табылады. Поликристалл денелерге мысалы, металдар, поликристалл алмастар, керамика жатады.

II Кристалдық торлар.

Кристалдардағы ақаулар

Кристалдың ішкі құрылсының көрнекі түрде көрсету үшін оны кристалдық тор түрінде бейнелейді.

Кристалдық тор – бұл кристалдағы атомдардың немесе иондардың периодты орналасуы. Кристалдық тордың атомдар немесе иондар орналасқан нүктелері кристалдық тордың түйіндері деп аталады.

Кристалдық торда түйіндердің орналасу суретін иондық микроскоптың қөмегімен алуға болады.

Барлық кристалдық торлар төрт типке бөлінеді: иондық, атомдық, молекулалық және металдық.

III Кристалл денелердің беріктігі мен қаттылығы

Денениң сыртқы құштердің әрекетіне төтеп беру қасиетін беріктік деп атайды. Ақаулар табылған кристалдардың беріктігі таза кристалдардың беріктігінен он тіпті жүз есе кіші болады. Ақаулардың нүктелік және сзықтық деп бөледі. Өз атомдарын жаттекті атомдармен алмастыру (142, а-сурет), тор түйіндерінің арасына атом енгізу (142, ә-сурет), кристалдық тор түйіндерінің бірінде атом болмауы (142, б-сурет) сияқты ақаулар нүктелік ақауға жатады. Сзықтық ақаулар – кристалл жазықтығында атомдардың орналасу реті бұзылған кезде туындастырын ақаулар (142, в-сурет).

Техникада барлық материалдар беріктікпен қатар қаттылығы бойынша ажыратылады. Қаттылық – материалдың басқа материалдардың бетін сыйганда із қалдыру қасиеті. Басқа материалдың бетінде із қалдыратын материал – қатты материал болып саналады. Металды кесуге арналған кескіш пен бұрының қаттылығы өндөліп жатқан металға қарағанда басым болу керек.

IV Денелердің серпімді және пластикалық деформациясы. Қатты денелердің пластикалығы мен серпімділігі

Материалдың өз пішінін қайта қалпына келтіру қасиетін материалдың серпімділігі деп атайды.

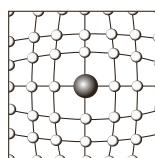
Барлық кристалл денелер, резеңке серпімділік қасиетіне ие.

Жауабы қандай?

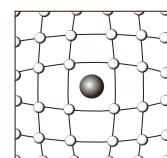
- Неліктен аморфты де-нелердің белгілі бір балқу температурасы жоқ?
- Тордың иондық, атомдық, молекулалық және металдық төрт типтін айырмашылығы неде?

Бұл қызық!

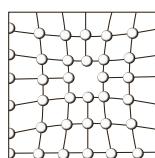
Кристалдың беріктігін арттыру үшін оларда арнайы ақаулар тұғызады. Олар кездейсоқ ақаулар сзығы бойынша байланыстардың үзіліуіне кедергі келтіреді. Мысалы, болатқа хром мен вольфрамды енгізгенде, оның беріктігі шамамен үш есе артқан.



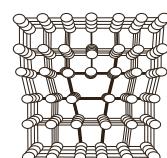
a)



ә)



б)



в)

142-сурет. Ақау түрлері

Өз тәжірибел

Алюминийдің, болаттың және шынының қаттылығын салыстырындар.

Естеріңе түсіріндер!

Сыртқы құштердің тусу нүктесі мен бағытына қарай қатты денелер деформациясын негізгі төрт түрге бөледі: созылу немесе сыйылу, иілу, ығысу және бұралу.

Материалдың сыртқы күштердің әсерінен алған пішінін сақтау қасиетін пластикалық деп атайды. Аморфты денелер пластикалық қасиеттерге ие.

V Абсолютті және салыстырмалы ұзару. Механикалық кернеу

Сығылу және созылу деформациясын абсолютті ұзарумен Δl сипаттайты. Абсолютті ұзару – үлгінің деформацияга дейінгі l_0 және кейінгі l ұзындықтарының айырмасына тең шама:

$$\Delta l = l - l_0. \quad (1)$$

Созылу кезінде Δl он, ал сығылу кезінде теріс шама болады.

Абсолютті ұзарудың дененің деформацияға дейінгі l_0 ұзындығына қатынасын салыстырмалы ұзару деп атайды:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (2)$$

Дене деформацияланған кезде оның әр қимасында молекулалар арасындағы арақашықтың өзгеруіне байланысты электромагниттік күштер әсер етеді, оларды серпімділік күштері немесе ішкі кернеу күштері деп атайды. Күштердің таралуын механикалық кернеу сипаттайты.

Механикалық кернеу – көлденең қиманың S бірлік ауданына әсер ететін ішкі кернеу күшине $F_{\text{серп}}$ тең физикалық шама:

$$\sigma = \frac{F_{\text{серп}}}{S}, \quad (3)$$

мұндағы σ – механикалық кернеу. ХБЖ-да механикалық кернеудің өлшем бірлігіне паскаль қабылданған:

$$\sigma = 1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{H}}{\text{m}^2}.$$

VI Гүк заңы. Юнг модулі

Тәжірибелік жолмен ағылшын физигі Р.Гук мынадай қорытынды жасады:

Серпімді деформацияланған дененің механикалық кернеуі серпімділік модулі мен салыстырмалы ұзаруға тұра пропорционал.

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon| \quad (4)$$

немесе (2) формуланы ескерсек:

$$\sigma = \frac{E |\Delta l|}{l_0}, \quad (5)$$

1-тапсырма

Пластикалық және серпімді деформацияға мысал келтіріндер.

Естеріңе түсіріндер!

Сыртқы күштердің әсері токтаганнан кейін толығымен жойылатын деформацияны серпімді деформация деп атайды. Сыртқы күштердің әсері токтаганнан кейін де жоғалмайтын деформацияны пластикалық деп атайды.

2-тапсырма

Деформацияның әр түрінде сыртқы күштердің түсу нүктесі мен бағытын көрсетіндер.

3-тапсырма

Серпімді деформацияның әр түріне ұшырайтын денелерге мысал келтіріндер.

мұндағы E – Юнг модулі. Юнг модулінің өлшем бірлігі $[E]$ – 1 Па. (5) теңдеуге (3) формуланы апарып қойсақ, мына өрнекті аламыз:

$$\frac{F_{cep}}{S} = \frac{E}{l_0} |\Delta l|,$$

бұдан

$$F_{cep} = \frac{ES}{l_0} |\Delta l| \quad (6)$$

немесе

$$F_{cep} = k |\Delta l|, \quad (7)$$

мұндағы k – қатаңдық коэффициенті. (6) және (7) өрнектерден шығатыны:

$$k = \frac{ES}{l_0}. \quad (8)$$

Қатаңдық коэффициенті дененің өлшемдері мен заттың серпімділік қасиеттеріне тәуелді (*II-кесте*). Дене қысқа және оның көлденең қимасының ауданы үлкен болған сайын ол қатая түседі.

II-кесте

Жалғау түрі		Формула
Параллель	Қатаңдықтары әртүрлі серіппелер	$k = k_1 + k_2 + \dots + k_n$ n – серіппе саны
	Қатаңдықтары бірдей серіппелер	$k = nk_1$ n – серіппе саны
Тізбектей	Қатаңдықтары әртүрлі серіппелер	$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$, n – серіппе саны
	Екі әртүрлі серіппе	$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$
	Қатаңдықтары бірдей серіппелер	$k = \frac{k_1}{n}$ n – серіппе саны

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Ұзындығы l_0 , қатаңдық коэффициенті k_0 болатын резенке бауды екі қабаттады. Баудың қатаңдық коэффициенті қалай өзгерді?

Берілгені:

$$\begin{matrix} l_0 \\ k_0 \\ \hline k - ? \end{matrix}$$

Шешуі:

Кимасы S_0 және ұзындығы l_0 баудың қатаңдық коэффициенті:

$$k_0 = ES_0 / l_0.$$

Бауды екі қабаттағанда, жүйе қимасының ауданы екі есе артады $S = 2S_0$, ал ұзындығы 2 есе кемиді: $l = l_0/2$. Соңдықтан:

$$k = \frac{ES}{l} = 4 \frac{ES_0}{l_0} = 4k_0.$$

Жауабы: $k = 4k_0$.

Бақылау сұрақтары

1. Аморфты денелердің кристалл денелерден қандай айырмашылықтары бар?
2. Кристалдық төр деп нені атайды? Сендерге торлардың қандай түрлері белгілі?
3. Қандай әдістермен кристалдардың беріктігін арттырады?
4. Механикалық кернеу деп нені атайды? Юнг модулі дегеніміз не?
5. Созылу диаграммасы бойынша деформация кезінде қатты денелерде болатын процестерді сипаттаңдар.



Жаттығу

27

1. Өзек осі бойымен бағытталған қандай күштің әсерінен онда $15 \cdot 10^7 \frac{H}{m^2}$ кернеу туындайды? Өзек диаметрі 0,40 см.
2. Биiktікті 20 м кірпіш қабырғаның табанындағы кернеуді анықтаңдар. Қабырғаның табанындағы және оның жоғарғы бөлігіндегі кірпіштің беріктігі бірдей бола ма?
3. Ұзындығы 4,0 м және қимасы 20 mm^2 жез сымда қалдық деформация пайда болуы үшін оның минимал жүктемесі қандай болу керек? Осы кезде сымның салыстырмалы ұзаруы неге тең? Жездің серпімділік шегі $\sigma = 1,1 \cdot 10^8 \frac{H}{m^2}$. Сым массасын ескермеуге болады.
4. 100 Н күштің әсерінен ұзындығы 5,0 м және қимасы $2,5 \text{ mm}^2$ сым 1,0 мм-ге созылды. Сымға әсер ететін кернеу мен Юнг модулін анықтаңдар.
5. Ұзындығы 5,0 м мыс өзекке 480 Н жүктеме түсірілгенде, ол 1,0 мм-ге созылатын болса, оның қимасы қандай болу керек? Егер созылғандағы оның беріктік шегі $2,2 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ болса, өзек мұндай кернеуді көтере ала ма? Өзек массасын ескермендер.

9-тараудың қорытындысы

Ауа ылғалдылығы	Беттік көрілу коэффициенті	Капилляргаң сұйықтың көтерілу биіктігі
Абсолют ылғалдылық $\rho = \frac{m}{V}$	$\sigma = \frac{F_k}{l}$	Толық жүргү кезінде $h = \frac{2\sigma}{\rho gr}$ $h = \frac{4\sigma}{\rho gd}$
Гүк заңы	Дененің ұзаруы, механикалық кернеу	Қатандық коэффициенті
Гүк заңы $F_{cepн} = k \Delta l $ $\sigma = E \cdot \varepsilon $	Абсолют ұзару $\Delta l = l - l_0$ Салыстырмалы ұзару $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ Механикалық кернеу $\sigma = \frac{F_{cepн}}{S}$	Абсолют ұзару $k = \frac{ES}{l_0}$ Салыстырмалы ұзару $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$ $k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ Механикалық кернеу $k = k_1 + k_2 + \dots + k_n$

Зандар:

Гүк заңы:

Серпімді деформацияланған дененің механикалық кернеуі серпімділік модулі мен салыстырмалы ұзаруға тұра пропорционал.

Дене деформацияланғанда пайда болатын серпімділік күші осы деформацияның шамасына тұра пропорционал.

Глоссарий

Ауаның абсолют ылғалдылығы – 1 м³ аудада болатын су буының мөлшері.

Абсолют ұзару – ұлғінің деформацияға дейінгі l_0 және кейінгі l ұзындықтарының айырмасына тең шама.

Анизотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелділігі.

Гигрометр – ауа ылғалдылығын анықтауға арналған құрал.

Дененің деформациясы – дене өлшемі мен пішінінің өзгеруі.

Динамикалық тепе-тендік – бірдей уақыт аралығында сұйықты тастап молекулалар саны мен сұйыққа қайта оралатын молекулалар саны тең болатын термодинамикалық жүйенің күйі.

Изотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелсіздігі.

Капиллялар – ішкі диаметрлері өте кіші түтіктер.

Қайнау – сұйықтың тұтас көлемінде өтетін булану процесі.

Конденсация – будың сұйыққа айналу процесі.

Беттік керілу коэффициенті – сұйықтың бос беті бірлік ауданға азайған кездегі молекулалық күштердің жұмысына тең шама.

Беттік керілу коэффициенті – беттік керілу коэффициенті – беттік керілу күшінің сұйықтың беттік қабатының ұзындығына қатынасы.

Шеттік бұрыш – қатты дененің беті мен менисктің қатты денемен қылышу нүктесіне жүргізілген жанама арасындағы бұрыш.

Кристалдық тор – кристалдағы атомдардың немесе иондардың периодты орналасуы.

Кризистік температура – сұйық пен оның қанықкан буының тығыздықтары мәндерінің арасындағы айырмашылық жоғалатын болғандағы температура.

Мениск – сұйықтың майысқан бос беті.

Механикалық кернеу – қолденең қиманың S бірлік ауданына әсер ететін ішкі кернеу күшіне $F_{\text{сеп}}$ тең физикалық шама.

Қанықкан бу – өзінің сұйығымен динамикалық тепе-тендікте болатын бу.

Қанықпаған бу – өзінің сұйығымен динамикалық тепе-тендікте болмайтын бу.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы – температурада ауаның абсолют ылғалдылығының 1 m^3 ауаны қанықтыруға кажетті бу мөлшеріне процентпен өрнектелген қатынасы.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы – берілген температурада ауа құрамындағы су буынысының осы температурадағы қанықкан су буынысының процентпен өрнектелген қатынасы.

Булану – заттың сұйық күйден газ тәріздес күйге өту процесі.

Пластикалық деформация – материалдың сыртқы күштердің әсерінен әрекеттесу күш жоғалмайтын деформация.

Пластикалық – сыртқы күштердің әсерінен алған пішінін сактау қасиеті.

Беріктік – дененің сыртқы күштердің әрекетіне төтеп беру қасиеті.

Молекулалық қысым күші – сұйықтың беттік қабаты молекулаларының өзара әсер ететін қорытқы күш, ол оның еркін бетіне перпендикуляр бағытталады.

Беттік керілу күші – сұйықтың беттік қабатының ауданын кемітүге тырысатын және осы бетке жанама бойымен бағытталған беттік қабатының молекулаларының өзара әрекеттесу күштері.

Сублимация – заттың қатты күйден сұйыққа айналмай, бірден газ тәріздес күйге өтуі.

Қаттылық – материалдың басқа материалдардың бетін сыйганда із қалдыру қасиеті.

Шық нүктесі – атмосфералық аудадағы су буы қанықкан буга айналатын температура.

Үштік нүкте – заттың қатты, сұйық және газ тәріздес үш агрегаттық күйінде тепе-тендікте болатын температура мен қысымның мәні.

Серпімді деформация – сыртқы күштердің әсері токтағаннан кейін толығымен жойылатын деформация

Серпімділік – материалдың өз пішінін қайта қалпына келтіру қасиеті.

«Электр және магнетизм» бөлімінің негізгі мазмұны – электромагниттік өрістің қасиеттері мен оның зарядталған денелермен өзара әрекеттесуін сипаттау. Электродинамикада зарядталған денелер арасындағы электрлік және магниттік өзара әрекеттесуі қарастырылады.

Электромагниттік өрістің әсерінен болатын кез келген өзара әрекеттесулер электродинамика қарастыратын мәселелер болып табылады.

10-ТАРАУ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатика деп қозғалмайтын зарядтардың өзара әрекеттесуін зерттейтін электродинамиканың бөлімін айтады. Заряд он мәндермен қатар теріс мәндерді де қабылдайды. Ең алғаш «электр заряды» деген үғым 1785 жылы Кулон заңында енгізілген болатын.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- есептер шығаруда электр зарядының сақталу заңы мен Кулон заңын пайдалануды;
- электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін суперпозиция принципін қолдануды;
- зарядталған жазықтықтың, шардың, сфераның және шексіз жіптің электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін Гаусс теоремасын пайдалануды;
- нұктелік зарядтардың электр өрісінің жұмысы мен потенциалын есептеуді;
- есептер шығаруда электростатикалық өрістің энергетикалық және күштік сипаттамаларын байланыстыратын формулаларды қолдануды;
- гравитациялық және электростатикалық өрістердің күштік және энергетикалық сипаттамаларын салыстыруды;
- өткізгіштердегі электростатикалық индукция мен диэлектриктердеғі поляризация құбылыстарына салыстырмалы талдау жүргізуі;
- конденсатор сыйымдылығының оның параметрлеріне тәуелділігін зерттеуді;
- есептер шығаруда конденсаторларды тізбектей және параллель жалғау формулаларын пайдалануды;
- электр өрісінің энергиясын есептеуді үйренесіндер.

§ 28. Электр заряды. Зарядтың беттік және көлемдік тығыздығы. Зарядтың сақталу заңы. Кулон заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты ىегергенде:

- есептер шығаруда электр зарядының сақталу заңы мен Кулон заңын пайдалана аласындар.

I Денелердің электрленуі.

Денелердің электрлеу әдістері

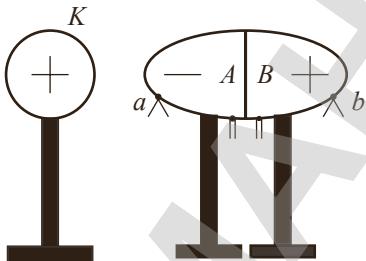
Екі денені үйкелеу арқылы электрлекенде, оларда модульдері бойынша тен, таңбалары бойынша қарама-қарсы зарядтар пайда болады, атомдар иондарға айналады.

Денені үйкеліс арқылы және әсер арқылы электрлеуге болады.

Үйкеліс арқылы электрлеу әдісін диэлектриктер үшін пайдаланады. Диэлектриктерде заряд қай жерде пайда болса, сонда қалады, ол электрленген дененің басқа бөліктеріне көше алмайды.

Бұл әдіспен металдарды электрлеу мүмкін емес. Металл денелердің бір-бірінен ажырауы кезінде барлық артық электрондар бір металлденеден басқасына ағып өтеді, екі дene де зарядталмаған болады. Металл денелердің басқа әдіспен электрлеу өте оңай, оны әсер арқылы электрлеу деп атайды. Бір-біріне жаңасқан зарядталмаған өткізгіштерге электрленген денені жақындастырық. Денелер оқшауланған тіреуіштерде орналасуы қажет (143-сурет). A және B өткізгіштерінің бойында бекітілген жеңіл жапырақшалар тек олардың ұштарында ғана бір-бірінен ауытқиды. Демек, K зарядталған дененің электр өрісінің әсерінен электрондардың ығысуының арқасында артық зарядтар жиналады.

Өлшемдері кішкентай оң зарядталған дene болып табылатын сынақ зарядтың көмегімен, a нүктесінде теріс заряд жиналатынына оңай көз жеткізуге болады. Сынақ зарядты a нүктесіне апарайық, жапырақшалар сынақ зарядқа тартылады. b нүктесінде оң заряд жинақталады, жапырақшалары сынақ зарядтан тебіледі. A және B өткізгіштерін бір-бірінен



143-сурет. Әсер арқылы электрлеу – электрлік индукция

Жауабы қандай?

Аттас зарядтар бір-бірін тебілетініне, ал әр аттас зарядтар тартылатынына қалай көз жеткізуге болады?

Әз тәжірибең

Пластмасса пластинаны үйкеліс арқылы электрлеп, қағаздың ұсақ бөліктеріне жақындастырудар. Тәжірибелі металл пластинамен қайтаңадар.

Неліктен бірінші жағдайда қағаздар тартылады, ал екінші жағдайда тартылмайды?

Диэлектрикте электрлеу қалай жүргізілетінін түсіндіріндер. Неліктен өткізгішті үйкеліс арқылы электрлеуге болмайды?

алыстайтық. Ажырату сәтінде электрондар A денесінен B денесіне өте алмайды, себебі олар K электр өрісіне тартылады.

К денесінде тудырган сыртқы күштер алыстайлған соң, A және B денелеріндегі зарядтар тұтас беті бойынша тарапады, бұған A және B денелеріне бекітілген барлық жапырақшалардың ауытқуы дәлел бола алады (144-сурет).

144-сурет. Өткізгіштің әсер арқылы зарядталу процесін электрлік индукция деп атайды.

Осы кезде туындаған зарядты индукциялық немесе нысаналы заряд деп атайды.

II Элементар заряд. Зарядтың дискреттілігі

Мүмкін болатын минимал электр заряды бар электронды элементар заряд деп атайды. Денелердің зарядтары электрондардың артық болуымен немесе жетіспеуімен шартталған, демек, олардың заряды элементар зарядқа бөлінеді. Кез келген зарядталған еркін бөлшек элементар зарядтың бүтін санын алып жүреді:

$$q = N|e|.$$

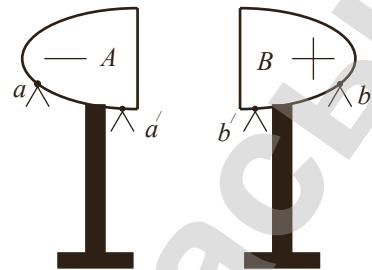
Зарядтың ХБЖ-дағы өлшем бірлігі $[q] = 1$ Кл.

Кулон – ток күші 1 А болғанда өткізгіштің көлденен қимасы арқылы 1 с ішінде өтетін электр заряды.

Ұзақ уақыт бойы электр зарядының дискреттілігінің табылмауының себебі – электрон зарядының мәні $e \approx 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл болуы.

Дискреттілік дегеніміз – «үздіктілік», «бөлектік», дербес үлестер түрінде болуды білдіреді.

Электр зарядының дискреттілігі тек дene зарядтары элементар зарядпен салыстырылатында аз болған кезде білінеді. Сондықтан Р.Милликен өз тәжірибелерінде заряды бірнеше элементар зарядтарды құрайтын микроскопиялық тамшыларды қолданған.



144-сурет. Өткізгіштердегі зарядтардың сандық мәндері тең, бірақ таңбалары қара- ма-қарсы



Жауабы қандай?

- Егер электроскопқа оң зарядталған денені жақындалтсақ, оның зарядталған жапырақшалары неліктен ауытқиды? Егер теріс зарядталған денені жақындалтсақ, неліктен түседі?
- Неліктен жібек жілке ілінген зарядталған дene артық заряд таңбасына тәуелсіз, тәжірибе жүргізушиңің қолына тартылады?

Есте сақтаңдар!

Электрон зарядының шамасын алғаш рет 1909–1913 жылдары американлық физик Р. Милликен өлшеген. Ол электр өрісіндегі майдың микроскопиялық тамшыларының қозғалысын бақылаған. Ол тамшы зарядтарының элементар зарядқа бөлінетінін көрсетті және осы заряд шамасын өлшеді, ол $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл-га тең.

III Зарядтардың беттік және көлемдік тығыздығы

Зарядтар тек дененің бетінде ғана емес, оның тұтас көлемінде де түзіледі. Зарядтардың дene көлеміне таралуы беттік және көлемдік тығыздықпен сипатталады:

$$\sigma = \frac{q}{S},$$

мұндағы σ – беттік тығыздық, q – дene нің заряды, S – зарядталған дene бетінің ауданы.

$$\rho = \frac{q}{V},$$

мұндағы ρ – зарядтың көлемдік тығыздығы, V – көлем.



Есте сақтандар!

$$[\sigma] = 1 \frac{Кл}{м^2}$$

$$[q] = 1 Кл$$

$$[S] = 1 м^2$$

$$[\rho] = 1 \frac{Кл}{м^3}$$

$$[V] = 1 м^3$$

IV Зарядтың сақталу заңы

Зарядталған денелер жүйесінде жаңа зарядталған бөлшектер, мысалы, атомдардың немесе молекулалардың иондалуының салдарынан электрондар мен иондар туындауы мүмкін. 1843 жылы ағылшын физигі М.Фарадей зарядтың сақталу заңын ашты:

Кез келген тұйық жүйедегі электр зарядтарының алгебралық қосындысы осы жүйедегі кез келген процестер кезінде өзгеріссіз қалады.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}.$$

Зарядтың сақталу заңы энергия мен импульстің сақталу заңдарымен қатар табиғаттың іргелі заңы болып табылады. Ол макродүниемен қатар, микродүние денелеріне де қолданылады.

V Кулон заңы

Екі нүктелік зарядтың өзара әрекеттесу заңын 1785 жылы француз ғалымы Ш.Кулон ашқан.

Нүктелік зарядтар – олишемдері олардың арасындағы арақашықтықтан әлдеқайда кіші болатын зарядталған денелер.

Кулон тәжірибелік жолмен мына тұжырымға келді:



Есте сақтандар!

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

Екі нүктелік зарядтардың өзара әрекеттесу күші зарядтарды қосатын тұзу сызық бойымен бағытталған, зарядтардың модульдерінің көбейтіндісіне тұра пропорционал және олардың арақашықтығының квадратына кері пропорционал.

$$F_K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (1)$$

немесе

$$F_K = \frac{k |q_1||q_2|}{\varepsilon r^2}, \quad (2)$$

Мұндағы $|q_1|$, $|q_2|$ – өзара әрекеттесуші денелердің зарядтарының модульдері;

r – нүктелік зарядтар арасындағы арақашықтық;

k – пропорционалдық коэффициенті;

ϵ_0 – электрлік тұрақты;

ϵ – ортаның диэлектрлік өтімділігі.

Диэлектрлік өтімділік ортаның электрлік қасиеттерін сипаттайтының оның өлшем бірлігі болмайды:

$$\epsilon = \frac{F_0}{F}.$$

Ортаның диэлектрлік өтімділігі – диэлектриктең зарядтардың өзара әрекеттесу құші вакуумға қарағанда неше есе аз екенін көрсететін физикалық шама.

145-суретте екі нүктелік зарядтың өзара әрекеттесу құштері бейнеленген, Ньютоның үшінші заңының негізінде олар тең: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

Кулондық құштер *центрлік* құштер болып табылады, олар нүктелік зарядты қосатын түзу бойымен әсер етеді.

VI Бірнеше зарядтың өзара әрекеттесуі

Бірнеше нүктелік зарядтар өзара әрекеттескенде олардың кез келгеніне түсірілген теңәсерлі құшті оған әсер ететін барлық құштердің векторлық қосындысы ретінде анықтайды:

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

Мысалы, шаршының центрінде орналасқан зарядқа оның төбелерінде орналасқан зарядтар тарапынан әсер ететін теңәсерлі құш мынаған тең (146-сурет):

$$\vec{F}_5 = \vec{F}_{51} + \vec{F}_{52} + \vec{F}_{53} + \vec{F}_{54}.$$

Құштердің сандық мәндерін (1) немесе (2) формула бойынша есептейді, себебі екі заряд арасындағы өзара әрекеттесу құші басқа зарядтардың бар болуына тәуелді емес.

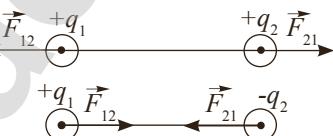
Теңәсерлі құштің модульдерін құштерді векторлық қосу кезінде алынған үшбұрыштан немесе координаталық әдіспен анықтайды:

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2},$$

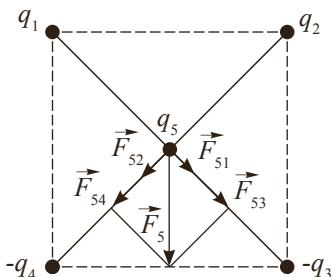
Мұндағы

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx},$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}.$$



145-сурет. Нүктелік зарядтарды қосатын түзу бойымен әсер ететін кулондық құштер



146-сурет. Теңәсерлі құши векторлық қосу арқылы анықталады

Шаршы төбелерінде q -ға тең бірдей он зарядтар орналасқан. Барлық зарядтар жүйесі тепе-тендікте болуы үшін шаршы центрінде орналасқан зарядтың шамасы қандай болу қажет? Бұл тепе-тендік орнықты бола ма?

Берілгені:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$$

$$q_0?$$

Шешуі:

Шаршы төбелерінің бірінде орналасқан зарядтың тепе-тендік шартын қарастырайық, мысалы, q_2 заряды бар нүктедегі зарядты (суретті қарандар):

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_0 = 0$$

Тендеуді x осіне түсірілген проекция түрінде жазайық:

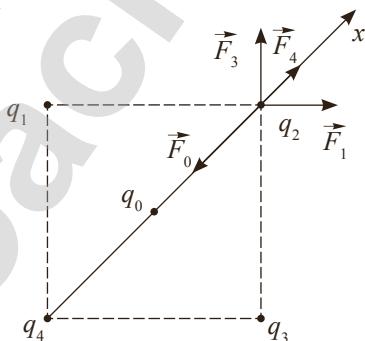
$$F_4 + F_1 \cos 45^\circ + F_3 \cos 45^\circ - F_0 = 0,$$

Кулон заңының негізінде күштерді есептеу формулаларын жазайық:

$$F_1 = F_3 = k \frac{q^2}{a^2}, \quad F_4 = k \frac{q^2}{2a^2}$$

мұндағы a – шаршы қабыргасы.

$$F_0 = k \frac{q|q_0|}{\left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right)^2} = k \frac{2q|q_0|}{a^2}, \text{ егер } q_0 \text{ заряды – теріс шама}$$



болса, жүйе тепе-тендік сақтай алады, онда:

$$k \frac{q^2}{2a^2} + k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{2} - k \frac{2q|q_0|}{a^2} = 0 \Rightarrow |q_0| = \frac{q(1+2\sqrt{2})}{4}.$$

Тепе-тендік орнықсыз, себебі, тепе-тендік күйінен ауытқыған кез келген заряд бастапқы күйіне қайтып келмейді.

$$\text{Жауабы: } q_0 = -\frac{q(1+2\sqrt{2})}{4}.$$

Бақылау сұрақтары

1. Қандай құбылысты электрлену деп атайды?
2. Диэлектриктердің қандай әдіспен электрлейді?
3. Зарядтың сақталу заңы мен Кулон заңын тұжырымдаңдар.
4. Қандай зарядты нүктелік деп атайды?

★ Жаттығу

28

1. Бір-бірінен 5 см арақашықтықта орналасқан 10 нКл және 15 нКл нүктелік зарядтардың өзара әрекеттесу қүшін анықтандар.

2. Бір-бірінен 5 см арақашықтықта орналасқан бірдей екі нүктелік заряд 0,4 мН күшпен өзара әрекеттеседі. Осы зарядтарды анықтандар.
3. Бірі оң 15 мКл зарядпен зарядталған, екіншісі –25 мКл теріс зарядпен зарядталған екі бірдей шарды жанастырады және қайта 10 см арақашықтыққа алшақтатады. Әр шардың зарядын және олардың жанаасқаннан кейінгі өзара әрекеттесу күштерін анықтандар.
4. Жіпте массасы 20 г зарядталған шар ілулі тұр. Шардың салмағы екі есе азауы үшін шардан 5 см арақашықтықта қандай q_2 зарядын орналастыру қажет? Шардың заряды 10^{-6} Кл.
5. Ұзындығы 1 м жіптің ұштарына ілінген массалары бірдей екі кішкене шарға $9 \cdot 10^{-7}$ Кл заряд берілді. Олардың ауытқу бұрышы 60° . Шарлардың массаларын анықтандар.

Шығармашылық тапсырма

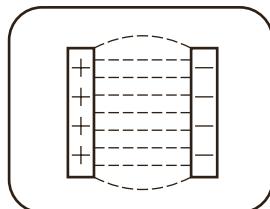
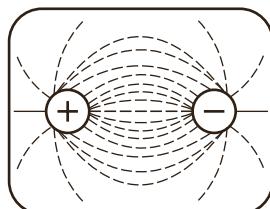
Хабарлама дайындаңдар (тандау бойынша):

1. Иоффе мен Милликен тәжірибелері.
2. Техникада электрлеуді пайдалану.

§ 29. Электр өрісі. Біртекті және біртекті емес электр өрісі. Электр өрісінің кернеулігі. Электр өрістерінің суперпозиция принципі

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ішергенде:
- электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін суперпозиция принципін қолдана аласыңдар.



147-сурет. Майдың қалқып жүрген талшықтардың зарядталған денелердің айналасында орналасуы

I Электр өрісі

Зарядталған денелер айналасындағы кеңістік жаңа қасиетке ие болады: оған енгізілген жеңіл немесе зарядталған денелер тартылу немесе тебілу күштерін сезінеді. Күш әсерінен денелер орын аудиториялық, кеңістікте белгілі бір тәрттіпен орналасады (147-сурет).

Зарядталған денениң айналасындағы кеңістіктің электр өрісі деп атайды. Электр өрісі ұғымын алғаш рет ағылшын ғалымы М.Фарадей енгізген. Ол зарядтардың өзара әрекеттесуі кезінде жақыннан әсер ету теориясын жақтаушы болды. Фарадей зарядтар электр өрісінің әсерінен тебіледі немесе тартылады деп тұжырымдады.

Электр өрісі – зарядталған денелер өзара әрекеттесуін сипаттайтын материяның ерекше түрі.

Қозғалмайтын және уақыт өте келе өзгермейтін зарядтың электр өрісін электростатикалық өріс деп атайды.

Алыстан әсер ету теориясын жақтаушылар, зарядтар бір-бірімен тікелей кез келген арақашықтықта әрекеттесетініне сенімді болды.

II Электр өрісінің кернеулігі. Нүктелік зарядтың кернеулігі

Кернеулік – электр өрісінің күштік сипаттамасы.

Өрістің кеңістіктің берілген нүктесіне орналасқан оң сынақ зарядқа әсер ететін күшінің, осы заряд шамасына қатынасына тең физикалық шаманы электр өрісінің кернеулігі деп атайды.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}. \quad (1)$$

Жауабы қандай?

Зарядталған денелердің әрекеттесуін зерттеудегі альыстан және жақыннан әсер етудің негізгі айырмашылығы небе?

Өз тәжірибелен

Сынақ зарядты пайдаланып, зарядталған металл шардың электр өрісін зерттеңдер. Шарға қандай заряд берілгенін анықтаңдар. Заряд шардан альыстатылғанда электр өрісі қалай өзгереді?

(1) формуладан q нүктелік заряд өрісіне енгізілген зарядқа әсер етуші күшті анықтайық:

$$F = qE. \quad (2)$$

Кулон заңы негізінде Q және q зарядтарының арасындағы өзара әрекеттесу күші мынаған тең:

$$F = \frac{k|Q||q|}{r^2}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулалардан:

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad (4)$$

екені шығады.

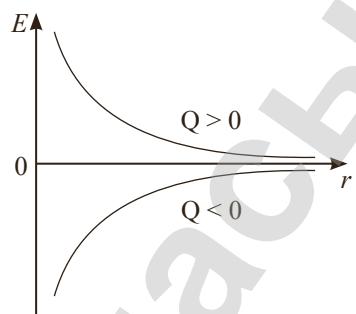
Біз нүктелік зарядтың өріс кернеулігін есептей формуласын алдық. Кеңістіктің берілген нүктесіндегі кернеулік өрісті тудырган дene Q зарядымен анықталады. Ол оған енгізілген q зарядқа тәуелсіз. Кернеулік арақашықтық функциясы болып табылады, кеңістіктегі нүктеде өріс көзінен негұрлым алыс орналасса, оның модулі соғұрлым аз болады (148-сурет). (1) формулаға сәйкес кернеуліктің өлшем бірлігі:

$$[E] = 1 \frac{H}{K_L}.$$

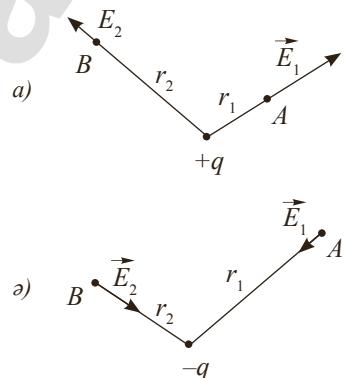
III Кернеулік векторының бағыты және күш сзықтары

Электр өрісінің кернеулігі векторлық шама болып табылады. Кернеулік векторының бағыты кеңістіктің кез келген нүктесінде оң сынақ зарядқа әсер ететін күш бағытымен сәйкес келеді.

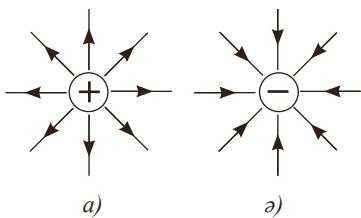
Егер өрісті оң заряд тудырса, онда кеңістіктің кез келген нүктесіндегі өріс кернеулігі радиал түзу бойымен зарядтан әрі қарай (149, а-сурет) бағытталады. Теріс заряд өрісінде кернеулік векторы радиал түзу бойымен зарядқа қарай (149, ә-сурет) бағытталады. Радиал түзулер – күштің әсер ету сзықтары, яғни олар электр өрісінің күш сзықтары болып табылады (150-сурет). Ең алғаш рет күш сзықтары үғымын М.Фарадей өрісті бейнелеу көрнекі және ыңғайлыш болу үшін енгізді. Қармақарсы таңбалы екі нүктелік зарядтар арасындағы және әр аттас зарядталған екі пластина арасындағы өрістің күш сзықтары 151-суретте көрсетілген.



148-сурет. Кернеуліктің арақашықтықта тәуелділік графигі



149-сурет. Нүктелік заряд өрісі кернеулігі векторының бағыты радиал түзулер бойымен бағытталған

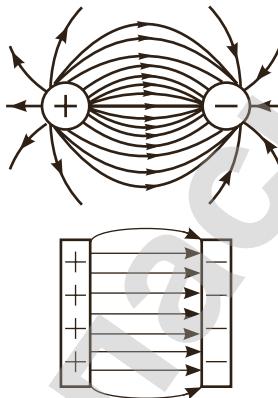


150-сурет. Оң және теріс нүктелік зарядтардың күш сзықтары

Электр өрісінің күш сзықтары – әрбір нүктедегі жанамаларының бағыты өріс кернеулігі векторының бағытымен сәйкес келетін сзықтар.

Күш сзықтарының суреті:

- 1) кеңістіктің кез келген нүктесінде кернеулік бірнеше бағыттаға ие бола алмайтындықтан, электр өрісінің күш сзықтары бір-бірімен қылышпайтынын;
- 2) электр өрісінің күш сзықтары тұғықталған екенін, олар он зарядтардан басталып, теріс зарядтарда аяқталатынын көрсетеді.



IV Біртекті және біртекті емес өрістердің күш сзықтары

150, 151-суреттердегі электр өрісінің күш сзықтарының суреттерін салыстырайық. Екі пластина тудырған өрістің күш сзықтары бір-біріне бірдей аралықта орналасқан параллель сзықтар, олардың тығыздығы өзгермейді. Мұндай өрісті *біртекті* деп атап келісілген. Біртекті өріс үшін кернеулік векторы оның барлық нүктелерінде тұрақты:

$$\vec{E} = \text{const.}$$

Нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрісте заряд маңында күш сзықтарының тығыздығы жоғары, зарядтардан алыста аз, бұл өріс кернеулігінің өзгеретінін көрсетеді. Күш сзықтары неғұрлым тығыз болса, өріс кернеулігі соғұрлым көп болады.

V Өрістердің суперпозиция принципі

Бірнеше зарядтың әрекеттесуі нәтижесінде өрістердің қабаттасуы болады, бұны суперпозиция принципі деп атайды.

Зарядтар жүйесі тудырған электр өрісінің кеңістіктің берілген нүктесіндегі кернеулігі зарядтың электр өрістерінің кернеуліктерінің геометриялық қосындысына тең.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

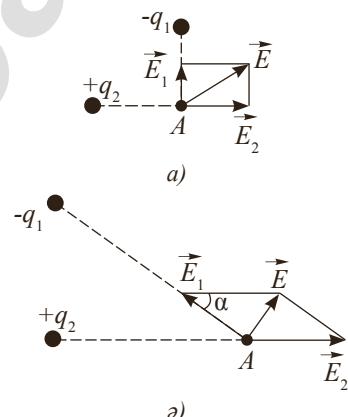
А нүктесінде екі нүктелік заряд тудырған өріс кернеулігін анықтайық (152-сурет):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

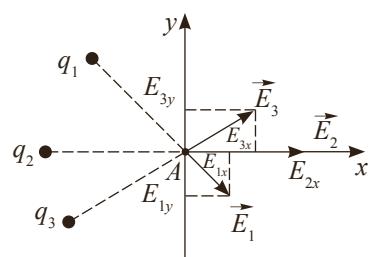
Кернеулік векторы модулін Пифагор теоремасы бойынша (152, a-сурет):

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

151-сурет. Әрттас нүктелік зарядтардың және әрттас пластиналардың арасындағы өрістің күш сзықтары



152-сурет. Бірнеше заряд тудырған өрістің кернеулігі кернеуліктердің геометриялық қосындысына тең



153-сурет. Бірнеше заряд өрісінің кернеулігін анықтаудың координаталық әдісі

немесе косинустар теоремасымен анықтаймыз (152, ə-сүрет):

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \alpha}.$$

Зарядтар саны көп болған кезде векторлар кезекпен қосылады немесе координаталық әдіс қолданылады (153-сүрет). Координата басы мен көрсетілген нүктеге арқылы кернеулік векторларды таңдау алынған осьтердегі проекцияларының қосындылары анықталады:

$$\begin{aligned} E_x &= E_{1x} + E_{2x} + F_{3x}, \\ E_y &= E_{1y} + E_{2y} + F_{3y}, \end{aligned}$$

онда барлық вектор қосындыларының модулі мынаған тең:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}.$$



Жауабы қандай?

- Неліктен электр өрісінің күш сыйықтары қылышпайды?
- Неліктен электр өрісіне енгізілген женіл зарайтамаган денелер, осы өрісті тудырган зарядталған денелерге тартылады?
- Неліктен біртекті өріске енгізілген нүктелік заряд орнының өзгеруі оған әрекет етептін күш мәніне әсер етпейді?

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Ромб диагональдары: $d_1 = 96$ см және $d_2 = 32$ см. Ұзын диагональ ұштарында $q_1 = 64$ нКл және $q_2 = 352$ нКл нүктелік зарядтар, ал қысқа диагональ ұштарында $q_3 = 8$ нКл және $q_4 = 40$ нКл нүктелік зарядтар орналасқан. Ромб центріндегі электр өрісі кернеулігінің модулін және қысқа диагональға қатысты бағытын анықтаңдар.

Берілгені:

$$\begin{aligned} d_1 &= 96 \text{ см} \\ d_2 &= 32 \text{ см} \\ q_1 &= 64 \text{ нКл} \\ q_2 &= 352 \text{ нКл} \\ q_3 &= 8 \text{ нКл} \\ q_4 &= 40 \text{ нКл} \end{aligned}$$

$$E - ? \quad \alpha - ?$$

Шешуі:

q_1, q_2, q_3, q_4 зарядтары тудырган өрістер кернеуліктерінің ромб центріндегі векторларын саламыз (сүретті қараңдар). Электр өрісінің кернеуліктерінің модульдері мынаған тең:

$$E_1 = \frac{4kq_1}{d_1^2}, \quad E_2 = \frac{4kq_2}{d_1^2}, \quad E_3 = \frac{4kq_3}{d_2^2}, \quad E_4 = \frac{4kq_4}{d_2^2}.$$

Суперпозиция принципі негізінде белгілі жазамыз:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4.$$

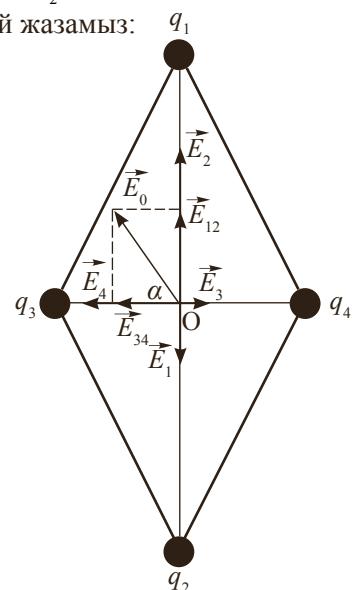
Күштерді жұптап қосып, Пифагор теоремасы бойынша ромб центріндегі өріс кернеулігінің модулін анықтаймыз:

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (E_4 - E_3)^2} = \\ &= \left(\frac{4k}{d_1^2 d_2^2} \right) \sqrt{(q_2 - q_1)^2 d_2^4 + (q_4 - q_3)^2 d_1^4} = 15,9 \text{ кВ/м}. \end{aligned}$$

Кернеулік бағыты мен қысқа диагональ арасындағы бұрыш мына өрнекпен анықталады:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_2 - E_1}{E_4 - E_3} = \frac{(q_2 - q_1)d_2^2}{(q_4 - q_3)^2 d_1^2} = 1, \text{ яғни } \alpha = 45^\circ.$$

Жауабы: $E = 15,9$ кВ/м; $\alpha = 45^\circ$.



Бақылау сұрақтары

1. Электр өрісі дегеніміз не?
2. Зарядтардың өзара әрекеттесуін түсіндіруде жақыннан әсер ету теориясы мен алыстан әсер ету теориясының айырмашылығы неде?
3. Электр өрісінің кернеулігі дегеніміз не? Ол қалай анықталады? Қалай бағытталады?
4. Өрістердің суперпозиция принципі дегеніміз не?
5. Қандай өрісті біртекті деп атайды? Қандай өрісті біртекті емес дейді?

★ Жаттығу

29

1. Электрон кернеулігі 10 В/м өрісте қандай үдеумен қозгалады?
2. $0,1 \text{ мКл}$ екі заряд бір-бірінен 6 см арақашықтықта орналасқан. Әрбір зарядтан 5 см қашықтықта орналасқан нүктедегі электр өрісінің кернеулігін табу керек. Осы есепті:
 - a) екі зарядта он;
 - ә) бірінші заряд он, екіншісі теріс болатын жағдайлар үшін шешіндер.
3. Жібек жіпке ілінген зарядталған металл шар біртекті электр өрісіне енгізілді. Жіп вертикальдан 45° бұрышқа ауытқыды. Шардан оның зарядының $0,1$ үлесі ағып кетсе, жіптің ауытқу бұрышы қалай өзгереді? Өрістің кернеулік сзықтары горизонталь бағытталған.
4. Егер нүктелік зарядтан 20 см арақашықтыға өріс кернеулігі $4 \cdot 10^{-4} \text{ В/м}$ болса, онда осы нүктелік зарядтан 2 м қашықтыға нүктедегі электр өрісінің кернеулігін табыңдар. Сонымен бірге өрісті тудырған заряд шамасын да анықтандар.
5. $q_1 = q_2 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ және $q_3 = -8 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$ үш зарядты қабырғасы $a = 30 \text{ см}$ үшбұрыш төбелеріне орналасстырды. Үшбұрыш центріндегі өріс кернеулігін анықтандар.

§ 30. Электр өрісінің кернеулік векторының ағыны. Гаусс теоремасы

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ішергендегі:
- зарядталған шекіз жазықтықтың, шардың, сфераның және шекіз жілтің электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін Гаусс теоремасын қолдануды үйренесіңдер.

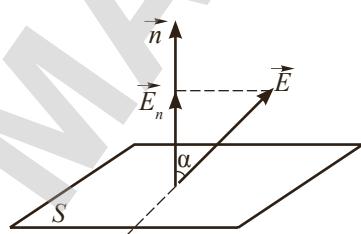


Есте сақтаңдар!

Бет жазық емес немесе өріс біртекті емес болған жағдайларда кернеулік векторының ағынын анықтау үшін бетті кіші боліктеге бөледі, оларды жазық және әрқайсысының шегіндегі өрісті біртекті деп санауга болады.

Содан кейін S_i кіші аудандар арқылы кернеулік векторының Φ_i элементар ағындарын табады.

Бет арқылы өтетін толық ағын оның барлық бөліктерінің элементар ағындарының қосындысына тең болады (2) формула.



154-сурет. Нормаль құрауыш кернеулік сыйығының бағыты мен нормаль арасындағы бұрышқа тәуелді

I Электр өрісінің кернеулік ағыны

Ауданы S жазық бет кернеулігі \vec{E} біртекті электр өрісінде орналасқан (154-сурет). n векторы – бетке нормаль, кернеулік сыйықтары мен нормаль арасындағы бұрыш α -ға тең.

Кернеулік векторының ағыны кернеулік векторының нормаль құрауышының бет ауданына көбейтіндісіне тең:

$$\Phi_E = E_n S = E S \cos \alpha, \quad (1)$$

мұндағы Φ_E – кернеулік векторының ағыны.

Біртекті емес өріс үшін кернеулік ағынын мына формула арқылы анықтайды:

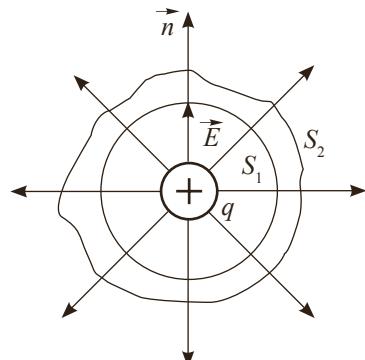
$$\Phi_E = \sum_{i=1}^n \Phi_{Ei} = \sum_{i=1}^n E_i S_i \cos \alpha_i. \quad (2)$$

II Нүктелік зарядтың кернеулік ағыны

Нүктелік заряд өрісінің кернеулік ағынын (2) формуланы пайдаланып, S_1 сфералық бет арқылы анықтайық (155-сурет).

Нүктелік заряд өрісінің кернеулік векторы радиус бойымен бағытталған, демек, ол сфералық бетке перпендикуляр және оның сыртқы нормалімен $\alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$ бұрыш құрайды. Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі сфераның кез келген нүктесінде бірдей мәнге тең болады және мына формуламен анықталады:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$



155-сурет. S_1 және S_2 беттері арқылы өтетін кернеулік ағыны бірдей

мұндағы r – сфераның радиусы. Кернеуліктің толық ағынын Φ_E сфераның $S = 4\pi r^2$ ауданы арқылы былай өрнектеуге болады:

$$\begin{aligned}\Phi_E &= \sum_{i=1}^n \Phi_{Ei} = E \sum_{i=1}^n S_i = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0} \\ \Phi_E &= \frac{q}{\epsilon_0}.\end{aligned}\quad (3)$$

Алғандағы өрнектен, кернеулік ағынының түйік беттің ауданына тәуелсіз екені шыгады. Ол оның ішінде орналасқан заряд және ортаның дізлектрлік өтімділігі арқылы анықталады. Демек, кез келген S_2 бет арқылы өтетін кернеулік ағынының мәні S_1 сфералық бет арқылы өтетін ағынының мәнімен бірдей болады (155-сурет).

Сфераның радиусын арттырған жағдайды да күш сыйықтарының тығыздығы және электр өрісінің кернеулігі азаяды.

Түйік беттің сыртында орналасқан зарядтың кернеулік ағыны нөлге тең, ойткени ол беттің екі рет tecin өту арқылы қарама-қарсы таңбага ие болады.

III Гаусс теоремасы

Егер түйік беттің ішінде бір емес бірнеше нүктелік заряд орналасса немесе ол қандай да бір бетте немесе қолемде таралса, онда алған (3) өрнек суперпозиция принципі негізінде мына түрге ие болады:

$$\Phi_E = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\epsilon_0}. \quad (4)$$

Кернеулік ағыны беттің пішініне және оның ішіндегі зарядтардың орналасуына тәуелсіз. Ол түйік беттің ішіндегі барлық зарядтардың қосындысымен анықталады:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i.$$

Алған қатынасты неміс математигі Карл Фредрих Гаусс ашқан, сондықтан ол *Гаусс теоремасы* деген атқа ие болды:

Кез келген түйік бет арқылы өтетін кернеулік ағыны бет ішіндегі барлық еркін электр зарядтардың алгебралық қосындысының ϵ_0 көбейтіндісіне бөлгенге тең.

1-тапсырма

1. Ауа көністігінде орналасқан зарядтары: $q_1 = -2 \cdot 10^{-5}$ Кл, $q_2 = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл, $q_3 = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл үш шардың қамтитын сфералық бет арқылы өтетін кернеулік ағынының мәні мен азайыптаңдар.
2. Егер сфераны эллипсоид етіп созатын болсақ, кернеулік ағыны арта ма әлде азая ма?
3. Сфералық бет радиусын 2 есе арттырса, электр индукциясының ағыны қалай өзгереді?
4. Егер зарядтарды суга батырсақ, кернеулік ағыны қалай өзгереді?
5. Егер зарядтарды түйік беттің сыртында орналастырсақ, кернеулік ағыны қалай өзгереді?

2-тапсырма

Өткізгіш шардың өріс кернеулігі зарядталған сфера өрісінің кернеулігі сияқты анықталатынын дәлелдендер.

IV Зарядталған өткізгіш шардың және сфераның өріс кернеулігі

Радиусы R зарядталған сфера өрісі кернеулігінің ағынын радиусы үлкен $R_1 > R$ сфера арқылы анықтайық (156-сурет):

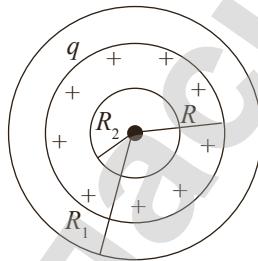
$$\Phi_E = E \cdot 4\pi R^2. \quad (5)$$

Алынған беттің ішінде зарядталған сфера орналасқан, сондықтан $\Phi_E = \frac{q}{\epsilon_0}$. Гаусс теоремасын қолдануға болады.

(5) тендеуді Гаусс теңдеуімен қатар шешіп, зарядталған сфера өрісінің кернеулігін мына түрде жазамыз:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \quad (6) \quad \text{немесе} \quad E = \frac{kq}{R^2} \quad (7)$$

Зарядталған сфера өрісінің кернеулігін есептеу формулалары нүктелік заряд кернеулігін есептеуге арналған формулалар сияқты екенін көріп отырысындар. $R_2 < R$ радиусы кіші сфера үшін өріс кернеулігі нөлге тең. Осы беттің ішінде заряд жоқ, демек, $\Phi_E = 0$.



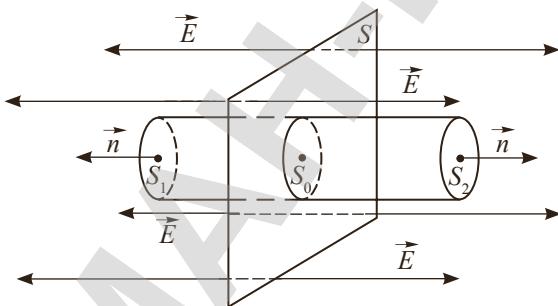
156-сурет. Радиусы R зарядталған сфераның ішінде өріс кернеулігінің ағынын радиусы $R_1 > R$ сферада орналасқан нүктелік заряд кернеулігі сияқты анықталады

V Бірқалыпты зарядталған шексіз жазықтықтың өріс кернеулігі

Шексіз жазықтықтың электр өрісі күштерінің сизықтары оның бетіне перпендикуляр (157-сурет). Кулондық күш әсерінен заряд оның бетіндегі:

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad (8)$$

беттік тығыздықпен бірқалыпты таралады.



157-сурет. Шексіз жазықтықтың өріс кернеулігі кеңістіктің барлық нүктесінде бірдей мәнге ие болады.

Өріс біртекті

Заряды $q = \sigma S_0$ болатын S_0 бетті таңдал алайық та, осы заряд тудырган кез келген түйік бет арқылы өтетін кернеулік ағынын анықтайық. Бүйір бетті кернеулік векторларына параллель цилиндрлік бет таңдал алайық. Осылайша, бүйір бет арқылы өтетін ағынды ескермейміз және есепті шешу цилиндрдің S_1 және S_2 табандары арқылы



Жауабы қандай?

1. Зарядталған сфераның ішінде өріс кернеулігі нөлге тең болуының себебі неде?
2. Неліктен зарядталған шексіз пластинаға жақын орналасқан зарядқа әсер ететін күш олардың арақашықтығына тәуелді емес?
3. Неліктен өлемі кішкентай зарядталған пластиналардың өрісі біртекті емес?

өтетін кернеулік ағынын табуға әкеледі. Кернеулік векторы мен цилиндр табанына жүргізілген нормаль бағыты сәйкес келеді. $\Phi_E = E_n \cdot 2S$ және $\Phi_E = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}$ теңдеулерін қатар шеше отырып, зарядталған пластиның электр өрісінің кернеулігін есептеу формуласын аламыз:

$$E = \frac{q}{2\epsilon \epsilon_0 S} \quad (9)$$

немесе $E = \frac{\sigma}{2\epsilon \epsilon_0}$. (10)

Алынған формуладан зарядталған шексіз жазықтық өрісінің кернеулігі одан кез келген қашықтықта тұрақты екенін көреміз, ал пластиның электр өрісі біртекті.

VII Бірқалыпты зарядталған шексіз жіптің (цилиндрдің) өрісі

Радиусы R шексіз жіп бірқалыпты зарядталған болсын делік (159-сурет). Зарядтың сзыбытық тығыздығы $\tau = \frac{\Delta q}{\Delta l}$, мұндағы Δq – ұзындығы Δl болатын жіп болігіндегі заряд. Ұзындығы l жіптің зарядын сзыбытық тығыздық арқылы өрнектейік:

$$q = \tau \Delta l. \quad (11)$$

Кернеулік сзыбытары жіп бетіне перпендикуляр, олар радиал түзулер бойымен бағытталған. Цилиндр пішінді түйік бетті алайық, оның осі жіптің $00'$ осімен сәйкес келеді. Цилиндрдің ауданы $S = 2\pi r l$, бүйір беті арқылы өтетін ағын:

$$\Phi_E = ES = E \cdot 2\pi r l. \quad (12)$$

Гаусс теоремасын және (11) және (12) формулатарын пайдаланып, мынадай өрнек аламыз:

$$E \cdot 2\pi r \cdot l = \frac{\tau \cdot l}{\epsilon \cdot \epsilon_0},$$

бұдан зарядталған шексіз жіп тудырған өріс кернеулігін өрнектейміз:

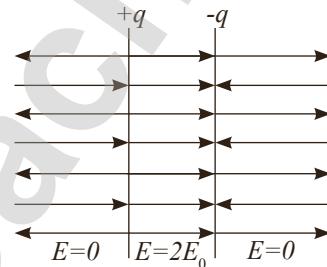
$$E = \frac{\tau}{2\pi \epsilon \epsilon_0 r},$$

3-тапсырма

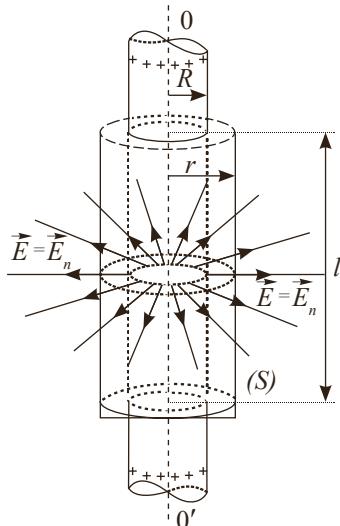
1. Әр аттас зарядталған пластиналар арасында өріс кернеулігі 2 есе артатынын дәлелдендер (158-сурет):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon \epsilon_0}.$$

2. Екі пластиналың сыртындағы өріс кернеулігі неләе тең $E = 0$ екенін дәлелдендер (158-сурет).



158-сурет. Екі шексіз жазықтық тудырған электр өрісі пластиналардың арасындағы кеңістікте шоғырланады



4-тапсырма

Гаусс теоремасын пайдаланып, электр өрісінің кернеулігін есептеу формуласын қорытып шығару алгоритмін құрастырыңдар.

159-сурет. Цилиндрдің бүйір беті арқылы өтетін кернеулік векторлары жазықтықта түсірілген нормальмен кез келген нүктеде нөлге тең бұрыш жасайды

мұндағы r – жіп (цилиндр) осінен берілген нүктеге дейінгі арақашықтық. Откізгіш жіп-тің ішінде өріс жок.

5-тапсырма

Цилиндрдің жоғарғы және төменгі бетімен өтетін кернеулік ағыны нөлге тең екенін дәлелдендер (159-сурет).

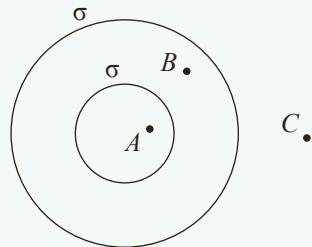
Бақылау сұрақтары

1. Элементар аудан арқылы өтетін кернеулік ағынын қалай анықтайды?
2. Кернеулік ағыны нені сипаттайды?
3. Гаусс теоремасының мәнінеде?
4. Қандай жағдайларда Гаусс теоремасын қолдану есепті шешуді жөнілдетеді?

Жаттығу

30

1. Ишінде $q_1 = 15 \text{ нКл}$, $q_2 = -25 \text{ нКл}$ және $q_3 = 1 \text{ нКл}$ зарядтар орналасқан текшениң бүйір беті арқылы өтетін кернеулік ағынын анықтаңдар.
2. Зарядталған радиусы r откізгіш шар радиусы R металл тордың ішінде орналасқан (160-сурет). Шар центрінен R_A , R_B , R_C арақашықтықта орналасқан A , B , C нүктелеріндегі кернеулік мәндерін анықтаңдар. Зарядтардың шар мен тордағы беттік тығыздықтары σ тең.
3. Радиусы R откізгіш сфера беттік тығыздығы σ зарядпен зарядталған және ішкі радиусы R_1 , сыртқы радиусы R_2 откізгіш қабатпен қоршалған. Өріс кернеулігінің r радиуска тәуелділігін анықтаңдар және осы тәуелділіктің графигін түрғызыңдар.
4. Екі зарядталған параллель пластиналардың беттік тығыздықтары $-\sigma$ және $+\sigma$. Пластиналар арасындағы арақашықтық d -ға тең. Ox осі пластиналар жазықтығына перпендикуляр жүргізілген, өріс кернеулігінің x координатасына тәуелділігінің қисығын сзыңдар.
5. Зарядталған үлкен пластиинаның центріндегі өріс кернеулігі $E = 10^4 \text{ В/м}$. Кернеулік сзықтары пластинаға қарай бағытталған. Егер пластина бірқалыпты зарядталған болса, пластинадағы зарядтардың беттік тығыздығын анықтаңдар?
6. Массасы $m = 20 \text{ г}$ және заряды $q = 10^{-6} \text{ Кл}$ шар жіпке ілулі түр. Егер жіптің көрілу күшін екі есе кемітсек, онда шар астындағы горизонталь пластинаға берілген зарядтардың беттік тығыздығы неге тең болады?



160-сурет. 2-есепке

§ 31. Зарядтың орнын ауыстырғандағы электр өрісінің жұмысы. Электр өрісінің потенциалы және потенциалдар айырымы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- нүктелік зарядтың электр өрісінің потенциалы мен жұмысын есептей аласыңдар.



1-тапсырма

Заряд A нүктесінен C нүктесіне, содан соң B нүктесіне орын ауыстырса, $A = qEd$ жұмыс атқарылатынын дәлелдендер (161-сурет).

Электр өрісіне енгізілген зарядқа күш әсер етеді, күш әсерінен заряд қозгалады. Біртекті және біртекті емес өрістерде зарядтың орнын ауыстыру кезінде атқарылатын жұмысты анықтайық.

I Біртекті электр өрісінің зарядтың орнын ауыстыру кезінде атқаратын жұмысы

Оң заряд q зарядталған пластиналардың электр өрісінің күші әсерінен бір пластинаның A нүктесінен екінші пластинаның B нүктесіне орын ауыстырылып дөлік, пластиналардың арақашықтығы d (161-сурет). Заряд орын ауыстырған кезде өрістің атқаратын жұмысы мынаган тең болады:

$$A = FScosa.$$

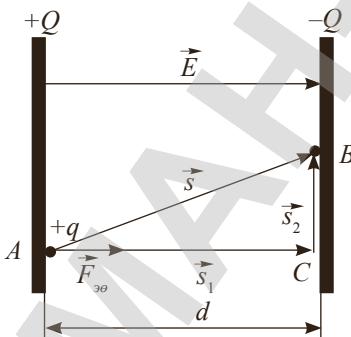
$F = qE$, $Scosa = d$ екенін ескерсек, мына өрнекті аламыз:

$$A = qEd. \quad (1)$$

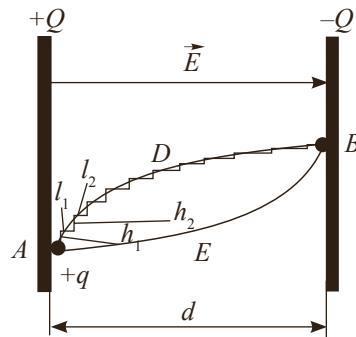
Зарядтың ADB сызығы бойымен орын ауыстыруын қарастырайық (162-сурет). Заряд қозгалатын кез келген траекторияның жолдың аз горизонталь l_1, l_2, \dots, l_n және вертикаль h_1, h_2, \dots, h_n бөліктері ретіндегі қарастыруға болады. Горизонталь бөліктердің қосып $l_1 + l_2 + \dots + l_n = d$ аламыз, демек, жолдың горизонталь бөліктеріндегі жұмыс мынаган тең:

$$A = qEd.$$

Жолдың вертикаль бөліктеріндегі жұмыс нөлге тең, себебі күш векторы мен орын ауыстыру векторы арасындағы бұрыш 90° -қа тең, яғни $\cos 90^\circ = 0$.



161-сурет. Біртекті электр өрісінің жұмысы қозгалыс траекториясына тәуелді емес



162-сурет. Тұйық контур бойындағы электр өрісінің жұмысы нөлге тең

Зарядтың бір нүктеден екінші нүктеге орын ауыстыруы кезінде атқарылған жұмыс қозгалыс траекториясына тәуелді емес. Ол тек осы нүктелердің өрістегі орнына ғана байланысты болады.

Біз бұрын гравитациялық өріс үшін алғынған қорытындыға келдік.

II Зарядталған дененің біртекті электр өрісіндегі потенциалдық энергиясы

$ADBEA$ түйік контур бойымен қозғалатын зарядты қарастырайық (162-сурет). Дене B нүктесінен A нүктесіне қарай қозғалғанда, горизонталь бөліктеріндегі күш пен орын ауыстыру арасындағы бұрыш 180° , демек, $\cos\alpha = -1$. Электр өрісі теріс жұмыс жасайды: $A_{BEA} = -qEd$. $ADBEA$ түйік контур бойымен атқарылған жұмыс нөлге тең:

$$A = A_{ADB} + A_{BEA} = qEd - qEd = 0.$$

Дене түйік контур бойымен орын ауыстырган кезде атқарылған жұмыс нөлге тең болатын өрістірді потенциалдық өрістер деп атайды.

Мұндай өрістерге гравитациялық өріс және қозғалмайтын заряд тудырган электр өрісі жатады. Потенциалдық өріс жұмысын дененің потенциалдық энергиясының өзгерісі бойынша анықтауга болады:

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}). \quad (2)$$

A және B нүктелері пластиинадан d_1 және d_2 арақашықтықта орналасқан кез келген нүктелер болсын (163-сурет). d кесіндісін осы арақашықтықтар арқылы өрнектейік: $d = d_1 - d_2$, сонда

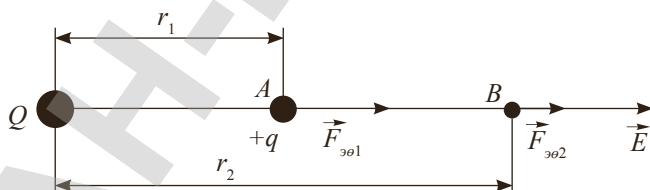
$$A = -(qEd_2 - qEd_1). \quad (3)$$

(2) және (3) формулалардан біртекті өрістегі зарядталған дененің потенциалдық энергиясы мынаған тең екені шығады:

$$W_p = qEd. \quad (4)$$

III Біртекті емес электр өрісінің зарядтың орнын ауыстыру кезінде атқаратын жұмысы

q заряды Q он заряд тудырган өрістің күш сзықтары бойымен A нүктесінен B нүктесіне орын ауыстырысын делік (164-сурет).



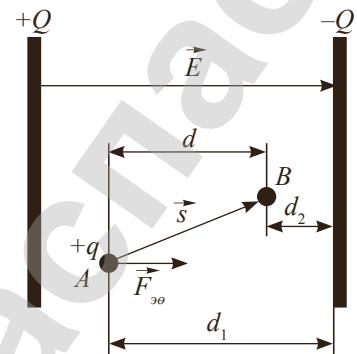
164-сурет. Q заряды тудырган өрісте q заряды орын ауыстырган кезде электр өрісінің атқаратын жұмысы

Зарядтың орнын ауыстыратын күш арақашықтықтың квадратына көрі пропорционал:

$$F_A = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_1^2}, \quad F_B = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_2^2}$$

және айнымалы шама болып табылады. Біртекті емес гравитациялық өріспен ұқсастығын пайдалана отырып, электр өрісінің заряд орын ауыстырган кезде атқаратын жұмысын есептеу формуласын жазайық:

$$A = F_{opm}(r_1 - r_2) = \frac{kqQ}{\varepsilon \cdot r_1} - \frac{kqQ}{\varepsilon \cdot r_2}. \quad (5)$$



163-сурет. Электр өрісіндегі A және B нүктелерінің арақашықтығын теріс зарядталған пластиинага қатысты анықтау

Алынған өрнектегі

$$W_p = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r} \quad (6)$$

q зарядтың қозғалмайтын Q зарядтың электр өрісіндегі потенциалдық энергиясы немесе дизлектрлік өтімділігі ε , кеңістікте r арақашықтықта орналасқан Q және q нүктелік зарядтарының өзара әрекеттесу энергиясы.

Зарядталған денениң қандай да бір нүктедегі потенциалдық энергиясы заряд өрістің осы нүктесінен шексіздікке орын ауыстыруы кезінде атқарылатын жұмысқа тең.

(6) өрнекті (5) өрнекке қойып, мынаны аламыз:

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}). \quad (7)$$

Біртекті емес электр өрісінің зарядтың орын ауыстыру кезінде атқаратын жұмысы зарядталған денениң теріс таңбамен алынған потенциалдық энергиясына тең.

IV Біртекті электр өрісінің потенциалы

Өріс потенциалы зарядтың потенциалдық энергиясының сол зарядқа қатынасына тең:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}. \quad (8)$$

Ол оң немесе теріс мәнге ие болуы мүмкін.

Өрістің потенциалдар айырымының физикалық мағынасы бар, себебі ол арқылы өріс күштерінің зарядтың орнын ауыстыруы кезінде атқаратын жұмысы өрнектеледі.

Біртекті электр өрісі үшін өріс нүктесінің потенциалы мынаган тең:

$$\varphi = \frac{qEd}{q} = Ed. \quad (9)$$

(9) өрнекті (3) өрнекке қойып, нүктенің бастапқы және соңғы потенциалдарының арасындағы байланысты аламыз:

$$A = -(q\varphi_2 - q\varphi_1) \text{ немесе } A = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (10)$$

V Нүктелік заряд тудырған біртекті емес электр өрісінің потенциалы

(6) және (8) формулаларды қолданып, нүктелік зарядтың өрісінің потенциалын өрнектейік:

$$\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon \cdot r}, \quad (11)$$

мұндағы Q – өрісті тудырған нүктелік заряд.

Есте сақтандар!

Біртекті емес электр өрісінің орын ауыстыруы кезінде атқаратын жұмысы мынаган тең:

$$A = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_1} - \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_2}$$

Есте сақтандар!

Өріс потенциалы – өрістің энергетикалық сипаттамасы.

Ол берілген өрістің қандай да бір нүктесіне енгізілген оң зарядтың потенциалдық энергиясын сипаттайды.

Потенциалдың өлшем бірлігі:

$$[\varphi] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В.}$$

Естеріңе түсіріңдер!

Өрістің екі нүктесінің потенциалдарының айырымын кернеу деп атайды U :

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Өрістің жұмысы және кернеуі мына қатынаспен байланысады:

$$A = qU.$$

VI Бірнеше нүктелік заряд тудырған өріс потенциалы

Бірнеше нүктелік заряд тудырған өріс потенциалы олардың әрқайсының потенциалдарының алгебралық қосындысына тең.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n. \quad (12)$$

(12) теңдеу өрістердің энергетикалық сипаттамалары үшін суперпозиция принципінің өрнегі болып табылады. Оң заряд өрісінің потенциалы – оң, теріс зарядтікі – теріс.

VII Потенциалдық энергияны есептеу үшін нөлдік деңгейді таңдау

Зарядталған денелердің өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы зарядтардың бірін шексіздікке алып кеткенде нөлге ұмтылады. Теориялық есептеулерде потенциалдың нөлдік нүктесі ретінде шексіз алыстатылған нүкте алынады. Практикалық есептерді шешу кезінде көбінесе өріс нүктелері арасындағы потенциалдар айрымы қолданылады. Потенциалдар айрымының мәні нөлдік деңгейді таңдауга тәуелді емес. Есептеулер жүргізуға ынғайлы кеңістіктің кез келген нүктесі нөлдік деңгей бола алады. Электротехникада потенциалдың нөлдік деңгейі ретінде Жердің кез келген нүктесін қолдануға болады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Радиусы $R = 20$ см жұқа қабырғалы металл сфераның ішінде радиусы $r = 10$ см металл шар бар. Сфера ішіндегі шар тесік арқылы жұқа ұзын өткізгіш көмегімен Жермен жалғанған. Сыртқы сферага $Q = 10^{-8}$ Кл заряд орналастырылады. Осы сфераның φ потенциалын анықтаңдар.

Берілгені:

$$R = 20 \text{ см}$$

$$r = 10 \text{ см}$$

$$Q = 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$\varepsilon = 1$$

$$\varphi - ?$$

Шешуі:

Зарядталған сфераның барлық нүктесінің потенциалы оның бетіндеңі потенциалға тең: $\varphi_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.

Жермен жалғанған ішкі шарда $\varphi_0 = 0$, ол қарама-қарсы таңбалы q зарядқа индукцияланады. Ишкі шардың потенциалы q және Q зарядтары тудырған өрістердің потенциалдарының қосындысына тең:

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{Q}{R} - \frac{q}{r} \right). \quad (1)$$

$\varphi_0 = 0$ болғандықтан, (1) өрнектен шыгатыны:

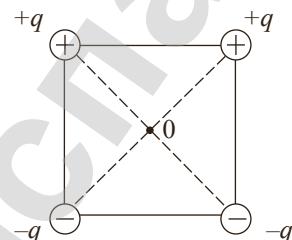
$$q = \frac{Or}{R}. \quad (2)$$

Улкен сфераның бетінде индукцияланған зарядты ескерсек, потенциал мынаған тең болады: $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{Q}{R} - \frac{q}{R} \right) = \frac{Q - q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.



2-тапсырма

Шаршының төбелерінде орналасқан модульдері тен зарядтар тудырған өрістің 0 нүктесіндегі потенциалын анықтаңдар (165-сурет). Егер барлық зарядтар оң болса, осы нүктенің потенциалы қандай болады?



165-сурет. Бірнеше заряд үшін суперпозиция принципі орындалады

(2) формуланы ескеріп, есептеу формуласын аламыз:

$$\varphi = \frac{Q(R-r)}{4\pi\epsilon_0 R^2} = 225B.$$

Жауабы: $\varphi = 225 B$.

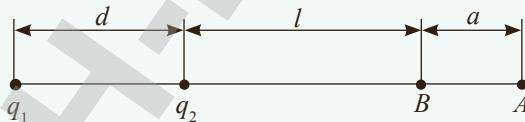
Бақылау сұрақтары

- Біртекті электр өрісінде зарядтың орын ауыстыруы кезінде атқарылатын жұмыс қалай анықталады? Нүктелік заряд өрісінде ше?
- Қандай өрістерді потенциалдық деп атайды?
- Біртекті өріске енгізілген зарядтың потенциалдық энергиясы неге тең? Нүктелік заряд өрісіндегі ше?
- Қандай шаманы электр өрісінің потенциалы деп айтады?
- Бірнеше заряд тудырған өріс потенциалын қалай анықтайты?
- Өріс нүктелерінің потенциалын анықтаған кезде нөлдік деңгей ретінде нені алады?

★ Жаттығу

31

- $q_1 = 6,6 \cdot 10^{-9}$ Кл және $q_2 = 1,32 \cdot 10^{-8}$ Кл екі нүктелік заряд бір-бірінен $r_1 = 40$ см арақашықтықта орналасқан. Оларды $r_2 = 25$ см-ге дейін жақындау үшін қандай жұмыс атқару керек?
- q_1 және q_2 екі нүктелік зарядтар өрісіндегі q заряд A нүктесінен B нүктесіне орын ауыстырған кезде атқарылатын жұмысты анықтаңдар (166-сурет).



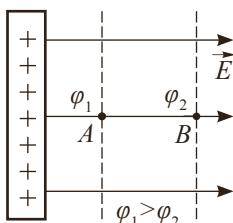
166-сурет. 2-есепке

- Бір-бірінен $d = 1$ см арақашықтықта орналасқан екі вертикаль пластина арасында массасы $m = 0,1$ г зарядталған шар тұр. Пластиналарға $U = 1000$ В кернеу берілгеннен кейін, шары бар жіп $\alpha = 10^\circ$ бұрышқа ауытқыды. Шардың q зарядын анықтаңдар.
- Сынаптың радиустары $r_1 = 2$ мм, $r_2 = 5$ мм және $r_3 = 3$ мм үш тамшысы сәйкесінше $q_1 = 4 \cdot 10^{-12}$ Кл, $q_2 = 5 \cdot 10^{-12}$ Кл және $q_3 = 6 \cdot 10^{-12}$ Кл зарядтармен зарядталған және бір тамшыға біріктірілген. Үлкен тамшының потенциалын анықтаңдар.
- $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл нүктелік зарядты шексіздіктен зарядтың беттік тығыздығы $\sigma = 10^{-9}$ Кл/см², радиусы $r = 1$ см шар бетінен $d = 1$ см қашықтықтағы нүктеге экелген кезде қандай жұмыс атқарылады?

§ 32. Эквипотенциал беттер. Біртекті электр өрісі үшін потенциалдар айырымы мен кернеулік арасындағы байланыс

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ишергенде:
- есептер шығаруда электростатикалық өрістің күштік және энергетикалық сипаттамаларын байланыстыратын формулаларды пайдалана аласыңдар;
 - гравитациялық және электростатикалық өрістердің күштік пен энергетикалық сипаттамаларын салыстыра аласыңдар.



167-сурет. Кернеулік сзықтары потенциалы көп нүктеден потенциалы аз нүктеге қарай бағытталады

I Эквипотенциал беттер

Біртекті электр өрісінің кернеулігі – тұракты шама. § 31-та алғынған формуладан:

$$\varphi = Ed \quad (1)$$

беттен бірдей арақашықтықтағы барлық нүктелердің потенциалдары тең екенін көреміз. Олар зарядталған пластинаға параллель жазықтықта жатады.

Барлық нүктелерде өріс потенциалы бірдей болатын бетті эквипотенциал деп атайды.

Кернеулік сзықтары эквипотенциал бетке перпендикуляр (167-сурет).

Біртекті өрістің эквипотенциал беттері деп, кернеулік сзықтары тікбұрыши жасаған тесін өтештін жазықтықтарды айтамыз.

Нүктелік заряд тудырған өріс потенциалы $\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon \cdot r}$, демек, нүктелік зарядтың өрісі үшін эквипотенциал бет сfera болып табылады. 168-суретте оң Q нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрістің күш сзықтары және эквипотенциал беттері бейнеленген. Кернеулік векторы эквипотенциал беттерге перпендикуляр.

Заряд эквипотенциал бетте орын ауыстырған кездегі өрістің жұмысы нөлге тең болады:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(\varphi - \varphi) = 0,$$

себебі, эквипотенциал беттің барлық нүктелері бірдей потенциалға ие.

II Біртекті электр өрісі үшін потенциалдар айырымы мен кернеулік арасындағы байланыс

Потенциалдың өріс кернеулігімен байланысын пайдаланып, біртекті электр өрісінің A және B (167-сурет) нүктелері арасындағы потенциалдар айырымын анықтайық:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed_1 - Ed_2 = E(d_1 - d_2),$$

мұндағы d_1 және d_2 – электр өрісінің A және B нүктелерінен бастап, таңдаған нүктелердің оң жағында

1-тапсырма

Кернеулік векторлары эквипотенциал беттерге перпендикуляр екенін (168-сурет) дәлелдендер; Түйік контур ABCDA бойынша жұмыс нөлге тең екенін дәлелдендер.

орналасқан нөлдік потенциал деңгейіне дейінгі арақашықтық.

$d_1 - d_2$ айрымының A және B нүктелерінің арасындағы d арақашықтықта алмастырайық, сонда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed$$

немесе

$$U = Ed.$$

Өріс кернеулігі мен өріс нүктелері жататын эквипотенциал беттер арасындағы қашықтық үлкен болған сайын, олардың аралығындағы потенциалдар айрымы да көп болады.

III Потенциалдың кернеулікпен байланысы

Оң зарядтар құшсызықтарының бағыты бойынша орын ауыстырганда өріс он жұмыс жасайды. Кері бағыттағы қозғалыс кезінде өріс жұмысы теріс болады. 167 және 168-суреттердің қарастырайық. Біртекті өріс нүктелерінің потенциалы $\varphi = Ed$ формуласымен, біртекті емес нүктелердің потенциалы $\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon \cdot r}$ формуласымен анықталатындықтан, мынағай қорытындыға келеміз:

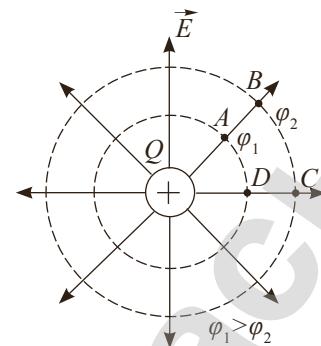
Өріс кернеулігі потенциалы көп нүктеден потенциалы аз нүктеге қарай бағытталады.

IV Гравитациялық және электростатикалық өрістердің күштік және энергетикалық сипаттамалары

Жер бетінің маңайындағы гравитациялық өрістің құшсызықтарын әр аттас зарядталған пластиналар тудырған біртекті электр өрісінің кернеулік сипаттамалары мен салыстырайық (169-сурет). Сонымен қатар шамамен Жер радиусындай арақашықтықтағы Жердің гравитациялық өрісінің құшсызықтарын теріс нүктелік зарядтан туындаған біртекті емес өрістің құшсызықтарымен салыстырайық (170-сурет).

Өрістердің негізгі сипаттамаларын есептеу формулалары мен құшсызықтарын салыстыру 12-кестеде берілген шамалардың ұқсастығын орнатуға мүмкіндік береді.

Гравитациялық өріс және электр өрісі потенциалдық немесе консервативті өріс болып табылады. Консервативті күштердің тұйық контурдағы жұмысы нөлге тең. Жұмыс дененің қозғалыс траекториясына тәуелді емес, ол дененің бастапқы және соңғы уақыт мезетіндегі күйіне ғана тәуелді.

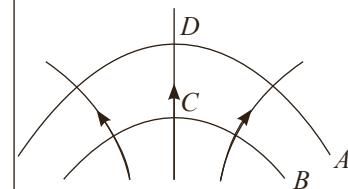


168-сурет. Q нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрістің кернеулік сипаттартыры және эквипотенциал беттері

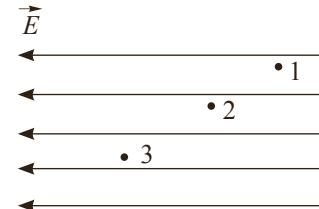


2-тапсырма

- 171 және 172-суреттерден ең көп потенциалы бар нүктелерді көрсөтіңдер.
- Қандай нүктелерде өріс кернеулігі ең кіші болады?



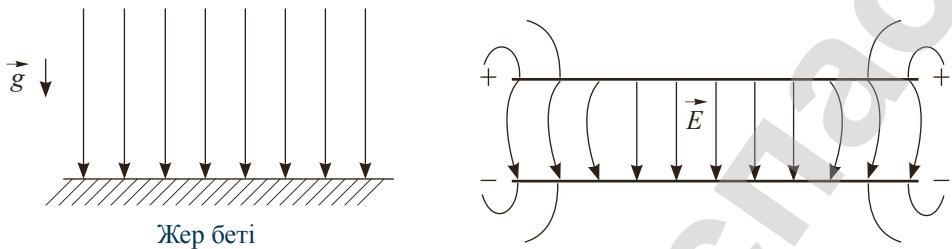
171-сурет. Біртекті емес өрістің күштік сипаттамалары мен эквипотенциал беттері



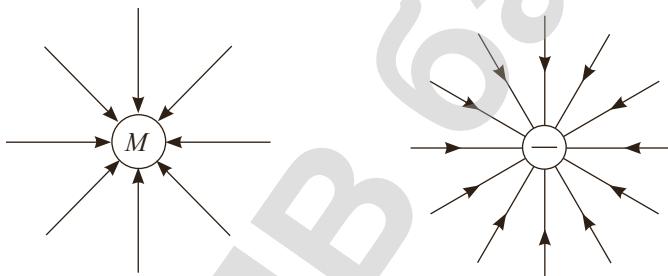
172-сурет. Біртекті өрістің кернеулік сипаттартары

Консервативті өріс күштерінің жұмысы деге энергиясының потенциалдық энергиясының азаюымен анықталады.

Консервативті өрістер үшін энергияның сақталу заны орындалады. Потенциалдық энергияның азаюы қозгалатын дененің кинетикалық энергиясының артуына алып келеді.



169-сурет. Жер бетіндегі гравитациялық өрістің және зарядталған әрттас пластиналар арасындағы біртекті электр өрісінің күш сзықтары



170-сурет. Жер радиусына шамалас арақашықтықтағы Жердің гравитациялық өрісі мен теріс нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрістің күш сзықтары

12-кесте. Электр өрісі мен гравитациялық өрісті сипаттайтын шамалардың үқсастығы

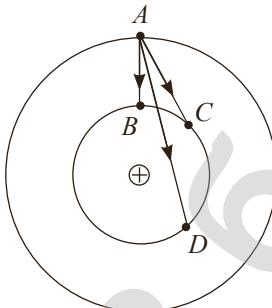
Физикалық шамалар	Гравитациялық өріс	Электр өріс
Кернеулік	g	E
Гравитациялық түрақты	G	
Пропорционалдық коэффициенті		k
Масса	m	
Заряд		q
Потенциал	gh	φ
Күш	$F=mg$	$F=qE$
Біртекті өрістің потенциалдық энергиясы	$W_p=mgh$	$W_p=qEd$
Біртекті емес өрістің потенциалдық энергиясы	$W_p = \frac{GMm}{r}$	$W_p = \frac{kQq}{r}$

Физикалық шамалар	Гравитациялық өріс	Электр өріс
Өріс жұмысы	$A = -(W_{p2} - W_{p1})$	
Біртекті өрістің жұмысы	$A = -mg(h_2 - h_1)$	$A = -qE(d_2 - d_1)$
Біртекті емес өрістің жұмысы	$A = -\left(\frac{GMm}{r_2} - \frac{GMm}{r_1}\right)$	$A = -\left(\frac{kQq}{r_2} - \frac{kQq}{r_1}\right)$



3-тапсырма

q оң зарядының A нүктесінен B, C, D нүктелеріне орын ауыстыруы кезінде электр өрісінің атқаратын жұмыстарын салыстырындар (173-сурет).



173-сурет. Нүктелік заряд тудырган өрісте зарядтың орын ауыстыруы

Бақылау сұрақтары

1. Эквипотенциал бет дегеніміз не?
2. Кернеулік векторлары эквипотенциал бетке қатысты қалай бағытталған?
3. Гравитациялық, және электр өрісінің сипаттамаларын салыстырындар.



Жаттығу

32

1. Біртекті өрістің бір кернеулік сзығының бойында жататын екі нүкте арасындағы кернеу 2 кВ. Нүктелер арасындағы арақашықтық 4 см деп алғып, кернеулікті анықтаңдар.
2. Екі электрон арасындағы кулондық тебілу күштері гравитациялық тарталис күштерінен неше есе үлкен?
3. Кернеулігі 60 кВ/м біртекті электр өрісінде 5 нКл заряд 20 см-ге орын ауыстырган. Орын ауыстыру векторы күш сзықтарының бағытымен 60° бұрыш қурайды. Өрістің атқаратын жұмысын, зарядтың потенциалдық энергиясының өзгеруін, орын ауыстырудың бастапқы мен соңғы нүктелері арасындағы кернеуді анықтаңдар.
4. Үш нүктелік заряд $q_1 = 2$ нКл, $q_2 = 3$ нКл және $q_3 = -4$ нКл қабырғасы $a = 10$ см теңқабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан. Осы жүйенің потенциалдық энергиясын анықтаңдар.

§ 33. Электр өрісіндегі өткізгіштер мен диэлектриктер

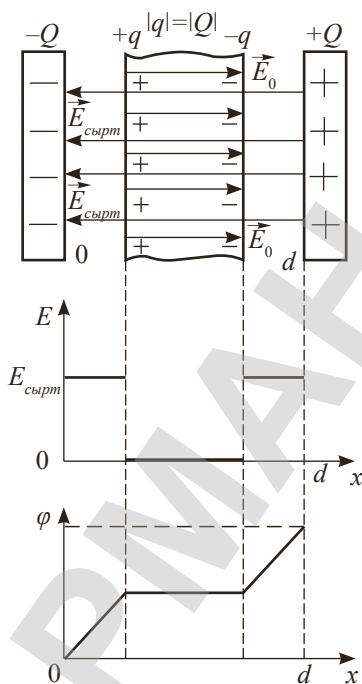
Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың ішергенде:
- өткізгіштердегі электростатикалық индукция құбылышы мен диэлектриктердегі полярлануға салыстырмалы талдау жасай аласыңдар.

Естеріне түсіріндер!

Өткізгіштер – құрамында еркін заряд тасымалдаушылар бар заттар.

Диэлектриктер – құрамында еркін зарядталған бөлшектер болмайтын заттар.



174-сурет. Біртекті электр өрісіндегі өткізгіш пластина

I Біртекті электр өрісіндегі өткізгіш пластина

Біртекті электр өрісінде орналасқан өткізгіште (174-сурет) еркін электрондар күш сзызықтары бойымен жылжиды. Әсер арқылы электрлеу жүреді: өткізгіш ішінде индукцияланған зарядтар тудырған өріс пайда болады. Ол сыртқы өріске қарама-қарсы бағытталған, сондықтан индукцияланған заряд өрісінің әсерінен электрондардың қозғалысы бәсендейді және индукцияланған өрістің кернеулігі сыртқы кернеулігіне жеткенде толығымен тоқтайды. Суперпозиция принципінің негізінде, өткізгіш ішіндегі кернеулік сыртқы және индукцияланған өріс кернеуліктерінің қосындысына тең:

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{сырт}} + \vec{E}_0.$$

Векторлар бағытын ескерсек: $E = E_{\text{сырт}} - E_0 = 0$.

Бұл өткізгіш ішінде электр өрісі болмайтынын білдіреді. Демек, сыртқы өріс тудырған пластина-дағы зарядтардың беттік тығыздықтары өткізгіш бетінде де тек бір мәнге ие болады, беттегі зарядтар модульдері бойынша тең: $|Q| = |q|$.

II Өткізгіш ішіндегі және оның бетіндегі нүктелер потенциалы

Өткізгіш беті эквипотенциал бет болып табылады, себебі, кернеулік векторлары әрқашан өткізгіш бетіне перпендикуляр. Біртекті өріс үшін өткізгіш бетінің потенциалының мына формула бойынша анықтаймыз:

$$\varphi = Ed,$$

мұндағы d – беттің тандап алынған кез келген деңгейге дейінгі арақашықтығы, мысалы, теріс зарядталған пластина мен өткізгіш бетінің арасындағы арақашықтық.

Өткізгіштің тандап алынған кез келген екі нүктесі үшін келесі қатынас орындалады:

$$\Delta\varphi = E\Delta d, \varphi_1 - \varphi_2 = E(d_1 - d_2).$$

Өткізгіш ішінде $E = 0$, онда $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$, демек:

$$\varphi_1 = \varphi_2.$$

Өткізгіштің барлық нүктелерінің потенциалдарының мәндері бірдей болады. 174-суретте ішінде

Жауабы қандай?

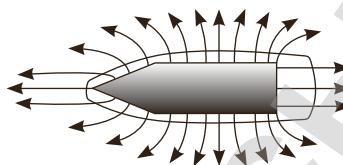
1. Металдарда электр зарядтарын қандай бөлшектер тасымалдайды?
2. Металдың еркін бөлшектері сыртқы электр өрісінің әсерінен қандай бағытта қозгалады?

өткізгіш орналасқан біртекті электр өрісінің нүктесінен кернеулігі мен потенциалының таралуының координатаға тәуелділік графиктері берілген. Нөлдік деңгей ретінде теріс зарядталған пластина таңдан алынған.

III Электр өрісіндегі өткізгіштер

Кез келген өткізгіштердің беті эквипотенциал болып табылады.

Күш сыйықтары эквипотенциал бетке перпендикуляр болады (175-сурет), олардың тығыздықтары беттің үшкір бөліктерінің маңында артады. Демек, оның үшінде зарядтың тығыздығы да көбірек болады. Өткізгіштің бұл бөлігінде зарядтардың «ағуы» мүмкін. Өткізгіште зарядты сактап қалу үшін оның бетін тегістеу қажет.



175-сурет. Кернеулік сыйықтар өткізгіш бетіне перпендикуляр

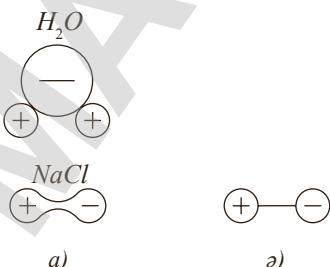
IV Диэлектриктерді поляризациялау механизмы

Диэлектриктер бейтарап атомдар немесе молекулалардан тұрады. Заттардың құрамына қарай оларды полярлы және полярлы емес диэлектриктер деп бөледі.

Молекуладағы теріс және оң зарядтардың орналасу центрлері бір-біріне қатысты ығысатын болса, онда оны полярлы деп атайды.

Бұл молекулалар дипольді береді (177-сурет).

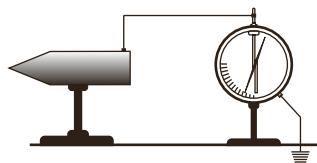
Диполь – өзінің меншікті өрісін түзетін, бір-біріне қатысты ығысатын өзара байланысқан зарядтар жүйесі.



177-сурет. a) полярлы диэлектриктердің: судың, еріген түздың молекулалары;
б) дипольдің суретте бейнеленуі.

Өз тәжірибел

Ұшы өткірленген өткізгіш цилиндрді зарядтаңдар (176-сурет). Электрометрдің көмегімен беттің барлық нүктелерінің Жерге қатысты потенциалдарын, өткізгіш бетімен электрометрдің сырғытпасын жылжыта отырып анықтаңдар.



176-сурет. Цилиндрлік өткізгіш бет нүктелерінің потенциалын анықтау

Жауабы қандай?

Неліктен кернеулік векторлары әрқашан өткізгіш бетіне перпендикуляр бағытталады?

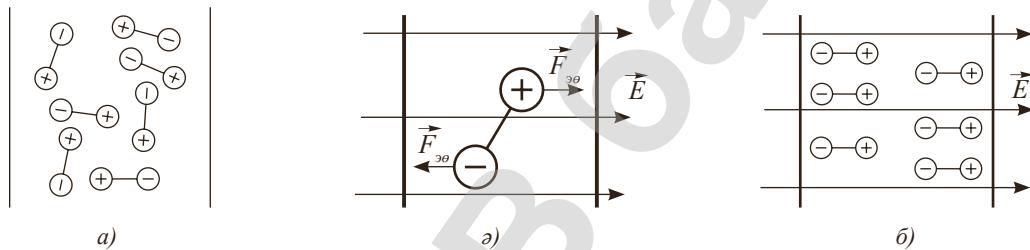
Электр өрісінде диэлектриктер поляризацияланады.

Электр өрісінде орналасқан диэлектрикте зарядтардың ығысу процесін поляризациялау, ал диэлектриктің өзін поляризацияланған деп атайды.

Полярлы және полярлы емес диэлектриктер үшін поляризациялау процестерінің айырмашылыштары бар.

1) Полярлы молекулалардан тұратын диэлектриктерді поляризациялау.

Карапайым жағдайда, жылулық қозғалыс нәтижесінде заттағы молекулалар еркін бағдарланады, мұндай диэлектрикте маңында өріс болмайды (178, а-сурет). Егер диэлектрикте сыртқы өріске енгізсең, онда әр дипольға жұп күш әсер етеді, олардың әсерінен молекулалар ығысады, диполь осьтері сыртқы өрістің күш сывықтары бойында орналасады (178, ә, б-сурет), диэлектрик поляризацияланады. Молекулалардың меншікті өрістерінің сыртқы өріспен суперпозициялануының нәтижесінде, диэлектрик ішіндегі өріс кернеулігі азаяды. Диэлектриктің кез келген бөлігінде зарядтардың қосындысы нөлге тең болады. Осы кезде диэлектрикте бір бетінде теріс зарядтар артық, екінші бетінде оң зарядтар артық болады.

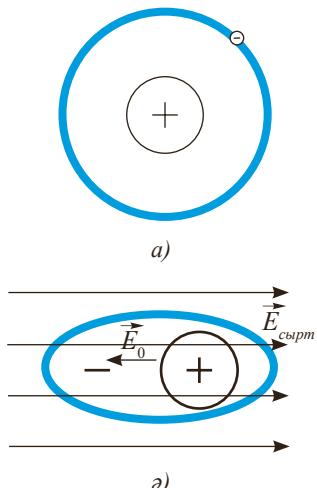


178-сурет. Полярлы диэлектриктерді поляризациялау

2) Полярлы емес диэлектриктерді поляризациялау.

Полярлы емес диэлектриктер атомдардан тұрады. Атомдағы теріс зарядтардың орналасу центрін, ядро маңында электрондар тез айналатындықтан, электронды бұл центрі деп санауда болады. Осылайша, теріс зарядтардың орналасу центрі ядроның оң зарядының центрімен сәйкес келеді (179, а-сурет). Сыртқы өріс әсерінен электрондың қабықша кернеулік сывықтар бойымен созылады. Оң және теріс зарядтардың центрлері бір-біріне қатысты ығысады, диполь түзіледі, оның өрісі \vec{E}_0 сыртқы өрісті $\vec{E}_{\text{сырт}}$ әлсіретеді (179, ә-сурет).

Қарастырылған жағдайларда поляризацияланған диэлектриктер бетінде таңбалары қарама-қарсы зарядтар пайда болады. Олар диэлектриктерде өткізгіштегі электрондар сияқты еркін орын ауыстыра алмайды, сондықтан оларды байланысқан зарядтар деп атайды.

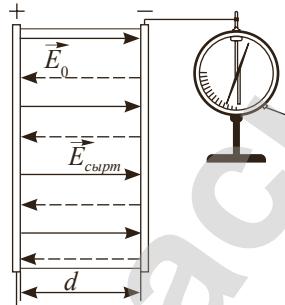


179-сурет. Полярлы емес диэлектриктерді поляризациялау



Өз тәжірибел

Екі зарядталған металл пластиналар арасындағы кеңістікке кезекпен әртүрлі диэлектриктерді енгізіндер (180-сурет). Электрометрдің көрсеткіші бойынша олардың өріске қалай өсер ететінін анықтаңдар. 197-беттегі 12-кесте бойынша материалдардың диэлектрлік өтімділіктерін салыстырыңдар, қорытынды жасандар.



В Біртекті электр өрісіндегі диэлектриктер

Поляризациялау нәтижесінде диэлектрик ішіндең өріс кернеулігі азаяды (181-сурет). Өрістердің суперпозиция принципінің негізінде:

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{syrpt}} + \vec{E}_0 \text{ немесе } E = E_{\text{syrpt}} - E_0.$$

Ортаның диэлектрлік өтімділігінің мәні белгілі болса, диэлектрик ішіндең өріс кернеулігі:

$$E = \frac{E_{\text{syrpt}}}{\epsilon}.$$

181-суретте өріс кернеулігінің екі зарядталған шексіз пластиналар арасындағы кеңістік нұктелерінің координаталарына тәуелділік графигі берілген. Біртекті өрістегі нұктеле потенциалы кернеулікпен мына формула бойынша байланысқан $\varphi = Ed$. 181 б-суреттегі графикте φ -тің d -дан тәуелділігі 0x осіне көлбей бұрыш жасайтын түзуді беретінін көреміз, көлбей бұрышының тангенсі өріс кернеулігіне тең:

$$tq\alpha_1 = \frac{\Delta\varphi_1}{d_1} = E_{\text{syrpt}}, \quad tq\alpha_2 = \frac{\Delta\varphi_2}{d_2} = \frac{E_{\text{syrpt}}}{\epsilon}.$$



Жауабы қандай?

Өткізіш бетінің потенциалын өлшеу кезінде неліктен электрометр корпусын жерлендіру керек?



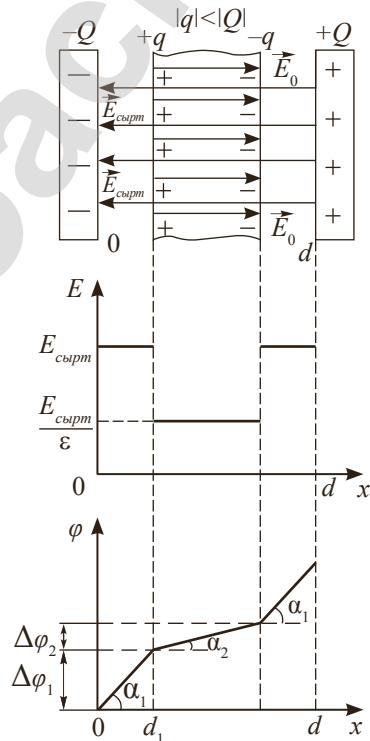
Бұл қызық!

Электростатикалық қорғаныс

Металл торлар мен корпустарды электростатикалық қорғаныс ретінде пайдалануды ең алғаш рет Фарадей ұсынды. Өткізгіштердің қасиеттерін зерттеу барысында ол сыртында кернеулігі жоғары өріс болатын жұқалтырмен (фольга) жабылған текшеге кірді. Электроскоптың кемегімен текше ішінде зарядты табу талпынысы сәтсіз аяқталады. Электростатикалық қорғаныс электротехникада кеңінен пайдаланылады. Сыртқы өрістерге сезімтал құралдардың барлығында металл корпус бар.

Иллюзионистер өткізгіштердің бұл қасиетін аттракциондарда пайдаланады, ол үлкен қызығушылық тудырады (182-сурет).

180-сурет. Диэлектриктең электр өрісіне әсерін зерттеу



181-сурет. Біртекті электр өрісіндегі диэлектрик



182-сурет. Иллюзионист Д.Блейн, 10⁶ В кернеудің әсерінде

Бақылау сұрақтары

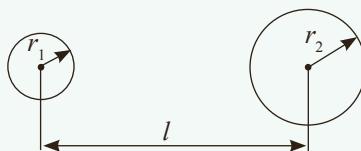
- Неліктен электр өрісіне енгізілген өткізгіштің ішінде өріс кернеулігі нөлге тең?
- Неліктен өткізгіштердің беттері эквипотенциал беттер болып табылады?
- Электр өрісіне сезімтал құралдарға электростатикалық қорғанысты қалай жасайды?
- Өткізгіштер мен диэлектриктер арасындағы негізгі айырмашылықты көрсетіндер.
- Полярлы диэлектриктің полярлы емес диэлектрикten айырмашылығы неде?
- Қандай диэлектрикті полярлы деп атайды? Полярлы диэлектриктің бетіндегі зарядтарды неліктен байланысқан деп атайды?
- Неліктен сыртқы өріске енгізілген диэлектрик ішіндегі электр өрісі азаяды, ал өткізгіште толығымен жоғалады?



Жаттығу

33

- Бір-біріне жақын арақашықтықта орналасқан екі паралель металл пластиналардың біріне $q = 4 \text{ нКл}$ заряд берілді. Екінші пластинаның әрбір қабырғасына қандай зарядтар индукцияланады? Пластиналар арасындағы өріс кернеулігін анықтаңдар.
- Центрлері бір-бірінен l арақашықтықта орналасқан екі шарды жінішке сыммен жалғастырған соң, олардың өзара әрекеттесу күшінің өзгеруін анықтаңдар (*183-сурет*). Шарлардың зарядтары q_1 және $q_2 = 2q_1$, шарлардың радиустары r_1 және $r_2 = 2r_1$.
- Керосинде бір-бірінен $R = 10 \text{ см}$ арақашықтықта орналасқан екі нуктелік заряд $q_1 = 6,6 \text{ мкКл}$ және $q_2 = 1,2 \text{ мкКл}$ қандай күшпен өзара әрекеттеседі? Өзара әрекеттесу күші бастапқы мәнінде қалу үшін оларды вакуумда қандай арақашықтықта орналастыру қажет?
- Зарядталған шарды майға батырды. Шардан қандай арақашықтықта өріс кернеулігі, шарды майға батырғанға дейінгі $R = 40 \text{ см}$ арақашықтықтағыдай болады?
- Бір-біріне жақын арақашықтықта көлдененінен екі үлкен пластина орналасқан. Төменгі өткізбейтін пластинада заряды $q = 20 \text{ мкКл}$ кішкене шар жатыр. Егер пластиналар арасындағы кеңістікті тығыздығы $\rho = 800 \text{ кг}/\text{м}^3$, диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 2$ сұйықпен толтырсақ, шардың салмағы қалай өзгереді? Шардың көлемі $V = 1 \text{ см}^3$, жоғарғы он зарядталған пластина тудырған электр өрісінің кернеулігі $E = 100 \text{ В}/\text{м}$.



183-сурет. 2 есепке

Шығармашылық тапсырма

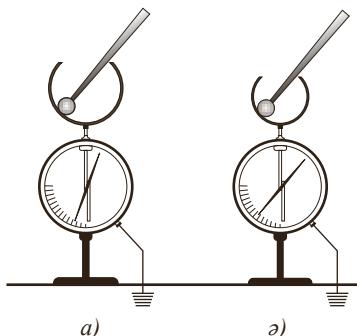
Біздің планета тудырған электр өрісінің негізгі сипаттамаларын зерттеңдер. Қысқаша хабарлама дайындаңдар.

§ 34. Электрсыйымдылық. Конденсаторлар. Конденсаторларды жалғау

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- конденсатор сыйымдылығының оның параметрлеріне тәуелдігін зерттей аласындар;
- есептер шығаруда конденсаторларды параллель және тізбектей жалғаудың формулаларын қолдана аласындар.



184-сурет. Радиусы үлкен сфераның электрсыйымдылығы үлкен болады

Естеріне түсіріндер!

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Жауабы қандай?

Шардың сыйымдылығын неліктен сфераның сыйымдылығы сияқты анықтайды: $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r$?

I Оқшауланған өткізгіштердің электрсыйымдылығы

Еркін электрондардың қозғалыштығына байланысты өткізгіштерді зарядтарды жинақтаушылар ретінде қолданады. Олар есеп арқылы оның электрленген денемен байланыста болғанда артық заряд жинап алады. Тәжірибе жүзінде оқшауланған өткізгіш пен оған берілген заряд арасында тұра пропорционал тәуелділік бар екені аныкталды. Сфераға оның ішкі бетін өлшемдері кіші зарядталған шармен бірнеше рет жанастыру арқылы q заряд берейік. Әрбір жанасу кезінде электрометр тілшесі бірдей мәнге ауытқиды (184, а-сурет). Демек, заряд пен шар потенциалы арасындағы тәуелділік тұра пропорционал:

$$q = C\varphi,$$

мұндағы C – пропорционалдық коэффициенті.

Оріс потенциалы өткізгіш өлшемдеріне тәуелдім? Оны анықтау үшін радиусы кіші сферамен тәжірибелі кайталаймыз. Берілген зарядтың мұндай мәнінде электрометр тілшесі үлкен бұрышқа ауытқиды (184, ә-сурет). Демек, радиусы кіші сфераның потенциалы жоғары: $\varphi_2 > \varphi_1$. Тәжірибе нәтижесінен C коэффициенті өткізгіш сфералардың сипаттамасы болып табылатындығы шығады, оны электрсыйымдылық деп атайды.

Оқшауланған өткізгіштің электрсыйымдылығы – өткізгіш зарядының оның потенциалына қатынасына тең физикалық шама.

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (1)$$

Откізгіш сфераның потенциалын есептеудің (1) формуласына $\varphi = \frac{kq}{\epsilon \cdot r}$ өрнегін қойып, табатынымыз:

$$C = \frac{\epsilon \cdot r}{k} \quad (2)$$

немесе $C = 4\pi\epsilon_0\epsilon r$. (3)

Оқшауланған сфераның радиусы үлкен болса, оның электрсыйымдылығы үлкен болды. Алынған қорытындылар шар үшін де дұрыс, себебі өткізгіштер

ішінде еркін зарядтар жоқ және электр өрісі болмайды.

Электр өрісінің өлшем бірлігі ретінде фарад алынған. Ол М.Фарадейдің құрметіне аталған.

Фарад – заряд 1 кулонға өзгерген кезде оның потенциалы 1 вольтқа артатын откізгіш сыйымдылығы.

$$C = 1\Phi = \frac{1Kl}{1B}.$$

Сыйымдылықтың өлшем бірлігі үлестік қосымшалармен қолданылады:

$$1 \text{ мКФ} = 10^{-6} \Phi; 1 \text{ нФ} = 10^{-9} \Phi; 1 \text{ пФ} = 10^{-12} \Phi.$$

II Конденсатор

Алақанымызды зарядталған сферага жақындастырық (*186-сурет*), электрометр көрсеткіші азаяды, демек сфера потенциалы азаяды. Сфера потенциалы оның өрісіне кез келген откізгішті енгізгенде азаяды. Ойша сфераны жерлендірілген радиусы үлкен сфераның ішіне орналастырайық (*185-сурет*). Сыртқы сфераның бетінде индукцияланған заряд пайда болады. Потенциалы нөлге тең сыртқы сферага қатысты ішкі сфераның потенциалы:

$$\Delta\phi = \frac{kq}{\epsilon r_1} - \frac{kq}{\epsilon r_2} = \frac{kq}{\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{kq(r_2 - r_1)}{\epsilon r_1 r_2} \quad (4)$$

болады.

Потенциалдың азаюы екі откізгіштің сыйымдылығы оқшауланған откізгіштің сыйымдылығынан көп екенин көрсетеді.

(4) өрнекті (1) өрнекке қоямыз, екі концентрлік откізгіш сфералар үшін сыйымдылықты есептеу формуласын жазамыз:

$$C = \frac{\epsilon r_1 r_2}{k(r_2 - r_1)} \quad (5)$$

немесе

$$C = \frac{4\pi\epsilon_0\epsilon r_1 r_2}{r_2 - r_1}. \quad (6)$$

Сфера радиустары үлкен және олардың арасындағы қашықтық аз болған сайын, олардың сыйымдылығы

Бұл қызық!

Сыйымдылығы 1 Ф шардың радиусы 9 млн км-ге тең:

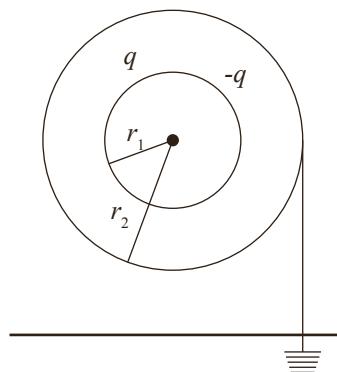
$$r = Ck = 1\Phi \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2}{Kl^2} = \\ = 9 \cdot 10^9 \text{ м.}$$

Осындай шардың радиусы Жердің радиусынан 1400 есе артық:

$$\frac{r}{R_{\text{ж}}} = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ м}}{6,4 \cdot 10^6 \text{ м}} \approx 1400.$$

Біздің планетаның атмосферасыз сыйымдылығы 0,71 мФ-ты құрайды:

$$C_{\text{ж}} = \frac{6,4 \cdot 10^6 \text{ м}}{9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2}{Kl^2}} = \\ = 0,71 \cdot 10^{-3} \Phi = 0,71 \text{ мФ.}$$



185-сурет. Жерлендірілген сфераның потенциалы нөлге тең

13-кесте. Конденсаторларда қолданылатын материалдар-дағы диэлектрлік отімділігі

Зат	ϵ
Ауа	1,0005
Қағаз	2,5-тен 3,5-ке дейін
Шыны	3-тен 10-ға дейін
Слюда	5-тен 7-ге дейін
Металл	6-дан 20-ға дейін
оксидтерінің үнтақтары	

Бұл қызық!

Жер сфералық конденсатор болып табылады, оның сыртқы сферасы ионосфера, ал диэлектрик ауа болып табылады.

арта түседі. Диэлектрикпен бөлінген екі өткізгіш сфера сфералық конденсатор болып табылады.

Екі жазық параллель пластинадан тұратын, диэлектрикпен бөлінген жазық конденсатор кеңінен колданыска ие. Конденсатор пластиналарын *астарлар* деп атайды.

Конденсатор – заряд пен электр өрісінің энергиясын және зарядты жинақтауға арналған құрылғы. Ол қалыңдығы астарлардың өлшемдерімен салыстырғанда аз болатын диэлектрикпен бөлінген екі пластинадан тұрады.

Пластиналар арасындағы біртекті өріс кернеулігі:

$$E = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0 S}.$$

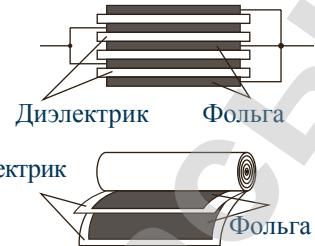
Конденсатор пластиналары арасындағы потенциалдар айырымы немесе бір астардың екіншісіне қатысты потенциалы мынаған тең:

$$\Delta\varphi = Ed = \frac{qd}{\epsilon \epsilon_0 S}. \quad (7)$$

(7) өрнекті (1) өрнекке қойып, жазық конденсатордың сыйымдылығын есептеу формуласын аламыз:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}. \quad (8)$$

(8) формуладан конденсатордың сыйымдылығын арттыру үшін астарлар ауданын арттырып, олардың арасындағы қашықтықты азайтып, диэлектрик енгізу қажет екенін көреміз.



186-сурет. Жазық конденсатор



187-сурет. Металқағаздың және алюминийлі электролиттік конденсатор



188-сурет. Айнымалы сыйымдылықтың конденсатор

III Конденсатор түрлері

Конденсаторлардың сыйымдылықтары тұрақты және айнымалы түрлері болады. Тұрақты сыйымдылығы бар конденсаторлар бір-бірінен диэлектрикпен оқшауланған екі немесе бірнеше пластинадан тұрады (186-сурет). Пластина ретінде металл жұқалтырды (фольга), ал диэлектрик ретінде қағазды, слюода, лакты алуға болады. Конденсаторлар пайдаланылған материалдың түріне қарай қағазды, слюодалық, электролиздік деп бөлінеді (187-сурет). Айнымалы сыйымдылықтың конденсаторлар пластиналардың осыпен жалғасқан екі тобынан тұрады (188-сурет). Ось айналғанда пластиналардың қамтитын ауданы мен олардың арасындағы қашықтық өзгереді. Мұндай құрылым конденсатордың сыйымдылығын бірқалыпты өзгертуге мүмкіндік береді.

IV Конденсаторларды параллель жалғау

Сыйымдылықтардың түрлі мәндерін алу үшін конденсаторларды әртүрлі жалғау қолданылады. Параллель жалғау жағдайында барлық конденсаторлар бірдей потенциалдардың айырымына дейін зарядталады (189-сурет).

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

$$\text{Осылайша, } U = U_1 = U_2 = \dots = U_n. \quad (9)$$

Егер конденсаторлардың сыйымдылықтарында айырмашылық болса, онда олардың әрқайсысында мәндері бойынша әртүрлі зарядтар жинақталады:

$$q_1 = C_1 U, q_2 = C_2 U, \dots, q_n = C_n U. \quad (10)$$

Жалпы заряд әр конденсатордагы зарядтардың қосындысымен анықталады:

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i. \quad (11)$$

(10) өрнекті (11) өрнекке қоямыз және (9) формуласы ескеріп, мынадай формула аламыз:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n,$$

мұндағы n – конденсаторлар саны. Параллель жалғаған конденсаторлардың сыйымдылығы барлық конденсаторлардың сыйымдылықтарының қосындысына тең.

(9) және (10) өрнектерден шығатыны:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}.$$

Кернеудің мәні өзгермесе де, конденсатор сыйымдылығы қашалықты артса, заряд та соғұрлым көбірек жинақталады.

V Конденсаторларды тізбектей жалғау

Конденсаторларды тізбектей жалғауды қарастырайық (190-сурет). Бірінші конденсатордың астарынан заряд берейік. Онда келесі астарларда мәндері бірдей, бірақ таңбасы алдыңғы пластинага қарамақарсы заряд индукцияланады. Барлық пластиналардагы зарядтардың қосындысы бір конденсатордың ішіндегі зарядқа тең, демек:

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n. \quad (12)$$

Әр конденсатордагы кернеу оның сыйымдылығымен анықталады:

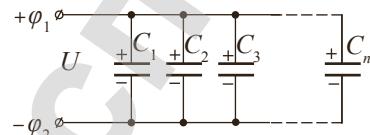
$$U_1 = \frac{q}{C_1}; U_2 = \frac{q}{C_2}; \dots; U_n = \frac{q}{C_n}. \quad (13)$$

Барлық конденсаторлардың жалпы кернеуі олардың әрқайсысындағы кернеулердің қосындысына тең:

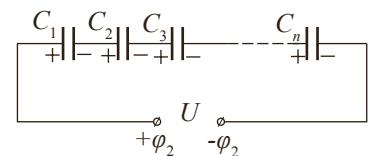
$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (14)$$

Есте сақтаңдар!

Параллель жалғау кезінде конденсаторлардың сыйымдылықтары тең болған жағдайда олардың жалпы сыйымдылығы: $C = nC_1$.



189-сурет. Конденсаторларды параллель жалғау



190-сурет. Конденсаторларды тізбектей жалғау



Жауабы қандай?

1. Конденсаторлардың жалпы сыйымдылығы неліктен оларды параллель жалғағанда артады, ал тізбектей жалғағанда азаяды?
2. Неліктен сфералық емес жазық конденсаторлар кең қолданысқа ие?
3. Тізбектей жалғаған конденсаторлардың барлық астарларында неліктен мәні бойынша бірдей заряд жинақталады?

(13) формуланы (14) формулаға койып және конденсаторлардағы зарядтардың (12) теңдігін ескере отырып, мына формуланы аламыз:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (15)$$

Параллель жсалғау кезінде конденсатордың жалпы сыйымдылығына кері шама жекелеген конденсаторлардың сыйымдылықтарының кері шамаларының қосындысына тең.

(12) және (13) өрнектерден шығатыны:

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 \text{ немесе } \frac{C_1}{C_2} = \frac{U_2}{U_1}.$$

Зарядтың мәні өзгеріссіз болғанда, конденсатордың сыйымдылығы қаншалықты артса, оның кернеуі соншалықты кемиді.

Есте сақтандар!

Сыйымдылықтары әртүрлі екі конденсатор үшін (15) формуладан алғатынымыз:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Сыйымдылықтар тен болған жағдайда:

$$C = \frac{C_1}{n},$$

мұндағы n – конденсаторлар саны.

Бақылау сұрақтары

1. Электрсыйымдылық дегеніміз не? Ол немен өлшенеді?
2. Зарядтардың жинақталуы үшін қандай құрылғы қолданылады? Ол нeden тұрады?
3. Конденсаторлардың қандай түрлерін білесіңдер?
4. Конденсаторларды тізбектей және параллель жалғаудың негізгі зандылықтарын көрсетіңдер.

★ Жаттығу

34

1. Екі пластиналан тұратын конденсатордың электрсыйымдылығы 5 пФ. Егер оның астарлары арасындағы потенциалдар айырымы 1000 В болса, оның әр астарында қандай заряд бар?
2. Пластиналарының өлшемдері 25×25 см және олардың арасындағы қашықтық 0,5 мм жазық конденсатор потенциалдар айырымы 10 В кернеу көзінен зарядталып, содан кейін одан ажыратылады. Егер конденсатордың пластиналарын 5 мм қашықтыққа алыстатсақ, оның потенциалдар айырымын анықтаңдар.
3. Уш түрлі конденсатор бар. Олардың біреуінің электрсыйымдылығы 2 мкФ. Барлық конденсаторлар тізбектей жалғанған кезде жалпы электрсыйымдылық 1 мкФ болды. Конденсаторлар параллель жалғанғанда олардың тізбегінің электрсыйымдылығы 11 мкФ болады. Екі белгісіз конденсатордың электрсыйымдылықтарын анықтаңдар.
4. Электрсыйымдылықтары 1 мкФ және 3 мкФ тізбектей жалған зарядталмаған екі конденсатордан тұратын электр тізбегі тұракты 220 В кернеу көзінен жалғанған. Олардың желіге жалғанғаннан кейінгі кернеулерін анықтаңдар.
5. Электрсыйымдылығы 4 мкФ конденсатор 10 В кернеуге дейін зарядталған. Егер оған электрсыйымдылығы 6 мкФ, 20 В кернеуге дейін зарядталған басқа конденсаторды жалғайтын болсақ, онда бірінші конденсатордың астарларындағы заряд қандай болады? Әр аттас зарядтары бар астарлар жалғанған.

§ 35. Электр өрісінің энергиясы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты ыгергенде:

- электр өрісінің энергиясын есептеуді үйренесіндер.

I Электр өрісінің энергиясы

Зарядталған конденсатор оны зарядтау барысында атқарылған жұмысқа тен потенциалдық энергия қорына ие. Зарядтау кезінде атқарылатын жұмысты пластиналарды нөлдік қашықтықтан d арақашықтықка дейін жылжыту барысында атқарылатын жұмыс ретінде анықтауға болады. Заряды q пластинаның кернеулігі E_1 , екінші пластина өрісіндегі қозғалысын қарастырайық, E_1 екі пластина арасындағы кернеуліктің жартысына тен $E_1 = \frac{E}{2}$. Пластиналардың орын ауыстыру күші $F = qE_1 = \frac{qE}{2}$, ал атқарылған жұмыс: $A = Fd = \frac{qEd}{2}$.

$$U = Ed \text{ екенін ескеріп, мынаны аламыз: } A = \frac{qU}{2}.$$

Демек, конденсатор астарлары арасындағы өріс энергиясы мынаған тен:

$$W = \frac{qU}{2}. \quad (1)$$

Заряд пен кернеулік арасындағы байланыс формуласын $q = CU$ пайдаланып, өріс энергиясын мына түрде жазамыз:

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad (2) \quad \text{және} \quad W = \frac{q^2}{2C}. \quad (3)$$

Конденсатор ток көзіне жалғанған және оның астарларындағы кернеу өзгермейтін жағдайда (2) формула қолданылады. Конденсатор ток көзіне жалғанбаған жағдайда және оның заряды тұрақты шама болып қалатын (3) формуланы пайдалану ыңғайлыш.

II Энергия тығыздығы

Өріс энергиясының тығыздығы мынаған тен:

$$\omega = \frac{W}{V}. \quad (4)$$

Энергия тығыздығы мен өріс кернеулік арасындағы байланысты анықтайық:

$$\omega = \frac{CU^2}{2V} = \frac{\epsilon\epsilon_0 SE^2 d^2}{d \cdot 2V}.$$

$Sd = V$ екенін ескеріп, мына өрнекті аламыз:

$$\omega = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2}. \quad (5)$$

Энергия тығыздығы кернеулік квадратына тұра пропорционал.

Есте сақтаңдар!

Конденсатордың электр өрісінің энергиясы деформацияланған серіппенниң потенциалдық энергиясына ұқсас:

$$W = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k} = \frac{Fx}{2}$$

1-тапсырма

Электр өрісінің энергиясын есептеу формуласын деформацияланған серіппенниң потенциалдық энергиясын есептеу формуласымен салыстырындар. Ұқсас шамаларды көрсетіндер.

Жаубабы қандай?

Неліктен конденсатордың энергиясы конденсатордың астарлары арасындағы кеңістікпен оқшауланған? Бұл сұраққа жауап беру үшін электр өрісі энергиясының тығыздығын есептеу формуласын пайдаланыңдар.

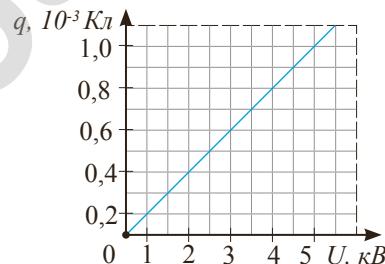
III Конденсатор энергиясының сыйымдылықта және кернеуге тәуелділігін тәжірибе жүзінде зерттеу

Тәжірибелі жүргізу үшін тұтікше мен диаметрі кішкентай тұтікті пайдалана отырып, газ термометрін жасау қажет. Тұтікшенің тығынына боялған сұзы бар тұтік және сымның екі ұшы кіретін тесік жасау керек. Тұтікшенің ішіне металл спираль салып, екі ұшын тұтікшенің тығынындағы тесіктен шығару қажет. Тұтікшені тығынмен жабамыз. Спиральға екі полюсті кілт арқылы конденсаторды жалғаймыз. Конденсаторды зарядтау үшін конденсаторға кілттің екінші полюсіне жалғанған тұрақты ток көзін қолдануға болады. Конденсатордың энергиясы оның разрядталуы кезіндегі жылулық әрекетімен есептелінеді. Конденсатор разрядталғанда тұтікшедегі спираль және аяу қызып, тұтікшедегі тамшы орын ауыстырады. Конденсатордың сыйымдылығы екі есе арттыру тұтіктегі тамшының көтерілу биіктігінің екі есе артуына алып келеді. Конденсаторды сыйымдылығы екі есе үлкен конденсаторға алмасыратын болсақ, онда тамшылардың орын ауыстыруы екі есе артады.



2-тапсырма

- Жазық конденсатордың астарлары тудырған өрісінің күш сыйықтарын бейнелеңдер. Конденсатордың сыртында электр өрісінің кернеулігі нөлге тең екенін дәлелдендер.
- (4) формуланы пайдаланып, энергияның көлемдік тығыздығының өлшем бірлігін жазыңдар. Қандай шама дәл осындағы өлшем бірлікке ие?



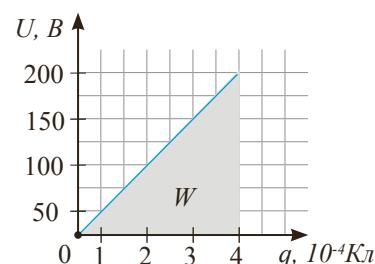
3-тапсырма

191-суретте көрсетілген график бойынша конденсатордың электр өрісінің энергиясын және сыйымдылығын анықтандар.

191-сурет. Конденсатор астарларындағы зарядтың кернеуге тәуелділік графигін

IV Конденсаторға берілген зарядтың конденсатордың астарларындағы кернеуге тәуелділік графигінен энергияны анықтау

192-суретте конденсатор астарларындағы кернеудің конденсаторға берілген зарядқа тәуелділік графигі берілген. $W = \frac{qU}{2}$ формуласының негізінде график астындағы фигура ауданының сандық мәні конденсатордың электр өрісінің энергиясына тең деп тұжырымдауға болады. $q = 4 \cdot 10^{-4}$ Кл заряд берілу кезінде конденсатордың астарлары арасындағы электр өрісінің энергиясы $W = 0,04$ Дж болады.



192-сурет. Конденсатор астарларындағы кернеудің зарядқа тәуелділік графигі



Өз тәжірибең

- Параграфтың III бөлігінде сипатталған, конденсатор энергиясының сыйымдылық пен кернеуге тәуелділігін зерттеуге арналған қондырығыны бейнелеңдер.
- Конденсатордың электр өріс энергиясының
 - кернеудің тұрақты мәнінде конденсатор сыйымдылығына;
 - сыйымдылық тұрақты кезде конденсатордың астарларындағы кернеуге тәуелділігін зерттеңдер.
- Алынған нәтижелер бойынша конденсатор энергиясының көрсетілген шамаларға тәуелділік графигін салыңдар.
- Алынған нәтижені теориялық қорытындымен салыстырыңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Жазық ауа конденсаторының энергиясы $W_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Дж. Конденсаторды диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 2$ диэлектрикпен толтырығаннан кейін: 1) конденсатор ток көзінен ажыратылған, 2) ток көзіне жалғанған жағдайлардағы конденсатор энергиясын анықтаңдар.

Берілгені:

$$W_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$$

$$\epsilon = 2$$

$$1) q = \text{const}$$

$$2) U = \text{const}$$

$$q = \text{const} \text{ болғанда } W_2 - ?$$

$$U = \text{const} \text{ болғанда } W_3 - ?$$

Шешуі:

Конденсатордың сыйымдылығы диэлектрикпен толтырылғаннан кейін 2 есе артады: $C_2 = 2C_1$.

Бірінші жағдайда конденсатор ток көзінен ажыратылған, бұл жағдайда оның заряды өзгермейді, сонда конденсатордың энергиясын мына формуламен анықтаймыз:

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2} = \frac{q^2}{2 \cdot 2C_1} = \frac{W_1}{2}.$$

Конденсатордың энергиясы 2 есе кеміді: $W_2 = 10^{-7}$ Дж.

Екінші жағдайда, яғни конденсатор ток көзіне жалғанғанда конденсатор астарларындағы кернеу тұрақты шама болып қалады. Конденсатордың энергиясы мынаған тен:

$$W_3 = \frac{C_2 U^2}{2} = 2 \frac{C_1 U^2}{2} = 2W_1.$$

Конденсатордың энергиясы 2 есе артты:

$$W_3 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

Жауабы: $q = \text{const}$ болғанда $W_2 = 10^{-7}$ Дж.

$$U = \text{const} \text{ болғанда } W_3 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

Бақылау сұрақтары

- Электр өрісінің энергиясы қалай анықталады?
- Электр өрісінің барлық энергиясы конденсатордың қай бөлігінде шоғырланған?
- Электр өріс энергиясының тығыздығын қалай анықтайды?
- Электр өріс энергиясының тығыздығының өлшем бірлігін атаңдар.

1. Электрсыйымдылығы 20 мкФ конденсаторға 5 мкКл заряд берілген. Зарядталған конденсатордың энергиясын анықтаңдар.
2. Кернеуі тұрақты $U = 1000$ В ток көзіне жалғанған конденсатордың электрсыйымдылығы $C_1 = 5$ пФ. Конденсатордың астарларының арақашықтығын $n = 3$ есе азайтты. Конденсатордың астарларындағы зарядының өзгерісін және электр өріс энергиясының өзгерісін анықтаңдар.
3. Ауа конденсаторының пластиналарын ток көзінен ажыратып, екі есе қашықтыққа жылжытып, пайда болған құысты өтімділігі 4-ке тең диэлектрикпен толтырды. Конденсатордағы электр өрісінің энергиясы неше есе кеміді?
4. Ауданы 200 см^2 конденсатордың жазық пластиналары бір-бірінен 1 см қашықтықта орналасқан. Егер кернеуі 500 кВ/м болса, онда оның өріс энергиясын анықтаңдар.
5. Конденсатордың асталары парафинге малынған қалындығы 2 мм қағаз диэлектрикпен бөлінген. Электр өрісінің кернеуі 200 В болса, энергия тығыздығын анықтаңдар. Ортаның диэлектрлік өтімділігі 2,2.
6. Электрсыйымдылығы 2 мкФ конденсаторға 10^{-3} Кл заряд берілген. Конденсатор астарларын өткізгішпен жалғаған. Конденсаторды разрядтаған кезде өткізгіште бөлінетін жылу мөлшері және разрядтағанға дейінгі және разрядтағаннан кейінгі астарлар арасындағы потенциалдар айырымын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

- 1 ҚР кәсіпорындарындағы конденсатор өндірісі.
- 2 Құштік конденсаторлар мен конденсаторлық құрылғылардың атқаратын міндеті (193-сурет).



193-сурет. Өскемен конденсатор зауытында жасалған конденсаторлар

10-тараудың қорытындысы

Зандар	Электр өрісінің сипаттамалары	
	Кернеулік	Потенциал
Зарядтың сакталу заңы $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = const$ $q = N e $	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ Нұктелік заряд өрісінің кернеулігі $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0\varepsilon r^2}; E = \frac{kq}{\varepsilon r^2}$ Шексіз пластина өрісінің кернеулігі $E = \frac{q}{2\varepsilon\varepsilon_0 S}; E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ $\sigma = \frac{q}{S}$ – зарядтың беттік тығыздығы Тығыздығы Әраттас екі пластиналар арасындағы өріс кернеулігі $E = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S}; E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$	$\varphi = \frac{W}{q}$ Нұктелік заряд өрісінің потенциалы $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\varepsilon_0 r}; \varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}$ Біртекті өрістің потенциалы $\varphi = Ed$
Кулон заңы $F_K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon} \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ $F_K = \frac{k q_1 q_2 }{\varepsilon r^2}$		
Өрістердің суперпозиция принципі $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$ $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$		
Гаусс теоремасы $\Phi_E = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\varepsilon\varepsilon_0}$		
Өрістегі зарядтың потенциалдық энергиясы, заряд орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс		Өрістің жұмысы және потенциалы
Біртекті өріс үшін	Біртекті емес өріс үшін	
$W_p = qEd$ $A = -(qEd_2 - qEd_1)$	$W_p = \frac{kQq}{r}$ $A = \frac{kQq}{r_1} - \frac{kQq}{r_2}$	$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ $U = \varphi_1 - \varphi_2$ $A = qU$
Өткізгіштердің сыйымдылығы		Конденсаторларды жалғаудың негізгі зандылықтары
Тізбектей жалғау		Параллель жалғау
Оқшауланған өткізгіштің сыйымдылығы $C = \frac{q}{\varphi}$	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i$ $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$
Оқшауланған шардың сыйымдылығы $C = 4\pi\varepsilon_0 r$	$C = \frac{C_1}{n}$	$C = nC_1$
Сфералық конденсатордың сыйымдылығы $C = \frac{4\pi\varepsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}$	$\frac{C_1}{C_2} = \frac{U_2}{U_1}$	$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_2}{C_1}$
Жазық конденсатордың сыйымдылығы $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}$		

Ортандың диэлектрлік өтімділігі	Конденсатордың электр өрісінің энергиясы мен тығыздығы
$\varepsilon = \frac{F_0}{F}; \varepsilon = \frac{E_0}{E}$	$W = \frac{qU}{2}; W = \frac{CU^2}{2}; W = \frac{q^2}{2C}; \omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$

Заңдар

Зарядтың сақталу залы:

Кез келген түйік жүйедегі электр зарядтарының алгебралық қосындысы осы жүйедегі кез келген процестер кезінде өзгеріссіз қалады.

Кулон залы:

Екі нүктелік зарядтардың өзара әрекеттесу күші зарядтарды қосатын тұзу сызық бойымен бағытталған, зарядтардың модульдерінің көбейтіндісіне тұра пропорционал және олардың арақашықтығының квадратына кері пропорционал.

Әрістердің суперпозиция принципі:

Зарядтар жүйесі тудырган электр өрісінің кеңістіктің берілген нүктесіндегі кернеулігі зарядтың электр әрістерінің кернеуліктерінің геометриялық қосындысына тең.

Бірнеше заряд тудырган ерістің потенциалы зарядтар әрістері потенциалдарының алгебралық қосындысына тең.

Гаусс теоремасы:

Кез келген түйік бет арқылы өтетін кернеулік ағыны бет ішіндегі барлық еркін электр зарядтардың алгебралық қосындысының $\epsilon\epsilon_0$ көбейтіндісіне бөлгөнгө тең.

Глоссарий

Диполь – өзінің меншікті өрісін түзетін, бір-біріне қатысты ығысатын өзара байланыскан зарядтар жүйесі.

Ортандың диэлектрлік өтімділігі – диэлектрдегі өріс кернеулігі вакуумға қарағанда неше есе аз екенін көрсететін физикалық шама.

Конденсатор – заряд пен электр өрісінің энергиясын және зарядты жинақтауға арналған құрылғы. Ол қалындығы астарлардың өлшемдерімен салыстырылғанда аз болатын диэлектрикпен бөлінген екі пластинадан тұрады.

Кулон – ток күші 1 А болғанда 1 с ішінде өткізгіштің көлденең қимасынан өтетін электр заряды.

Электр өрісінің кернеулігі – ерістің кеңістіктің берілген нүктесіне орналасқан оң сынақ зарядка әсер ететін күшінің, осы заряд шамасына қатынасына тең физикалық шама.

Электр өрісінің күш сызықтары – әрбір нүктедегі жанамаларының бағыты өріс кернеулігі векторының бағытымен сәйкес келетін сызықтар.

Нүктелік зарядтар – өлшемдері арасындағы қашықтықтардан әлдеқайда кіші болатын зарядталған денелер.

Фарад – өткізгіш сыйымдылығы, заряд 1 кулонға өзгергенде оның потенциалы 1 вольтқа артады.

Эквилиент – барлық нүктелерде өріс потенциалы бірдей болатын бет.

Электр өрісі – зарядталған денелер өзара әрекеттесуін сипаттайтын материяның ерекше түрі.

Электростатика – қозғалмайтын электр зарядтары арасындағы өзара әрекеттесулерді зерттейтін электродинамиканың бөлімі.

Электрлік индукция – өткізгіштің әсер арқылы зарядталу процесі.

11-ТАРАУ

ТҰРАҚТЫ ТОК

Ең алғаш рет зарядталған бөлшектердің қозғалысын байқаған италиялық ғалым-биолог Луиджи Гальвани болатын. Ол әртүрлі металл пластинамен түйіскенде өлі бақа табандарының импульсивті жиырылуын байқады. Гальвани зерттеулерін Александр Вольт ары қарай жалғастырды. Ол тәжірибе жүзінде әр аттас металл пластиналарды тұз, қышқыл және сілті ертінділеріне салғанда әр аттас пластиналар арасында ток пайда болатынын дәлелдеді. Зарядталған бөлшектердің қозғалысы көптеген физик-ғалымдардың назарын аударды. Әртүрлі орталарда қозғалатын зарядталған бөлшектер бағынатын заңдар негізінен эксперимент жүзінде ашылды. Ғалымдардың зерттеу нәтижелері өнеркәсіп пен тұрмыста кеңінен қолданыс тапты. Қазіргі әлемді электр тогын пайдаланатын әртүрлі құралдар мен құрылғылардың елестету мүмкін емес.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- тізбектің өткізгіштер аралас жалғанған бөлігі үшін Ом заңын пайдалануды;
- өткізгіштердің аралас жалғануын зерттеуді;
- әртүрлі жұмыс режиміндегі (қалыпты жұмыс, бос жүріс, қысқа түйікталу) электр қозғауши құш пен кернеудің арасындағы байланысты зерттеуді;
- толық тізбек үшін Ом заңын қолдануды;
- ток көзінің электр қозғауши құшін және ішкі кедергісін тәжірибе жүзінде анықтауды;
- тармақталған электр тізбегіне Кирхгоф заңын қолдануды;
- есептер шығару кезінде ток көзінің жұмысының, қуатының және пайдалы әсер коэффициентінің формуласын қолдануды үйренесіңдер.

§ 36. Электр тогы. Тізбек бөлігіне арналған Ом заңы. Откізгіштерді аралас жалғау

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- тізбектің өткізгіштер аралас жалғанған бөлігі үшін Ом заңын қолдануды үйренесіңдер.

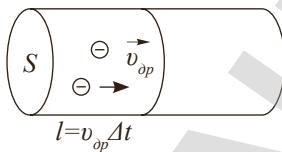
Жауабы қандай?

Неліктен еркін зарядтардың өткізгіштегі жылулық қозғалысын электр тогы деп айта алмаймыз?
Қандай шарттарда өткізгіштегі еркін зарядтардың бағытталған қозғалысы орындалады?

Естеріңе түсіріндер!

Ток күшінің өлшем бірлігі: 1 ампер:

$$[I] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ А}$$



194-сурет. Дрейф жылдамдығы – зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысының жылдамдығы

Жауабы қандай?

Неліктен қуатты электр құралдарын, мысалы, үтікті, микротолқынды пешті желіге қимасы жуан (улкен) сыммен қосады.

I Электр тогы. Ток күші. Ток тығыздығы

Откізгіштегі зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысы сыртқы өріс әсерінен пайда болады.

Электр тогы – электр зарядтарының бағытталған қозғалысы.

Откізгіштегі электр тогын сипаттау үшін мынадай физикалық шамалар енгізіледі: ток күші және ток тығыздығы.

Ток күші – бірлік уақытта өткізгіштің көлденең қимасы арқылы өтетін заряд мөлшеріне тең шама.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}. \quad (1)$$

Зарядты бір бөлшек зарядының олардың N санына көбейтіндісімен алмастырасақ:

$$\Delta q = |q_0|N, \quad (2)$$

мұндағы $|q_0|$ – бір бөлшектің заряды. Δt уақытта өткізгіштің көлденең қимасы арқылы V көлемді алатын зарядтар өтеді (194-сурет). Онда зарядтар концентрациясының белгілі бір мәнінде, олардың санын төмендегі формуламен анықтауға болады:

$$N = nv, \quad (3)$$

$$V = Sl = Sv_{op}t \quad (4)$$

(2), (3) және (4) теңдеулерін (1)-ге қойып, мынаны аладыз:

$$I = |q_0|nv_{op}S. \quad (5)$$

Алынған формуладағы v_{op} – зарядталған бөлшектердің бағытталған жылдамдығы немесе дрейф жылдамдығы.

Ток тығыздығы – ток күшінің өткізгіштің көлденең қимасының ауданына қатынасына тең физикалық шама.

$$j = \frac{I}{S}. \quad (6)$$

Ток тығыздығының өлшем бірлігі $[j] = 1 \frac{A}{M^2}$.

Ток тығыздығы зарядталған бөлишектердің концентрациясымен, зарядтың дрейф жылдамдығымен және заряд шамасымен анықталады:

$$j = |q_0| n v_{op}. \quad (7)$$

Улken токтарға арналған немесе қуатты электр қыздырығыш құралдарды желіге кимасы үлken сымдар арқылы жалғайды. Бұл сымның қатты қызып кетуінен және оқшаулағыштың еріп кетуінен сақтау үшін және сымдағы токтың тығыздығын кеміту үшін қажет.

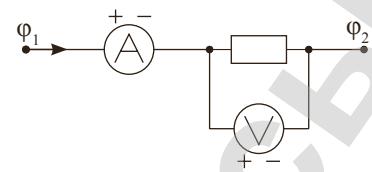
II Тізбек бөлігі үшін Ом заңы

Эксперименттік мәліметтер негізінде Г.Ом мынадай тұжырымдама жасады:

Тізбек бөлігіндегі ток күші сол бөліктегі кернеуге тұра пропорционал және кедергіге кері пропорционал.

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} \text{ немесе } I = \frac{U}{R}. \quad (8)$$

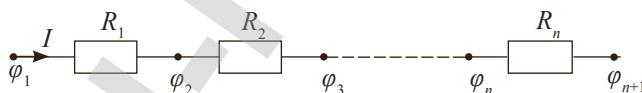
Берілген заңдылықты тізбек бөлігі үшін Ом заңы деп атайды (195-сурет).



195-сурет. Белсенді кедергісі бар тізбек бөлігі

III Өткізгіштерді параллель және тізбектей жалғау

Егер келесі өткізгіштің басын алдыңғы өткізгіштің ұшымен жалғайтын болса, онда өткізгіштерді жалғаудың бұл түрін өткізгіштерді тізбектей жалғау деп атайды (196-сурет).



196-сурет. Өткізгіштерді тізбектей жалғау

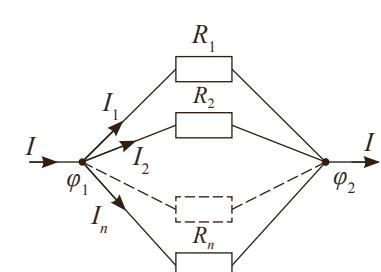
Параллель жалғау кезінде өткізгіштердің бастарын бір түйінге, ұштарын екінші түйінге жалғайды (197-сурет).

Тізбектей жалғауды параллель жалғаудан ажырату қыын емес, тізбектей жалғау кезінде тізбекте түйіндер болмайды.

Түйін – үш немесе одан да көп өткізгіштерді жалғау.

Тапсырма

195-суретке қарап, амперметрдің және вольтметрдің желіге жалғау ережесін түсіндіріңдер.



197-сурет. Өткізгіштердің параллель жалғануы

Есте сақтаңдар!

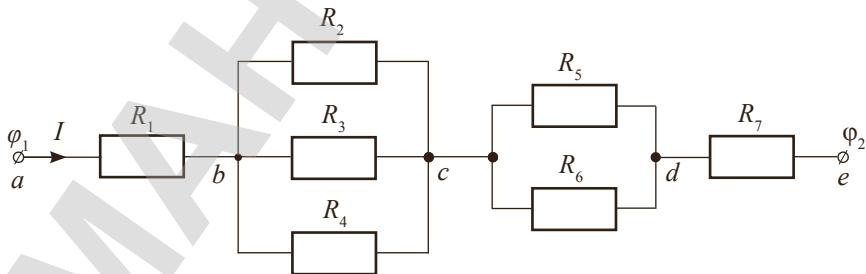
У кернеу дегеніміз – ток көзі болмайтын тізбектің екі нүктесінің потенциалдар айырымы: $\varphi_1 - \varphi_2$.

14-кесте. Өткізгіштерді параллель және тізбектей жалғау формулалары

Шамалардың арақатынасы	Жалғау түрлері	
	тізбектей	параллель
Жалпы токтың тізбек бөліктеріндегі токтармен байланысы	$I_{\text{жалты}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I_{\text{жалты}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Жалпы кернеудің тізбек бөліктеріндегі кернеудің тұсуімен байланысты	$U_{\text{жалты}} = \varphi_1 - \varphi_{n+1};$ $U_{\text{жалты}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U_{\text{жалты}} = \varphi_1 - \varphi_2;$ $U_{\text{жалты}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Тізбек бөлігінің жалпы кедергісі	$R_{\text{жалты}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R_{\text{жалты}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
Кедергілері шамалары бойынша тең н өткізгіштің жалпы кедергісі	$R_{\text{жалты}} = nR$	$R_{\text{жалты}} = \frac{R}{n}$
Екі өткізгіштің кедергісі	$R_{\text{жалты}} = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Айнымалы шамалардың арақатынасы	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ $U_1 : U_2 : U_3 : \dots : U_n$ $R_1 : R_2 : R_3 : \dots : R_n$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ $I_1 : I_2 : I_3 : \dots : I_n$ $\frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots : \frac{1}{R_n}$

IV Өткізгіштерді аралас жалғау

Өткізгіштерді аралас жалғау тізбек бөлігіндегі тізбектей және параллель жалғану-ларды біріктіреді. Тізбектің жалпы кедергісін, ток пен кернеудің оның бөліктері бойынша таралуын есептеуді параллель жалғау және тізбектей жалғау формулаларын (14-кесте) колданып жүргізеді. 198-суретте тізбек бөлігінде өткізгіштерді аралас жалғау көрсетілген.



198-сурет. Өткізгіштерді аралас жалғау

Тізбектің bc және cd бөліктерінде өткізгіштер параллель жалғанған, ендеше, осы бөліктердегі есептеулер параллель жалғану зандарымен жүргізіледі:

$$R_{bc} = \frac{R_2 R_3 R_4}{R_3 R_4 + R_2 R_4 + R_2 R_3}, \quad R_{cd} = \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}.$$

Есептеулерді ыңғайлы ету үшін эквиваленттік сұлбаларды қолданады. Эквивалентті сұлба тізбек бөліктеріндегі жеке кедергілерді жалпы кедергіге алмастырғанда 199-суреттегідей болады.



199-сурет. 198-суреттегі көрсетілген тізбектің эквиваленттік сұлбасы

Тізбекте түйіндер жоқ болғандықтан, алынған сұлба – өткізгіштерді тізбектей жалғау сұлбасы. Тізбектің жалпы кедергісі мына кедергілердің қосындысына тең болады:

$$R_{\text{жалпы}} = R_1 + R_{bc} + R_{cd} + R_7$$

Тізбектегі кернеу мен ток құшінің таралуын есептеу кезінде тізбек бөлігі үшін Ом заңын қолданады.

Бақылау сұрақтары

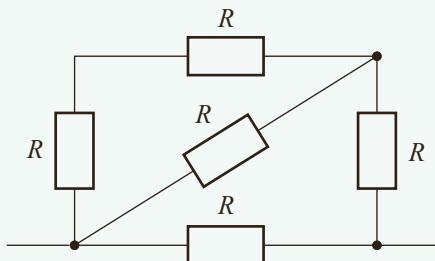
1. Электр тогы дегеніміз не?
2. Электр тогын сипаттайтын шамаларды атаңдар, оларға анықтама беріңдер.
3. Тізбек бөлігі үшін Ом заңын тұжырымдаңдар.
4. Қандай жалғауды тізбектей жалғау деп атайды? Қандай жалғауды параллель жалғау деп атайды?
5. Электр тізбегінің түйіні деп нені айтады?



Жаттығу

36

1. Қалта фонары шамының қыл сымы арқылы $t = 2$ мин уақыт ішінде $q_1 = 20$ Кл заряд өтеді. Шам қыл сымы арқылы $q_2 = 60$ Кл заряд өтетін уақытты және ток құшін анықтандар.
2. Найзағай өткізгіш үшін жермен жалғайтын темір сымның көлденең қимасының ауданы $S = 1 \text{ см}^2$. Найзағай разряды кезінде осы сым арқылы $I = 10^5$ А ток жүруі мүмкін. Өткізгіштегі ток тығыздығын табыңдар. Оны диаметрі 2 мм болатын және бойымен 1,57 А ток өтетін өткізгіштегі ток тығыздығымен салыстырыңдар.
3. Егер $I = 1$ А ток құшінде кернеудің түсүі $U = 1,2$ В болса, өткізгіштің меншікті кедергісі ρ неге тең? Өткізгіштің диаметрі $d = 0,5$ мм, ал ұзындығы $l = 47$ мм.
4. Кедергілері бірдей $R = 10$ Ом болатын төрт резистор бар. Оларды жалғаудың неше тәсілі бар? Әрбір жағдай үшін эквивалентті кедергіні табыңдар.
5. Егер $R = 4$ Ом болса, онда 200-суреттегі көрсетілген тізбектің жалпы кедергісі қандай?



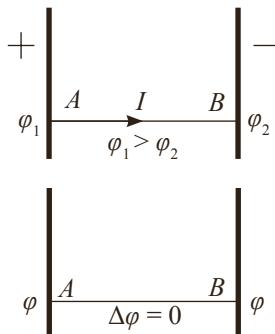
200-сурет. 36-жаттығудың 5-есебіне

§ 37. Ток көзінің электр қозғауышы күші және ішкі кедергісі

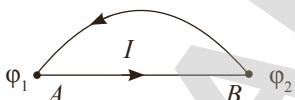
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- ток көзінің әртүрлі жұмыс режиміндегі (қалыпты жұмыс, бос жүріс, қысқа тұйықталу режимі) электр қозғауышы күшінен көрнеудің арасындағы байланысты зерттеуді үргенесіндер.



201-сурет. Конденсатор астарларының арасындағы қысқа мерзімді ток



202-сурет. Тұйық тізбектегі зарядты тасымалдау

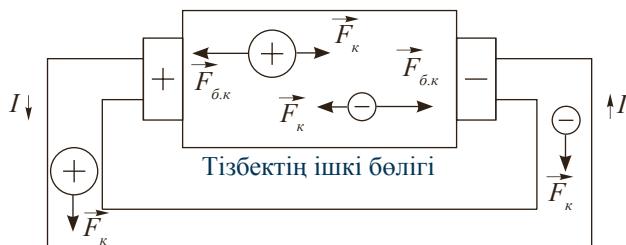
Жауабы қандай?

Өткізіштегі зарядтардың қозғалысы қандай шартта реттелген болады?

I Тұрақты электр тогының пайды болуы және бар болуы үшін қажетті шарттар

Зарядталған конденсатор пластиналарын AB өткізгішмен жалғасақ, өткізгіште электр тогы пайды болады. Конденсатор разрядталғаннан кейін, өткізгіш үштарындағы потенциалдар айрымы нөлге тең болады да, ток тоқтайды (201-сурет). Тізбектегі токты ұстап тұру үшін оның үштарында потенциалдар айрымын тудыру керек: түйік тізбек жасап, басқа өткізгіш бойымен зарядтарды қайта тасымалдауға болады (202-сурет). Зарядты B нүктесінен A нүктесіне тасымалдауды электрлік емес бөгде қүштердің көмегімен ғана жүзеге асыруға болады, себебі B нүктесінің потенциалы A нүктесі потенциалынан кіші. Өткізгіште өтетін процестер көлбеу жазықтықтағы дene қозғалысына ұқсас. Ауырлық күші әсерінен дene жоғарыдан төменге түседі. Сырғанаған дененің қозғалысын қайтадан қалпына келтіру үшін оны көлбеу жазықтық төбесіне қайта көтеру қажет. Осындай орын ауыстыру ауырлық күшінен басқа сыртқы бөгде қүштің әсерінен ғана жүзеге асырылады. Денені көтеру кезінде ауырлық күші теріс жұмыс жасайды.

203-суретте электр тізбегінің сыйбасы көрсетілген. Ток көзінде, яғни тізбектің ішкі бөлігінде зарядтардың полюстерге қарай орнын ауыстыру жұмысын электрлік емес бөгде қүштер атқарады. Кулондық қүштің жұмысы теріс. Тізбектің сыртқы бөлігінде зарядтар кулондық қүштер әсерінен орын ауыстырады. Оң зарядтар оң полюстен теріс полюске және керісінше, теріс заряд оң полюске орын ауыстырады.



Тізбектің сыртқы бөлігі

203-сурет. Электр тізбегінің принциптік сұлбасы

Сонымен, тұрақты ток алуға қажетті шарт – ток көзі бар тұйық өткізгіш тізбектің болуы.

Тізбек құрамына кіретіндер: ток көзі, ток тұтынуышлар, жалғағыш сымдар, ажыратқыш және өлиеуіш құрападар.

II Электр энергиясы көзінің электр қозғауышы күші

Ток көзіндегі энергияның басқа түрлері электр энергиясына айналады. Энергияның сақталу заңы бойынша бөгде күштердің жұмысы тізбектің ішкі және сыртқы бөліктеріндегі кулондық күштердің жұмысына тең:

$$A_{\text{б.к}} = A_r + A_R.$$

Тендеудің екі жағын да тұйық контур бойынша тасымалданған зарядқа бөліп, мынаны аламыз:

$$\frac{A_{\text{б.к}}}{q} = \frac{A_r}{q} + \frac{A_R}{q}$$

немесе

$$\varepsilon = U_r + U_R$$

мұндағы ε – электр қозғауышы күш, U_r – тізбектің ішкі бөлігіндегі кернеудің түсі, U_R – тізбектің сыртқы бөлігіндегі кернеудің түсі.

Электр қозғауышы күш – бірлік зарядты тасымалдау кезінде бөгде күштердің атқаратын жұмысына тең шама.

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{б.к}}}{q}$$

ε (ЭКК) өлшем бірлігі – вольт, $[\varepsilon] = 1 \text{ В.}$

III ЭКК және әртүрлі жұмыс режиміндегі ток көзінің кернеуі

1. Бос жүргіс режимі (жүктемесіз).

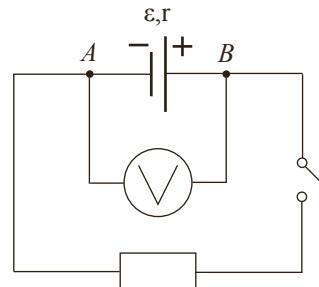
Бос жүргіс режимінде ток көзінің ЭКК-сы тұйықталмаған тізбекке вольтметрді тұра жалғау арқылы өлшейді (204-сурет). Тұйықталмаған тізбекте ток болмайды.

Жауабы қандай?

Неліктен А және В нүктелерінің потенциалдарының айырымын қалпына келтіру үшін бөгде күштердің жұмысы қажет болады (202-сурет)?

Жауабы қандай?

- Неліктен ток көзінде зиярдтарды тасымалдау бойынша атқарылатын жұмысты кулондық күштер есебінен орындау мүмкін емес?
- Неліктен ток көзіндегі бөгде күштердің жұмысы тізбектің сыртқы және ішкі бөліктеріндегі кулондық күштердің жұмыстарының қосындысына тең?



204-сурет. Ток көзінің ЭКК-сын өлиеу

Өз тәжірибел

- 204-суретте көрсетілгендей тізбек құрастырылған. Вольтметрдің тұйықталу және ашық кілттеу кезіндегі көрсеткішін жазыңдар. Неліктен вольтметрдің көрсеткіші тұйықталу кезінде кемиді?
- Тізбекке резисторды және реостатты тізбектей жалғандар. Сырғытпаның орнын ауыстырып, тізбектің сыртқы және ішкі бөлігіндегі кернеудің таралуын зерттеңдер. Алынған нәтиже бойынша қорытынды шығарылғандар.

Демек тізбектің сыртқы бөлігінде кернеу кемітеді, ал ішкі бөлігінде ол өте аз:

$$U_R = 0, U_r = 0.$$

Вольтметр кедергіш шексіз үлкен, оны ток көзіне жалғау ток көзі полюстерінің потенциалдар айрымына әсер етпейді. Вольтметрдегі кернеу ЭКК-та тен:

$$\Phi_A - \Phi_B = \varepsilon.$$

2. Қалыпты жұмыс режимі. Қалыпты жұмыс режимінде кілтпен тұйықталған кезде AB нүктелері арасындағы потенциалдар айрымы мынаған тен болады:

$$\Phi_A - \Phi_B = \varepsilon - U_R$$

немесе

$$\Phi_A - \Phi_B = U_R,$$

вольтметр тізбектің сыртқы бөлігіндегі кернеуді көрсетеді. Тізбектің ішкі бөлігіндегі кернеудің тұсуі электр құшінің теріс жұмысы әсерінен болады.

3. Қысқа тұйықталу режимі. Егер жүктеме кедергіш шексіз аз болса, онда ток көзі қысқа тұйықталу режимінде жұмыс жасайды. Тізбектің ішкі бөлігіндегі кернеу ЭКК-ге тен болады:

$$U_r = \varepsilon$$

Ток күші ток көзінде бірден өсіп, максимал мәнге жетеді:

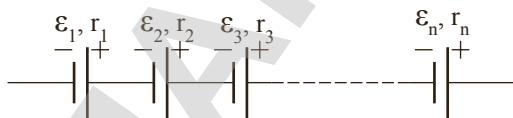
$$I_{\text{ж.м.}} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Қысқа тұйықталу және бос жүріс режимдері ток көзінің шекті жұмыс істеу режимдері болып табылады.

IV Ток көздерін тізбектей және параллель жалғау

Ток көздерін тізбектей жалғау кезінде (205-сурет) батареяның ішкі кедергісін әрбірінің жалпы қосындысы ретінде анықтайды:

$$r_{\text{жалпы}} = r_1 + r_2 + \dots + r_n.$$



205-сурет. Ток көздерінің тізбектей жалғануы

Бұл жағдайда батареяның ЭКК-сы мынаған тен:

$$\varepsilon_{\text{жалпы}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n.$$

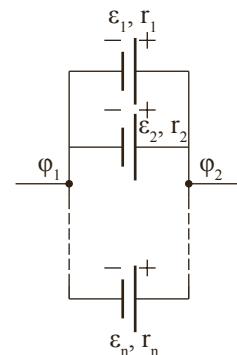
Бірдей ток көздерін параллель жалғау барысында (206-сурет) батареяның ЭКК-сы олардың бірінің ЭКК-сы ретінде анықталды: $\varepsilon_{\text{жалпы}} = \varepsilon_1$,

Жауабы қандай?

- Неліктен қысқа тұйықталу құбылысы қауіпті дег саналады?
- Неліктен сыртқы тізбек кедергісіне қарағанда ток көзінің ішкі кедерегінің кемітуге тырысады?

Жауабы қандай?

- Егер ток көзінің ішінде ток теріс полюстен он, полюске бағытталса, неліктен тізбек бөлігінің потенциалы артады?



206-сурет. Ток көздерінің параллель жалғануы

ал жалпы ішкі кедергі бір ток көзі кедергісінің олардың жалпы санына қатынасымен анықталды:

$$r_{\text{жалпы}} = \frac{r}{n}.$$



Жауабы қандай?

Неліктен ток көздерін тізбектей жалғаумен қатар жалпы ЭҚК мәні артпауына қарамастан, параллель жалғау да қолданылуда?

Бақылау сұрақтары

1. Электр тогы мүмкін болатын шарттарды көрсетіңдер.
2. Ток көздерінде қандай құштер зарядтарды тасымалдау жұмыстарын атқарады?
3. Ток көзінің ЭҚК-сын қалай өлшейді?
4. Тізбектің ішкі және сыртқы бөліктеріндегі кернеудің таралуы кедергілерге қалай байланысты?



Жаттығу

37

1. Сыйымдылығы $C = 100 \text{ мкФ}$ конденсатор $U = 300 \text{ В}$ кернеуге дейін зарядтаған, ол $\Delta t = 0,1 \text{ с}$ уақытта разрядталады. Конденсатордың разрядталуы кезіндегі ток қүшінің орташа мәнін табыңдар.
2. Сыйымдылығы 100 мкФ конденсатор $0,5 \text{ с}$ уақытта 500 В кернеуге дейін зарядталады. Зарядтық ток қүшінің орташа мәні қандай?
3. Батарея аккумуляторы бір-біріне тізбектей жалғанған $n = 8$ элементтен тұрады. Әр элементтің ЭҚК-сы $\epsilon = 1,5 \text{ В}$, ал ішкі кедергілері $r = 0,25 \text{ Ом}$. Өзара параллель жалғанған кедергілері $R_1 = 10 \text{ Ом}$ және $R_2 = 50 \text{ Ом}$ екі өткізгіш сыртқы тізбекті қурайды. Батарея қысқышындағы кернеуді анықтаңдар.
4. Әрқайсының кедергісі $r = 1 \text{ Ом}$ болатын $n = 10$ ток көзін алдымен тізбектей жалғап, сыртқы R кедергісіне түйіктандырыды, одан соң сол сыртқы кедергіге түйіктандырып, параллель жалғайды. Ток қүші 5 есе артқан кездегі тізбектегі R кедергіні анықтаңдар. Қандай мақсатпен өткізгіштерді тізбектей, қандай мақсатпен параллель жалғайды?
5. Үш тізбектей жалғанған элементтерден тұратын екі топ параллель жалғанған. Элементтердің әрқайсының ЭҚК-сы $1,2 \text{ В}$, ал ішкі кедергісі $r = 0,2 \text{ Ом}$. Құралған батарея $R = 1,5 \text{ Ом}$ сыртқы кедергімен түйікталған. Сыртқы тізбектің ток қүшін анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың бірі бойынша хабарлама дайындаңдар:

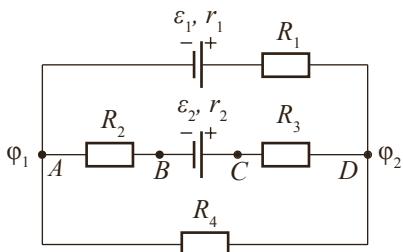
1. Ток көзімен жұмыс жасау кезіндегі қауіпсіздік ережелері.
2. Баламалы ток көздері және оларды қолдану ережелері.

§ 38. Толық тізбек үшін Ом заңы

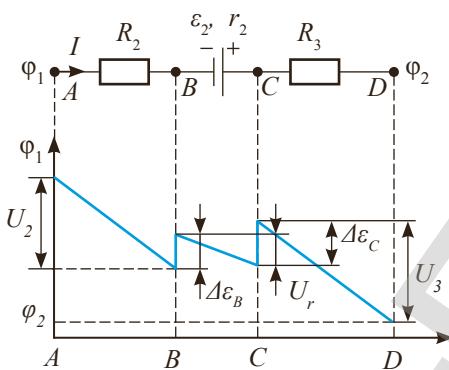
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

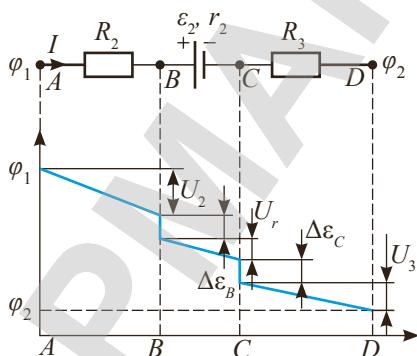
- толық тізбек үшін Ом заңын қолдана алғасын боласыңдар.



207-сурет. Тармақтарында ток көзі бар тізбектің сұлбасы



208-сурет. Тізбекке тура жалғанған ток көзінің полюстарындағы кернеу секірісі.



209-сурет. Тізбекке кері жалғанған ток көзінің полюстарындағы кернеу секірісі.

I Ток көзі бар тізбек бөлігі үшін Ом заңы

Құрамында электр қозғауыш күші ε_2 және ішкі кедергісі r_2 болатын ток көзі бар тізбек бөлігін қарастырайық (207-сурет). Көрсетілген тізбек бөлігінде ток солдан онға қарай өтеді, егер де $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ болса, онда $\varphi_1 > \varphi_2$ болады. Көрсетілген тізбек бөлігінде потенциалдың түсі R_1, r_2 және R_3 , кернеулері орналасқан бөлігінде, ал потенциалдың өсуі ток көзінің полюстарында болады. Осыған ұқсас құбылыстарды біз өзен бойына платина орнатқан кезде байқаймыз: өзеннің барлық бөліктерінде су денгейі төмендейді, ал платинада көтеріледі. 208-суретте ток көзі полюстеріндегі потенциалдың өзгерісі және қарастырылған тізбек болігіндегі кернеудің түсі көрсетілген. Полюстердегі потенциалдың өзгерісі ток көзінің электр қозғауыш күшіне тең:

$$\Delta\varepsilon_{\text{в}} + \Delta\varepsilon_c = \varepsilon_2. \quad (1)$$

Тізбек бөлігінің ұштарындағы потенциалдар айырымы әрбір бөліктегі потенциалдың кемуі мен ток көзіндегі потенциалдардың өзгерісі қосындыларының айырымына тең:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (U_2 + U_r + U_3) - \varepsilon_2$$

немесе $\varphi_1 - \varphi_2 = (IR_2 + Ir + IR_3) - \varepsilon_2. \quad (2)$

Алғынған тендеуден ток күшін өрнектейік:

$$I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_2}{(R_2 + R_3) + r}. \quad (3)$$

Жалпы жағдайда (3) өрнекті мына түрде жазуға болады:

$$I = \frac{U + \varepsilon}{R + r}, \quad (4)$$

мұндағы R – тізбек бөлігінің жалпы кедергісі, r – тізбек бөлігіндегі ток көзінің жалпы ішкі кедергісі, $U = \varphi_1 - \varphi_2$ – тізбек ұштарындағы потенциалдар айырымы, ε – берілген бөліктегі ток көздерінің ЭҚҚ-сының жалпы мәні.

Алғынған формула ток көзі бар тізбек бөлігі үшін Ом заңын өрнектейді.

Ток көзінے тура жалғанғанда полюстердің өзгеруі кернеу өзгерісі сипатына әсер ететінін ескеру керек. 209-суретте ток көзінен кері жалғанған кернеу өзгерісі көрсетілген. Осы кезде ток күші мынаған тең болады:

$$I = \frac{U - \varepsilon}{R + r} \quad (5)$$

Ток көздерінде потенциалдың күрт төмендеуі өзендердегі сарқырамада су деңгейінің төмендеуіне үкссес болады.

II Жалпыланған Ом заңының дербес жағдайлары. Толық тізбек үшін Ом заңы

- 1) (4) теңдеуді тізбек бөлігінде ток көзі жоқ жағдай үшін жазайық. $\varepsilon = 0$, $r = 0$ екенін ескерсек, онда

$$I = \frac{U}{R}. \text{ Біз қарапайым тізбек бөлігі үшін Г.Ом}$$

тұжырымдаған заңды алдық. R_4 кедергісі бар тармақ үшін (207-сурет) қарапайым тізбек бөлігі үшін Ом заңын қолдануға болады:

$$I_4 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_4} = \frac{U}{R_4}.$$

- 2) 208-суреттегі тізбектің ұштарын жалғап, тұйық тізбек аламыз (210-сурет). A және D нүктелерінің потенциалдары тең болады: $U = \varphi_1 - \varphi_2 = 0$, онда (4) формула мына түрге келеді:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (6)$$

Осы өрнек толық тізбек үшін Ом заңы деп атайды.

Тізбектегі ток күші ток көзінің электр қозғауышы күшіне (ЭҚК) тұра пропорционал, сыртқы және ішкі кедергілерінің қосындысына көрі пропорционал.

III Толық тізбек үшін Ом заңының салдары

(6) өрнектен

$$\varepsilon = IR + Ir$$

немесе

$$\varepsilon = U_R + U_r \quad (7)$$

екені шығады.

ЭҚК дегеніміз зарядтардың орын ауыстыруы кезінде атқарылатын бөлде күштердің жұмысы болғандықтан, (7) теңдеуден мынадай қорытынды шығады: *бөлде күштер тізбектің ішкі бөлігінде де, сыртқы бөлігінде де жұмыс жасайды.*

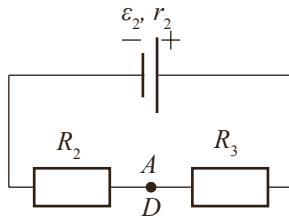
Ішкі кедергілердің аз мәндерінде $r \rightarrow 0$ ток көзінің барлық энергиясы тізбектің сыртқы бөлігінде жұмсалады, $\varepsilon = U$. Ішкі кедергілердің аз мәндерінде және жүктеме болмаған кезде $R = 0$ тұйық

Жауабы қандай?

Тармақта жалғанған ток көзі тізбектегі ток күшіне қалай өсер етеді?

Бұл қызық!

Шетелдерде, оның ішінде Франция мен Англияда Омның жұмыстарына ұзақ уақыт бойы назар аударылмады. 10 жылдан кейін француз физигі Пулье эксперимент нәтижесінде Ом жасаған нәтижелерді алды. Француз мектептерінде Ом заңдары Пулье заңдары деген атпен оқытылады.



210-сурет. Ток көзі бар тұйық тізбек

Маңызды ақпарат

Адам өміріне қауіпті ток күші 0,05 А. Адам қолдары арасындағы кернеу адамның хал жағдайына қарай 800 Ом-га дейін төмендеп өзгеріп тұрады. Бұдан 40 В кернеу адам өміріне өте үлкен қауіп төндіретінін көреміз.

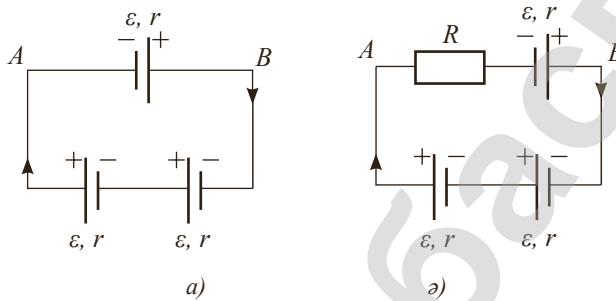
Жауабы қандай?

Неліктен A және D нүктелеріндегі потенциалдар оларды қосқанда теңеседі?

тізбектегі ток күшінің мәні күрт артады, қысқаша тұйықталу пайда болады (§37 қарандар).

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Әрқайсының ЭҚК-сы ε , ал ішкі кедергісі r болатын үш бірдей ток көзі 1, а-суретте көрсетілгендей жалғанған. Жалғанған сымдардың кедергілерін ескермейуге болады, A және B нүктелерінің арасында кедергісі R резистор орналасқан жағдайда A және B нүктелерінің арасындағы потенциалдар айырымын анықтаңдар (*1, ə-суретті қарандар*).



1-сурет.

Берілгені:

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon \\ r_1 &= r_2 = r_3 = r \\ R &\end{aligned}$$

$$\varphi_A - \varphi_B = ?$$

Шешуі:

$$\text{Толық тізбек үшін Ом заңы бойынша: } I = \frac{3\varepsilon}{3r} = \frac{\varepsilon}{r}.$$

$$\text{Онда } \Delta\varphi_1 = \varphi_A - \varphi_B = Ir - \varepsilon = 0.$$

A және B нүктелерінің арасында резистор болғанда

$$I = \frac{3\varepsilon}{3r + R} \text{ және } \Delta\varphi_2 = \varphi_A - \varphi_B = \frac{3\varepsilon}{3r + R}(r + R) - \varepsilon = \frac{2\varepsilon R}{R + 3r}.$$

$$\text{Жауабы: } \varphi_1 = 0; \varphi_2 = \frac{2\varepsilon R}{R + 3r}.$$

Бақылау сұрақтары

1. Ток көзі бар тізбек бөлігі үшін Ом заңын тұжырымдаңдар.
2. Қандай токты қысқа тұйықталу тогы деп атайды?
3. Тізбектің ішкі және сыртқы бөліктеріндегі кернеудің таралуы кедергілерге қалай тәуелді?



- Батареяның ЭҚК-сы $\varepsilon = 4,5$ В, ішкі кедергісі $r = 2$ Ом. Батарея кедергісі $R = 7$ Ом резистормен тұйықталған. Тізбектегі ток қүшін және батарея қысқыштарындағы көрнеуді анықтаңдар.
- ЭҚК $\varepsilon = 1,1$ В ток көзіне жалғанған және кедергісі $R = 2$ Ом өткізгіштегі ток қүші $I = 0,5$ А. Ток көзі қысқа тұйықталғандағы ток қүшін анықтаңдар.
- Ток көзі және $R_1 = 4$ Ом кедергісі бар тізбектегі ток қүші $I_1 = 0,2$ А. Егер сыртқы кедергі $R_2 = 7$ Ом болса, онда тізбектегі ток қүші $I_2 = 0,14$ А. Егер ток көзі қысқа тұйықталса, тізбектегі ток қүші неге тең болады?
- Ток қүші $I_1 = 1,5$ А болғанда, тізбек бөлігіндегі көрнеу $U_1 = 20$ В. Ал ток қүші $I_2 = 0,5$ А болса, осы тізбек бөлігінде көрнеу $U_2 = 8$ В. Осы бөлікке әсер ететін ЭҚК неге тең?
- Ішкі кедергісі 2 Ом және ЭҚК 12 В аккумуляторға екі бірдей шам параллель жалғанған. Шамдардың біріндегі ток қүші 1 А. Егер екінші шам жаңып кететін болса, бірінші шам арқылы өтетін ток қүшін анықтаңдар.
- Автокөлік жүргізушиңі өз көлігінің ЭҚК-сын өлшеу үшін аккумулятор, ЭҚК-сы 2 В болатын ток көзі және амперметр тізбектей жалғанған тұйықталған тізбек жинады. Осы кезде амперметр көрсеткіші 1 А болды. Аккумулятордың жалғану полярлығын өзгертуенде тізбектегі ток бағыты өзгерді және 0,75 А болды. Аккумулятордың ЭҚК-сын анықтаңдар.
- Плеерді косқанда ток көзінің қысқыштарындағы көрнеу 2,8 В болады. Элементтер батареясының ЭҚК-сы 3 В, ішкі кедергісі 1 Ом. Тізбектегі ток қүшін анықтаңдар. Ток көзінің бөгде күштері 5 минутта қанша жұмыс атқарды? Тізбектің сыртқы және ішкі бөліктеріндегі токтың жұмысы қандай?

Шығармашылық тапсырма

«Электр тізбегіндегі қысқа тұйықталудың себептері мен салдары» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 39. Кирхгоф занұрдыры

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- Кирхгоф заның тармақталған электр тізбегіне қолдана аласындар.

I Тармақталған тізбек кедергілерін есептеу. Бірдей потенциалды түйіндер

Электр тізбектері тармақталған және тармақталмаған болады. Тізбек элементтерін тізбектей жалғанда тармақталмаған тізбектің барлық бөліктерінде бірдей ток өтеді. Тармақталған тізбекте өткізгіштерді тізбектей де, параллель де жалғануы кездеседі, осы тізбек элементтерін жалғау аралас болады.

Тармақталған тізбектер үшін мынадай ұғымдар қолданылады: тармақ, түйін, контур.

Тармақ – бір ғана ток жүретін тізбек бөлігі, ол тізбектей жалғанған өткізгіштерден және ток көздерінен тұрады.

Түйін – уш немесе одан да көп тармақтардың жалғанған орны.

Контур – кез келген тізбек элементтерінің тұбының жалғануы, оны бірнеше тармақтары бойынша айналып отыре болады.

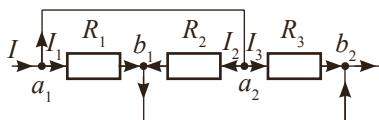
Күрделі тармақталған тізбектердің кедергілерін есептеу барысында төмендегі ережелер қолданылады:

- бірдей потенциалды нүктелердің бір түйінге түйістіруге болады;
- бір түйінге түйіскен тармақтарды тармақталған тізбектің симметрия сызықтарында ажыратуға болады;
- бірдей потенциалды түйіндерге жалғанған өткізгіштер ток кедергісін тудырмайды, тізбектің жалпы кедергісін есептеу кезінде оларды ескермеуге болады.

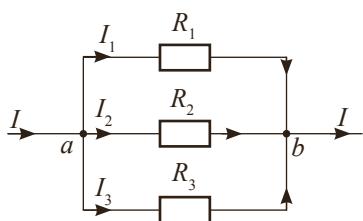
Көрсетілген ережелерді қолдану тізбекті бірталай ықшамдайды, бұл кезде тізбек тармақтарындағы токтар бұрынғыдай болып қалады.

211-суретте көрсетілген тізбек бөлігінің кедергісін анықтайық. Сызбада төрт түйін a_1 , a_2 , b_1 , b_2 көрсетілген. a_1 және a_2 түйіндерінің потенциалдары тен, олар өзара сыммен жалғанған, ондағы кедергіні ескермеуге болады. b_1 және b_2 нүктелері де бірдей потенциалға ие. Өте аз кедергілі сымдардың ұзындықтарын қысқартып, екі түйінді сызба аламыз. Тізбек өткізгіштердің параллель жалғануын сипаттайтын (212-сурет).

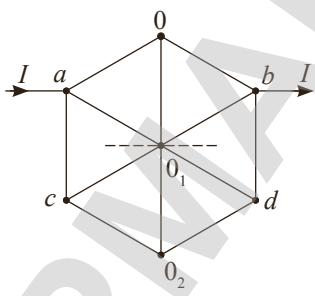
213-суретте көрсетілген сымнан жасалған фигурада бірдей потенциалды 0 , 0_1 , 0_2 нүктелері симметрия осі бойымен орналасқан, ендеше 00_1



211-сурет. Тармақталған тізбектің сұлбасы



212-сурет. 211-суреттегі тізбекке эквивалентті тізбек сұлбасы



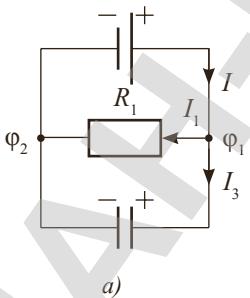
213-сурет. 0 , 0_1 , 0_2 потенциалдық нүктелеріне тең симметриялық тізбектің сұлбасы.

және $0_1, 0_2$ сымдары арқылы ток жүрмейді, оларды ажыратуға болады, сонда 0_1 түйіні токтың қозғалыс бағыты бойынша ажыратылады. Сонда 214-суретте көрсетілген эквивалентті сұлбаны аламыз. Осындай тізбекте есептеулер өткізгіштерді тізбектей және параллель жалғау формуласын қолдану арқылы жүргізіледі.

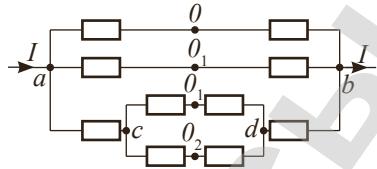
II Тұрақты ток тізбегіндегі индуктивтілік шарғысы және конденсатор

Индуктивтілік шарғысының актив (белсенді) кедергісі аз $R_L \rightarrow 0$. Оны тұрақты ток көзіне тұра жалғағанда қысқа түйікталу болады. Шарғы кедергісі оны тізбекке жалғағанда және ажыратқанда артады, осы кезде ток күші артады немесе кемиді, тізбекте өздік индукция құбылысы байқалады.

Конденсатор диэлектрикпен ажыратылған екі өткізгіш пластина болып табылады. Конденсаторды тұрақты ток көзіне жалғағанда тізбекте зарядталу тогы жүреді. Ол конденсатор астарлары арасындағы потенциалдар айырымы ток көзінің ЭҚҚ-сына тең болғанда тоқтайды (215-сурет). Тармақталған тізбекте конденсатор өзі жалғанған түйіндер арасындағы потенциалдар айырымына дейін зарядталады (216, а-сурет). Ток көзін ажыратқаннан кейін ол толық разрядталғанша түйік контурда ток тудырады (216, ә-сурет).



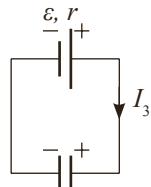
216-сурет. а) зарядтау режиміндегі конденсатор $U_c = \phi_1 - \phi_2$
ә) разрядтау режиміндегі конденсатор



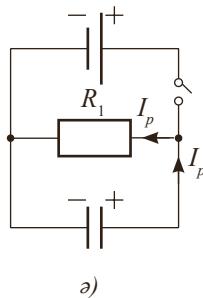
214-сурет. 213-суреттегі тізбекке эквивалентті тізбек сұлбасы

Жауабы қандай?

Неліктен тізбектің жалпы кедереісін есептегендеге өткізгіштің кедергісі ескерілмейді?



215-сурет. $U_c = \epsilon$ Тұрақты ток көзінен конденсатордың зарядтауы



III Кирхгоф заңдары

Оте күрделі тізбектерді, мысалы ЭҚҚ-сы әртүрлі бірнеше ток көздерінен тұратын тізбектерді, Кирхгоф заңдары негізінде есептейді.

Кирхгофтың бірінші заңы зарядтың сақталу заңының салдары болып табылады, ол бойынша өткізгіштің бірде-бір нүктесінде заряд жинақталмауы және жоғалып кетпеуі керек:

Түйінде жинақталатын ток күшінің алгебралық қосындысы нөлге тең.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Егер ток түйінге кіретін болса, онда ток күші оң шама, егер түйіннен шығатын болса, оны теріс шама деп алынады.

Кирхгофтың екінші заңы Ом заңының жалпылануы болып табылады:

Кез келген түйік контурдағы кернеудің түсінің алгебралық қосындысы осы контурдағы ток көздерінің ЭҚК-сінің алгебралық қосындысына тең.

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i,$$

мұндағы k – ток көзінің саны, n – өткізгіштердің саны.

IV Кирхгоф заңдарын пайдаланып, есеп шығару алгоритмі

Алгоритмді пайдалану тізбекті сипаттайтын негізгі шамалар үшін берілетін формулалардың жазылуын едәуір ықшамдайды:

1. Тізбек сұлбасы бойынша кез келген бағытта контурлық токтар бағытын таңдайды және тармақтардағы токтар бағытын көрсетеді.
2. Түйіндер үшін Кирхгофтың бірінші заңын жазады, егер тізбек n түйіннен тұрса, онда токтар үшін $n - 1$ теңдеу құрастырады.
3. Кирхгофтың екінші заңын қолданғанда, теңдеу құрылатын әрбір жаңа контурға алдыңғы контурларға кірмеген ең болмағанда бір жаңа тармақ жалғануы керек.
4. Егер резистор арқылы жүретін ток бағыты контурлық ток бағытымен сәйкес келетін болса, онда резистордағы кернеу мәні, оң және керісінше, егер резистор арқылы өтетін ток бағыты контурлық ток бағытымен сәйкес келмесе, онда ондағы кернеудің түсінің мәні теріс болады.
5. Егер ток көзінің ЭҚК-сы контурды айналып өту бағыты бойынша потенциалды арттыратын болса, онда оның мәні оң деп қабылданады. Бұл жағдайда ток көзін айналып өту ток көзінің теріс полюсінен оң полюсіне қарай өтеді. Кері жағдайда – ЭҚК мәні теріс деп есептеледі.

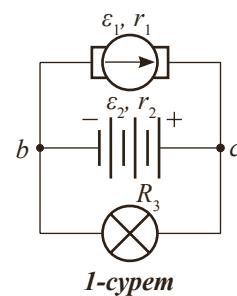


Есте сақтанадар!

Егер ток күші үшін теріс нәтиже алынса, онда токтың бағыты осы бөліктегі кері бағытта болады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

ЭҚК $\varepsilon_1 = 12$ В және ішкі кедергісі $r_1 = 0,1$ Ом тұрақты ток генераторы ЭҚК $\varepsilon_2 = 10$ В және ішкі кедергісі $r_2 = 0,5$ Ом аккумулятор батареясымен зарядталды (*1-сурет*). Кедергісі $R_3 = 3$ Ом болатын шам батареяға параллель жалғанған. Аккумулятор батареясы мен шамдағы токты анықтанадар.



Берілгені:

$$\varepsilon_1 = 12 \text{ В}$$

$$r_1 = 0,1 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon_2 = 10 \text{ В}$$

$$r_2 = 0,5$$

$$R_3 = 3 \text{ Ом}$$

$$I_2, I_3 - ?$$

Шешуі: Токтар мен ЭҚК белгіленген эквиваленттік сұлба сыйайық. Ток бағыттары 2-суретте көрсетілгендей деп ұйғарайық. Берілген есепті Кирхгоф заңдарын пайдаланып шешеміз. I және II контурларды сағат тілі бағытымен айналып отелік. c түйіні үшін Кирхгофтың бірінші заңын қолданамыз:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \text{ немесе}$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

I контур үшін Кирхгофтың екінші заңын қолданамыз:

$$I_1 r_1 + I_2 r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (2)$$

II контур үшін:

$$I_2 r_2 + I_3 R_3 = \varepsilon_2 \quad (3)$$

(1) және (2) теңдеулерді бірге шеше отырып, мынадай өрнек ала-

$$\text{мыз: } I_2(r_1 + r_2) + I_3 r_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

бұдан

$$I_3 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - I_2(r_1 + r_2)}{r_1}. \quad (4)$$

Алынған өрнекті (3)-ке апарып қойып, мынаны аламыз:

$$\frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - I_2(r_1 + r_2)}{r_1} R_3 - I_2 r_2 = \varepsilon_2,$$

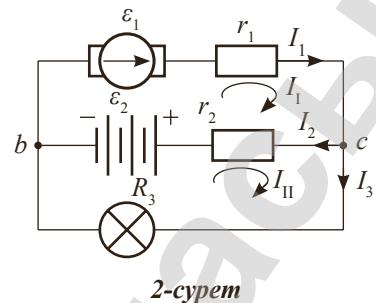
$$\text{бұдан } I_2 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R_3 - \varepsilon_2 r_1}{(r_1 + r_2) R_3 + r_1 r_2}$$

$$I_2 = \frac{(12 - 10) \cdot 3 - 10 \cdot 0,1}{(0,1 + 0,5) \cdot 3 + 0,1 \cdot 0,5} = 2,7 \text{ (A).}$$

Алынған I_2 тогының шамасын (4) формулаға апарып қойып, I_3 табамыз:

$$I_3 = \frac{(12 - 10) - 2,7 \cdot (0,5 + 0,1)}{0,1} = 3,8 \text{ (A).}$$

Жауабы: $I_2 = 2,7 \text{ A}$, $I_3 = 3,8 \text{ A}$.

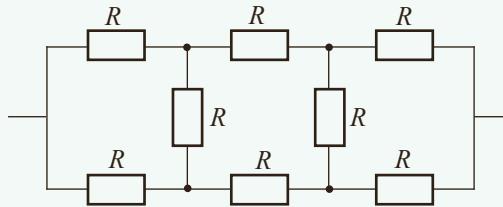


Бақылау сұрақтары

1. Тармақталған тізбектегі түйін, тармақ, контур деген не?
2. Тармақталған тізбектің жалпы кедергісін қалай анықтайды?
3. Кирхгоф заңдарын тұжырымдаңдар.
4. Қандай шарт орындалғанда ток көзінің ЭҚК-сы оң таңбалы болады? Қандай жағдайда теріс болады?
5. Қандай жағдайда кедергідегі кернеудің түсі теріс, қай кезде оң болады?

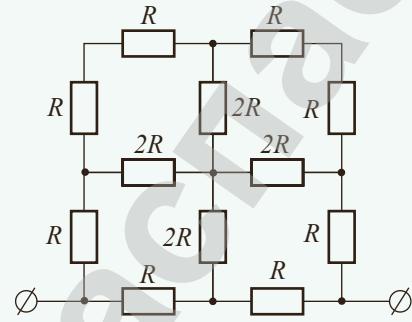


- Егер $R = 9$ Ом болса, онда 217-суретте көрсетілген тізбектің жалпы кедергісі қандай?
- Егер $R = 5$ Ом болса, онда 218-суретте көрсетілген тізбектің жалпы кедергісі қандай?



217-сурет. 39-жаттығудың

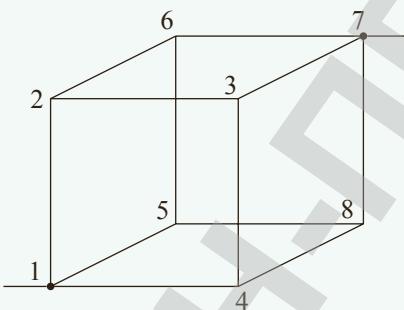
1-есебіне



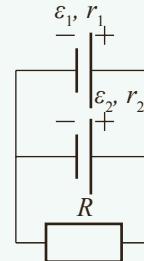
218-сурет. 39-жаттығудың

2-есебіне

- Текше пішіндес (219-сурет) сым каркастың 1 және 7 нүктелерінің арасын жалғагандағы тізбектің кедергісін анықтаңдар. Каркастың әрбір қабырғасының кедергісі $R = 0,3$ Ом.

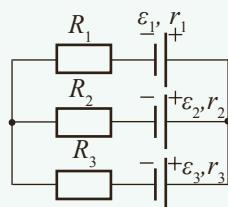


219-сурет. 39-жаттығудың 3-есебіне



220-сурет. 39-жаттығудың 4-есебіне

- ЭКҚ-сы $\varepsilon_1 = 10$ В және $\varepsilon_2 = 8$ В және ішкі кедергісі $r_1 = 1$ Ом және $r_2 = 2$ Ом болатын екі батарея 220-суретте көрсетілгендей кедергісі $R = 6$ Ом резистормен тізбектей жалғанған. Резистор арқылы өтетін ток құшін анықтаңдар.
- ЭКҚ-і $\varepsilon_1 = 1,5$ В, $\varepsilon_2 = 2$ В, $\varepsilon_3 = 2,5$ В болатын үш батарея 221-суретте көрсетілгендей резистор кедергілермен, яғни $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом және $R_3 = 30$ Ом жалғанған. R_i резисторы арқылы өтетін ток құшін анықтаңдар. Батареялардың ішкі кедергілерін ескермендер.



221-сурет. 39-жаттығудың

5-есебіне

§ 40. Электр тогының жұмысы және қуаты. Джоуль – Ленц заңы. Ток көзінің пайдалы әсер коэффициенті

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- есептер шығаруда жұмысты, қуатты және пайдалы әсер коэффициентін есептеу формулаларын қолдана аласыңдар.

Естеріңе түсіріндер!

Жұмыс – энергияның бір түрден екінші түрге айналуының өлшемі.

Есте сақтаңдар!

Тұйықталған электр тізбегінде энергия екі рет түрленеді. Ток көзіндегі электрлік емес энергия электр энергиясына айналады. Сыртқы тізбекте электр энергиясы қайтадан энергияның басқа түрлеріне айналады.



222-сүрет. Электр энергиясының есептеуіші. Қазақстандық өнім, Алматы қ. ("Saiman" ЖШС)

I Тізбектегі тұрақты токтың жұмысы

Токтың жұмысы электр өрісінің күші әсерінен зарядтардың өткізгіш бойымен бағытталған орын ауыстыруына негізделген.

Ток жұмысы – электр өрісі тасымалдаған зарядтың берілген өткізгіш бөлігіндегі кернеуге көбейтіндісіне тең физикалық шама.

$$A = q(\Phi_1 - \Phi_2) = qU. \quad (1)$$

Кез келген уақыт аралығында тасымалданған заряд мөлшері ток күшіне тәуелді:

$$q = It.$$

Осы қатынасты пайдалана отырып, (1) тендіктен төмөндегі өрнекті аламыз:

$$A = UIt. \quad (2)$$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы негізінде (2) формуласы мына түрде жазуға болды:

$$A = I^2 R t \quad (3)$$

немесе $A = \frac{U^2}{R} t. \quad (4)$

(3) қатынас өткізгіштерді тізбектей жалғағанда, (4) қатынас өткізгіштерді параллель жалғағанда ток жұмысын есептеуге ынғайлыш.

II Ток жұмысын өлшеу

Ток жұмысын үш құралды вольтметр, амперметр және сагатты пайдаланып өлшеуға болады.

Күнделікті ток жұмысын есептеу үшін электр энергиясының есептеуіші (222-сүрет) пайдаланылады, онда жұмыстың жүйеден тыс өлшем бірлігі 1 кВт · сағ қолданылады.

Электр энергиясының құнын тарифтің белгілі мәні бойынша мына формуламен есептейді:

$$\text{Құны} = T \cdot A$$

мұндағы **Құны** – электр энергиясының құны, **T** – тариф – 1 кВт · сағ энергия құны.



1-тапсырма

Электр тізбегінде энергияның екі рет түрленуіне мысал келтіріндер.

III Ток қуаты

Ток қуаты – зарядтың орын аудиостыруы кезінде жұмыстың орындалу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

$$P = \frac{A}{t}. \quad (5)$$

(2), (3) және (4) формулаларды (5) өрнекке қойып, тұйық тізбектің сыртқы бөлігіндегі ток қуатын есептейтін формуланы аламыз:

$$P = UI; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = I^2 R. \quad (6)$$

Толық тізбек үшін электр тогының қуаты мынаған тең:

$$P = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} \cdot R. \quad (7)$$

Ток қуатын амперметр және вольтметр немесе ваттметр көмегімен анықтайды. «Медсервис» компаниясының қазіргі заманғы құралы электр тізбегін сипаттайтын алты өлшемді – ток күшін, кернеуді, қуатты, қуаттылық коэффициентін, желідегі ток жиілігін, жылдық қуатты өлшейді (223-сурет).

IV Ток көзінің жұмысы мен қуаты

Тізбектегі толық жұмыс – бөгде күштердің жұмысы, ол мынаған тең:

$$A_{\text{б.к}} = q\varepsilon \text{ немесе } A_{\text{б.к}} = Iet.$$

Толық тізбек үшін Ом заңын $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ ескере отырып, келесі өрнекті аламыз:

$$A_{\text{б.к}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r} \cdot t$$

немесе $A_{\text{б.к}} = I^2(R + r)t$.

Тізбектің толық қуатын мына формулалар бойынша анықтауга болады:

$$P_{\text{мол}} = \frac{A_{\text{б.к}}}{t}, \quad P_{\text{мол}} = I\varepsilon, \quad P_{\text{мол}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r}, \quad P_{\text{мол}} = I^2(R + r).$$



2-тапсырма

Өздерінің тұрғылықты жерлерінде электр энергиясының қандай төлем тарифтері барын анықтаңдар. Неліктен энергияны көп жұмсаған сайын бағасы да артады?



Естерінде түсіріндер!

Электр тогы жұмысының өлшем бірлігі – джоуль.

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Электр тогы жұмысының жүйеден тыс өлшем бірлігі мен джоуль арасындағы байланысы:

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{саf} = 3600 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{саf} = 3600000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}$$

Қуаттың өлшем бірлігі – ватт:

$$[P] = 1 \text{ Вт} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В}$$



223-сурет. Қазақстанда шыққан ваттметр құралы. Алматы қ.



3-тапсырма

Электр көзінің жұмысын және қуатын есептейтін формулалары бөгде күштердің жұмысын және қуатын есептейтін формуламен салыстырындар. Бұл формулалардың айырмашылығы қандай?

V Ток көзінің ПЭК-і

Пайдалы әсер коэффициенті – пайдалы жұмыстың толық жұмысқа қатынасы. Электр тізбегі үшін пайдалы жұмыс – электр өрісінің жұмысы, толық жұмыс – бөгде күштердің жұмысы, онда келесі қатынас орындалады:

$$\eta = \frac{A}{A_{\text{б.к}}} = \frac{UIt}{\varepsilon It} = \frac{P}{P_{\text{мол}}} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r}$$

Пайдалы әсер коэффициентін есептеді төмөндегі үсінілған формулалардың кез келгенімен жүргізуге болады:

$$\eta = \frac{A}{A_{\text{б.к}}}, \eta = \frac{P}{P_{\text{мол}}}, \eta = \frac{U}{\varepsilon}, \eta = \frac{R}{R+r}.$$

VI Джоуль – Ленц заңы

Өткізгіште бөлінетін жылу мөлшері өткізгіш арқылы өтетін ток күшінің квадратына, өткізгіш кедергісіне және тізбектің жұмыс істеу уақытына тұра пропорционал.

$$Q = P^2 R t. \quad (8)$$

Тізбекте тоқтың тек жылулық әсері ғана байқалған жағдайда, жылу мөлшері де жұмыс сияқты анықталады, бұл энергияның сақталу заңына қайшы келмейді. Джоуль – Ленц заңына сүйенсек, өткізгіштерді тізбектей жалғағанда ең көп жылу мөлшері үлкен кедергісі бар өткізгіште бөлінеді:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Өткізгіштерді параллель жалғағанда олардағы тоқ күші әртүрлі, сондықтан мына формуланы қолданған ыңғайлы:

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Онда өткізгіштерде бөлінетін жылу мөлшері олардың кедергілеріне көрі пропорционал:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Өткізгіштерді параллель жалғағанда кедергісі аз өткізгіштен ең көп жылу мөлшері бөлінеді.

Жауабы қандай?

1. Ток көзінің ПЭК неліктен 100%-дан арта алмайды?
2. Неліктен электротехниканың ток көзінің ішкі кедергісін сыртқы тізбекпен салыстырғанда кемітүгे тырысады?

Естеріңе түсіріндер!

8-сынып курсынан тізбектегі ток әсері Джоуль – Ленц заңына сәйкес пайда болатыны белгілі. Бұл заңдылықты бір-бірінен тәуелсіз түрде тәжірибе жүргізіп, бірдей тұжырымға келген ағылшынғалымы Д.Джоульдің және орыс ғалымы Э.Ленцтің құрметіне аталған.

Жауабы қандай?

1. Неліктен тізбектегі сыртқы кедергіні біршама арттырыған сайын ток қуаты кеміді?
2. Неліктен үлкен қуатқа негізделген шам тізбекте күңеірт жанады?
3. Неліктен электр шамына сым арқылы келетін ток қызбайды, ал шамның спираль қылы ағарғанша қызды?
4. Неліктен су қайнатқышты ток көзіне жалғап, суға батырмасақ, тез күйіп кетеді?

Есте сақтаңдар!

Қуатты аспаптардың кедергілері аз болады.

Бақылау сұрақтары

1. Толық тізбекте энергияның қандай түрленулері жүреді?
2. Электр тогының жұмысы мен қуаты қалай анықталады?
3. Токтың жұмысы мен қуатын қандай құралдармен өлшейді?
4. Тізбектегі ішкі және сыртқы кедергілердің қандай қатынасында оның сыртқы бөлігінде ток қуаты ең үлкен мәнге ие болады? Бұндай режимді жұмыс көзін қайда пайдаланады? Оны қалай атайды?
5. Тізбектегі толық жұмыс неге тең?
6. Электр тізбегінің ПЭК-і қалай анықталады?
7. Өткізгіштерді тізбектей жалғағанда өткізгіштердің қайсысында бөлінетін жылу мөлшері үлкен болады? Параллель жалғағанда ше?

★ Жаттығу

40

1. Егер шамдағы ток күші $I = 0,5 \text{ A}$, ал кернеу $U = 220 \text{ В}$ болса, $t = 1 \text{ сағ}$ уақытта электр шамының қыл сымы қандай жылу мөлшерін бөледі?
2. Егер тізбектегі кернеу $U = 220 \text{ В}$, ток күші $I = 8 \text{ A}$ болса, шәйнектегі көлемі $V = 1 \text{ л}$ суды $t_1 = 20^\circ\text{C}$ температурадан қайнатуға дейін жеткізу үшін оны қанша уақыт қыздыру керек?
3. Электр плитасының бір-бірімен параллель жалғаған, әрқайсысының кедергісі $R = 120 \text{ Ом}$ үш спиралі бар. Плитаны кедергісі $R = 50 \text{ Ом}$ резистормен тізбектей жалғайды. Плитканың бір спиралі жаңып кеткен кезде суы бар шәйнекті қайнату үшін кететін уақыт қалай өзгереді?
4. Қуаты $P = 500 \text{ Вт}$ шам $U_0 = 220 \text{ В}$ кернеуге есептелген. Шамның қуатын өзгертпей, шам кернеуі $U = 220 \text{ В}$ болатын тізбекке жалғауға мүмкіндік беретін қосымша кедергіні анықтандар.
5. Электр су қайнатқыштың екі орамы бар. Олардың біреуін қосқанда ыдыстағы су $t_1 = 5 \text{ минутта}$ қайнайды, ал екіншісін қосқанда $t_2 = 15 \text{ минуттан}$ кейін қайнайды. Егер оның екі орамасын: а) тізбектей; ә) параллель жалғаса, су қанша уақытта қайнайды?
6. Кедергісі R резисторды ток көзіне жалғағанда оның ПЭК-і $\eta = 20\%$. Осындай резисторларды жалғағанда қуат ең үлкен мәнге ие болуы үшін неше резистор және оларды қалай жалғау керек?
7. Егер қысқа түйіктулуда тогы $I_{\text{к.т.}} = 2 \text{ А}$ болса, тізбектегі ток күші $I = 0,8 \text{ А}$ болғандағы ток көзінің ПЭК-і қандай?

11-тараудың қорытындысы

Электр тізбегін сипаттайтын шамалар	Тұрақты ток заңдары	
<p>Ток күші $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$, $\Delta q = q_0 N$</p> <p>Ток тығыздығы $j = \frac{I}{S}$.</p> <p>Кедергі $R = \rho \frac{l}{S}$.</p> <p>Кернеу $U = \frac{A}{q}$</p> <p>Электр қозғаушы күш $\varepsilon = \frac{A_{6,k}}{q}$.</p>	<p>Тізбек бөлігі үшін Ом заңы $I = \frac{U}{R}$</p> <p>Тура қосу кезінде $I = \frac{U + \varepsilon}{R + r}$.</p> <p>Кері қосу кезінде $I = \frac{U - \varepsilon}{R + r}$.</p> <p>Толық тізбек үшін Ом заңы $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$</p> <p>$\varepsilon = U_r + U_R$</p> <p>Қысқа тұйықталу тогы $I_{k.m.} = \frac{\varepsilon}{r}$.</p>	<p>Кирхгоф ережесі $\sum_{i=1}^n I_i = 0$</p> <p>$\sum_{i=1}^k \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i$.</p> <p>Джоуль-Ленц заңы $Q = I^2 R t$</p>
Өткізгіштерді қосу кезіндегі шамалардың қатынасы		Ток көздерін жалғау
тізбектей	параллель	
$I_{\text{жалты}} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ $U_{\text{жалты}} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $R_{\text{жалты}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ $R_{\text{жалты}} = nR$ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$I_{\text{жалты}} + I_1 + I_2 + \dots + I_n$ $U_{\text{жалты}} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $\frac{1}{R_{\text{жалты}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ $R_{\text{жалты}} = \frac{R}{n}$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$	<p>тізбектей</p> <p>$\varepsilon_{\text{жалты}} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n$</p> <p>$r_{\text{жалты}} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$</p> <p>параллель</p> <p>$\varepsilon_{\text{жалты}} = \varepsilon_1$</p> <p>$r_{\text{жалты}} = \frac{r}{n}$</p>
Ток және бөлгө күштердің жұмысы	Ток қуаты	ПӘК
<p>Ток жұмысы $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$</p> <p>$A = UIt$</p> <p>$A = I^2 R t$</p> <p>$A = \frac{U^2}{R} t$</p> <p>Бөлгө күштердің жұмысы $A_{6,k} = q\varepsilon$ $A_{6,k} = I\varepsilon t$</p>	<p>Ток қуаты $P = \frac{A}{t}$, $P = UI$</p> <p>$P = \frac{U^2}{R}$, $P = I^2 R$</p> <p>$P = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} \cdot R$</p> <p>Тізбектің толық қуаты $P_{\text{жалты}} = \frac{A_{6,k}}{t}$, $P_{\text{жалты}} = I\varepsilon$, $P_{\text{жалты}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r}$, $P_{\text{жалты}} = I^2(R + r)$.</p>	$\eta = \frac{A}{A_{6,k}}$, $\eta = \frac{P}{P_{\text{мол}}}$, $\eta = \frac{U}{\varepsilon}$, $\eta = \frac{R}{R + r}$

Заңдар, ережелер

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы

Тізбек бөлігіндегі ток күші сол бөліктегі кернеуге тұра пропорционал және кедергіге кері пропорционал.

Толық тізбек үшін Ом заңы

Тізбектегі ток күші ток көзінің электр қозғауышы күшіне тұра пропорционал, сыртқы және ішкі кедергілерінің қосындысына кері пропорционал.

Джоуль-Ленц заңы

Откізгіште бөлінетін жылу мөлшері өткізгіш арқылы өтетін ток күшінің квадратына, өткізгіш кедергісіне және тізбектің жұмыс істеу уақытына тұра пропорционал.

Фарадейдің бірінші заңы

Электролиз кезінде электродтан бөлінетін заттың массасы электролит арқылы тасымалданған зарядқа тұра пропорционал болады.

Фарадейдің екінші заңы

Заттардың электрохимиялық эквиваленті олардың химиялық эквиваленттеріне тұра пропорционал.

Кирхгоф ережесі:

Түйінде жинақталатын ток күшінің алгебралық қосындысы нөлге тең.

Кез келген тұйық контурдағы кедергілердегі кернеу түсулерінің алгебралық қосындысы осы контурдағы ток көздері ЭҚҚ-сының қосындысына тең.

Глоссарий

Тармақ – бір ғана ток жүретін тізбек бөлігі, ол тізбектей жалғанған өткізгіштерден және ток көздерінен тұрады.

Косымша кедергі – тізбек бөлігіне тізбектей жалғанған өткізгіш.

Контур – кез келген тізбек элементтерінің тұйық жалғануы, оны бірнеше тармақтары болынша айналып өтуге болады.

Ток қуаты – зарядтың орын ауыстыруы кезінде жұмыстың орындалу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

Ток тығыздығы – ток күшінің өткізгіштің көлденен қимасының қатынасына тең физикалық шама.

Ток жұмысы – электр өрісі тасымалдаған зарядтың берілген өткізгіш бөлігіндегі кернеуге көбейтіндісіне тең физикалық шама.

Ток күші – бірлік уақытта өткізгіштің көлденен қимасы арқылы өтетін заряд мөлшеріне тең шама.

Түйін – үш немесе одан да көп тармақтардың жалғанған орны.

Электр тогы – электр зарядтарының бағытталған қозғалысы.

Электр қозғаушы күш – бірлік зарядты тасымалдау кезінде бөгде күштердің атқаратын жұмысына тең шама.

12-ТАРАУ

ӘРТҮРЛІ ОРТАДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

Электр тогының пайда болуының шарттарының бірі – электр өрісі әсерінен қозғалатын еркін зарядтардың болуы. Белгілі бір шарттарда электр тогы түрлі заттардан өте алады. Осы тарауда әртүрлі ортада электр зарядын қандай бөлшектер тасымалдайтынын, электр тогын сипаттайтын шамалар қандай заңдармен байланысатынын анықтаймыз.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- металдардағы электр тогын сипаттауды және кедергінің температураға тәуелділігін сараптауды;
- жоғары температурадағы асқынөткізгіш заттарды алу перспективаларын талқылауды;
- жартылай өткізгіштердегі электр тогын сипаттауды және жартылай өткізгіштері бар аспаптарды қолдануды түсіндіруді;
- қыздыру шамдарының, резистордың және жартылай өткізгіш диодтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуді;
- электролиттердегі электр тогын сипаттауды және есептер шығаруда электролиз заңын қолдануды;
- электролиз үдерісінде электронның зарядын эксперимент арқылы анықтауды;
- вакуумдағы және газдардағы электр тогын сипаттауды;
- электронды-сәулелі тұтікшенің жұмыс істеу принципін және қолданылуын түсіндіруді үйренесіндер.

§ 41. Металдардағы электр тогы. Асқынөткізгіштік

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- металдардағы электр тогын сипаттай аласындар және кедергінің температураға тәуелділігін сараптай аласындар, жоғары температурадағы асқынөткізгіш заттарды алу перспективаларын талқылай аласындар.

I Металдардағы заряд тасымалдаушылардың байқау тәжірибелері

1901 жылы неміс физигі К.Рикке мынадай тәжірибе жүргізді: трамвай желілерін қоректендіретін басты еткізгіштерге массалары белгілі уш цилиндрді бір-біріне тізбектей жалғады. Екі шетіндегі мұстан, ал ортасындағы алюминийден жасалған. Бір жыл ішінде цилиндрлер арқылы 3,5 МКл шамасында заряд өтті, цилиндрлердің жалғанған жерлерінде зат тасымалдануы байқалмады. Демек, металдардағы атомдар мен молекулалар заряд тасымалдауға қатыспаған, ал ток металдардың барлығына ортақ бөлшектер – электрондардың қозғалысының арқасында жүріп отырған.

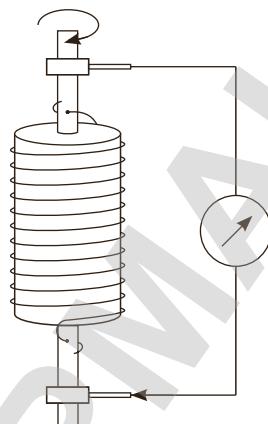
Металдардан токтың өтуі электрондардың қозғалысы екенін америкалық ғалымдар Р.Толмен және Т.Стюарт дәлелдеген. Олар 1913 жылы орыс ғалымдары С.Л.Мандельштам және Н.Д.Папалекси жургізген тәжірибелердің әдістемесін жаңартта отырып, 1916 жылы ток тасымалдаушыларының меншікті зарядын анықтады. Тәжірибе мынаған негізделген: ұштары гальванометрге жалғанған айналмалы соленоидты бірден токтатып отырған (224-сурет). Соленоид токтағанда гальванометр токтың импульсін тіркеп отырады. Ораманың ұзындығы шамамен 500 метр, айналмалы сызықтық жылдамдығы шамамен 500 м/с болғанда, соленоидтың көмегімен ток тасымалдаушылардың электрондарға сәйкес келетін меншікті зарядын үлкен дәлдікпен анықтау мүмкін болды:

$$\frac{q}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}.$$

II П.Друде және Х.Лоренцтің өткізгіштікіншілк электрондық теориясы

Металдардағы ток тасымалдаушылар ретінде бос электрондар жайлар белгілі мәліметтерді корыта отырып, 1900 жылы П.Друде металдардың электроткізгіштігінің классикалық теориясын жасап шығарды, ол теорияны кейіннен Х.Лоренц жаңартты.

Друде – Лоренц классикалық теориясына сәйкес, кристалдық тордың түзілудің кезінде атомдармен әлсіз байланысқан валентті электрондар босап шығады, олар өткізгіште бейберекет қозғалады.



224-сурет. Р.Толмен және Т.Стюарт тәжірибесін жүргізуудің принциптік сұлбасы

П.Друденің электрондық теориясының негізгі ережелері:

- Металдар еркін электрондардың концентрациясы жоғары $10^{28} - 10^{29} \text{ м}^{-3}$ болатындықтан, жоғары электроткізгіштікке ие болады.
- Металдағы электрондардың жылулық қозғалысы идеал газ молекулаларының қозғалысына ұқсайды. Металдағы еркін электрондар концентрациясы теңіз деңгейінен $2,55 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ биіктегі қалыпты жағдайдағы атмосферадағы ауа молекулалары концентрациясынан артық болады.

П.Друде «электронды газ» түсінігін енгізді (225-сурет) және молекулалық-кинетикалық теорияны қолданып, электрондардың жылулық қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығын анықтады:

$$\frac{m_e v_e^2}{2} = \frac{3}{2} kT,$$

бөлме температурасында электрондардың жылдамдығы 110 км/с-қа дейін жетеді:

$$v_e = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}} \approx 110 \text{ км/с.}$$

- Электрондардың бейберекет қозғалысына сыртқы электр өрісі әсер еткенде электрондар қозғалысы реттеле бастайды, яғни электр тогы пайдада болады. Электрондардың бағытталған қозғалысы тендеуемелі болып табылады және классикалық механика заңдарына бағынады. Электрондардың еркін қозғалысының λ ұзындығы кристалдық тордың периодымен анықталады.

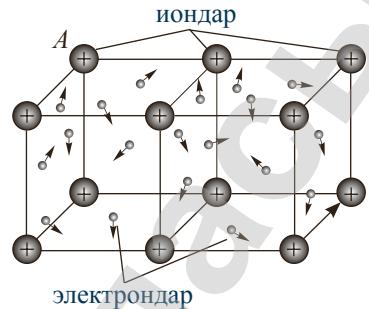
Откізгіштегі ток күші электрондардың дрейф жылдамдығына тәуелді (§ 36):

$$I = |e|nSv_{dp} \quad (1)$$

және металдардағы токтың тығыздығы:

$$j = |e|nv_{dp}.$$

- Электр тогының тізбек бойымен жоғары жылдамдықта таралуы электромагниттік өрістің таралу жылдамдығына пара-пар, ол жарық жылдамдығына тең болады $3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$
- Электрондар иондармен серпімді соқтығысқанда электр өрісінде жинаған энергияларын иондарга толығымен береді. Бөлінген жылу энергиясының теориялық есептеу Джоуль – Ленц заңына негізделеді.



225-сурет. Металдардағы еркін электрондар «электронды газ» түзеді. Еркін электрондардың концентрациясы шамамен $10^{28} - 10^{29} \text{ м}^{-3}$. Атмосферадағы ауа молекулалары шамамен 10^{25} м^{-3}



Тапсырма

Токтың тығыздығын есептеу формуласын қолдана отырып, металдардағы токтың тығыздығының максимал мәні кезіндегі $j = 10^7 \text{ А/м}^2$, электрон дрейфтерінің жылдамдығы шамамен 1 мм/с болатынын дәлелдендер.

III Өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі

Тәжірибе жүзінде меншікті кедергі мен температура арасындағы тұра тәуелділік бар екендігі анықталған (226-сурет):

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t),$$

мұндағы ρ_0 – температура 0 °C болғандагы өткізгіштің меншікті кедергісі, α – кедергісінің температуралық коэффициенті, Δt – температураның 0 °C-ге қатысты өзгеруі.

Кедергінің температуралық коэффициенті – өткізгішті 1 K-ге қызыдырғанда оның кедергісінің қалай өзгеретінін көрсететін физикалық шама.

ХБЖ бойынша кедергінің температуралық коэффициентінің өлшем бірлігі: $[\alpha] = 1 K^{-1}$.

$R = \rho \frac{l}{S}$ болғандықтан, өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі мына түрде болады:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t).$$

IV Асқыноткізгіштік құбылысы

Кейбір металдардың температурасы абсолют нөлге жақындаған кезде, олардың кедергісі бірден нөлге дейін төмендейді, мысалы, сынап үшін бұл температура 4,2 K болады (227-сурет). Өткізгіштің электр кедергісі нөлге жақындаудың асқыноткізгіштік деңгейі. Асқыноткізгіштік жағдайындағы заттар асқыноткізгіш деңгей атау алды. Асқыноткізгіштік құбылысын 1911 жылы дат ғалымы Хейк Камерлин-ОНнес ашты.

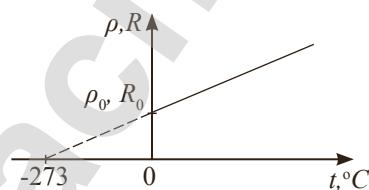
1957 жылы америкалық ғалымдар Л.Купер, Дж.Бардин және Дж.Шриффер тұжырымдаған асқыноткізгіштік теориясында мынадай болжам жасалады: электрондар асқыноткізгіште «купер жұптарын» құрады, олар электр өрісі әсерінен кристалдық тор арқылы кедергісіз орын ауыстыруға қабілетті ері кернеу түскеннен кейін де ток өтеді.

Ғалымдар асқыноткізгіштік құбылысын зерттей келе асқыноткізгіштік тогы беткі қабатта болып табылатынын анықтады. 1986 жылы жоғарғы температурадағы асқыноткізгіштер алынды, температура 100 K болғанда лантан мен барийдің оксидтік қосылыстары асқыноткізгішке айналатыны байқалды.

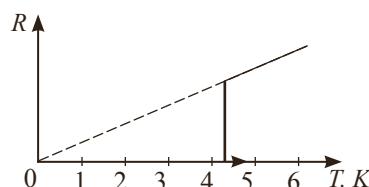
Сонғы он жылда америкалық зерттеушілердің жоғары температурадағы асқыноткізгіштерді алу жұмысында айтарлықтай ілгерілеу байқалады. 254 K (-19 °C) температурада таллий негізінде синтезделген күрделі химиялық қоспадан асқыноткізгіштік эффектісі бар үлдірлер алынды. Асқыноткізгіштің дәстүрлі емес эффектісі сондай-ақ темір арсенид мен мыс оксидінің қоспаларынан байқалды.

Жауабы қандай?

Не себепті металл өткізгіш кедергісінің тәуелділік графигі мен менишікті кедергінің температураға тәуелділік графигі арасында айырмашылық жоқ?



226-сурет. Металдың менишікті кедергісінің температураға тәуелділік графигі



227-сурет. Сынап 4,2 K төмен температурада асқыноткізгіштік деңгейі

Жоғары температурадағы асқынөткізгіш үлдірлерді алу энергия үнемдегіш электроникалардың жаңа класының шығуына алып келуі мүмкін. Қазіргі кезде асқынөткізгіштерді МГД (магнитті гидродинамикалық) генераторларға және элементар бөлшектерді үдептіштерге арналған қуатты электромагниттерді дайындау үшін пайдаланады. Мұндай қондырылғыларды сұйық гелиймен үнемі салқындастып отыру қажеттілігі оларды тасымалдауда киындық тудырады.

Бұл қызық!

Магниттік левитация деп аталған құбылышқа ғалымдар қызығушылық танытуда. 2013 жылы Тель-Авив университетті және Фылыми-техникалық орталықтар ассоциациясы (ASTC) асқынөткізгіштер мен тұрақты магниттердің әсерлесуін зерттеу мақсатымен бірқатар жұмыстар жүргізді. Асқынөткізгіш ретінде шыны немесе жақұт тәсемге жағылған иттрий-барий-мыс оксиді ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$) алынды. Асқынөткізгіштің қалыңдығы 1 мкм болды. Оны температурасы -185°C сұйық азотқа батыру жолымен асқынөткізгішке айналдырады. Асқынөткізгіштің қозғалысы және тұрақты магнитпен әрекеттесуі нәтижесінде асқынөткізгіште индукциялық ток және оның әсерінен магнит өрісі пайда болады. Ол асқынөткізгішке кеңістікте өз орнын сақтап қалуға мүмкіндік береді (228-сурет).



228-сурет. Асқынөткізгіштің тұрақты магниттен жасалған рельстермен әрекеттесуі

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Мыс өткізгіш арқылы тығыздығы $j = 1 \text{ A/mm}^2$ ток өтеді. Мыстың әр атомына бір еркін электроннан келеді деп алып, $l_0 = 10 \text{ см}$ орын ауыстырған электронның жүрген жолының ұзындығын есептөндөр. Мыстың тығыздығы $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/m}^3$, мыстың мольдік массасы $M = 0,064 \text{ кг/моль}$. Өткізгіштің температурасы $t = 27^{\circ}\text{C}$.

Берілгені:

$$\begin{aligned} j &= 1 \text{ A/mm}^2 \\ l_0 &= 0,01 \text{ м} \\ \rho &= 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/m}^3 \\ M &= 0,064 \text{ кг/моль} \\ T &= 300 \text{ K} \\ L - ? \end{aligned}$$

ХБЖ
 $10^6 \frac{\text{A}}{\text{м}^2}$

Шешуі:

Токтың тығыздығы $j = |e|n v_{\partial p}$, онда электронның l_0 қашықтыққа орын ауыстыру уақыты $\Delta t = \frac{l_0}{v_{\partial p}} = \frac{l_0 |e| n}{j}$ болады.

Металдағы электрондардың бейберекет жылулық

$$\text{қозғалысының жылдамдығы: } v = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}.$$

Электрондардың концентрациясы: $n = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{M V} = \frac{\rho}{M} N_A$.

$$\text{Жолдың ұзындығы } L = v \Delta t = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}} \cdot \frac{l_0 |e| \rho N_A}{M j}.$$

$$\text{Есептеулер жүргіземіз: } L = \left[\sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot K}{K \cdot \text{кг}}} \cdot \frac{m \cdot K\lambda \cdot \text{кг} \cdot \text{моль} \cdot m^2}{m^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{кг} \cdot A} \right] = \left[\frac{m \cdot K\lambda}{c \cdot A} \right] = [m].$$

Сандық мәнін анықтаймыз:

$$L = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \cdot \frac{0,01 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{0,064 \cdot 10^6} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ м}$$

Жауабы: $1,5 \cdot 10^9 \text{ м}$.

Бақылау сұрақтары

- Металдарда зарядтарды қандай бөлшектер тасымалдайды?
- Друде – Лоренц электрондық теориясының негізгі күйін атаңдар.
- Өткізгіштің кедергісі температураға қалай тәуелді?
- Кедергінің температуралық коэффициенті дегеніміз не?
- Қандай құбылыс асқынөткізгіштің деген атқа ие болды?

Жаттығу

41

- Ұзындығы $l = 1 \text{ м}$ түзу өткізгіш арқылы $I = 10 \text{ А}$ ток өтеді. Өткізгіштегі электрондардың импульстерінің қосындысының орташа мәнін анықтандар. Электрон заряды $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, массасы $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.
- Егер әрбір атомға бір еркін электроннан келеді деп есептесек, ток тығыздығы $j = 1 \text{ А}/\text{мм}^2$ кезінде мыс өткізгіштің бойымен бағытталған электрондардың қозғалысының орташа жылдамдығын анықтандар.
- Ток күші $I = 1 \text{ А}$ кезінде көлденен қимасы $S = 1 \text{ мм}^2$ никелиннен жасалған өткізгіштегі электр өрісінің кернеулігі қандай?
- Вольфрам сымының температуралары $t = 0^\circ\text{C}$ және $t = 2400^\circ\text{C}$ кезіндегі кедергілерінің қатынастарын есептendir.
- Кернеуі бар алюминий сымнан жасалған шарғыны еріп жатқан мұзға батырганда ондағы ток күші $I_1 = 29 \text{ mA}$, ал қайнап жатқан суға батырганда ток күші $I_2 = 20 \text{ mA}$. Алюминий кедергісінің температуралық коэффициентін анықтандар.
- Температурасы 0°C -ден 20°C -ге өзгерген кезде орамы мыс сымнан жасалған электромагниттің тұтынатын қуаты қанша процентке өзгереді?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар (тандау бойынша):

- БКШ (Дж.Бардин, Л.Купер және Дж.Шриффер) теориясы.
- Жоғары температуралы асқынөткізгіштер.
- Асқынөткізгіштердің қолданылуы.

§ 42. Жартылай өткізгіштегі электр тогы. Жартылай өткізгіш құралдар

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ишергенде:

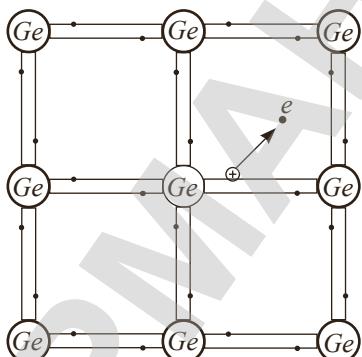
- жартылай өткізгіштердегі электр тогын сипаттауды және жартылай өткізгіш құралдарды қолдануды түсіндіре аласыңдар.

15-кесте. Заттың менишкіті кедегісі

Зат	Менишкіті кедегі (реті)
Өткізгіш	10^{-7} Ом·м
Жартылай өткізгіш	10^{-5} Ом·м-ден 10^8 Ом·м-ге дейін
Диэлектрик	10^8 Ом·м

Назар аударыңдар!

Менишкіті өткізгіштікте бос электрондар мен кемтіктердің саны бірдей.



229-сурет. Жартылай өткізгіштердегі заряд тасымалдаушылар: еркін электрондар мен кемтіктер

I Жартылай өткізгіштер.

Жартылай өткізгіштердегі заряд тасымалдаушылар. Меншкіті өткізгіштік

Жартылай өткізгіш – өткізгіштің жағынан өткізгіштер мен диэлектриктердің арасынан орын алатын зат. Оның өткізгіштерден ерекшелігі: жартылай өткізгіштің қоспалардың концентрациясына, температурага, сәулелену түрлерінің әсеріне аса тәуелді болуы. Жартылай өткізгіштердің қарапайым түрлері – германий, селен, кремний.

Бөлме температурасында жартылай өткізгіштегі еркін электрондар саны аз ғана болады. Электрондардың жартылай өткізгіштегі қозғалысы олардың металдардағы қозғалысына ұқсас болады: электр өрісі жоқ кезде электрондар бейберекет қозғалады, ал сыртқы өріс бар кезде ретсіз қозғалыспен қатар, бағытталған қозғалыс та пайда болады. Еркін электрондардың өткізгіштігін электронды өткізгіштік немесе *n-типті* өткізгіштік деп атайды: (*negativ* – теріс).

Бағытталған қозғалыска бос электрондардан басқа өзара байланысқан электрондар да катысады. Германий атомдары арасындағы электрондық байланыстың жазық сұлбасын қарастырайық (229-сурет). Суретте атомдардың электрондық байланысы сызықтармен бейнеленген. Германий атомы ядроның айналасында төрт сыртқы электрон бар, олардың әрқайсысы көрші атомдардың электрондарымен жүптық байланыс орнатады. Егер электрон еркін электронға айналса, онда бұл бұрынғы байланыс аумағында оң зарядтың пайда болуымен пара-пар болады, оны *кемтік* деп атайды. Көршілес байланыс сызығынан электрон ауысуы негізінде үзілген байланыс қалпына келуі мүмкін, онда басқа атомдардың байланыс сызығында *кемтік* пайда болады. Байланысқан электрондар қозғалысына негізделген кемтік қозғалысы электр өрісі бар кезде бағытталған және электрондар қозғалысына қарсы бағытта болады. Кемтіктердің орын ауыстыруына байланысты өткізгіштікті *p-типті* кемтік өткізгіштік (*positive* – оң, жағымды) деп атайды. Осылайша, еркін электрондар мен кемтіктер жартылай өткізгіштегі заряд тасымалдаушылар болып табылады.

Электронды-кемтіктік өткізгіштікті жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі деп атайды.

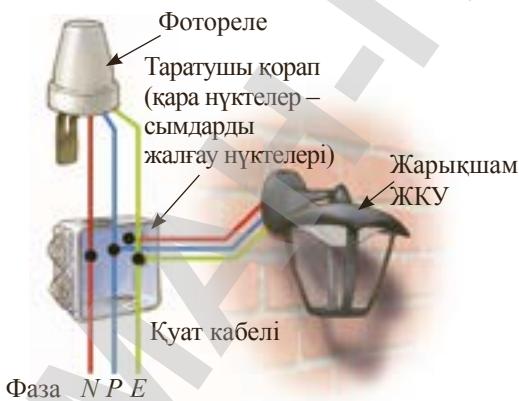
II Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігінің температура мен жарыққа тәуелділігі. Термисторлар мен фоторезисторлар

Термистор – кедегісі температураға тәуелді жартылай өткізгішті резистор.

Термистор – термометрдің қабылдау бөлігі. Жартылай өткізгіштік термометрдің артықшылығы: өлшемі миллиметрдің 1/10 бөлігін құрайтын термистор өзінің сезімталдығын сақтайды (230-сурет), ол сұйықтық термометрін қолдануға болмайтын кішкентай денелердің температурасын өлшеуге мүмкіндік береді. Термистормен Кельвиннің миллиондық үлесіндей температура өзгерісін анықтауға болады.

Жартылай өткізгіштердің өткізгіштігінің жарыққа тәуелділігі фоторезисторда, қолдану әлең тізбегін автоматты түрде басқаруға мүмкіндік берді. 231-суретте көшени жарықтандыруды автоматты түрде қосуға арналған фоторезисторлы тізбектің сұлбасы бейнеленген.

Фоторезистор – кедегісі жарықтандыруға тәуелді жартылай өткізгіш резистор.



231-сурет. Фоторезистордың көшени жарықтандыру тізбегіне жалғану сұлбасы

III Жартылай өткізгіштердің қоспалы өткізгіштігі

Егер қоспалар Менделеев кестесінің V, VI немесе VII тобына жататын болса, онда олар жартылай өткізгішті еркін электрондармен байытады. Мұндай қоспалар

Жауабы қандай?

Қоршаған ортандың жарықтануы мен температурасы жоғарылаған сәтте неліктен жартылай өткізгіштің өткізгіштігі артады?



230-сурет. Датчигі бар термистор

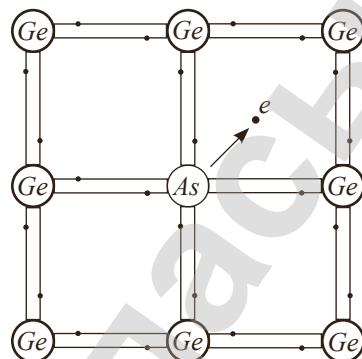
Жауабы қандай?

Көшени жарықтандыруды фоторезистор қалай реттейді?

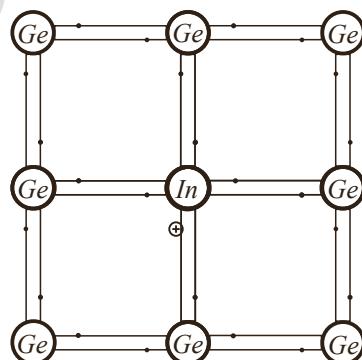
донорлық деп, ал жартылай өткізгіштер электрондық немесе *n*-тиpti деп аталады. Германий атомдары мен бес валентті күшала (мышьяк) арасындағы электрондық байланыс сұлбасын қарастырайық (232-сурет). Күшала атомының төрт электроны германий атомдарының электрондарымен байланыс жасайды да, бесіншісі еркін электронга айналады. *n*-тиpti жартылай өткізгіштер электрондық өткізгіштікке ие болады. Температура төмөндегендеге және жарықтандыру әлсіз болған жағдайда қоспалы өткізгіштік мешікті өткізгіштікten ондаган, жұз мындаған есе асып кетеді.

Менделеев кестесінің I, II және III тобындағы заттардың қоспасы бар жартылай өткізгіште кемтіктік өткізгіштік қасиет басым болады. Жұлпық электрондық байланыстар түзілгенде бұл топтардың элементтерінде кемтік пайда болады, өйткені олардың валентті электрондарының саны жартылай өткізгіштерге қарағанда аз болады. Мұндай қоспаларды акцепторлық, ал жартылай өткізгіштерді кемтіктік немесе *p*-тиpti деп атайды. 233-суретте германий атомдарының уш валентті индий атомымен байланыс сұлбасы бейнеленген. Индийдің уш электроны германийдің көршілес уш атомымен жүртүк байланыстар орнатады, төртінші атоммен электрондық байланыста кемтік пайда болады. Акцепторлы қоспасы бар жартылай өткізгіштің негізгі өткізгіштікі кемтіктік болып саналады.

Қоспалы өткізгіштік – акцепторлық және донорлық қоспасы бар жартылай өткізгіштегі өткізгіштік қасиеті.



232-сурет. *n*-тиpti жартылай өткізгіштік

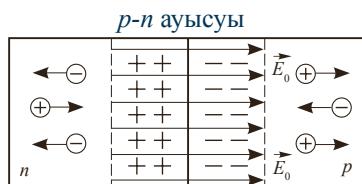


233-сурет. *p*-тиpti жартылай өткізгіштік

IV Жартылай өткізгішті диод

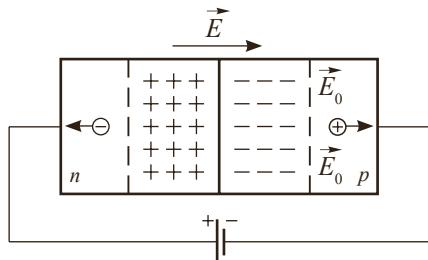
p-тиpti және *n*-тиpti екі жартылай өткізгіштің байланыстарын қарастырайық. Диффузия нәтижесінде *n*-тиpti жартылай өткізгіштің шеткі қабаты он зарядталады, *p*-тиpti жартылай өткізгіштің шеткі қабаты теріс зарядталады, осылайша, *p-n* ауысуы пайда болады (234-сурет). *p-n* ауысуынан пайда болған E_0 өрісі негізгі заряд тасымалдаушылардың қозғалысына кедергі келтіреді.

Пайда болған шекаралық қабатты жапқыш қабат деп атайды. Ол жартылай өткізгішті диодтың негізгі бөлігі, оның тек біржақты өткізгіштік қасиеті болады. Жартылай өткізгіштерге ток көзін жалғаймыз: он полюсі *n*-тиpti жартылай өткізгішке, теріс полюсі

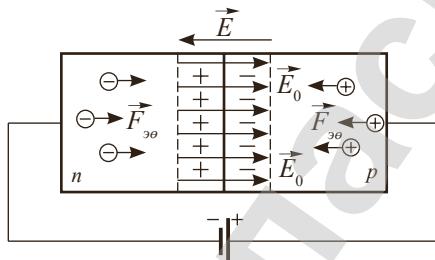


234-сурет. *p-n* ауысуы

p-типті теріс полюске жалғанады (235-сурет). Сыртқы өрістің кернеулігі *p-n* аудису өрісінің кернеулігімен сәйкес келгенде, жапқыш қабат кеңейеді және оның кедергісі өседі.



235-сурет. *p-n* аудисудағы кері қосылу

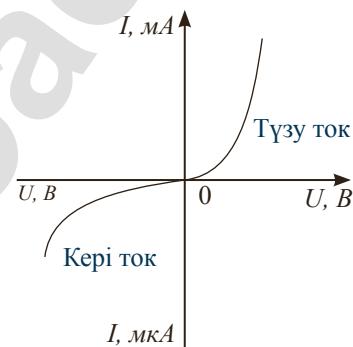


236-сурет. *p-n* аудисуының тұра қосылуы

Ток көзінің полюстерін аудистырамыз, сол кезде сыртқы өрістің кернеулігі *p-n* аудису өрісінің бағытына қарсы бағытталатын болады (236-сурет). Жапқыш қабат жүқкарады немесе толығымен жоғалып кетеді, *p-n* аудисуының кедергісі азаяды. Жартылай өткізгіш арқылы негізгі ток тасымалдаушылардың бағытталған қозғалысынан туындайтын ток көбейеді. Ток көзінің *p-n* аудисуына тұра және кері қосылуы кезінде вольт-амперлік сипаттама 237-суретте берілген. *p*-типті және *n*-типті жарықтыйлай өткізгіштердің түйісуі диодтың негізгі бөлігі болып табылады, жартылай өткізгішті диод 238-суретте сұлба түрінде бейнеленген.

V Жарықдиодты шам

Жарықдиодты жарық шамы тұрақты токтың қуат беру блогына орнатылған цокольдан, драйверден – аса қуатты жарықдиодты арнайы жобаланған тақтадан және шашыратқыштан тұрады (239-сурет). Жарықдиод – электр энергиясы *көрінетін сәулеленуге айналатын p-n аудисуы*. Яғни жарықдиодты шамның негізгі бөлігі – өлшемі 160x550x80 мкм болатын жартылай өткізгіш чип. Тақта радиаторға – жылу берілісін арттыруға арналған алюминий корпусқа орнатылған. Шамның жарығын шашыратқышқа жағылған люминофор арттырады. Шамның кернеуі 12 В және 220 В аралығында болатын түрлі нұсқалары бар. Жарықдиодты шамның электр энергиясын тұтыну кәдімгі шамнан 5–10 есе үнемді.



237-сурет. *p-n* аудисуына арналған вольт-амперлік сипаттама



238-сурет. Диодтың сұлбада бейнеленуі



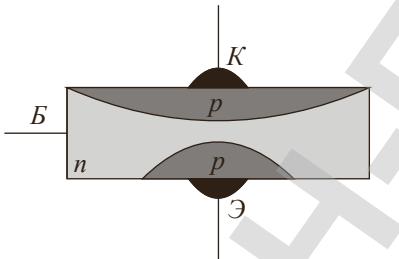
Шашыратқыш
Жарықдиод СОВ
Драйвер
Радиатор
Цоколь Е27

239-сурет. Жарықдиодты жарық шамы

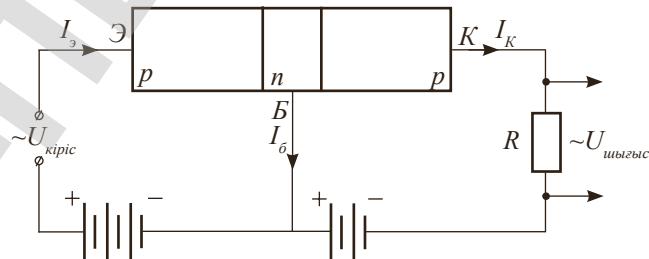
VI Транзистордағы күшейткіш

Екі p - n ауысу бар жартылай өткізгіш құралдарды транзисторлар деп атайды (240-сурет). Олар p - n - p және n - p - n түрінде болуы мүмкін. p - n - p транзисторының дайындау үшін p -типті жартылай өткізгіштен жасалған пластина қажет, оны Б база деп атайды. Пластинаға n -типті жартылай өткізгіштен жасалған екі бөлікті жапсырады (241-сурет), мұндай жағдайда Э эмиттеріне қарағанда К коллекторының ауданы үлкен болады. Екі ауысу да жапқыш қабаттың жұмысын реттейтін тұрақты көзіне жалғанады (242-сурет). «Эмиттер – база» ауысуы тұра, «база – коллектор» ауысуы кері ток болады. Негізгі тасымалдаушылар бірінші ауысада эмиттер тогын тудырады. Базаға өткен кемтіктер екінші ауысу үшін негізгі емес тасымалдаушылар болып табылады және одан кедергісіз өтеді. Осылайша коллектор тогы I_k тек қана эмиттер тогына I_ϑ тәуелді және коллектор тізбегіндегі R кедергіге тәуелді емес: $I_k = I_\vartheta - I_b$.

Коллектор тізбегіне үлкен кедергілі резисторды жалғап, жоғары кернеулі сигнал алуға болады:
 $U_{\text{шығыс}} = I_k R$.



241-сурет. p - n - p түріндегі транзистор

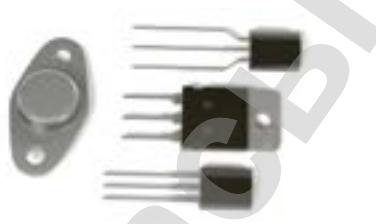


242-сурет. Транзистор шығыстарына ток көздерін қосу



Жауабы қандай?

1. Температура тәмен болғанда, жартылай өткізгіштерде неліктен қоспалы өткізгіштік басым болады, ал жоғары температурада меншікті өткізгіштік басым болады?
2. Кернеудің мәні бірдей болғанда, неліктен p - n ауысуында тұра ток кері токтан артық болады?
3. Неліктен коллектордағы ток коллектор-базаның тізбегіндегі кедергіге тәуелді емес?



240-сурет. Транзисторлар

Бақылау сұрақтары

1. Жартылай өткізгішке қандай заттар жатады?
2. Жартылай өткізгіштің меншікті өткізгіштігі деген не?
3. Жартылай өткізгіштің кедергісі қыздырған кезде қалай өзгереді? Жарықтан-дыштың кезде ше?
4. Қандай өткізгіштік қоспалы деп атайды?
5. Қандай қоспаларды донорлық, деп атайды? Акцепторлық, деп қайсыларын атайды?
6. $p-n$ аудионың қандай қасиеттері бар?
7. Транзистордың құрылышы қандай?



Жаттығу

42

1. Бөлме температурасында германийдің өткізгіш электрондарының концентрациясы $n = 3 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Өткізгіш электрондарының саны атомдардың жалпы санының қандай бөлігін құрайды? Германийдің тығыздығы $\rho = 5400 \text{ кг}/\text{м}^3$, мольдік массасы $\mu = 0,073 \text{ кг}/\text{моль}$.
2. Температура 20°C болғанда, германийдің өткізгіштік электрондарының концентрациясы 10^{14} см^{-3} . Оның атомдарының қандай бөлігі иондалған? Иондалу кезінде орта есеппен атомның валентті электронының біреуі ғана жоғалады деп санандар.
3. «Кемтіктік» концентрациясы $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ болуы үшін алюминийдің кремниймен қоспасындағы (массасы %-пен) меншікті құрамы қандай болу керек? Алюминийдің әрбір атомы «кемтіктердің» түзілуіне қатысады деп алындар.
4. Өзара тізбектей жалғанған 1 кОм кедергісі бар реостат пен термистордан тұратын тізбектің ұшына 20 В кернеу берілді. Бөлме температурасында тізбектегі ток күші 5 мА болды. Термисторды ыстық суға батырғанда, ток күшінің мәні 10 мА болды. Термистордың кедергісі неше есе өзгерді?
5. Қаранғыда кедергісі 25 кОм болатын фоторезистор кедергісі 5 кОм болатын резистормен тізбектей жалғанған. Фоторезисторды жарықтан-дыштың кезде, кернеудің сол мәнінде тізбектегі ток күші 4 есе артты. Фоторезистордың кедергісі неше есе кеміді?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың бірінен хабарлама дайындаңдар:

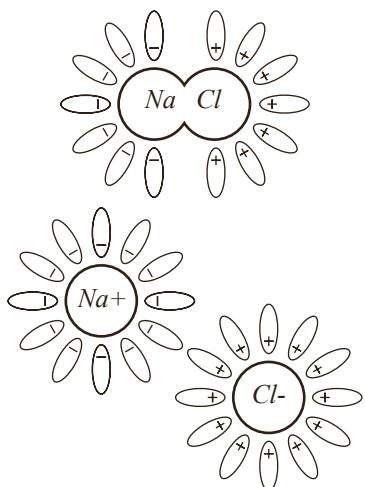
1. Жартылай өткізгіштердің жарық техникасында қолданылуы.
2. Транзисторлардағы үдеткіштердің түрлері мен олардың қолданылуы.
3. Қазақстандағы жарық техникасы мен радиоэлектроника.

§ 43. Электролиттердің балқытпасы мен ерітіндісіндегі электр тогы. Электролиз зандары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ишергенде:

- электролиттегі электр тогын сипаттауды және есеп шығаруда электролиз зандарын қолдануды изересіндер.



243-сурет. Электролиттік диссоциация

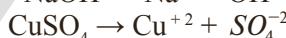
I Электролиттердегі заряд тасымалдаушылар

Күрьымы бойынша электролиттер мен су молекулалары полярлы болады. Қышқыл, сілті мен тұз молекулаларының иондары арасындағы байланыс су молекулаларының ортасында әлсірейді. Жылулық қозғалыс әсерінен молекулалар иондарға ыдырап кетеді де, электролиттік диссоциация жүреді (243-сурет).

Естеріңе түсіріндер!

Электролиттер – судағы ерітінділері мен балқытпалары өткігіш болып табылатын заттар.

Электролиттік диссоциация – еріткіш әсерінен молекулалардың иондарға ыдырауы.



Анод пен катод арасында пайда болған электр өрісінің әсерінен электролитте иондардың бағытталған қозғалысы жүреді, электр тогы түзіледі (244-сурет).

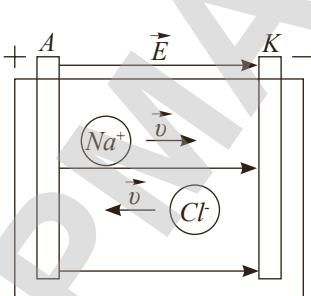
Молекулалардың иондарға ыдырауы заттардың қатты қызған кезінде де жүреді. Диссоциация дәрежесі немесе молекулының ыдырау үлесі температурага тәуелді болады.

Диссоциация дәрежесі – молекулалардың қанша бөлігінің иондарға ыдырағанын көрсететін физикалық шама.

$$\alpha = \frac{N_i}{N},$$

мұндағы α – диссоциация дәрежесі; N_i – иондарға ыдыраған молекулалардың саны; N – ерітіндідегі электролит молекулаларының саны.

Ерітіндідегі диссоциациямен катар, он иондардың теріс иондармен соқтығысы кезінде молекулаларды қалпына келтіретін кері процесс жүреді.



244-сурет. Зарядталған бөлшектердің сыртқы өріс әсерінен бағытталған қозғалысқа тууси

Рекомбинация – иондардың бейтарап молекулаларға бірігу процесі.

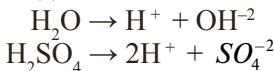
II Электродтарда жүретін процестер.

Электролиз

Электролиттердің түріне байланысты электродтарда түрлі процестер жүреді:

- Судың сутек мен оттекке ыдырауы. Электр тогы әсерінен күкірт қышқылының судагы ерітіндісі арқылы катодта газ тәрізді сутектің, анодта оттектің бөлініү жүзеге асады.

Диссоциация нәтижесінде ерітіндіде H^+ сутек иондары мен OH^- гидроксил және SO_4^{2-} сульфат (245-сурет) түзіледі.



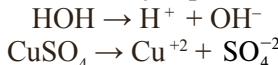
Сутек иондары катодқа бағытталып, теріс ионмен бірігіп, бейтарап болады және сутегінің молекулаларына айналады: $4H^+ + 4e = 2H \uparrow$.

Гидроксидлік иондары анодқа артық электрондарын береді және бейтарап болып, су мен оттегінің молекулаларын құрайды: $4OH \rightarrow 2H_2O + O_2 \uparrow$

Электролиттер ерітіндісінде металдағы процеске ұқсас процестер жүреді. Сутектің он иондары катод электрондарын тартады, гидроксидлік теріс иондары анодқа артық электрондарын береді. Тура осылай металда еркін электрондар зарядтарды ток көзінің теріс полюсінен он полюсіне ауыстырады. Сүйкі өткізгіште ток үшін Ом заны орындалады. Токтың электролит арқылы өтуі кезінде қышқылдық-қалпына келтіру реакциясы нәтижесінде электродтарда таза заттар түзіледі, бұл процесс электролиз деп аталады.

Электролиз – электролит арқылы ток өткен кезде электродтарда таза заттың түзілу құбылысы.

- Гальваностегия. Егер тотияйынды $CuSO_4$ суда ерітсе, онда ерітіндіде сутегінің H^+ , гидроксидлік OH^- , мыстың Cu^{+2} және сульфаттың SO_4^{2-} иондары пайда болады:

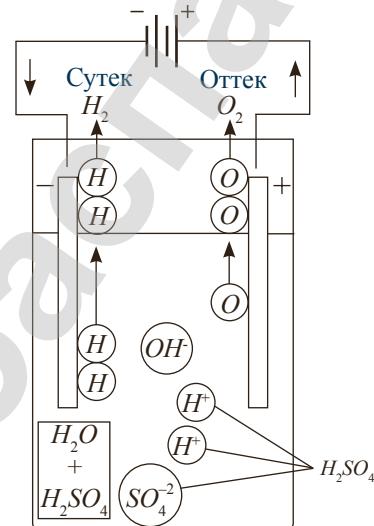


Гидроксил иондары анодта оттек түзеді, сутек иондары катодта бейтарап сутекке айналады, ал мыстың иондары бейтарап болып, катодта тұрақтайты (246-сурет). Катод таза металл қабатымен жабылады.

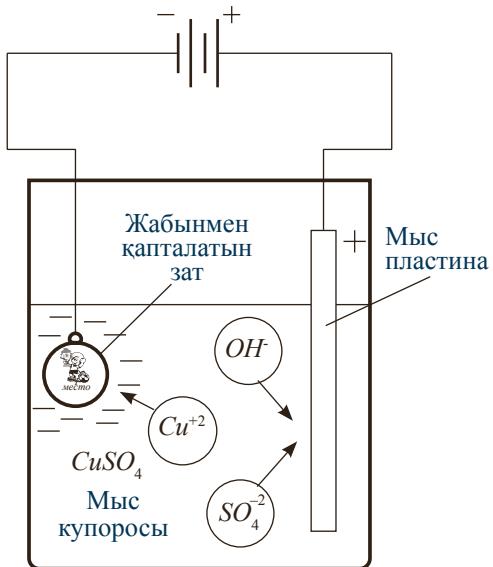
Гальваностегия – металл бұйымға басқа металдан қорғаныш немесе декоративті қабат қаптаудың электрохимиялық процесі.

Есте сақтанадар!

Оң және теріс иондар электролиттегі заряд тасымалдаушылар болып табылады.



245-сурет. Судың сутегі мен оттегіне ыдырауы



246-сурет. Гальваностегия – бұйымды металл қабатымен жасу



247-сурет. «Алтын адам» отандық алтын жасалатылған кәдесый. Алматы қ.

Гальваностегияны бұйымға декоративті немесе коррозияға қарсы жасау үшін қолданады (247-сурет). Бұйымды никельмен немесе хроммен, алтынмен немесе мыспен қаптағанда, катод – бұйымның өзі, ал анод таза металдың пластинасы болады. Электролит ретінде осы металдың тұз ерітіндісін қолданады. Ерітіндідегі металл иондарының кемуіне сәйкес SO_4^{2-} сульфаттың теріс иондары анодпен реакцияға түседі, анод еріп кетеді де, катод жабынының қалындығы артады. 248-суретте бұйымды мыспен жабуға арналған гальваникалық ванна көрсетілген.



248-сурет. Бұйымды мыспен қаптауга арналған ванна

III Фарадейдің бірінші заңы.

Электрохимиялық эквивалент

М.Фарадей 1834 жылы токтың тұрақты мәнінде, бірдей уақыт аралығында катодта химиялық элементтердің бірдей массалары бөлінетінін байқады. Фарадей заттың электрохимиялық эквиваленті түсінігін енгізді:

$$k = \frac{m}{q} \quad (1)$$

Электрохимиялық эквивалент – электролит арқылы бірлік заряд өткенде электродта заттың қандай массасы бөлінетінін көрсететін физикалық шама.

ХБЖ бойынша электрохимиялық эквиваленттің өлшем бірлігі:

$$[k] = \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}.$$

Фарадей өзінің ашқан жаңалықтарын заң түрінде тұжырымдады. Фарадейдің бірінші заңы:

Электролиз кезінде бөлінген заттардың массасы ерітінді арқылы өткен зарядқа тұра пропорционал.

16-кесте. $I = \text{const}$, $t = \text{const}$,

$q = I \cdot t$ болғандагы

М.Фарадей тәжірибесінің нәтижесі

Зат	Масса, г
Мыс	0,000329 г
Құміс	0,001118 г
Сутегі	0,00001 г

17-кесте. Электрохимиялық эквиваленттер кестесі

Зат	Электрохимиялық эквивалент, кг/Кл
Мыс	$3,29 \cdot 10^{-7}$
Құміс	$1,118 \cdot 10^{-6}$
Сутегі	10^{-8}

$$m = kq. \quad (2)$$

Зарядтың ток күшімен $q = It$ байланысы арқылы Фарадейдің бірінші заңы мынадай түрге келтіріледі:

$$m = kIt. \quad (3)$$

IV Фарадейдің екінші заңы

Фарадейдің екінші заңы заттардың электрохимиялық және химиялық эквивалентте-рінің арасында байланыс орнатады. Оны Фарадей тәжірибе барысында тұжырымдады. Шамалардың арасына теория жүзінде байланыс орнатайык. (1) формулаға белгілі формулаларды қоямыз:

$$m = m_0 N = \frac{M}{N_A} N \text{ және } q = n|e| N,$$

мұндағы N_A – Авогадро саны, N – электродқа тұнған иондар саны, $m_0 = \frac{M}{N_A}$ – бір ионның

массасы, n – ионның валенттілігі, $|e|$ – элементар заряд, нәтижесінде мынадай өрнек аламыз:

$$k = \frac{MN}{N_A n |e| N} = \frac{M}{N_A |e| n}. \quad (4)$$

(4) өрнектегі $\frac{M}{n}$ қатынасы заттың химиялық эквиваленті болып табылады. Электрохимиялық және химиялық эквиваленттің пропорционал коэффициенттері өзара тең болады:

$$\frac{1}{N_A |e|} = \frac{1}{F},$$

мұндағы F – Фарадей тұрақтысы, оның мәні:

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{молب}}.$$

Фарадейдің екінші заңының математикалық өрнегі мына түрге келеді:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}. \quad (5)$$

Заттардың электрохимиялық эквиваленттері олардың химиялық эквиваленттеріне тұра пропорционал.

Бақылау сұрақтары

- Қандай заттарды электролиттер деп атайды?
- Электролиттік диссоциация деген не? Электролиз, рекомбинация деген не?
- Қандай бөлшектер электролиттердегі зарядталған бөліктерді тасымалдаушылар болып табылады?
- Диссоциация дәрежесі нені көрсетеді?
- Электролиз зандарын тұжырымдаңдар.
- Электрохимиялық эквивалент нені білдіреді?



Жаттығу

43

- AgNO_3 және CuSO_4 ерітінділері бар екі электролиттік ванна тізбектей жалғанған. Массасы $m_1 = 180$ г болатын күміс бөлінген уақыт аралығында мыстың қандай массасы m_2 бөлінеді?
- $t = 5$ мин уақыт аралығында $I = 2,5$ А токты күкіртқышқылды мырыштың ерітіндісі арқылы өткізгендеге, екі валентті мырыштың қанша атомы бөлініп шыгады? Мырыштың электрохимиялық эквивалентін қосымшадағы 15-кесте бойынша анықтаңдар.
- Бүйімды никелдеу барысында ток күші алғашкы $t_1 = 15$ мин уақыт аралығында нөлден $I_{\max} = 5$ А-ге дейін бірқалыпты ұлғаяды, содан кейін $t_2 = 1$ сағ уақыт аралығында тұрақты болып қалды, соңғы $t_3 = 15$ мин аралығында нөлге дейін төмендейді. Бөлінген никельдің массасын анықтаңдар. Никельдің электрохимиялық эквивалентін қосымшадағы 15-кесте бойынша анықтаңдар.
- Токтың тығыздығы $j = 0,15$ А/дм² болғанда NiSO_4 ерітіндісі электролизденді. $t = 2$ мин уақыт өткенде катод бетінің $S = 1$ см² ауданында никель атомының қанша мөлшері бөлінді? Никельдің электрохимиялық эквивалентін қосымшадағы 15-кесте бойынша анықтаңдар.
- Пластиинаның ауданы $S = 25$ см², токтың тығыздығы $j = 200$ А/дм². Тоти-яйын электролизі кезінде мыс пластиинаның (катодтың) массасы қандай уақыт аралығында $\Delta m = 99$ г болып ұлғаяды? Пластиинада пайда болған мыс қабатының тығыздығын анықтаңдар.

§ 44. Газдардағы электр тогы. Вакуумдағы электр тогы. Электронды-сәулелік тұтікше

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ішергендегі:

- газдардағы және вакуумдағы электр тогын сипаттауды;
- электронды-сәулелік тұтікшенің жұмыс істеу принципін және оны қолдануды үйренесіңдер.



Есте сақтаңдар!

Газдардағы заряд тасымалдаушылар он және теріс ион және еркін электрондар болады.

I Газдардағы заряд тасымалдаушылар

Қалыпты жағдайларда газ дизлектрик болып табылады, ол бейтарап молекулалар немесе атомдардан тұрады. Жылулық, ультракүлгін, рентген және радиоактивті сәулеленулер арқылы иондалған газ өткізішке айналады.

Газ молекулалары бір немесе бірнеше электронын жоғалтып, он иондарға айналады. Бейтарап молекулармен соқтығысқан кезде еркін электрондар теріс иондар түзеді. Газдарда иондалумен бірге бір мезгілде рекомбинация жүреді: электрондар он зарядталған иондармен соқтығысқанда бейтарап молекулалар түзіледі.

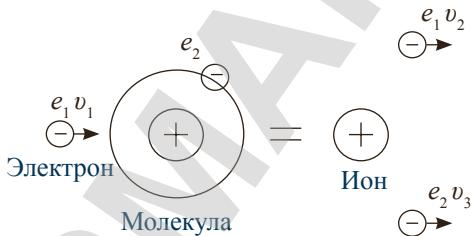
Сыртқы электр өрісі бар болған жағдайда, жылулық қозғалыспен қатар, иондалған газда ток пайда болады. Теріс иондар және электрондар электр өрісінің кернеулік векторының бағытына қарсы бағытталады, он иондар кернеулік векторының бағыты бойынша қозгалады.

II Соққы иондалу

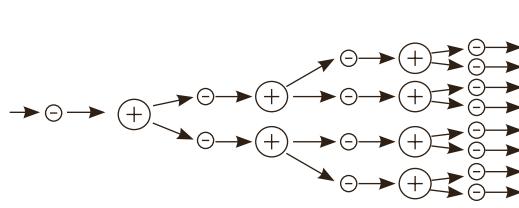
Электр өрісінің 10^3 В/м және 10^5 В/м аралығындағы жоғары кернеулігінде электрондар соқтығысқан мезетте бейтарап молекулаларды иондауға қажетті энергияға ие болады (249-сурет): $E_i = \frac{mv^2}{2} = qE\lambda$,

мұндағы E_i – иондалу энергиясы, m – зарядталған бөлшектің массасы, v – зарядталған бөлшектің жылдамдығы, q – бөлшектің заряды, E – өріс кернеулігі, λ – еркін жүріс қашықтығы.

Соқтығысу нәтижесінде түзілетін иондар мен электрондар өрісте тарап, кезегінде жаңа молекулаларды иондайды, зарядталған бөлшектер саны күрт өседі, сыртқы иондатқыш болмаған жағдайда газдың өздігінен иондалуы орындалады. Осындай процесс соққы иондалу атауына ие болды (250-сурет).



249-сурет. Газ молекуласының иондалуы



250-сурет. Соққы иондалу

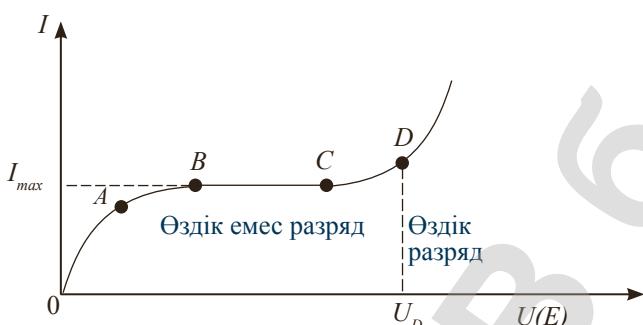
Соққымен иондалу – атомдар немесе молекулалардың шапшаш электрондармен соқтығысуы нәтижесінде он зарядталған иондардың түзілу процесі.

III Өздік және өздік емес разряд

251-суретте газразрядты түтіктегі (252-сурет) ток күшінің өріс кернеулігіне тәуелділік графигі көрсетілген. Электродтар арасындағы кернеу өріс кернеулігінің анод және катод арасындағы I қашықтыққа қебейтіндісіне тең:

$$U = EI,$$

мұндағы I – тұрақты шама болғандықтан, ток күшінің кернеуге және кернеулікке тәуелділігінің түрі бірдей. OA бөлігінде ток күшінің кернеуге тәуелділігі тұра пропорционал, Ом заны орындалады. Кернеу есken сайын ток күшінің өсуі ионизатор әсерінен пайда болған иондар мен электрондар саны электродқа келіп жеткен зарядталған бөлшектер санымен теңелген мезетте тоқтайды, бұл процеске графиктегі BC бөлігі сәйкес келеді. Ток күшінің максимал мәнін қанықкан ток деп атайды, ол иондатқыш куатына тәуелді. Егер иондатқышты өшірсе, онда газ қайтадан диэлектрикке айналады, ток жоғалады.

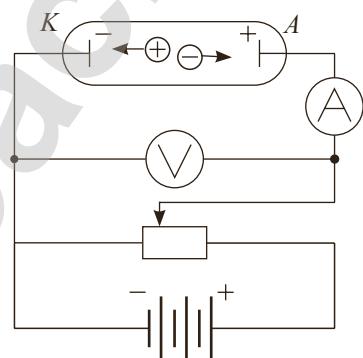


251-сурет. Газдағы вольт-амперлік разрядталу тәуелділігі

Вольт-амперлік сипаттамадағы OD бөлігі тек ионизатор бар болған жағдайда ғана мүмкін болатын өздік емес разрядқа сәйкес келеді. Газда U_D -дан жоғары кернеулер болған жағдайда соққымен иондалу басталады, разряд өздік разряд болады.

IV Өздік разряд түрлері

1) Ұшқын разряд. Қалыпты атмосфералық қысым кезінде өріс кернеулігі жоғары, шамамен $3 \cdot 10^6$ В/м болғанда, газда ұшқын разряд пайда болады. Разряд каналындағы газ 10^4 К-ға дейін қызыды және жарқырай бастайды. Табигатта ұшқын разрядқа мысал ретінде найзағайды келтіруге болады, оның каналының диаметрі 25 см-ге, ал ток күші 10^5 А-ге дейін жетеді. Қызыдыған кезде каналдағы газ тығыздығы азаяды, қысым күрт төмендейді. Төмендеген қысым аймағына сұық ауа бағытталады, сатыр-сұтыр, күннің күркіреуі сияқты дыбыстық эффект пайда болады.



252-сурет. Газразрядты түтікше

Есте сақтаңдар!

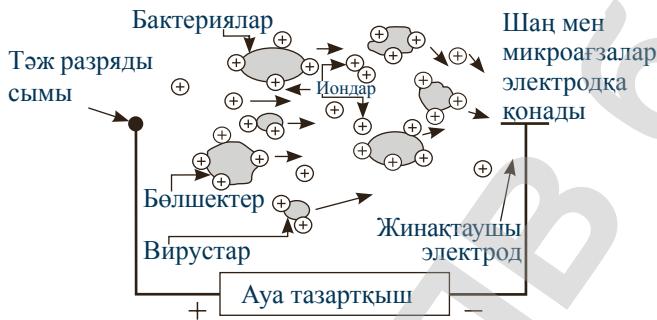
Егер түтікшедегі газдың қысымы атмосфералық қысымнан төмен болса, онда өздік разряд тек электродтардың арасындағы кернеу төмен болған жағдайда ғана пайда болады.

Разрядталған газда зарядталған бөлшектердің бос жүріс қашықтығы еседі, ал кинетикалық энергия кернеу төмен болған кезде иондалу энергия мәніне жетеді:

$$E_i = q \frac{U}{l} \lambda.$$

Ұшқын разряд металдарды өндөуде және кесуде (253-сурет), іштен жану қозғалтқыштарындағы жаңыш қоспаны тұтандыруға қолданылады.

2) Тәж разряды. Тәж разряды кезінде әлсіз күлгін жарқыл мен ысылдаған дыбыс пайда болады. Разряд өткізгіштердің ұшқір бөліктегі маңайында, жоғары кернеуліктең біртекті емес өрісте қалыпты және жоғары қысым кезінде байқалады. Тәж разряды қөшіргіш аппараттарда және лазерлік принтерлерде ұнтақты барабаннан қағазға тасымалдау үшін және барабаннан қалдық зарядты алу үшін қолданылады. Ол электростатикалық фильтрде қолданылады. Тәж разряды әсерінен шаш бөлшектері, бактериялар және вирустар электрленеді және құралдың катодына орналасады (254-сурет).



254-сурет. Тәж разрядымен тозаңды электрлеу

3) Догалық разряд. Догалық разряд екі көмір немесе металл электродтар арасында кернеудің салыстырмалы аз мәнінде, шамамен 60 В, пайда болады. Догалық разряд кезінде жоғары 5000–6000 K-ге дейін жететін температурада және жарық жарқыл пайда болады. Догалық разрядта газ молекулаларының соққы иондалуы мен қызған катодтан ұшып шықкан электрондардың есебінен газдың өздік иондалуы жүреді.

Догалық разрядты металдарды дәнекерлеуде, болат балқытатын догалық пештерде (255-сурет), прожекторлар, кварцтық шамдарда кеңінен қолданылады.

4) Солғын разряд. Төменгі, шамамен 10 Па, қысым және 200–300 В шамасындағы жоғары кернеу кезінде газразрядты тұтікте солғын разряд байқалады. Оның жарқырауы тұтік толтырылған газ



253-сурет. Металды кесу

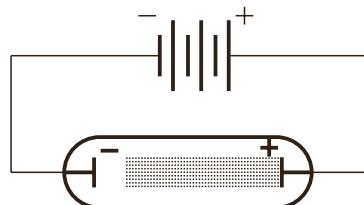


Жауабы қандай?

Неліктен газразрядты катодтың маңайында газ көрінбейді?



255-сурет. Догалық дәнекерлеу



256-сурет. Газразядты тұтікше

түріне байланысты болады (256-сурет). Газразрядты тұтік тұрмыста кеңінен қолданылатын энергия үнемдеуші люминесцентті шамның негізгі бөлігі болып табылады (257-сурет). Қуаты 20 Вт люминесцентті шам қуаты 100 Вт қыздыру шамы сияқты жарық береді. Мұндай шамдардың кемшілігі – сынаптың улы булары қолданылатын болғандықтан, қайта кәдеге жарату қындығы.

V Вакуумдағы заряд тасымалдаушылар. Термоэлектронды эмиссия

Вакуум – бұл ауасыз кеңістік, онда заряд тасымалдай алатын бөлшектер болмайды. Вакуумда электр тогын алу үшін оған зарядталған бөлшектер енгізу қажет. Ең қарапайым әдіс *термоэлектронды эмиссия* болып табылады.

Термоэлектронды эмиссия – металды жоғары температураға дейін қыздырған кезде одан еркін электрондардың шығуы.

Вакуумдық тұтіктің шығышың түріндегі электродтарының бірін кернеуі 6–8 В ток көзіне жалғайды (258-сурет). Ток өткен кезде электрод жоғары температураға дейін қызыды және электрондар шығарады, олар электронды бұлт түзеді. Электрондарды шығарған кезде катод он зарядталады және электрондарды өз маңында ұстайды. Катод пен анод арасында электр өрісі болған кезде электрондар анодқа тартылады.

Есте сақтаңдар!

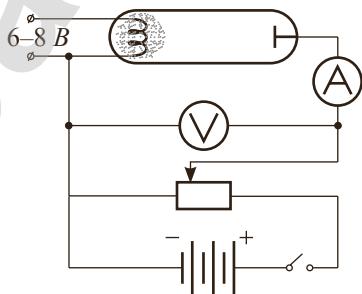
Вакуумға енгізілген зарядталған бөлшектер вакуумдағы заряд тасымалдаушылар болып табылады.

VI Вакуумдағы ток күшінің кернеуге тәуелділігі

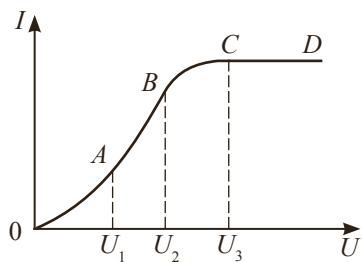
258-суретте анод пен катод арасындағы кернеуді өзгерту үшін потенциометр, электрондар ағыны тұдырған ток күшін өлшеу үшін амперметр, кернеуді өлшеу үшін вольтметр қолданылатын қондырығының сұлбасы берілген. Вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуге арналған тізбек сұлбасы



257-сурет. Энергия үнемдеуші люминесцентті шам



258-сурет. Вакуумдагы токтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуге арналған тізбек сұлбасы



259-сурет. Вакуумдагы токтың вольт-амперлік сипаттамасы

түседі. U_1 және U_2 мәндері аралығында кернеу тәуелділігі сзықтық түрде болады. Кернеудің осы салыстырмалы түрде кіші аралығында Ом заңы орындалады. Одан ары қарай кернеуді U_3 -ке дейін арттырғанда, катодтан ұшып шықкан барлық электрондар анодқа қарай бағытталатын мезет туады. Бұл жағдайда ток күші кернеудің өзгеруіне тәуелсіз болып қалады, вакуумдық түтікте ток максимал мәніне – қанығу тогы күшіне жетеді. Қанығу тогы күші катод температурасына және жасалған металл қасиеттеріне байланысты.

VII Электронды-сәулелік түтікше

Электродтар арасындағы кернеуді арттырғанда вакуумдық түтікте анод маңында жасылдау жарқырау пайда болады. Электрондар шыны бөлшектеріне сосын сұық жарқырау – люминесценсия түрінде шығарылатын кинетикалық энергия береді. Бұл құбылымы электронды-сәулелік түтікшеде қолданыс тапты (260-сурет).

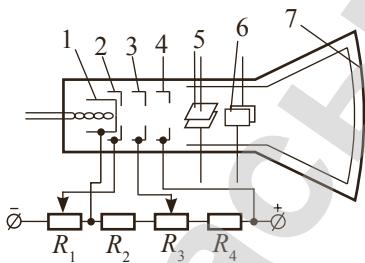
Электронды-сәулелік түтікше – электр тізбегіндегі тез өзгеретін электромагниттік құбылымдарды зерттеуде қолданылатын вакуумдық құрал.

Ол – ұзын әрі жіңішке мойны бар түбі кен, люминоформен (7) қапталған шыны колба (260-сурет). Түтіктің мойнында катодтан (1), теріс потенциалды басқарушы электродтан (2), он потенциалды қуыс цилиндрлер түріндегі (3) және (4) екі анодтан тұратын электронды зенбірек бар. Бұруши пластиналардың екі жұбы (5) және (6) электрондық сәулені вертикаль және горизонталь бойынша ығыстырады. Экранда түтік пластиналарына берілген кернеудің өзгеру заңын сипаттайтын сзық – осциллографма пайда болады. Электронды-сәулелік түтікше осциллографтың негізгі бөлігі болып табылады (261-сурет).



Жауабы қандай?

1. Неліктен қанықкан ток катод жасалған материалдың қасиетіне және оның қызу дәрежесіне тәуелді?
2. Неліктен электронды-сәулелік түтікшеде бірнеше анод болады?



260-сурет. Электронды-сәулелік түтікше



Есте сақтаңдар!

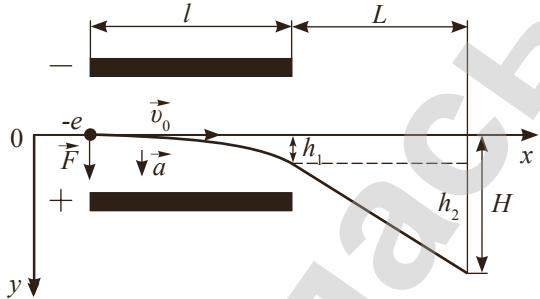
Вакуумдық түтікшедегі электр тогы электрондардың бағытталған қозғалысын сипаттайды.



261-сурет. Осциллограф

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Кинетикалық энергиясы $W_k = 10$ кэВ электрон пластиналарының арасында тұрақты потенциалдар айрымы $U = 40$ В сақталатын жазық конденсаторға ұшып кіреді (суретті қарандар). Пластиналар арасындағы арақашықтық $d = 1$ см, олардың ұзындығы $l = 10$ см. Конденсатордан $L = 20$ см қашықтықта экран орналасқан. Электронның бастапқы жылдамдығы пластиналарға параллель бағытталған. Электронның экрандағы H ығысуын анықтандар. Егер электрон орнына энергиясы сондай протон алсақ, жауап қалай өзгереді? Ауырлық қүшін ескермендер.



Берілгені:

$$W_k = 10 \text{ кэВ}$$

$$U = 40 \text{ В}$$

$$d = 1 \text{ см}$$

$$l = 10 \text{ см}$$

$$L = 20 \text{ см}$$

$$H - ?$$

ХБЖ

$$1,6 \cdot 10^{-15} \text{ Дж}$$

$$0,01 \text{ м}$$

$$0,1 \text{ м}$$

$$0,2 \text{ м}$$

Шешуі:

Оу осінің бойымен конденсатордың электр өрісі күшінің әсерінен электрон үдеумен қозғалады:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{|e| E}{m} = \frac{|e| U}{md}.$$

$0x$ – осінің бойымен $v_0 = \sqrt{\frac{2W_k}{m}}$ жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады.

Конденсатор ішінде электронның ұшу уақыты мынаған тең: $t = \frac{l}{v_0} = \frac{l\sqrt{m}}{\sqrt{2W_k}}$.

Конденсатор ішіндегі электронның h_1 вертикаль ығысуын және одан ұшып шыққан кездеңі v_y вертикаль жылдамдығын анықтаймыз. Электронның тендеңмелі қозғалатынын ескеріп, мынаны аламыз: $h_1 = \frac{at^2}{2} = \frac{|e| U l^2 m}{2md \cdot 2W_k} = \frac{|e| U l^2}{4dW_k}$,

$$v_y = at = \frac{|e| Ul \sqrt{m}}{md \sqrt{2W_k}} = \frac{|e| Ul}{d \sqrt{2mW_k}} = \frac{|e| Ul}{dm v_0}.$$

Конденсатордан ұшып шыққаннан кейін электрон инерция бойынша түзу сызықты және бірқалыпты ұшады. Пластиналар және электронның ұшу бағыты арасындағы

θ бұрышы тәмендегі қатынас арқылы анықталады: $\operatorname{tg} \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{eUl}{2dW_k}$.

Қосымша ығысу $h_2 = Lt g \theta = \frac{eULL}{2dW_k}$.

$$\text{Онда } H = h_1 + h_2 = \frac{eUl}{2dW_k} \left(\frac{l}{2} + L \right) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,5 \text{ см.}$$

Есептеу формуласына бөлшек массасы енбегендіктен және протон заряды электрон зарядына модулі бойынша тең болатындықтан, протон ығысуы электрон ығысуына тең болады, бірақ қарама-қарсы жаққа бағытталады.

Жауабы: $H = 0,5$ см.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай бөлшектерді газдағы зарядтарды тасымалдаушылар деп атайдыз?
2. Газ иондатқышын атаңдар.
3. Қандай жағдайда газдың өздік иондалуы жүреді?
4. Өздік және өздік емес разрядтың қандай айырмашылығы бар?
5. Өздік разрядталудың қандай түрлерін білесің?
6. Қандай бөлшектер вакуумдағы заряд тасымалдаушылар болып табылады?
7. Термоэлектрондық эмиссия деген не?
8. Вакуумдық тұтікше неден тұрады, ол қандай қасиетке ие?
9. Электронды-сәулелік тұтікшеде катодтық сәуленің қандай қасиеттерін пайдаланады?
10. Электронды-сәулелік тұтікшені қайда қолданады?

★ Жаттығу

44

1. Электрон өріс кернеулігінің бағытына қарама-қарсы бағытта $1,83 \cdot 10^6$ м/с жылдамдықпен біртекті электр өрісіне ұшып кіреді. Егер иондалу энергиясы $2,8 \cdot 10^{-18}$ Дж болса, электрон сутегі атомын иондау үшін қандай потенциалдар айырымын жүріп өтуі керек?
2. Егер иондауыш секунд сайын 1 см^2 ауданда 10^9 иондар жұбын құрса, онда өздік емес разряд кезіндегі қанығу тогы қандай болады? Әрбір параллель екі электродтың ауданы 100 см^2 және олардың арасындағы арақашықтық 5 см.
3. Егер молекулалардың иондалу энергиясы $2,4 \cdot 10^{-18}$ Дж, еркін жол ұзындығы 5 мкм болса, онда өрістің қандай кернеулігінде аудада өздік разряд болады? Молекулалармен соқтығысындағы электрондардың жылдамдығы қандай?
4. Теледидар кинескобындағы үдеткіш анодтық кернеу 16 кВ, ал анодтан экранға дейінгі қашықтық 30 см. Электрондар осы арақашықтықты қанша уақытта өтеді?
5. Электронды-сәулелік тұтікшеде ұзындығы $x = 4$ см жазық конденсатор пластиналарының арасында кинетикалық энергиясы $E_k = 8$ кэВ электрондар ағыны қозғалады, пластиналар арасындағы қашықтық $l = 2$ см. Конденсатордан шығар кезде электрондар ағынының ығысуы $y = 0,8$ см болуы үшін конденсатор пластиналарына қандай кернеу берілуі керек?

Шығармашылық тапсырма

Келесі тақырыптардың бірі бойынша хабарлама дайындаңдар:

1. Өздік зарядтың түрлері.
2. Плазма және оның қасиеттері.
3. Жайтартқыштың әрекет ету принципі.
4. Электровакуумдық аспатар: диод және триод.

12-тараудың қорытындысы

Негізгі шамалар	Есептеу формуласы
Металдардағы және вакуумдағы ток күші мен оның тығыздығы	$I = e_0 n v_{dp} S$
Металдағы және вакуумдағы токтың тығыздығы	$j = e_0 n v_{dp}$
Диссоциация дәрежесі	$\alpha = \frac{N_i}{N}$
Газдардағы иондалу энергиясы	$E_i = \frac{mv^2}{2} = qE\lambda ; E_i = q \frac{U}{l} \lambda$

Зандалар, ережелер

Фарадейдің бірінші заңы:

Электролиз кезінде электродта бөлінген заттардың массасы ертінді арқылы өткен зарядқа тура пропорционал.

Фарадейдің екінші заңы:

Заттардың электрохимиялық эквиваленті олардың химиялық эквиваленттеріне тура пропорционал.

Глоссарий

Гальваностегия – металл бұйымға басқа металдан қорғаныш немесе декоративтік қабат қаптаудың электрохимиялық процесі.

Жартылай өткізгішті диод – p -типті және n -типті жартылай өткізгіштердің байланысы.

Токтың тығыздығы – ток күшінің өткізгіштің көлденең қимасының қатынасына тең физикалық шама.

Жартылай өткізгіш – өткізгіштің жағынан өткізгіштер мен диэлектриктердің арасынан орын алғатын зат.

Коспалы өткізгіштік – акцепторлық немесе донорлық коспасы бар жартылай өткізгіштегі өткізгіштік қасиеті.

Рекомбинация – иондардың бейтарап молекулаларға бірігу процесі.

Меншікті өткізгіштік – жартылай өткізгіштердің электронды-кемтіктік өткізгіштігі.

Диссоциация дәрежесі – молекулалардың қанша бөлігі иондарға ыдырағанын көрсететін физикалық шама.

Асқынөткізгіштік – электр кедергісі нөлге жуық болатын өткізгіштің күйі.

Асқынөткізгіштер – асқынөткізгіштік күйдегі заттар.

Кедергінің температуралық коэффициенті – өткізгішті 1 K-ге қызырғанда оның кедергісінің қалай өзгеретінін сипаттайтын физикалық шама.

Термистор – кедергісі температурага тәуелді жартылай өткізгішті резистор.

Термоэлектронды эмиссия – металды жоғары температурага дейін қызырған кезде одан еркін электрондардың шығуы.

Транзистор – екі $p-n$ ауысуы бар жартылай өткізгіш құрал.

Соққы иондалу – атомдар немесе молекулалардың шапшаң электрондармен соқтығысы нәтижесінде оң зарядталған иондардың түзілу процесі.

Фоторезистор – кедегі жарықтандыруға тәуелді жартылай өткізгіш резистор.

Электролиттер – судағы ерітінділері мен балқытпалары өткізгіштер болып табылатын заттар.

Электролиттік диссоциация – еріткіш әсерінен молекуланың иондарға ыдырауы.

Электролиз – электролит арқылы ток өткен кезде электродтарда таза заттың түзілу құбылысы.

Электрохимиялық эквивалент – электролит арқылы бірлік заряд өткенде электродта заттың қандай массасы бөлінетінін көрсететін физикалық шама.

Электронды-сәулелік түтікше – электр тізбектеріндегі тез өзгеретін электромагниттік құбылыстарды зерттеуде колданылатын вакуумдық құрал.

13-ТАРАУ

МАГНИТ ӨРІСІ

Магнетизм тарихы Кіші Азия антикалық өркениетінен бастау алады. Кіші Азия аумағындағы Магнесия қаласынан тау жыныстарының бір-біріне тарылатын үлгілері табылған. Қала атауына қарай оларды «магнетиктер» деп атаған. Магнетиктер магнит өрісі арқылы өзара әрекеттеседі.

Магнит өрісі тұрақты магнитсіз-ақ, қозғалатын зарядталған бөлшектердің айналасында да пайда болады. Жойқын жарылыстан кейін, ғалам пайда болғаннан бастап, алғашқы кеңістік көптеген қозғалатын электрондармен, протондармен, сондай-ақ гелий мен сутек иондарымен толтырылды. 2010 жылы Калифорния техникалық университеттің астрофизигі Шиничиро Андо және Лос-Анджеlestің Калифорния университеттің астрофизигі Александр Кусенко аса салмақты қара құрдымдар суретінен ғаламның реликті магнитті фонын байқады. Олардың ойынша, ғаламды тесіп ететін магниттік фонның әсерінен суреттер анық болмады.

Магнит өрісі – қозғалыстағы электр зарядтарына, тогы бар өткізгішке, магниттік моменті бар денелерге әсер ететін материяның бір түрі.

Электротехника, радиотехника мен электроника магнит өрісінің техникада қолданылуына негізделген. Магнит өрісі дефектоскопияда зарядталған бөлшектерді ұдеткіштерде, басқарылатын термоядролық синтез жағдайында ыстық плазманы ұстап қалу үшін қолданылады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

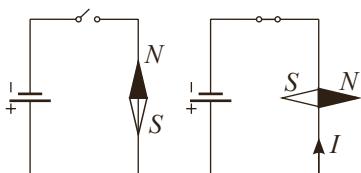
- қазіргі заманғы техниканың жетістігі (магниттік жастықты пойыздар, т.б.) және есептерді шығару негізінде магнит индукция векторының физикалық мағынасын түсіндіруді;
- электр қозғалтқыштардағы электр өлшеуіш аспаптардың жұмыс істеу принципін түсіндіруді;
- адрондық колладердің, токамактың, магниттік тұзақтың, циклотронның жұмыс істеу принципін талдауды және полярлық сәулеленудің (шұғыланың) табиғатын түсіндіруді;
- қозғалыстағы зарядталған бөлшектің магнит өрісінің әсерін зерттеуді;
- заттарды магниттік қасиетіне байланысты сұрыптауды және олардың қолдану саласын анықтауды;
- магнитті материалдарды (неодим магниті, датчиктер, сейсмографтар, металл детекторлар) пайдаланудың қазіргі заманғы бағыттарын талдап, олардың қолдану үрдістерін талқылауды үйренесіндер.

§ 45. Тогы бар шексіз тұзу және дөңгелек өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы. Бұрғы ережесі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты ішергенде:

- қазіргі заманғы техниканың жетістігі (магниттік жастықты пойыздар, т.б.) және есептерді шығару негізінде магнит индукция векторының физикалық мағынасын түсіндіруді үйренесіңдер.

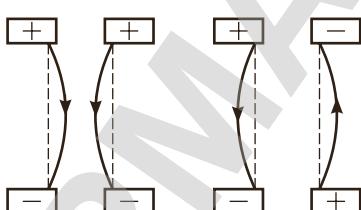


262-сурет. Эрстед тәжірибесі



Жаубабы қандай?

Неліктен Эрстед тәжірибе жүргізу барысында тогы бар өткізгішті Жер меридианы бойына орналастырыды?



263-сурет. Тогы бар өткізгіштердің өзара әрекеттесуі

I Эрстед тәжірибелері

1820 жылы дат ғалымы Эрстед тәжірибе жүзінде тогы бар өткізгіш айналасында магнит өрісін анықтады. Ол меридиан бойымен орналасқан өткізгіш үстінен жінішке жіппен магнит тілшені іліп қойды (262-сурет). Кілтті тұйықтаған кезде магнит тілше өткізгішке тік бұрыш жасай орналасты. Эрстед тәжірибелі газразрядты және электролиттері бар тұтіктермен қайталап жүргізіп, мынадай қорытындыға келді: кез келген ортада қозғалатын зарядтардың айналасында магнит өрісі пайдада болады.

Электр тогының уи әсерінің (жылулық, химиялық және магниттік) ішінде тек магниттік әсері гана кез келген жағдайда және кез келген ортада байқалады.

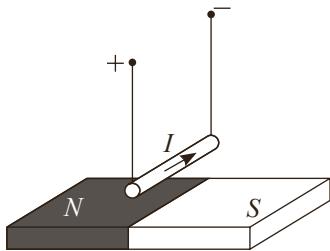
II Ампер тәжірибелері

А.Ампер тұрақты магнит өрісінің тогы бар өткізгішке әсерін және тогы бар өткізгіштердің өзара әрекеттесуін қарастырды. Ол бірнеше тәжірибе жасап, нәтижесінде мынадай қорытындыға келді:

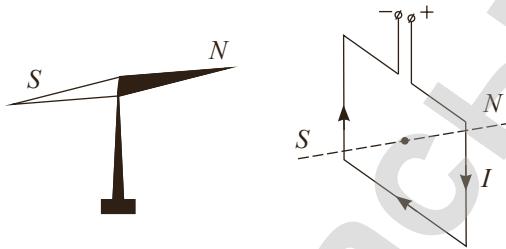
- 1) егер екі параллель өткізгіштегі токтар бағыттас болса, олар бір-біріне тартылады, токтардың бағыттары қарама-қарсы болса, тебіледі (263-сурет).
- 2) жінішке жіпкө ілінген тогы бар өткізгіш жолақты магнит осіне перпендикуляр орналасады (264-сурет).
- 3) Жердің магнит өрісі тогы бар рамаға және магниттік тілшеге бағыттаушы әсер етеді. Мұнда магнит тілшениң осі орам жазықтығына перпендикуляр (265-сурет).

III Тұзу және дөңгелек токтың магнит индукциясы

Магнит өрісінің тогы бар өткізгішке күштік әсерін сипаттайтын физикалық шаманы магнит индукциясы деп атайды.



264-сүрет. Жолақ магнит пен тогы бар откізгіштің өзара әрекеттесуі



265-сүрет. Тогы бар рама жазықтығына түсірілген перпендикуляр магнит тіліне сияқты бағытталған

1820 жылы француз физиктері Ж.Био және Ф.Савар тәжірибе жүзінде түзу ток үшін магнит индукциясы шамасын анықтады:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}, \quad (1)$$

мұндағы B – тогы бар түзу откізгіштің магнит индукциясы, өрістің күштік сипаттамасы; I – откізгіштегі ток күші, a – кеңістік нүктесінен откізгішке дейінгі ең қысқа қашықтық (266-сүрет), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/A}^2$ – магниттік тұрақты. ХБЖ-да магнит индукциясының олшем бірлігі – 1 тесла:

$$[B] = 1 \text{ Tl} = 1 \frac{\text{H}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

Француз физигі және математигі П.Лаплас эксперименттік нәтижелерді жинақтап, кез келген пішінді откізгіш өрісінің магнит индукциясын анықтауға мүмкіндік беретін заңдылықты ашты:

$$|\vec{B}| = \left| \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \right| = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{I_i \Delta l_i \sin \alpha_i}{R_i^2}, \quad (2)$$

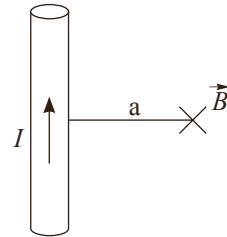
мұндағы \vec{B}_i – өрістің магнит индукциясы, $I_i \Delta l_i$ – ток элементі, α_i – ток элементі мен өрістің магнит индукциясы анықталатын кеңістік нүктесін қосатын түзу арасындағы бұрыш; R_i – кеңістіктің берілген нүктесінен ток элементіне дейінгі арақашықтық.

(2) заңдылық – Био – Савар – Лаплас заңының математикалық өрнегі. Осы заң негізінде дөңгелек токтың центріндегі магнит индукциясын есептеу формуласы алынды (267-сүрет):

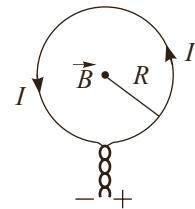
$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad (3)$$

мұндағы R – орам радиусы.

Осы заң бойынша соленоид, яғни орам саны N ете көп, ұзындығы орам диаметрінен әлдеқайда



266-сүрет. Тогы бар откізгіштен алыстартылғанда магнит өрісінің индукция кеміді



267-сүрет. Орам радиусын арттырғанда дөңгелек токтың центріндегі магнит индукциясы кеміді

артық $l >> d$ болатын шарғы ішіндегі магнит өрісінің индукциясы мынаған тең:

$$B = \frac{\mu_0 I N}{l} \quad (4)$$

немесе $B = \mu_0 n I$, (5)

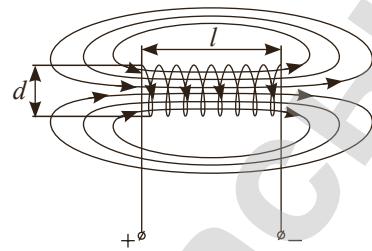
мұндағы $n = \frac{N}{l}$ – бірлік ұзындықтағы орам саны.

Ток мәні түрақты болғанда өрістің магнит индукциясы түрақты шама болып қалады, демек, **соленоид ішіндегі магнит өрісі біртекті, күш сыйықтары өзара параллель орналасады** (268-сурет).

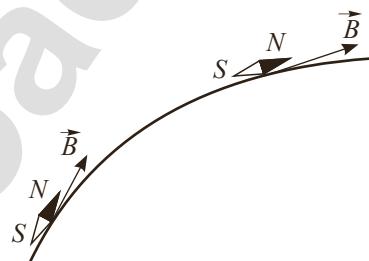
Био – Савар – Лаплас заңы магнит өрісінің суперпозиция принципімен сәйкес келеді:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n.$$

Бірнеше тогы бар откізгіш тұдырган өрістің магнит индукциясын осы өрістердің магнит индукцияларының векторлық қосындысы ретінде анықтайды.



268-сурет. Соленоид ішіндегі магнит өрісі біртекті



269-сурет. Магнит тілшениң солтүстік полюсі магнит өрісінің күш сыйықтарының бағытын көрсетеді

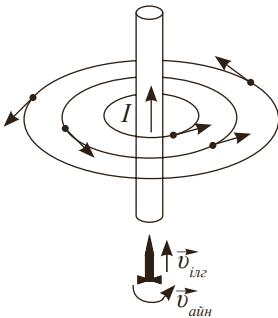
IV Тұзу және дөңгелек токтардың магнит өрістерінің күш сыйықтары

Магнит өрісінің күш сыйықтары – жана-малары кез келген нүктеде магнит индукция векторының бағытын көрсететін сыйықтар.

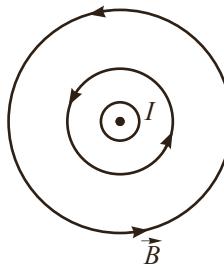
Магнит тілшениң солтүстік полюсі магнит өрісі сыйықтарының бағытын көрсетеді (269-сурет). Бұл бағыт өрістің магнит индукциясының бағыты деп қабылданған. Тұзу және дөңгелек токтың магнит өрісі күш сыйықтарының бағытын бұрғы ережесімен анықтайды.

Егер бұрғының ілгерілемелі қозғалысын откізгіштегі ток бағытымен сәйкес-тендірсе, онда бұрғы тұтқасының айналмалы қозғалысы магнит өрісінің күш сыйықтарының бағытын көрсетеді (270-сурет).

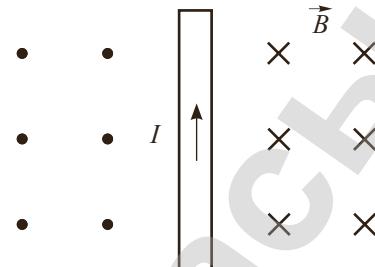
Магнит күш сыйықтарын жазықтықта бейнелеу ынғайлы болу үшін магнит индукция векторын садақ жебесі түрінде елестетіп, нүктелер («жебе ұшы») және айқыш сыйықтарды (x – «жебе қауырсыны») пайдаланады. Егер вектор нүктесі түрінде бейнеленсе, онда ол сурет жазықтығына перпендикуляр жоғары бағытталған, егер айқыш сыйық түрінде бейнеленсе, онда вектор сурет жазықтығына перпендикуляр, бірақ төмен қарай бағытталған болады. 271-суретте ток жоғары қарай жүретін откізгіш қимасы көрсетілген. Откізгіш айналасындағы магнит өрісінің күш сыйықтары сағат тіліне қарсы бағытталған концентрлік шенберлер болып келеді. 272-суретте тогы бар откізгіштің бойлық қимасы берілген, магнит өрісінің күш сыйықтары сурет жазықтығына перпендикуляр және откізгіштің сол жағында олар жоғары, ал он жағында төмен бағытталған. 273, а, ә, б-суреттерде бір немесе бірнеше орам үшін дөңгелек токтың күш сыйықтары көрсетілген.



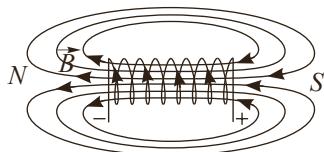
270-сүрет. Бұргы ережесі бойынша тогы бар откізгіштің магнит өрісінің күш сзықтарының бағытын анықтау



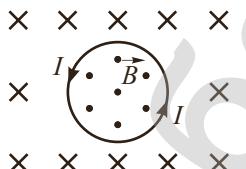
271-сүрет. Откізгіштің көлденең қимасындағы күш сзықтарының кескіні



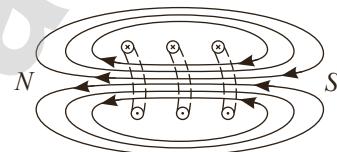
272-сүрет. Откізгіштің бойлық қимасындағы күш сзықтарының кескіні



a)



ә)



б)

273-сүрет. Дөңгелек токтың күш сзықтары

Тогы бар шарғының магнит өрісінің бағытын оң қол ережесімен онай анықтауға болады:

Егер оң қолымызды шарғыга тигізбей, төрт саусағымызбен оның орамдарындағы ток бағытын көрсететіндегі етіп ұстасақ, онда 90° -қа бұрылған бас бармақ магнит өрісінің бағытын көрсетеді.

Электр өрісінің күш сзықтарына қараганда магнит өрісінің күш сзықтары әрқашан тұйық болады.

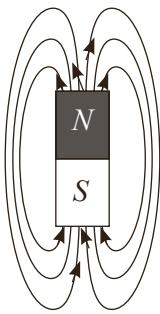


1-тапсырма

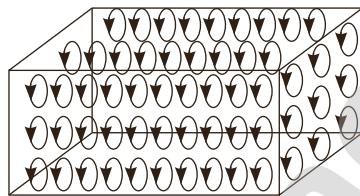
273 а, ә, б-сүреттерге қарап, бұргы ережесі немесе оң қол ережесі бойынша дөңгелек ток тудырған магнит өрісінің күш сзықтарының бағытын анықтандар.

V Ампер гипотезасы

А.Ампер дөңгелек токтың магнит өрісі мен жолақ магниттің магнит өрісі арасындағы ұқсастықты байқап (273, а-сүрет және 274-сүрет), 1820 жылы мынадай гипотеза ұсынды: тұрақты магниттердің магниттік қасиеттері оларда элементар дөңгелек токтардың болуына негізделген. Атом құрылышы саласында жаңалықтардың ашылуына байланысты, ядро айналасында элементар токтар пайда болатыны анықталды. 275-сүретте магниттелген темір кесегіндегі элементар токтардың бағытталған қозғалысы көрсетілген. Кесекті бөліктерге бөлген кезде элементар токтардың орналасуы өзгермейді. Кіші кесек те үлкен кесек сияқты қасиеттерге ие болады. Ампер гипотезасы магнит полюстерінің ажырамайтынын және үлкен магнитті бөлгендеге кіші магниттердің пайда болуын онай түсіндіреді.



274-сурет. Жолақ магниттің магнит өрісі



275-сурет. Ядро айналасындағы электрондардың айналмалы қозгалысы түдүрган магнит өрісі



Бұл қызық!

Тель-Авив әлемдегі магниттік аспадағы көлік жүйесі бар алғашқы қалаға айналуды мақсат етіп отыр (276-сурет). Бұл жүйені Калифорниядағы Эймс атындағы НАСА зерттеу орталығына негізделген SkyTran компаниясы мен НАСА инженерлері жасады. Компания бұл автокөлік пен автобусқа баламалы экологиялық таза, арзан, жылдам әрі ынғайлы жүйе дейді.

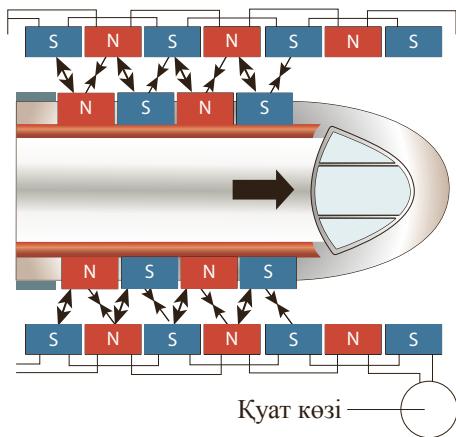
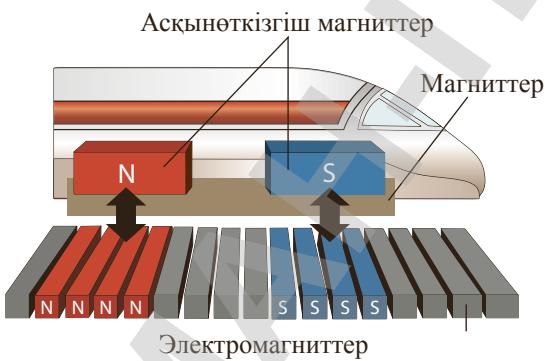


276-сурет. Магниттік аспадағы көлік



3-тапсырма

277-суретке қарап, левитация және магниттік жастықтағы пойызды қозғалысқа келтіретін жүйе принциптерін түсіндіріңдер. Интернет желісінде ақпарат көздерін пайдаланып, Берлиндегі, Бирмингемдегі, Шанхайдагы, Жапониядағы алғашқы магниттік аспадағы пойыздардың технологиясын салыстырыңдар.



277-сурет. Пойыздың магниттік жастықтағы левитация жүйесі

ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Бойымен I ток ағып жатқан шекіз ұзын өткізгіштің a -суретте көрсетілгендей орамы бар. O нүктесінде магнит өрісінің индукциясы түзу токтың магнит өрісінің осы нүктедегі индукциясынан (ϑ -сурет) неше есе артық?

Берілгені:

I

$$\frac{B_0}{B'_0} - ?$$

Шешуі:

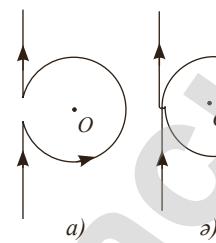
Откізгіш сым *a*-сүретте көрсетілгендей иілген кезде тұзу ток пен орам тудырған магнит өрісінің индукция векторлары \vec{B}_1 және \vec{B}_2 , қарама-қарсы жактарға бағытталған, сондықтан:

$$B_0 = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I}{2r} \left(\frac{1}{\pi} - 1 \right).$$

Откізгіш сым *ə*-сүретте көрсетілгендей иілген кезде, магнит өрісінің индукция векторлары бір бағытқа бағытталады, ендеше:

$$B'_0 = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I}{2r} \left(1 + \frac{1}{\pi} \right), \quad \text{онда} \quad \frac{B_0}{B'_0} = \frac{\pi - 1}{\pi + 1}.$$

Жауабы: $\frac{B_0}{B'_0} = \frac{\pi - 1}{\pi + 1}$.



Бақылау сұрақтары

- Магнит өрісін қалай тудыруға болады?
- Тогы бар өткізгіштер қалай әрекеттеседі?
- Магнит өрісін қалай бейнелейді?
- Бұрғы ережесімен нені анықтайты?
- Тогы бар өткізгіш өрісінің магнит индукциясы ток күшіне қалай тәуелді?
- Ампер гипотезасының мәні неде?



Жаттығу

45

- Екі болат кесек берілген, олардың біреуі магниттелген. Осы кесектердіңана пайдаланып, қай кесек магниттелгенін қалай білуге болады?
- Шексіз ұзын өткізгіштегі ток күші $I = 20$ А. Откізгіштен $r = 5$ см арақашықтықтағы нүктедегі магнит индукциясын анықтаңдар.
- Екі ұзын параллель өткізгіш бір-бірінен $d = 5$ см арақашықтықта орналасқан. Откізгіштерде қарама-қарсы бағытта бірдей $I = 10$ А ток жүріп жатыр. Бірінші және екінші өткізгіштен $r_1 = 2$ см арақашықтықтағы нүктедегі магнит индукциясын анықтаңдар.
- Радиусы $R = 5,8$ см дөңгелек ток өрісінің центріндегі магнит индукциясы $B = 1,3 \cdot 10^{-4}$ Тл. Ток күшін анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне ppt-презентация дайындандар:

- Асқынөткізгіш магниттер.
- Магниттерді техникада қолдану.

§ 46. Ампер күші. Сол қол ережесі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электротрещеуіш құралдардың және электрқозғалтқыштың жұмыс істеу принципін түсіндіруді үйренесіңдер.



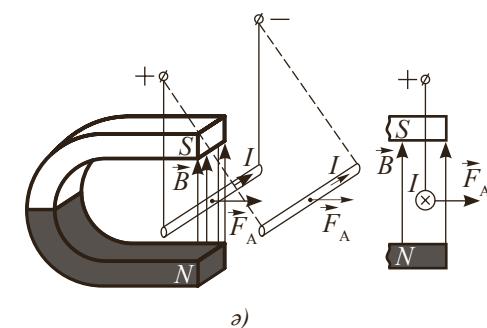
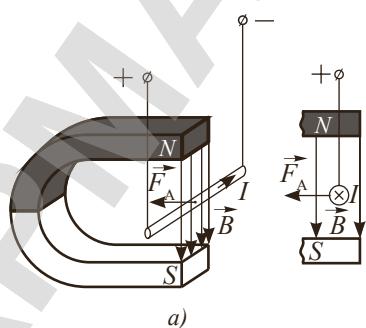
Өз тәжірибелен

Ампердің тәжірибесін қайталаңдар. Өткізгішті тұрақты ток көзіне жалғап, таға тәрізді магнит өрісіне енгізіңдер (278-сурет). Тогы бар өткізгіштің ауытқу бұрышын өлшеп алыңдар. Магнит полюстерін өзгертиңдер, өткізгіштің ауытқу бұрышы қалай өзгеретінін анықтандар. Тәжірибелен екі магнитті қолданып қайталаңдар. Өткізгіштегі ток күшін өзгертиңдер. Жүргізілген тәжірибеге қорытынды жасандар.



1-тапсырма

Сол қол ережесін пайдаланып, 278 а) және ә) суреттерде көрсетілген тогы бар өткізгіштің ауытқуы дұрыс бейнеленгеніне көз жеткізіңдер.



278-сурет. Магнит өрісіндегі тогы бар өткізгіштің ауытқуы

I Ампер заңы

А.Ампер жүргізген тәжірибелер тогы бар өткізгішке әсер ететін күш магнит индукциясы шамасына және оның бағытынан тәуелді екенін көрсетті. Бұған 278-суретте көлтірілген тәжірибеден көз жеткізуге болады.

Магнит өрісі таралынан тогы бар өткізгішке әсер ететін күшті Ампер күші деп атайды.

Жүргізілген тәжірибелердің нәтижесіне байланысты Ампер мынадай қорытындыға келді:

Тогы бар өткізгішке магнит өрісі таралынан әсер ететін күш магнит индукциясының перпендикуляр құраушысының, ток күшінің және өткізгіш ұзындығының көбейтіндісіне тең.

$$F_A = B \cdot l \cdot H \text{ немесе } F_A = B \cdot l \cdot I \sin \alpha, \quad (1)$$

мұндағы α – \vec{B} магнит индукциясы векторы мен ток бағыты арасындағы бұрыш. Алынған формуладан, егер $\sin \alpha = 1$ немесе $\alpha = 90^\circ$ болса, өзара әрекеттесу күшінің ең үлкен мәнге ие болатынын көреміз.

Ампер заңының негізінде магнит өрісінің күштік сипаттамасы ретінде магнит индукциясының физикалық магынасы анықталды:

$$B = \frac{F_A}{l \sin \alpha} \quad (2)$$

және магнит индукциясының өлшем бірлігінің күштің өлшем бірлігімен байланысы тағайындалды:

$$[B] = 1 \text{ Tl} = 1 \frac{\text{H}}{\text{A} \cdot \text{m}}.$$

II Ампер күшінің бағыты

Ампер күшінің бағытын сол қол ережесі бойынша анықтайды:

Егер сол қолымызды магнит индукция векторы алақанымызға кіретіндегі, ал созылған төрт саусағымызды ток бағытын көрсетеміндегі етіп үстасақ, онда 90° -қа бұрылған бас бармагымыз Ампер күшінің бағытын көрсетеді.

Егер магнит индукциясы векторының бағыты мен өткізгіштегі ток күші арасындағы бұрыш 90° -тың құраса, онда сол қол ережесі орындалады. Егер бұрыш 90° -тан кіші немесе үлкен болса, онда магнит индукциясы векторын \vec{B} тогы бар өткізгішке қатысты параллель және перпендикуляр құраушыларға жіктеу керек (279-сурет).

$$B_{\perp} = B \sin \alpha. \quad (3)$$

Ампер күшінің бағыты перпендикуляр құраушы бойынша анықталады.

III Параллель токтардың өзара әрекеттесу күштері

Бір-бірінен r арақашықтықта орналасқан параллель өткізгіштер арқылы I_1 және I_2 токтар жүріп өтеді делік. Бірінші өткізгіштің магнит өрісі (283-сурет), Ампер заңына сәйкес,

$$F_A = B_1 I_1 l \sin \alpha \quad (4)$$

күшпен екінші өткізгішке әсер етеді.

Тогы бар түзу өткізгіш өрісінің магнит индукциясы мынаған тен:

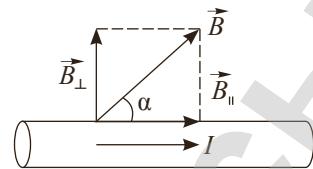
$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}. \quad (5)$$

(5)-ті (4)-ке қойып, тогы бар түзу өткізгіштің өзара әрекеттесу күшін есептеу формуласын аламыз:

$$F_A = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}. \quad (6)$$

IV Магнит өрісіндегі тогы бар рама

Ампер тогы бар өткізгішке Жердің магнит өрісінің бағыттауышы әсерін байқады. Тогы бар раманы таға тәріздес магниттің өрісіне орналастырып, оның айналуын бақылады: рама ток тудырған магнит өрісінің солтүстік полюсінен магниттің оңтүстік полюсіне бұрылды (281-сурет). Біртекті өрісте рама тек айналмалы қозғалыс қана жасады. Біртекті емес өрісте, рама бұрылып, магнит өрісінің индукциясы артатын бағытта ығысты (282-сурет).



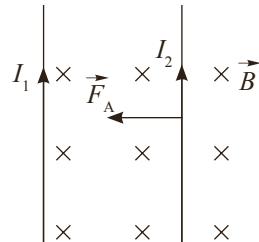
279-сурет. Магнит индукция векторын құраушыларға жіктеу



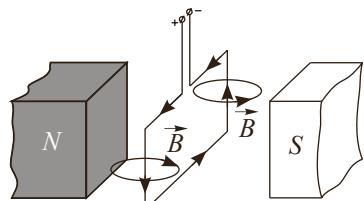
Жауабы қандай?

1. Неліктен индукция векторына параллель орналасқан тогы бар өткізгіш ауытқымайды?

2. Егер тогы бар шарғы арқылы тұрақты ток өтсе, онда оның сыйылуының себебі неде?



280-сурет. Тогы бар өткізгіштердің әрекеттесуі



281-сурет. Тұрақты магниттің және тогы бар раманың магнит өрістерінің әрекеттесуі

V Магнит өрісіндегі тогы бар рамаға әсер ететін айналдыруышы момент

Рамаға әсер ететін күштердің айналдыруышы моментін оның үш түрлі жағдай үшін анықтаймыз:

- 1) Тогы бар раманы магнит полюстерінің арасына рама ауданына түсірілген нормаль магнит индукциясымен 90° бұрыш жасайтында етіп орналастырайық (283, а, ә-сурет).

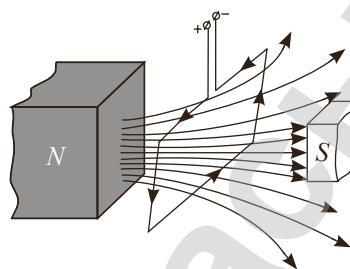
Рама ауданына түсірілген нормальдің бағытын контурдағы токқа қатысты бұргы өрежесімен анықтайды, ол рамадағы ток тудырыган менишікті магнит өрісінің бағытымен сәйкес келеді.

Раманың AB және CD қабырғалары магнит индукция векторына параллель, ендеше магнит өрісі оларға әсер етпейді. AD және BC қабырғаларына шамалары жағынан тең, бірақ қарама-қарсы жақтарға бағытталған Ампер күштері әсер етеді. Күштердің түсү нүктелері әртүрлі, сондықтан кос күштің әсерінен рама сағат тілінің бағытына қарсы айналады. Құш моменттерінің қосындысы мынаған тең:

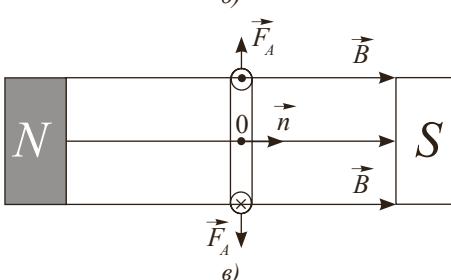
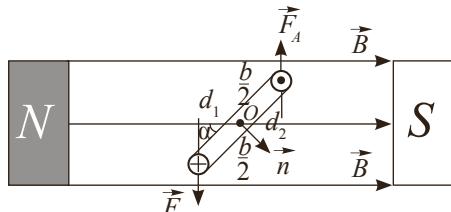
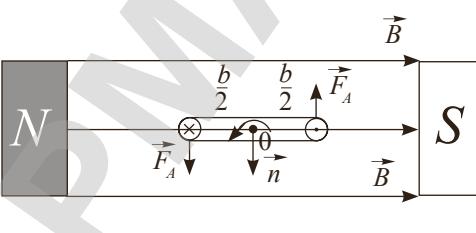
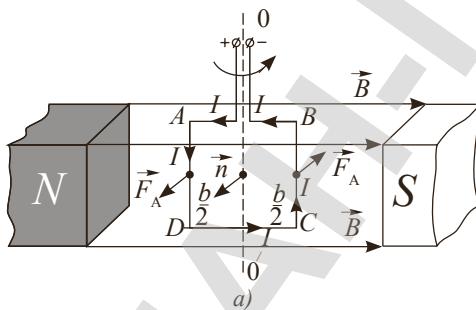
$$M = M_1 + M_2 = F_A \frac{b}{2} + F_A \frac{b}{2} = F_A b = B \cdot I \cdot l \cdot b \sin \alpha,$$

мұндағы b – рама ені, l – рама ұзындығы, α – \vec{B} және I векторларының арасындағы бұрыш.

Рама ұзындығы мен енінің көбейтіндісін оның ауданымен ауыстырайық: $S = lb$, сонда: $M = BIS \sin \alpha$.



282-сурет. Біртекті емес магнит өрісіндегі тогы бар рама



283-сурет. Біртекті магнит өрісінде айналатын тогы бар раманың әртүрлі қалпында Ампер күшінің індері өзгереді



Жауабы қандай?

Неліктен магнит өрісіндегі тогы бар рама тепе-тендік күйінде айналуын тоқтатпайды?

Бұрыш $\alpha = 90^\circ$, демек, $\sin\alpha = 1$ айналдыруши момент максимал мәнге ие болады:

$$M_{\max} = BIS.$$

2. Рама қайсыбір $\phi = \omega t$ бұрышына бұрылған кездеңі күш моментін анықтайық, мұндағы ω – рама айналуының бұрыштық жылдамдығы (283, б-сурет). Күш иіндері өзара тең болады:

$$d_1 = \frac{b}{2} \cos\varphi, \quad d_2 = \frac{b}{2} \cos\varphi, \quad \text{күштердің айналдыруши моментін иіндерінің өзгерісін ескере отырып жазамыз:}$$

$$M = Fbcos\varphi = BIScos\varphi$$

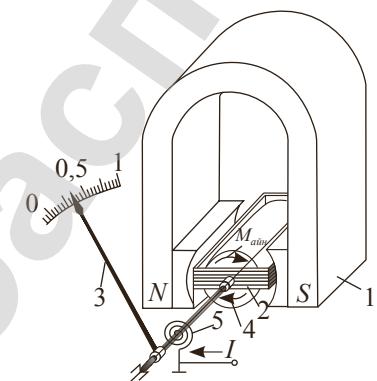
Раманың бұрылу бұрышын ϕ рама ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясы векторы B арасындағы бұрыш арқылы өрнектейік, оны α деп белгілейік, сонда $M = BIS\cos(90^\circ - \alpha)$ немесе $M = BIS\sin\alpha$.

3. Рамаға түсірілген нормаль бағыты магнит индукция векторының бағытымен сәйкес келген кезде күш иіндері және айналдыруши момент нөлге тең болады (283, в-сурет), раманың осындай қуйі тепе-тендік күйі болып табылады.



2-тапсырма

284-суреттегі магнитоэлектрлік жүйенің сұлбасына қараңдар. Аспаптың негізгі бөліктерін атаңдар және жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер. Қандай аспаптардың жұмыс істеу қызметі осыған негізделген?



284-сурет. Магнитоэлектрлік жүйенің өлиеуіш аспабы



3-тапсырма

Электр қозғалтқыштың сұлбасын қараңдар.

285-суретте көрсетілген электрқозғалтқыштың негізгі бөліктерінің атауларын көрсетілген нөмірлерге сәйкестендіріңдер.

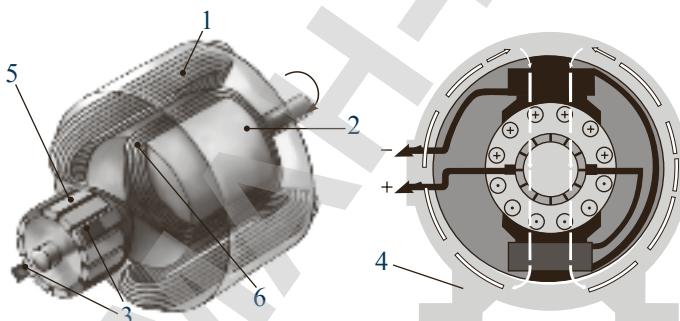
Қозғалтқыштың негізгі бөліктері: статор, коллектор, шеткелер, ротор орамасы, қоздыру орамасы, ротор өзекшесі.

Қозғалтқыштың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



Жауабы қандай?

- Магнитоэлектрлік жүйе аспаптарындағы өзекшениң рөлі қандай?
- Неліктен магнитоэлектрлік аспаптар тек тұрақты токты және кернеуді өлшеуге арналған?



285-сурет. Электрқозғалтқыш



Жауабы қандай?

- Неліктен тұрақты ток қозғалтқышының коллекторы жекеленген пластиналардан тұрады?
- Неліктен қуатты қозғалтқыштарда тұрақты магниттердің орнына электромагниттерді қолданады?

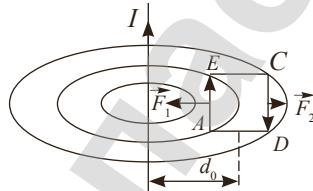
ЕСЕП ШЫГАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Шаршы рама $I = 10$ А ток ағып жатқан ұзын түзу өткізгіш сым жаңына орналастырылған. Рама мен сым бір жазықтықта жатыр. Раманың қабырғасы $a = 10$ см, сымнан рама центріне дейінгі қашықтық $d_0 = 15$ см. Егер рама арқылы $I_0 = 0,1$ А ток өтетін болса, рамага қандай күш әсер етеді?

Берілгені:	ХБЖ
$I = 10$ А	
$a = 10$ см	0,1 м
$d_0 = 15$ см	0,15 м
$I_0 = 0,1$ А	
$F - ?$	

Шешуі:

Сым тудырған өріс $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ біртекті емес: AE қабырғасы CD қабырғасының қаралғанда өте күшті магнит өрісінде орналасқан (суреттің қараңдар):



$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \left(d_0 - \frac{a}{2}\right)}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \left(d_0 + \frac{a}{2}\right)}. \quad (1)$$

Раманың қабырғаларына әсер өтетін Ампер күштері мынаған тең:

$$F_1 = I_0 B_1 a; \quad F_2 = I_0 B_2 a.$$

Рамага әсер өтетін күштер карама-карсы жақтарға бағытталған, магнит индукциясы векторы мен рамадағы ток күші өзара перпендикуляр, ендеше, олардың теңәсерлі күші мынаған тең:

$$F = (F_1 - F_2) = I_0 a (B_1 - B_2). \quad (2)$$

(1) формуласы (2) формулаға койып, мынаны аламыз:

$$F = \frac{\mu_0 I \cdot I_0 a^2}{2\pi \left(d_0^2 - \frac{a^2}{4}\right)}.$$

Есептеулер жүргіземіз:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2} \cdot 10A \cdot 0,1A \cdot 0,01m^2}{2\pi \left(0,0225m^2 - \frac{0,01m^2}{4}\right)} = 10^{-7} H.$$

Жауабы: $F = 10^{-7}$ Н.

Бақылау сұрақтары

- Ампер күшінің бағытын қалай анықтайды? Ампер күшінің мәнін қалай анықтайды?
- Ток күшінің өлшем бірлігі қандай тәсілмен тағайындалған?

- Тогы бар рамаға біртекті магнит өрісі қалай әсер етеді? Біртекті емес магнит өрісі ше?
- Магнит өрісіндегі тогы бар рамаға әсер ететін айналдыруши момент неге тең?
- Айналдыруши момент раманың магнит моментімен қалай байланысқан?



Жаттығу

46

- Бойынан $I = 1,5$ А ток өтетін, ұзындығы $l = 1$ м тогы бар түзу өткізгіш индукциясы $B = 0,1$ Тл магнит өрісінде орналасқан. Магнит өрісінің күш сызықтары өткізгіш осіне параллель болса, өткізгішке әсер ететін күшті анықтандар.
- Түзу өткізгіш горизонталь магнит өрісінде көлдененінен және магнит индукциясы сызықтарына перпендикуляр орналасқан. Өткізгішті оның сымдарындағы керілу күші нөлге тең болу үшін өткізгіш арқылы өтетін ток күшінің шамасы қандай болуы керек? Магнит индукциясы $B = 0,01$ Тл. Өткізгіш массасының оның ұзындығына катынасы $m/l = 0,1$ кг/м.
- Массасы $m = 0,1$ кг және ұзындығы $l = 0,25$ м өзек горизонталь бетте индукциясы $B = 0,2$ Тл біртекті горизонталь магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр орналасқан. Егер өзек (стержен) арқылы $I = 10$ А ток өтсе, оның бірқалыпты ілгерілемелі қозгалуы үшін өзек осіне перпендикуляр қандай горизонталь күш түсіру керек болады? Өзек пен бет арасындағы үйкеліс коэффициенті $\mu = 0,1$.
- Түзу өткізгіш көлдененінен бекітілген. Оған параллель осы вертикаль жазықтықта 1 м төмен массасы $m = 1$ кг және ұзындығы $l = 9,81$ м екінші түзу өткізгіш орналасқан. Оның бойына $I = 2$ А ток жібереді. Жоғарғы өткізгіш төменгі өткізгіштің салмағын тенгеруі үшін жоғары өткізгіштегі ток күшінің мәні неге тең болуы керек?
- Ауданы $S = 400 \text{ см}^2$ рама біртекті магнит өрісіне рамаға жүргізілген нормаль $B = 0,2$ Тл магнит индукциясымен $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасайтында орналастырылған. Рамадағы ток күші $I = 4$ А. Рамаға әсер ететін айналдыруши моментті анықтандар.

§ 47. Лоренц күші. Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалысы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың ішергендегі:

- адрондық коллайдердің, токамактың, магниттік тұзақтың, циклотронның жұмысы істеу принциптерін талдауды және полярлық сәулеленудің (шұғыланың) табигатын түсіндіруді;
- қозғалыстағы зарядталған бөлшектің магнит өрісінің әсерін зерттеуді үйренесіңдер.

I Лоренц күші

Ампер күші – тогы бар өткізгішке әсер ететін күш, ал ток зарядталған бөлшектердің реттелген қозғалысы болғандықтан, зарядталған бір бөлшекке әсер ететін күшті мына формуламен өрнектеуге болады:

$$F_L = \frac{F_A}{N}, \quad (1)$$

мұндағы N – зарядталған бөлшектердің саны.

Лоренц күші – магнит өрісі тарапынан онда қозғалып жүрген зарядталған бөлшекке әсер ететін күш.

Ампер занына сәйкес:

$$F_A = BIl \sin \alpha, \quad (2)$$

өткізгіштегі ток күшін бір бөлшектің заряды өрнектейік:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 N}{t}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулаларды (1)-ге қойып, мынаны аламыз:

$$F_L = \frac{Bq_0 Nl \sin \alpha}{tN}.$$

$v = \frac{l}{t}$ екенін ескере отырып, Лоренц күшін есептеу формуласын аламыз, мұндағы v – зарядтардың реттелген қозғалысының жылдамдығы:

$$F_L = q_0 B v \sin \alpha, \quad (4)$$

мұндағы α – магнит өрісінің индукция векторы \vec{B} мен \vec{v} жылдамдығының арасындағы бұрыш.

Оң зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшінің бағытын сол қол ережесімен анықтайды. Теріс зарядталған бөлшектердің бағыты көрініше болады.

Лоренц күші өткізгіштегі токты тудыратын зарядталған бөлшектерге, сондай-ақ кеңістікте еркін қозғалатын зарядталған бөлшектерге де әсер етеді.

II Магнит өрісінде қозғалатын зарядталған бөлшек траекториясының қисықтық радиусы

Зарядталған бөлшек магнит өрісіне магнит индукциясызықтарына перпендикуляр ұшып кірсін делік. Бұл жағдайда Лоренц күші зарядтың қозғалыс жылдамдығы бағытына перпендикуляр болғандықтан, ол бөлшекке центрге тартқыш үдеумен беріледі. Лоренц күшінің



Хендрик Антон Лоренц
(1853–1928) – голландиялық физик-теоретик. 1902 жылды магнетизмнің сәулеленуге әсерін зерттеген үшін физика бойынша Нобель сыйлығын алды. Париж және Кембридж университеттерінің құрметті докторы, Лондон Корольдік қоғамының және Неміс физикалық қоғамының мүшесі, 1881 жылдан бастап Нидерланд Корольдік Ғылым академиясының мүшесі. Х.Лоренц жарықтың электромагниттік теориясын және материяның электрондық теориясын дамытты.



1-тапсырма

286-суретке қараңдар. Лоренц күшінің бағыты дұрыс салынған ба? Тапсырманы орындау үшін қандай ережені қолдандыңдар?

әсерінен бөлшектер радиусы R шеңбер бойымен бір-қалыпты қозғалады (286-сурет).

Үдеумен қозғалатын зарядталған бөлшек үшін Ньютоның екінші заңы орындалады:

$$\vec{m} = \vec{F}_L. \quad (5)$$

(5) теңдеуге Лоренц күшінің есептеу формуласын (4) қойып, үдеуді жылдамдық квадратының айналу радиусына қатынасымен $a_{u.m.} = \frac{v^2}{R}$ алмастырып, мынаны аламыз:

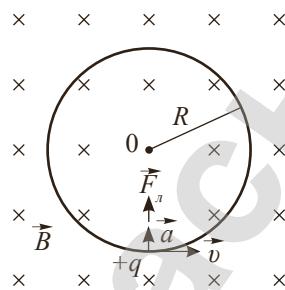
$$\frac{mv^2}{R} = qBv \sin \alpha. \quad (6)$$

Қарастырылған жағдайда $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$, осыдан (6) теңдеудегі траекторияның қисықтық радиусының мынаган тең екені шығады:

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (7)$$

Бөлшек жылдамдығы негұрлым үлкен болса, оның біртекті $B = \text{const}$ магнит өрісіндегі траекторияның қисықтық радиусы согұрлым үлкен болады.

Зарядталған бөлшектердің үдемелі қозғалысы мен олардың соқтығысуы кезінде жаңа бөлшектердің пайда болуы бірқатар құрылғыларда мысалы, циклотронда (288-сурет), колайдерде (289-сурет) қол-



286-сурет. Жылдамдығы біртекті магнит өрісінің күш сзықтарына перпендикуляр бөлшектердің траекториясы шеңбер болады



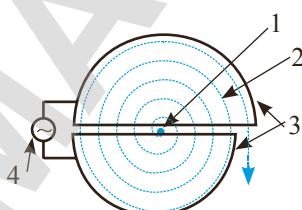
2-тапсырма

Циклотрондағы бөлшектің периодын және айналу жиілігін есептеу формулаларын қорытып шығарыңдар.



3-тапсырма

287-суретте көрсетілген циклотронның жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



287-сурет. Циклотронның принциптік сұлбасы:
1 – протондар, иондардың кіру орны; 2 – үдетілген бөлшектердің траекториясы; 3 – электродтарды үдету; 4 – айнымалы кернеу генераторы. Магнит өрісі суреттің жазықтығына перпендикуляр бағытталған.

YAK құрылғысының принциптік сұлбасын қарастырыңдар (289-сурет).

YAK-тың негізгі блоктары мен бөліктерін атаңдар.



Жауабы қандай?

Бөлшектің жылдамдығы айналу периодына әсер етсе мә?

даныс тапты. Циклотронда өндірілетін негізгі радиоизотоптар: Cd-109, Ge-68, Tl-201, Co-57, Ga-67.



288-сурет. Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігінің Ядролық физика институтындағы У-150М изохрондық циклотрон



289-сурет. Ұлкен адрондық коллайдер (YAK) құрылғысының принциптік сұлбасы



290-сурет. Шагын мюондық соленоид – протондардың соқтығысы орны. Соленоидта цифрлық фотоаппараттарға арналған детекторлар орнатылған

III Зарядталған бөлшектің винттік траектория бойынша қозғалысы

Егер зарядталған бөлшек 90°-қа тең емес қандай да бір бұрышпен магнит өрісіне ұшып кірсе, онда ол өрістің кернеулік сыйықтары түзетін винттік траектория бойымен қозғалады (291-сурет). Жылдамдық векторын магнит индукция векторы бағытына қатысты перпендикуляр және параллель қураушыларға жіктейміз:

$$v_{\perp} = v \sin \alpha,$$

$$v_{\parallel} = v \cos \alpha,$$

Жауабы қандай?

1. Қарама-қарсы шоғырларда колладерлердің циклотрон деп атауымызға бола ма?
2. Үдемтіштердің ұлкен және кіші сақиналары неге арналған деп ойлайсыңдар?
3. Зарядталған бөлшектер қандай өріспен үдемтіледі? Олар орбитада қандай өріс ұстал өтірады?
4. CERN (Еуропалық ядролық зерттеу орталығы) ғалым-физиктердің YAK-да өткізетін зерттеулерінің негізгі мақсаты қандай (290-сурет)?

Бұл қызық!

YAK-өлемдегі ең алып тәжірибелік қондырылғы. Оның құрылышы мен зерттеулеріне 100 мемлекеттен 10 мыннан аса ғалымдар мен инженерлер қатысты.

мұндағы α – бөлшектің қозғалыс жылдамдығы \vec{v} мен магнит индукция векторы \vec{B} арасындағы бұрыш. Бөлшек Лоренц қүшінің көлденең құраушысы әсерінен радиусы R -ға тән шеңбер сыйзатын болады:

$$R = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{qB}. \quad (8)$$

Сонымен қатар бөлшек өріс бағыты бойымен инерция бойынша тұрақты \vec{v}_{\parallel} жылдамдықпен қозғалады. Бір айналым жасауға кеткен

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (9)$$

уақытта бөлшек өріс бағытымен мынадай арақашықтыққа ығысады:

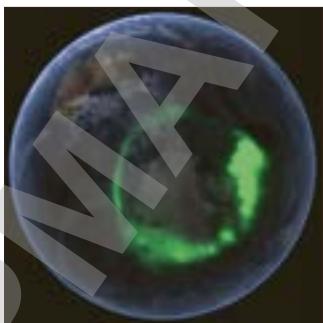
$$h = v_{\parallel} T = vt \cos \alpha. \quad (10)$$

Теріс зарядталған бөлшек қозгалған кезде, айналмалы қозғалыс бағыты қарама-қарсы болады.

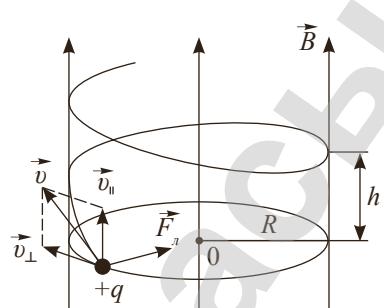
(9) теңдеуден айналу периоды бөлшек жылдамдығына тәуелді емес екенін көруге болады.

IV Лоренц қүші және полярлық сәулелену (шұғыла)

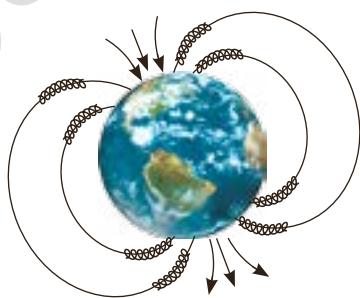
Жердің полюстері маңында полярлық сәулеленудің пайда болуы Жердің магнит өрісінің әсерімен түсіндіріледі. Ғарыштан ұшып келген зарядталған бөлшектер Жердің өрісінің бойы «орам» жасай орналасады (292-сурет). Бөлшектер Жерге полярлық аймақтарда жақындалған, солғын разряд – полярлық шұғыла тудырады (293-сурет). Полярлық шұғыла тек Жер бетінде ғана болмайды. Чандра рентгендік обсерваториясы Юпитердің полярлық сәулеленуін фотосуретке түсірген (294-сурет).



293-сурет. Жердегі полярлық сәулелену.
Ғарыштан түсірілген сурет



291-сурет. Біртекті магнит өрісіне α бұрыш жасаған ұшып кіретін бөлшектің винттік траекториясы



292-сурет. Жердің магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалысы



294-сурет. Юпитердегі полярлық сәулелену

V Магниттік тұзақ. Токамак

Кеңістіктің кейбір бөліктерінде зарядталған бөлшектердің қозғалысын шектеу үшін тудырылған магнит өрісін *магниттік тұзақ* деп атайды. Бұрын қарастырылған құрылғылар: циклотрон, ЯАК магниттік тұзакты зарядталған бөлшектерді өздерінің айналу орбиталарында ұстап тұру үшін пайдаланады. Термоядролық реакцияларды жүзеге асыру үшін «Токамак» құрылғыларында осындай принципті қолданады. Магниттік тұзақ плазманы ұстап тұрады, плазманың зарядталған бөлшектерімен өзара әрекеттесу нәтижесінде магнит өрісінің күш сзықтары бойымен айналатын термоядролық реактордың элементтерімен жанасатындықтан, оның температурасы миллион градусқа дейін жетеді. Магниттік тұзактар, әдетте, аса куатты электромагниттерден жасалады.

Термоядролық реактордың әрекет ету принципін қарастырайық. Ишінде сутек ядроларының өзара әрекеттесуі жүретін токамак камерасы трансформатордың екінші ретті орамасы болады (296-сурет). Камерадағы ауа сорып шығарылады, одан соң оны дайтерій мен тритий қоспасымен толтырады. Үлкен куатты трансформатордың бірінші ретті орамасының көмегімен камерада құйынды электр өрісі пайда болады. Электр тогы токтың өтуі мен камерада дайтерій мен тритийдан тұратын плазманың жануын тудырады.



297-сурет. Қазақстандық «Токамак» термоядролық материалтану жобасы, ол ЭКСПО – 2017 көрмесі ашилған күні ШҚО-да іске қосылған

5-тапсырма

Электронды зарядталған бөлшек деп алып, 295-суреттөн магнит өрісінің күш сзықтарының бағыттарын көрсетіңдер.

Жауабы қандай?

1. Неліктен теріс зарядталған бөлшекке өсер ететін Лоренц күшін анықтаған кезде, терм саусағымыз бөлшектің қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытталады?
2. Неліктен біртекті емес өрісте зарядталған бөлшектің траекториясының қисықтық радиусы өзгереді (295-сурет)?



295-сурет. Зарядталған бөлшектің біртекті емес өрісіндең қозғалыс траекториясы



296-сурет. Токамак камерасы трансформатордың екінші ретті орамасы болып табылады

Есте сақтандар!

«Токамак» – ТОроидты КамераМАгнитті Катушкалы.

Плазма – иондалған газ.



Жауабы қандай?

- «Токамак» жобасының негізгі идеясы қандай (297-сурет)? Реактордың іске қосылуы неліктен ЭКСПО-2017 көрмесінің ашилудымен байланысты болды?
- «Токамак» құрылғысының іске қосылуы Жер халқын энергиямен қамтамасыз ету мәселесіне қалай әсер етуі мүмкін? Ол біздің планетаның экологиясына қалай әсер етеді?



Есте сақтаңдар!

Лоренц күшінің жұмысы нөлге тең.

Кез келген күштің жұмысын мына формула бойынша анықтауға болады: $A = FScosa$.

Себебі Лоренц күші әркашан жылдамдыққа және бөлшектердің орын ауыстыруына перпендикуляр, $cosa = 0$. Сондықтан Лоренц күші жұмыс жасамайды. Бөлшектің энергиясы өзгеріссіз қалады, ал жылдамдық тұрақты болады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Электрон ені $d = 30$ см біртекті магнит өрісі аймағына магнит индукциясы сзықтарына $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасай, ұшып кіреді. Электронның бастапқы орнынан экранға дейінгі арақашықтық $L = 40$ см. Экранға түскенге дейін электрон неше айналым жасайды? Электрон жылдамдығы $v = 10^4$ м/с, магнит өрісінің индукциясы $B = 10^{-4}$ Тл.

Берілгені:	ХБЖ	Шешуі:
$d = 30$ см	0,3 м	Электрон магнит өрісіне \vec{B} векторына α бұрыш жасай ұшып кіргенде, винттік сзық бойымен қозғалады (291-сурет). Электрон қозғалысын:
$\alpha = 30^\circ$	0,4 м	\vec{B} векторына перпендикуляр жазықтықта тұрақты $v_1 = v \sin\alpha$ жылдамдықпен және магнит индукциясы сзықтары бойымен тұрақты $v_2 = vcosa$ жылдамдықпен қозғалатын екі қозғалыстың косындьысы ретінде қарастыруға болады.
$L = 40$ см		Шеңбер радиусы: $R = \frac{mv_1}{qB} = \frac{mv \cdot \sin\alpha}{qB}$, винт қадамы:
$v = 10^4$ м/с		$h = v_2 T = (vcosa)T$, мұндағы T – электронның айналу периоды, ол мынаған тең: $T = \frac{2\pi R}{v_1} = \frac{2\pi \cdot m}{qB}$, онда винт қадамы мынаған тең: $h = \frac{2\pi \cdot mv \cos\alpha}{qB}$, электронның айналым саны: $N = \frac{L}{h} = \frac{qLB}{2\pi \cdot mv \cos\alpha}$.
$B = 10^{-4}$ Тл		Айналым санын есептейміз:
$N = ?$		$N = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 10^{-4} \text{ Тл}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^{-4} \text{ м/с} \cdot 0,866} \approx 129.$

Жауабы: $N = 129$ айналым.

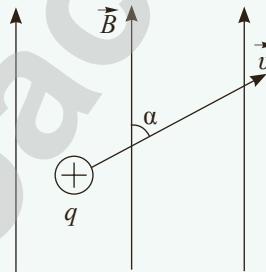
Бақылау сұрақтары

1. Қандай күшті Лоренц күші деп атайды?
2. Оң зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшін қалай анықтайды? Теріс зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшін ше?
3. Егер а) қозғалыс жылдамдығы магнит индукция векторына параллель болса, б) жылдамдық магнит индукция векторына перпендикуляр болса, в) жылдамдық магнит индукция векторымен 90° -тан кем бұрыш құраса, онда бөлшек қандай траекториямен қозғалады?

Жаттығу

47

1. Шамасы $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл нүктелік заряд индукциясы $B = 0,25$ Тл біртекті магнит өрісіне $v = 8$ м/с жылдамдықпен ұшып кіреді. Бөлшек жылдамдығы мен магнит индукциясы арасындағы бұрыш $\alpha = 30$ (298-сурет). Зарядка әсер ететін күштің модулі мен бағытын анықтаңдар.
2. Электрон индукциясы $B = 0,01$ Тл біртекті магнит өрісінде шеңбер бойымен $v = 10^6$ м/с жылдамдықпен қозгалады. Электронга әсер ететін күшті және шеңбер радиусын анықтаңдар.
3. Электрон индукциясы $B = 1$ мкТл біртекті магнит өрісіне магнит индукциясының айналу жиілігін анықтаңдар.
4. Массасы $m = 10^{-22}$ кг және заряды $q = 10^{-6}$ Кл бөлшек индукциясы $B = 0,1$ Тл магнит өрісінде радиусы $R = 1$ см шеңбер дөғасымен қозғалып барады. Бөлшектің кинетикалық энергиясын анықтаңдар.
5. Индукциясы $B = 100$ мкТл біртекті магнит өрісінде винттік сзызық бойымен электрон қозғалып жүр. Егер винттік сзызықтың радиусы $R = 5$ см, ал қадамы $h = 20$ см болса, онда электрон жылдамдығын анықтаңдар.



298-сурет. 1-есепке

Шығармашылық тапсырма

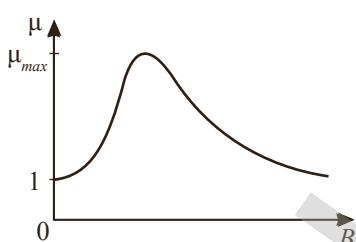
Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Зарядталған бөлшектер үденткіштерінің жасалу тарихы.
2. Радиациядан қорғануда Жердің магнит өрісінің атқаратын рөлі.
3. Магнит өрістері жоқ планеталар.

§ 48. Заттардың магниттік қасиеттері. Кюри температурасы

Күтілетін нәтиже:

- Осы параграфтың иегергенде:
- заттарды магниттік қасиеттеріне байланысты сұрыптауды және олардың қолдану саласын анықтауды;
 - магнитті материалдарды (неодим магниті, датчиктер, сейсмографтар, металл детекторлар) пайдаланудың қазірге заманғы бағыттарын талдап, олардың қолдану үрдістерін талқылауды үйренесіндер.



299-сурет. Ферромагнеттердің магнит өтімділігінің сыртқы өріске тәуелділік графигі

Есте сақтаңдар!

Ферромагнетик химиялық элементтер – темір, никель, кобальт, гадолиний.

I Заттардың магниттік қасиеттері. Магнит өтімділік

Магниттік қасиеттеріне қарай барлық заттарды шартты түрде әлсіз магнитті және күшті магнитті деп бөледі. Заттардың магниттік қасиеттерінің негізгі сипаттамасы – магнит өтімділік болып табылады.

Магнит өтімділік – заттағы магнит өрісінің индукциясы вакуумдағы магнит өрісінің индукциясынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама.

$$\mu = \frac{B}{B_0} ,$$

мұндағы μ – магнит өтімділік, B – заттағы өрістің магнит индукциясы, B_0 – вакуумдағы өрістің магнит индукциясы.

Әлсіз магниттелген заттардың магнит өтімділігі бір сандына жуық. Магнит өтімділігі бірден үлкен $\mu > 1$ заттарды параметтер, ал $\mu < 1$ бірден кіші заттарды диамагнеттер деп атайды. Қосымша дағы 16-кестеде кейбір заттардың магнит өтімділігінің мәндері берілген. Күшті магниттелген ферромагнетик заттардың магнит өтімділігі жүздеген және мындаған бірліктерге жетеді, мысалы, темір үшін $\mu \approx 5000$, никель мен темір қоспасынан тұратын пермаллой үшін $\mu \approx 100000$. Ферромагнеттердің магнит өтімділігі тұрақты емес, ол сыртқы өріске тәуелді, тәуелділік графигі 299-суретте көрсетілген. Сыртқы өрістің магнит индукциясын арттырғанда ферромагнеттердің магнит өтімділігі ең үлкен мәніне дейін артады, содан кейін бірге жуық мәніне дейін кемиді: $\mu > 1$. Ферромагнеттердің магнит өтімділігі кестесінде олардың максимал мәндері берілген.

II Ферромагнетизм табиғаты

Сыртқы магнит өрісі болмаған кезде ферромагнеттердің ішінде өздігінен магниттелген аймактар – домендер болады. Бұл аймактардағы спиндер бір бағытқа бағытталған (300, a-сурет). Сыртқы магнит өрісі болған кезде домендердің шекаралары жоғалады,

олардың магнит өрістері сыртқы өрістің магнит индукциясы векторы бойымен бағытталады, сонымен бірге сыртқы магнит өрісін біршама күштейтеді (300, ә-сурет).

Температураның жоғарғы мәндерінде ферромагнетиктер магниттік қасиеттері жоғалтады. Әрбір зат үшін бұл температура түрлі мәнге ие болады, осы температураны француз физигі П.Кюридің күрметіне *Кюри нүктесі* деп атайды. *Кюри нүктесінен жыгары температурада ферромагнетиктер параметрлерге айналады, олардың магнит өтімділіктері бірге жуық $\mu > 1$ мәнге дейін азаяды.*

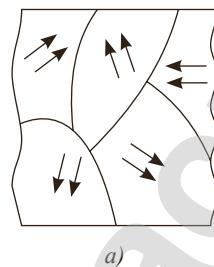
III Ферромагнетиктер және олардың қасиеттері

Ферромагнетиктердің негізгі ерекшелігі – олардың күшті магниттелу қабілеттілігі және магниттелуін ұзақ уақыт сақтай білуі.

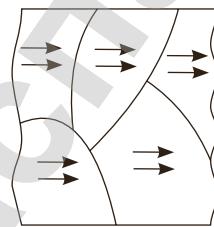
Ферромагнетиктердің магниттелуі сыртқы өрістің \vec{B}_0 магнит индукциясына тәуелді. Магниттеген темірді магнит өрісіне енгізейік, сыртқы өрістің индукциясы артқанда темірдің магниттелуі ең үлкен мәнге дейін артады. Бұл электрондардың орбиталдық айналуы тудырған барлық элементар токтар сыртқы өріспен қатаң белгілі бір бағытта бағытталғанын білдіреді (301-сурет). Магниттеген темір тудырған магнит өрісінің индукциясы \vec{B} ең үлкен мәнге ие болғанда, заттың магниттелуі қанығу мәніне жетеді. Сыртқы өрістің магнит индукциясының ері қарай артуы заттың магнит өрісіне әсер етпейді, темірдің магнит өтімділігі бірге жуық болады: $\mu > 1$ (299-сурет). Барлық ферромагнетиктер жұмсақ магнитті және қатаң ферромагнетиктер болып, екі топқа бөлінеді.

IV Ферромагнетиктердің қолданылуы

Жылдам магниттелу қасиеттеріне байланысты жұмсақ магнитті материалдар трансформаторлардың өзекшелерін, қозгалтқыштар мен генераторлардың электромагниттерін жасауда, магнитоэлектрлік жүйелердің өлшеу құралдарында қолданылады. Қатаң магнитті ферромагнетиктерді тұрақты магниттерді дайындау үшін қолданады. Тұрақты магниттердің магниттелу қасиетін сақтау үшін олардың магниттік сызықтары түйік болуы керек. Тага тәріздес магнит полюстерін пластиинамен – магнит жұмсақ магнитті темірден жасалған зәкірмен жалғайды, осылайша, магнит ішіндегі молекулалардың белгілі бір тәртіппен орналасуын ұзақ уақыт ұстап сақтап тұрады. Жолақ магниттерді сақтау кезінде оларды



a)

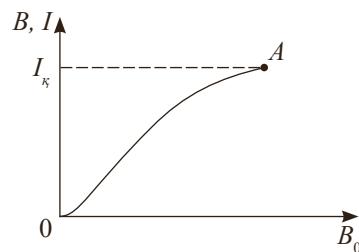


ә)

300-сурет.
Ферромагнетиктердің
домендері

18-кесте. Кейір
заттар ушин Кюри нүктесі

Зат	Температура
Темір	767 °C
Нікель	360 °C
Кобальт	1130 °C



301-сурет. Сыртқы өрістің
магнит индукциясын
арттырса, ферромагниттің
магниттелуі максимал мәнге
дейін артады

бір-біріне әр аттас полюстерімен қатарластырып жұптаиды, магниттердің полюстерін жұмсақ темірден жасалған зәкірмен түйіктайды.

V Неодим магниттер және олардың қолданылуы

Олшемдері кішкентай болса да неодим магниттері ең үлкен тартылыс күшіне ие болады (302-сурет). Олар – энергиясы қарапайым магниттерден 18 есе артық күшті түрақты магниттер. Магнитті ең алғаш 1982 жылы General Motors компаниясы мен оның серіктесі *Sumitomo Special Metals* жасап шыгарды.

Неодим магниттерден магнит құлпылтар, құрамындағы әртүрлі сусындалы өнімдерді металдардан тазалау үшін пайдаланылатын магниттік сепараторлар, әртүрлі процестерді, оның ішінде, гидравликалық пресс поршнедері қозғалысын автоматтандыратын датчиктер жасайды (303, а-сурет). Есіктеге орнатылған қозғалыс датчиктері тиімді күзет жүйесін құруға мүмкіндік береді (303, ә-сурет). Неодим магниттердің пайда болуына байланысты түрақты магниттері бар генераторлар мен қозғалтқыштарды жасау өзекті мәселеге айналды. Сонымен қатар неодим магниттердің кәдессыйлар мен зергерлік әшекейлер жасауда пайдаланады. Заманауи ілгектер, түймелер, тоназытқыштарға жапсырылатын магниттер пайда болды, құрастырылған ойыншықтар, текшелер (304-сурет) сияқты ойыншықтар жасалды. Металіздегіштер үлкен сұранысқа ие болды. Олардың сым арқанға немесе арқанға арналған арнайы бекіткіштері бар. Олар құдықтардан, су қоймаларынан, шұңқыр мен жырақтардан темірден түрткіш заттарды іздеу мен көтеру үшін пайдаланылады. Диаметрі 80 мм және биіктігі 40 мм болатын цилиндр 300 кг салмақты көтеге алады (305-сурет).



Жауабы қандай?

1. Неліктен жұмсақ магниттік ферромагнетиктер түрақты магнит жасауға жарамсыз?
2. Неліктен электромагниттік кран көмегімен қызған темірді тасымалдау мүмкін емес?



302-сурет. Әртүрлі пішіндердегі неодим магниттері



a)



ә)

303-сурет. Неодим магниттерінен жасалған датчиктер



304-сурет. Саусақ икемділігін дамытуға арналған ойыншық-текшие



305-сурет. Неодим магниттен жасалған металіздегіш

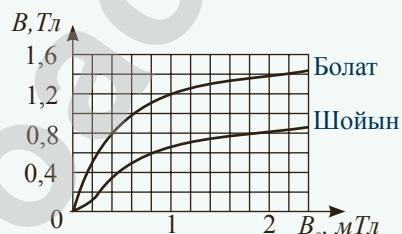
Бақылау сұрақтары

1. Заттарды олардың магниттік қасиеттеріне байланысты қандай түрлерге бөледі?
2. Диамагнетизм, парамагнетизм және ферромагнетизм құбылыстарының табиғаты қандай?
3. Ферромагнетиктердің магниттелуі сыртқы өрістің магнит индукциясына қалай тәуелді?
4. Жұмсақ және қатты магнитті ферромагнетиктердің айырмашылығы нede?
5. Ферромагнетиктер қайда қолданылады?

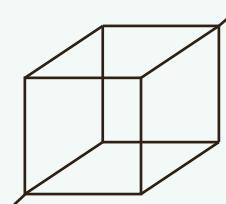
★ Жаттығу

48

1. 306-суретте көрсетілген график бойынша магниттеуіші өріс B_0 индукциясының 0,4 және 1,2 мТл мәндеріндегі болаттың магнит өтімділігін анықтаңдар.
2. Егер соленоидтағы шойын өзекшені өлшемдері сондай болат өзекшемен алмастыrsa, магнит ағыны неше есе өзгереді? Жауап үшін графикті пайдаланыңдар (306-сурет).
3. Текше пішіндес каркастың диагональдағының қарама-қарсы ұштарына тұрақты кернеу беріліп, текшениң қырлары арқылы ток жүреді (307-сурет). Текше центріндегі магнит өрісінің индукциясы неге тең? Егер каркас ішіне шыны текше орналастырылса, магнит индукциясы қалай өзгереді?



306-сурет. 1 және 2-есепке



307-сурет. 3-есепке

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Үнтақты металлургия – тұрақты магниттер жасаудың заманауи технологиясы.
2. Магнитті материалдарды қолданылатын заманауи өндіріс салалары.

13-тараудың қорытындысы

Тогы бар өткізгіш өрісінің магниттік индукциясы	Өзара әрекеттесу күштері	Тогы бар контурдың айналмалы қозғалысын сипаттайтын шамалар
Еркін өткізгіш үшін Био – Савар – Лаплас заңы $ \vec{B} = \left \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \right = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{I_i \Delta I_i \sin \alpha_i}{R_i^2}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2}$	Өткізгіштің магнит өрісі, Ампер күші $F_A = BI \sin \alpha$ Зарядталған бөлшектің магнит өрісі, Лоренц күші $F_L = \frac{F_A}{N}$ $F_L = q_0 B v \sin \alpha$	Айнаудыруши момент $M = BIS \sin \alpha$ Раманың магниттік моменті $P_m = IS$ Траектория қисықтық радиусы $R = \frac{mv}{qB}, R = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{qB}$
Тұзу өткізгіш үшін $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$	Тогы бар екі параллель өткізгіштің өзара әрекеттесу күші $F_A = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$	Винттік траектория қадамы $h = v_{ } T = v T \cos \alpha$ Айналу периоды $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$
Дөңгелек ток үшін $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$		
Соленоид үшін $B = \mu_0 n I$		
Өрістердің суперпозиция принципі $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$		
Заттардың магнит өтімділігі	$\mu = \frac{B}{B_0}$	

Зандар, ережелер

Бұрығы ережесі:

Егер бұрығының ілгерілемелі қозғалысын өткізгіштегі ток бағытымен сәйкестендірсе, онда бұрығы тұтқасының айналмалы қозғалысы магнит өрісінің күш сзықтарының бағытын көрсетеді.

Оң қол ережесі:

Егер қолымызды шарғыға тигізбей, төрт саусағымыз оның орамдарындағы ток бағытын көрсететіндегі етіп ұстасақ, онда 90° -қа бұрылған бас бармақ магнит өрісінің бағытын көрсетеді.

Ампер заңы:

Тогы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күш магнит индукциясының перпендикуляр құраушысының, ток күшінің және өткізгіш ұзындығының көбейтіндісіне тең.

Сол қол ережесі:

Егер сол қолымызды магнит индукция векторы алақанымызға кіретіндегі, ал созылған төрт саусағымызды ток бағытын көрсететіндегі етіп ұстасақ, онда 90° -қа бұрылған бас бармағымыз Ампер күшінің бағытын көрсетеді.

Глоссарий

Диамагнетиктер – магнит өтімділігі бірден кіші $\mu < 1$ заттар.

Магнит өрісі – қозғалыстағы электр зарядтарына, тогы бар өткізгішке, магниттік моменті бар денелерге әсер ететін материяның бір түрі.

Магнит өтімділік – заттағы магнит өрісінің индукциясы вакуумдағы магнит өрісінің индукциясынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама.

Магнит өрісінің күш сыйықтары – жанамалары кез келген нүктеде магнит индукция векторының бағытын көрсететін сыйықтар.

Парамагнетиктер – магнит өтімділігі бірден үлкен $\mu > 1$ заттар.

Ампер күші – магнит өрісі тараپынан тогы бар өткізгішке әсер ететін күш.

Лоренц күші – магнит өрісі тараپынан онда қозғалып жүрген зарядталған бөлшекке әсер ететін күш.

Ферромагнетиктер – үлкен магнит өтімділікке ие заттар.

Магнит индукциясы – магнит өрісінің тогы бар өткізгішке күштік әсерін сипаттайтын физикалық шама.

14-ТАРАУ

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ

Электромагниттік индукция құбылысын 1831 жылы Майкл Фарадей ашты. Бұл электр тогы мен магнит өрісі арасындағы үздіксіз байланысты анықтады. XIX ғасырда электромагниттік индукция құбылысының ашылуынан кейін электротехника мен радиотехниканың қарқынды дамуына жол ашты. Электромагниттік индукция құбылысының негізінде электр энергиясының индукциялық генераторы, трансформаторлар жасала бастады. Электр энергиясын алыс қашықтықтарға жеткізу мүмкін бола бастады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- электромагниттік аспаптардың (электромагниттік реле, генератор, трансформатор) жұмыс істеу принциптеріне талдау жасай аласыңдар;
- есептер шығару кезінде электромагниттік индукция заңын қолдана аласыңдар;
- механикалық және магнит өрісі энергияларының арасындағы үқсастықтарды таба аласыңдар;
- электрқозғалтқыш моделін зерттей аласыңдар және алынған нәтижелерді Фарадей заңы мен Ленц ережесін пайдалана отырып, түсіндіре аласыңдар.

§ 49. Электромагниттік индукция құбылысы. Магнит ағыны. Ампер күшінің жұмысы

Күтілетін нәтиже:

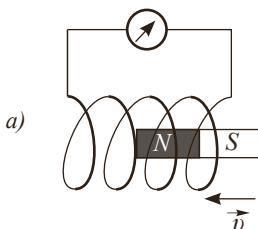
Осы параграфты ізгергенде:

- электромагниттік аспалтардың (электромагниттік реле, генератор, трансформатор) жұмыс істейу принциптеріне талдау жасай аласыңдар.



Өз тәжірибел

308-суретте көрсетілгендей шарғымен және тұрақты магнитпен тәжірибе жүргізіндер. Сонымен қатар электромагнитті қолданыңдар. Тәжірибе негізінде алынған қорытынды мен оқылыштағы қорытындыны салыстырындар.

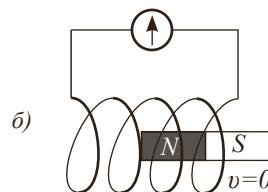
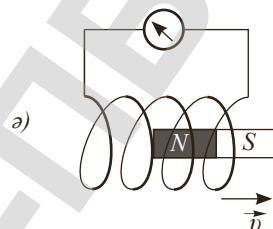


308-сурет. Индукциялық токтың қүші мен бағыты магниттің қозғалыс жылдамдығы мен бағытына тәуелді

I Электромагниттік индукция құбылысы

Электромагниттік индукция құбылысының ашылуы тосыннан болған жоқ. М.Фарадей өткізгіштің айналасында магнит өрісі туында, онда кері процесс те болуы көрек деп есептеді.

Заманауи құралдарды қолдана отырып, тұйықталған өткізгіште қандай жағдайда индукциялық ток пайда болатынын анықтау қын емес. Гальванометрге жалғанған шарғыға енгізілген магнитті қозғасақ, гальванометр көрсеткішінің өзгергенін байқауға болады, бұл индукциялық токтың пайда болғанын білдіреді (308, а-сурет). Магнитті алған кезде тілше қарама-қарсы бағытқа ауытқиды, өткізгіштегі ток өзінің бағытын өзгертеді (308, ә-сурет). Егер магнит шарғыға қатысты қозғалмаса, гальванометр тілшесі нөлді көрсетеді, шарғыда ток болмайды (308, б-сурет).



309-сурет. Жолақ магниттің магнит өрісі біртекті емес

Магниттің шарғыға қатысты орын ауыстыруы оны тесіп өтетін күш сзықтары санының өзгеруіне алып келді, магнит айналасында күш сзықтары тығызырақ болады (309-сурет). Демек, өткізгіш айнымалы магнит өрісінде болса ғана, онда индукциялық ток пайда болады.

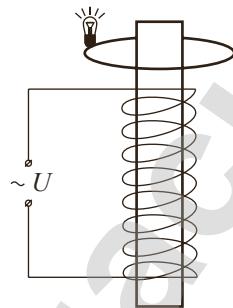
Тұйықталған өткізгіш контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі кезінде индукциялық токтың пайда болуы электромагниттік индукция құбылысы деп аталады.

Айнымалы тогы бар шарғыға қуаты аз шаммен тұйықталған өткізгіш контурды шарғы мен

контурдың осьтері бір сзықтың бойында жатында етіп жақыннатамыз (310-сурет). Шам жарқырай бастайды, мұнда шарғы мен контурды бір-біріне қатысты қозғалудың қажеті жоқ.

Тұйықталған өткізгіш контурда электромагниттік индукция құбылысы мынадай шарттар болғанда байқалады:

- 1) егер тұрақты магнит өрісіндегі контур қозғалысы нәтижесінде оны тесіп өтетін магнит өрісінің күші сзықтарының саны өзгеретін болса;
- 2) егер контур айнымалы магнит өрісінде тыныштықта тұрса.



310-сурет. Айнымалы магнит өрісінде орналасқан тұйықталған контурда индукциялық токтың пайда болуы

II Магнит ағыны.

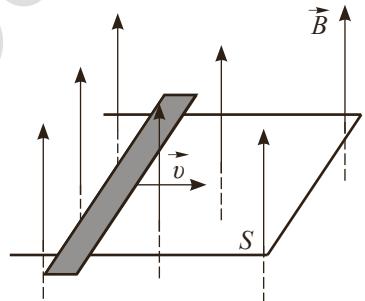
Магнит ағынын өзгерту тәсілдері

Магнит өрісі күш сзықтарының тығызы болуы оның күштік сипатын, яғни магнит индукциясын анықтайтын. Контурды тесіп өтетін магнит өрісі сзықтарының саны магнит ағынын сипаттайтын.

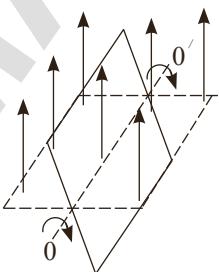
Магнит ағыны – магнит өрісіне енгізілген тұйықталған контурды тесіп өтетін магнит индукциясы сзықтарының саны.

Контурды тесіп өтетін магнит ағынын үш тәсілмен:

- 1) жоғарыда айтылғандай өрістің магнит индукциясын кеміту және арттыру арқылы;
- 2) контурдың ауданын өзгерту арқылы, мысалы, раманың қозғалмалы қабырғасының өзгеруі немесе сыртқы күштердің әсерінен рама пішінінің өзгеруі арқылы (311-сурет).
- 3) магнит өрісіндегі контурдың оны тесіп өтетін сзықтар саны өзгеретіндей айналуы арқылы түрлендіруге болады (312-сурет).



311-сурет. Тұйықталған контур ауданын өзгерту арқылы магнит ағынын өзгерту



312-сурет. Раманың айналу нәтижесінде тұйықталған контур арқылы магнит ағынының өзгеруі



Есте сақтанадар!

Айнымалы магнит өрісін әртүрлі әдіспен – тұрақты магниттің орнын ауыстыру арқылы; электромагнитті айнымалы ток көзіне жалғап, электромагнитті бар тұрақты ток тізбегін ажырату және қосу арқылы алуға болады.

Магнит ағынын өзгерту тәсілдеріне байланысты, оны есептеу формуласын жазамыз:

$$\Phi = BScosa, \quad (1)$$

мұндағы Φ – контурды тесіп өтетін магнит ағыны, B – өрістің магнит индукциясы, S – раманың ауданы, α – раманың ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясының арасындағы бұрыш (313-сурет).

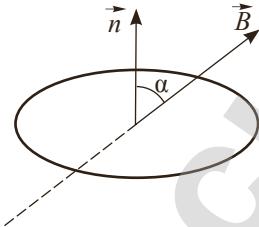
Магнит ағыны – контурды тесіп өтетін магнит өрісінің индукциясының контур ауданына және рама ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясы векторының арасындағы бұрыштың косинусына көбейтіндісіне тең физикалық шама.

(1) – формуладан шығатыны:

$$\Phi = B_n S_2, \quad (2)$$

мұндағы $B_n = Bcos\alpha$ (3) – B векторының контур жазықтығына перпендикуляр құраушысы.

Магнит ағынының ХБЖ-дағы өлшем бірлігі I вебер, ол электр және магнит өрістері саласында көп еңбек еткен неміс физигі Вильгельм Вебердің құрметіне аталған. $[\Phi] = 1$ Вб = 1 Тл · м².



313-сурет. Рама жазықтығына түсірілген нормаль магнит индукциясының векторымен а бұрыш құрайды



III Ампер күшінің жұмысы

Магнит өрісіндегі тогы бар раманың барлық қабырғаларына Ампер күші әсер етеді (314-сурет). Қозгалатын өткізгішке әсер ететін күш онға бағытталған. Магнит индукциясының векторы рама ауданы түсірілген нормальға параллель болғандықтан, өткізгішке әсер ететін Ампер күші мынаған тең болады: $F_A = BIl$.

Өткізгіш өз-өзіне параллель b арақашықтыққа орын ауыстырыды, осы кезде төменде көрсетілген формулаға тең жұмыс атқарылады:

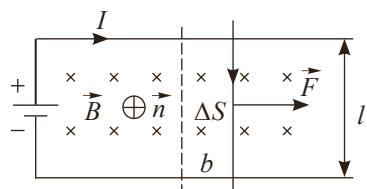
$$A = F_A b = BIlb = BID$$

Магнит индукциясының өткізгіштің орын ауыстыруы кезіндегі пайда болған ауданға көбейтіндісі магнит ағынының өзгерісіне тең екенін ескереміз. Ампер күшін есептеу үшін мынадай формула қолданамыз: $A = I\Delta\Phi$.

Магнит өрісіндегі өткізгіштің орын ауыстыруы кезіндегі Ампер күшінің жұмысы магнит ағыны мен ток күшінің көбейтіндісіне тең.

Мынадай қарама-қайшылық туындауды: Лоренц күші жұмыс жасамайды, ал өткізгіштегі жекеленген зарядтарға әсер ететін Лоренц күштерінің қосындысына тең Ампер күші жұмыс жасайды. Бұл қарама-қайшылық Ампер күшін анықтауды Лоренц күшінің өткізгіш бойындағы зарядтың қозғалыс жылдамдығымен байланысты

Вильгельм Эдуард Вебер (1804–1891) – неміс физигі. Вебердің негізгі енбектері электромагнетизмге, акустикаға, жылулық құбылыстарына, молекулалық физикаға негізделген. 1840 жылдан бастап, Вебер электростатикалық және магниттік бірліктер жүйесін құрумен және олардың арасындағы байланысты анықтаумен айналысқан. Магнит ағынының өлшем бірлігі оның есімімен аталады.



314-сурет. Қозғалыстағы өткізгіштің орын ауыстыруы кезінде Ампер күші жұмыс жасайды: электр өрісінің энергиясы механикалық энергияга айналады.

тек бір гана құраушысын алғандықтан туындалп отыр. Лоренц қүшінің екінші құраушысы өткізгіштің өзінің қозғалыс жылдамдығымен байланысты, ол өткізгіштің қозғалысына қарындаған есептесінде. Токты ұстап түру үшін ток көзі осы жұмысты толықтырып отырады. Осылайша, Лоренц қүштері ЭКК қозінің энергиясын механикалық жұмысқа айналдырады.

Ток көзі болмаған жағдайда раманы жалғастырыштардың қозғалысы сыртқы қүштердің әсерінен болады. Бу немесе газ турбиналарының раманы қозғалысқа келтіретін индукциялық ток тудыратын генератордың жұмыс істеу принципі осыған негізделген.

1-тапсырма

Қозғалыстағы жалғастырыш орналасқан оң зарядқа әсер ететін Лоренц қүштерінің құраушыларын бейнелеңдер.

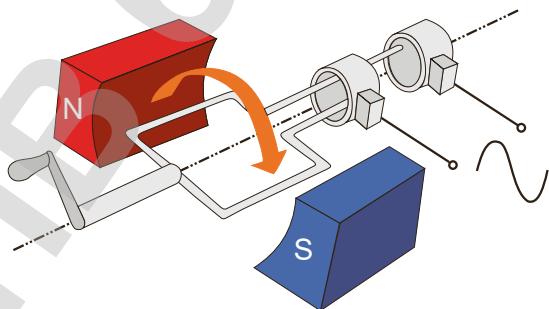
Екі құраушының жасаған жұмыстарының қосындысы нөлге тең екенін дәлелдендер.

IV Электромагниттік аспаптардың жұмыс істеу принципі

Индукциялық ток генераторы, трансформатор, электромагниттік реле аспаптарының жұмыс әрекеті электромагниттік индукция құбылысына негізделген. 315–320-суреттерде олардың түрлері және принциптік сұлбалары көрсетілген.



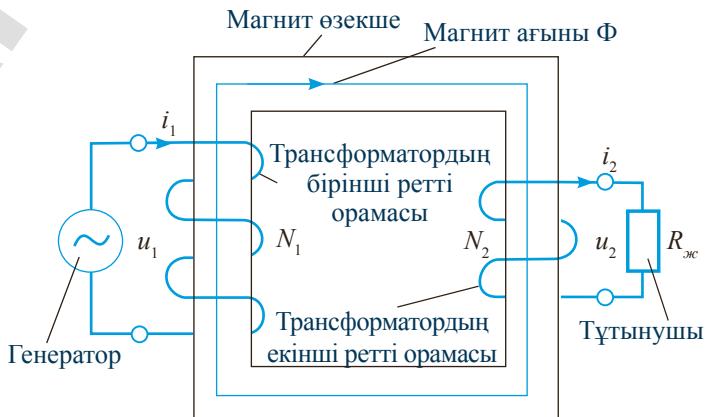
315-сурет. 4ГПЭМ 55 тұрақты ток генераторы



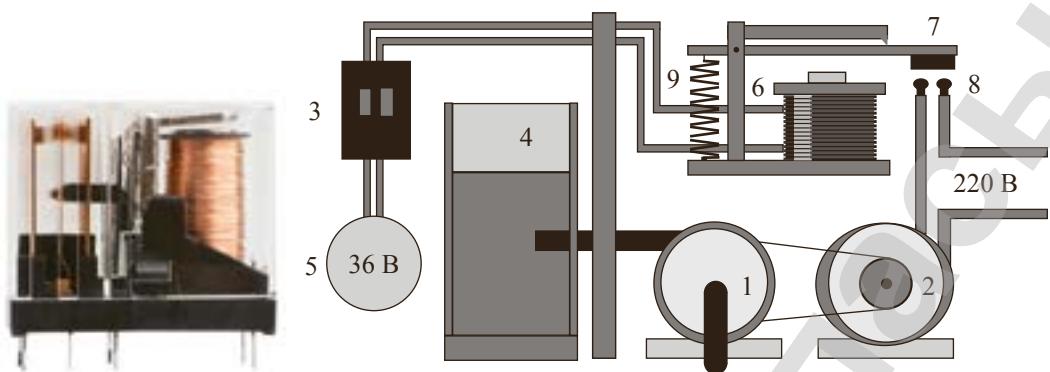
316-сурет. Айнымалы ток генераторының принциптік сұлбасы



317-сурет. Трансформатор



318-сурет. Трансформатордың принциптік сұлбасы



319-сүрет. Электромагниттік реле

320-сүрет. Электромагниттік релеңін принциптік сұлбасы:
 1 – сорғы, 2 – электрқозгалтқыш, 3 – кілт, 4 – бассейн,
 5 – ток көзі, 6 – электромагнит, 7 – болат пластина,
 8 – контактілер, 9 – серінне.

Бақылау сұрақтары

1. Электромагниттік индукция құбылысы нені білдіреді?
2. Қандай шарт кезінде түйікташтан өткізгіш контурда индукциялық ток пайда болады?
3. Магнит ағынын не сипаттайды?
4. Электромагниттік индукция заңы дегеніміз не?

Жаттығу

49

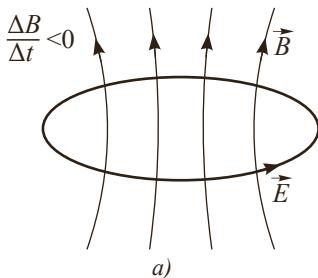
1. Сымнан жасалған сақина индукциясы $B = 0,5$ Тл біртекті магнит өрісінде сақина жазықтығы күш сзықтарымен $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасайдында орналасқан. Сақина арқылы өтетін магнит ағыны $\Phi = 24$ Вб. Сақина радиусын анықтаңдар.
2. Радиусы $R = 0,1$ м сымнан жасалған сақина біртекті магнит өрісінде индукция сзықтары оның жазықтығына перпендикуляр болатында, орналасқан. Магнит өрісінің индукциясы $B = 20$ мТл. Егер оны а) 180° ; ә) 360° -қа бұрсақ, сақинаны тесіп өтетін магнит ағыны неше есе өзгереді?

§ 50. Электромагниттік индукция заңы. Ленц ережесі

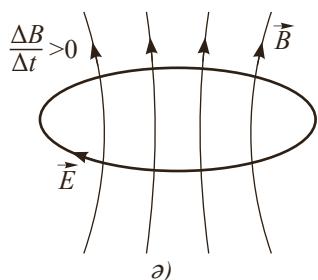
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфтың иегергенде:

- есептер шығару кезінде электромагниттік индукция заңын қолдана аласыңдар.



a)



б)

321-сурет. Айнымалы магнит өрісі қеңістікте айнымалы электр өрісін тудырады

Назар аударыңдар!

Магнит өрісінің магнит индукциясы азайғанда құйынды электр өрісінің кернеулік векторы магнит өрісінің күш сзықтарымен оң винт құрайды. Бұл жағдайда кернеулік векторының бағытын бұрғы ережесімен немесе он кол ережесімен аныктайды.

Магнит индукциясы көбейгенде кернеулік векторы магнит индукциясының векторларымен сол бағыттағы винтті құрайды.

I Құйынды электр өрісі.

Электромагниттік индукция заңы

Тұйықталған өткізгіш контурда индукциялық токтың пайда болуы электр өрісінің белгілі бір ток көзінен пайда болғанын дәлелдейді. Бұл өрісті айнымалы магнит өрісі тудырады, оның күш сзықтарының басы не ұшы болмайды, мұндай өріс құйынды өріс деп аталаады. Контурдың тесіп өтетін магнит ағыны негұрлым жылдам өзгерсе, ондағы ЭКК-да соншалық көп болады:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

Электромагниттік индукция заңының мәні де осында:

Айнымалы магнит өрісі тудырған құйынды өрістің ЭКК-ның индукциясы бірлік уақыт ішінде контурмен шектелген беттен өтетін магнит ағынының өзгерісіне тең.

Егер контур бірнеше орамнан тұрса, онда ЭКК-і N есебі өседі:

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t},$$

мұндағы N – орам саны.

Минус таңбасы құйынды өрістің өсеріне ұшыраған индукциялық токтың бағытын анықтайды.

II Максвелл гипотезасы

Айнымалы магнит өрісіндегі қозғалмайтын контурда ЭКК индукциясының пайда болуын құйынды электр өрісінің бар екенімен ғана түсіндіруге болады. Осындағы өрістің болуы мүмкін екенін алғаш рет Максвелл болжады. Ол: *айнымалы магнит өрісі қеңістікте айнымалы электр өрісін тудырады, оның кернеулік сзықтары магнит өрісінің индукция сзықтарын қамтиды (321, а, ә-суреттер)* деп санады. Құйынды электр өрісіне енгізілген контурдағы еркін зарядталған бөлшектер белгілі бір бағытта қозгалады. Контурда электр тогы пайда болады:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}, \quad (2)$$

мұндағы R – контурдың кедергісі, ε_i – құйынды ток индукциясының ЭКК, I_i – индукциялық ток.



Есте сақтаңдар!

Кедергісі өте аз, бірақ көлемді тұтас өткізгіштердегі индукциялық токтар жоғарғы мәнге жете алады. Мұндай токтарды Фуко токтары деп атайды. Оларды металдарды балқытуға арналған индукциялық пештерде колданады. Электр энергиясының шығындалуын және Фуко токтарын азайту үшін трансформатор өзекшелерін және генераторлар мен қозғалтқыштардағы электромагниттерді жеке оқшауланған пластиналардан құрайды.

III Магнит өрісінде қозғалатын өткізгіштің индукциясының ЭҚҚ

Контур магнит өрісінде қозғалыста болған жағдайда, индукция ЭҚҚ-сы пайда болуы ондағы Лоренц күшінің еркін зарядтарға әсерінен болады. Тұйықталған контурдың MN бөлігі магнит өрісінің сызықтарын кесіп өтіп, v жылдамдықпен қозғалды делік (322-сурет). Осы бөліктегі электрондарға Лоренц күші әсер етеді, ол M үшінан N үшінана қарай бағытталады. Электрондар орын ауыстырып, ұзындығы l болатын MN өткізгішінің ұштары арасындағы потенциалдар айырымын тудырады. Ол индукцияның ЭҚҚ-не тең:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -B \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (3)$$

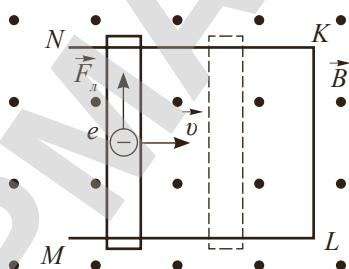
мұндағы $\Delta S = (v \Delta t)l$ (4) – контур ауданының Δt уақыт аралығындағы өзгерісі.

(4) формуласы (3) формулаға қойып, мынадай өрнек жазамыз:

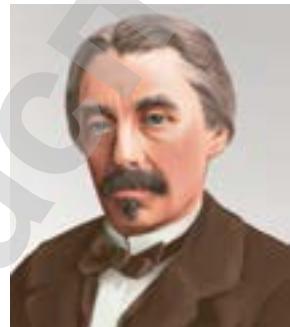
$$\varepsilon_i = Bvl. \quad (5)$$

Магнит индукциясы векторының бағыты жылдамдық векторымен α бұрышын құраган жағдайда, оның жылдамдыққа перпендикуляр құраушысын анықтау керек (323-сурет): $B_{\perp} = Bsina$, онда тендік (5) мынадай түрде жазылады:

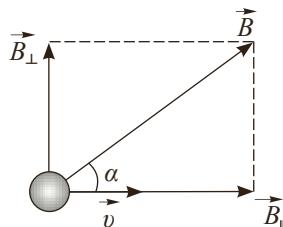
$$\varepsilon_i = Bvlsina. \quad (6)$$



322-сурет. Магнит өрісінің күш сызықтарымен қыылдыруы кезінде өткізгіш ұштарындағы потенциалдар айырымының пайда болуы



Жан Бернар Леон Фуко (1819–1868) – француз физигі, механик және астроном, Париж және Берлин FA мүшесі. Фуко маятнигін жасаушы реңтінде танымал болған, гироскопты ойлап тапқан. Аудады және судағы жарық жылдамдығын анықтаған. Массалары үлкен металл өткізгіштердің магнит өрісінде жылдам айналу кезінде қызатынына алғаш назар аударған.



323-сурет. Магнит индукция векторының құраушыларға жіктелуі

Индукцияның ЭКК-сы тұйықталмаған өткізгіштің үштарында пайда болуы мүмкін, мұндай жайт өткізгіш магнит өрісінде оның күш сзызықтарын «қыып өтіп» қозғалатын жағдайда орын алады (324-сурет). Лоренц күші мен өткізгіштің үшындағы артық зарядтар тудырған электр өрісінің күші модульдері бойынша тең болғанда магнит өрісінде қозғалып жүрген өткізгіштегі электрондардың қозғалысы тоқтайды:

$$|F_{\perp}| = |F_{\phi\theta}| \text{ немесе } qBv \sin \alpha = qE.$$

$$E = \frac{U}{l} = \frac{\varepsilon_i}{l} \text{ болғандықтан, } vB \sin \alpha = \frac{\varepsilon_i}{l},$$

бұдан шығатыны: $\varepsilon_i = Bv \sin \alpha$.

Өткізгіш күш сзызықтары бойымен қозғалғанда оның үштарында индукцияның ЭКК-сы пайда болмайды.

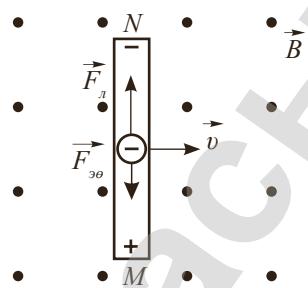
IV Энергияның сақталу заңы тұрғысынан тогы бар шарғы мен магниттің өзара әрекеттесуі

Жолақ магнитпен және гальванометрге жалғанған шарғымен жүргізілген тәжірибеде гальванометр тілшесі біресе бір жаққа, біресе екінші жаққа ауытқып отырды (308-сурет, § 49).

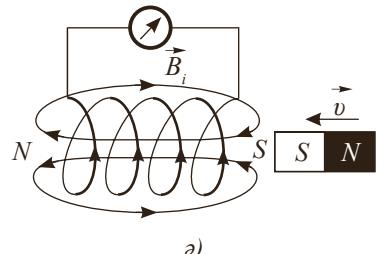
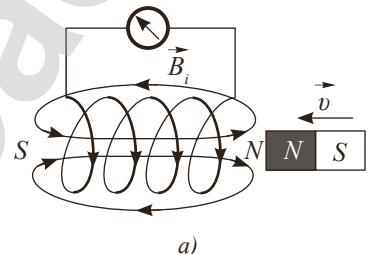
Магнит пен шарғыны жақындау үшін орындалған жұмыс – он, өйткені магниттің орын ауыстыруы мен оған түсірілген күштің бағыты бағыттас. Энергияның сақталу заңына сәйкес индукциялық ток тудырған шарғының магнит ағыны магнитті итеруі керек. Тогы бар шарғы электромагнит бола алатындықтан, мынағай қорытындыға келу қын емес: Шарғының магнитке қарастылған үштарында индукциялық ток аттас полюсты құрайды (325-сурет). Осылайша, магнитті жақындағатқанда индукциялық ток тудырған магнит өрісінің көріністің күштеріне қарсы жұмыс жасалады.

V Магнит ағынының сақталу заңы

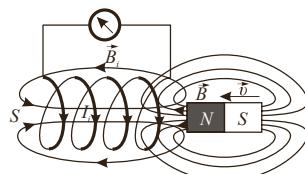
Магнитті шарғыға жақындағатқанда магнит ағыны артады (326-сурет). Бұл жағдайда шарғы ішінде магниттің \vec{B} және шарғының \vec{B}_i магнит индукция векторлары бір-біrine қарама-қарсы бағытталады. Шарғыдағы индукциялық ток тудырған өріс магнит ағынының артуына кедегі келтіреді.



324-сурет. Өрістің күш сзызықтарын кесіп откен, өткізгіштің үштарында ЭКК пайда болады



325-сурет. Шарғының оған жақындағатылған магнитке қарасты үшында индукциялық ток аттас полюс құрайды



326-сурет. Шарғының магнит өрісі оған жақындағының магниттің магнит ағынының артуына қарсы әрекет етеді

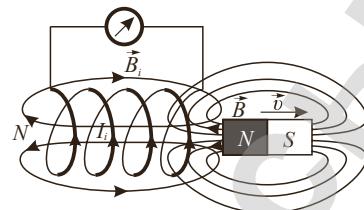


1-тапсырма

Индукциялық токтың магнит өрісінің күш сзызықтарын бейнелеңдер және магнит алыстаратылған жағдайда шарғының полюстерін көрсетіңдер.

Магнитті алыстатқанда оның күш сыйықтарының тығыздығы және шарғыны тесіп өтетін магнит ағыны кемиді. Шарғының ішіндегі индукциялық токтың магнит сыйыктары магниттің күш сыйыктары сияқты бағытталады (327-сурет). Индукциялық ток өзінің өрісімен шарғыны тесіп өтетін ағынды күштейтіп, оны бастапқы күйінде сақтап қалуға тырысады.

Индукциялық токтың магнит өрісі мен айнымалы магнит өрісінің өзара әрекеттесуі кезінде магнит ағынының сақталау заңы орындалады. Электромагниттік индукция заңындағы « \leftrightarrow » таңбасы – осы заңының орындалуын көрсетеді.



327-сурет. Шарғының магнит өрісі алыстан бара жатқан магнит тудырған магнит ағынының азаюына қарсы әрекет етеді

VI Ленц ережесі

Гальванометрмен түйікталған шарғы мен тұрақты магниттің өзара әрекеттесуі қарастырып отырган жағдайда Ленц ережесіне сәйкес жүреді:

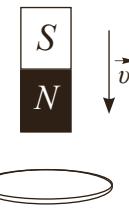
Контурдағы индукциялық ток әрқашанда оның магнит өрісі осы токты тудырған магнит ағынының өзгерісіне кедергі жаһайтындағы бағытталады.

Индукциялық ток бағытын анықтауда Ленц ережесін пайдаланғанда төмөндегідей алгоритмді қолдану керек:

1. Түйікталған өткізгіш контурдың сыртқы өрісі үшін магнит индукциясының \vec{B} бағытын анықтау керек.
2. Контурды тесіп өтетін магнит индукциясының ағыны арттынан немесе азайтынан анықтау керек.
3. Ленц ережесіне сәйкес индукциялық ток тудырған өрістің \vec{B}_i магнит индукциясының бағытын анықтау керек:
 - егер ағын артса ($\Delta\Phi > 0$), онда индукциялық өрістің сыйыктары сыртқы өрістің магнит индукциясы сыйыктарына қарама-қарсы бағытталады ($\vec{B}_i \uparrow \downarrow \vec{B}$);
 - егер ағын азайса ($\Delta\Phi < 0$), онда индукциялық токтың және магнит индукциясының сыйыктары бағыттас болуы керек ($\vec{B}_i \uparrow \uparrow \vec{B}$).
4. \vec{B}_i векторының бағыты бойынша бүрғы ережесін пайдалана отырып, I_i индукциялық токтың бағытын анықтаңдар.

2-тапсырма

Алгоритмді қолдана отырып, 328-суретте көрсетілген түйікталған өткізгіш контурдағы индукциялық токтың бағытын анықтаңдар. Тұрақты магнит контурға жақындаған келе жатыр.



328-сурет. Тапсырмага



Есте сақтаңдар!

Сыртқы магнит өрісінің магнит ағыны артқан кезде немесе $\Delta\Phi > 0$ болғанда, күйінды электр өрісі индукциясының ЭКК магнит ағынының артуына кедергі келтіреді, $\varepsilon_i < 0$.

Сыртқы магнит өрісінің магнит ағыны кеміген кезде немесе $\Delta\Phi < 0$ болғанда, индукцияның ЭКК магнит ағынын арттыруға ұмтылады, $\varepsilon_i > 0$.



Өз тәжірибелен

- Егер екі демонстрациялық гальванометрлердің клеммаларын сыммен жалғап, одан соң аспаптардың бірін тербелту арқылы ондағы тілшені тербеліске алып келсе, онда тыныштықта тұрган аспаптың тілшесі де тербеле бастайды. Тәжірибелі түсіндіріндер және тексеріп көріндер.
- Томсон тәжірибесін қалай түсіндіруге болады: темір өзекшеге үлкен көлемдегі мыс сыммен шарғы оралған. Өзекшеге мысттан жасалған массивті сақина еркін жүретіндей кигізілген. Шарыны айнымалы тогы бар тізбекке жалғағанда сақина ырғып шығады.



Жауабы қандай?

- Егер тұсбағардың корпусы жезден жасалса, неге оның тілшесінің тербелісі тез тоқтайды, ал корпус пластмассадан жасалса, баяу тоқтайды?
- Неге құлап бара жатқан тұбық өткізгіш сақина жолақ магнитке жақындағанда өзінің қозғалысын баяулатады? Егер сақина тұбық болмаса, неліктен баяулау байқалмайды?

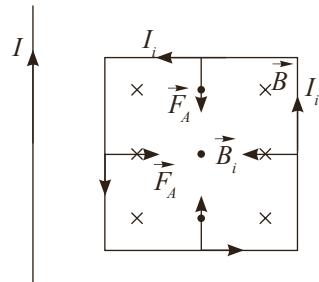
ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Тұбықталған тік төртбұрышты контур тогы бар түзу өткізгіштің жазықтығында орналасқан. Өткізгіштегі ток күші арта бастайды. Контурдағы индукциялық токтың бағытын және контурға әсер ететін Ампер күшін анықтандар.

Шешүі:

Ленц ережесі бойынша индукциялық токтың бағытын анықтау алгоритмін қолданамыз.

- Тогы бар өткізгіш сыртқы өрісті тудырады. Контур ішінде магнит өрісінің сзықтары рама жазықтығына перпендикуляр және бізден әрі қарай бағытталған (*сүретті қараңдар*), оларды айқыш сзықтар түрінде бейнелейік.
- Есептің шарты бойынша ток күші артады, ал ол ағынның артуына алып келеді $\Delta\Phi > 0$.
- $\Delta\Phi > 0$, демек, \vec{B}_i сыртқы өрістің магнит индукциясы векторына қарама-қарсы бағытталады: $\vec{B}_i \uparrow\downarrow \vec{B}$. \vec{B}_i векторын суретте рама жазықтығына перпендикуляр жоғары бағытталған нүктे – жебе ретінде саламыз.
- Бұғы өрежесін қолдана отырып, \vec{B}_i векторының бағыты бойынша, I_i индукциялық токтың бағытын анықтаймыз.



Индукциялық ток сағат тіліне қарама-қарсы бағытталған.

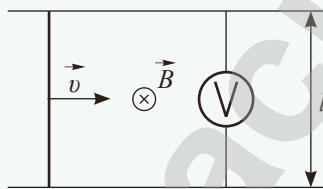
Раманың қабырғаларына әсер ететін Ампер күшінің бағытын сол қол ережесімен анықтаймыз. Ампер күші күшейгенде магнит ағынын әлсіретуге ұмтылып, раманы шығады.

Бақылау сұрақтары

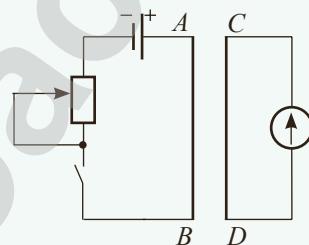
- Жақындағы магнит шарғы магнит өрісінде қандай полюс тудырады?
- Тұбық контурдан магнитті алыстатып немесе жақындағы қандай күштерге қарсы жұмыс жасау керек?
- Магнит ағынының сақталу заңының мәні неде?
- Ленц ережесін тұжырымдаңдар.



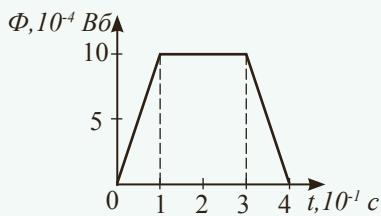
- Орам саны $N = 400$ соленоидтағы индукцияның ЭҚК-ның мәні $\varepsilon_i = 100$ В болғанда магнит ағыны жылдамдығының өзгерісін анықтаңдар.
- Үстелдің үстінде жаткан металл сақинаны аударды. Сақинаның радиусы $r = 10$ см, кедегісі $R = 2$ Ом. Егер Жердің магнит өрісі индукциясының вертикаль құраушысы $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл болса, онда сақина арқылы қандай заряд өтеді?
- Екі параллель өткізгіш индукциясы $B = 1$ Тл біртекті магнит өрісінде өрістің күш сзызыктары өткізгіштер орналасқан жазықтыққа перпендикуляр болатындей орналасқан. Өткізгіштермен перпендикуляр металл жалғастырығыш оларға перпендикуляр сырғанап, $v = 10$ м/с жылдамдықпен вольтметрге жақындалап келеді. Өткізгіштердің арақашықтығы $l = 1$ м (329-сурет). Вольтметрдің көрсеткішін анықтаңдар.
- Мына жағдайларда CD өткізгішіндегі (330-сурет) индукциялық токтың бағытын анықтаңдар:
 - өткізгіш AB тізбегін түйіктеганда;
 - өткізгіш AB тізбегінен ажыратылғанда;
 - тізбектегі AB өткізгішіне реостат түйікталған тұтқасы жоғары және төмен орын ауыстырылғанда;
 - AB және CD контурларының тұзу сзызықты бөліктерін жақыннатқанда немесе алыстатқанда.
- Шарғыны тесіп өтетін магнит ағыны уақыт етуімен 331-суреттегідей өзгереді. Шарғыдағы индукцияның ЭҚК өзгеріс графигін салындар. Егер шарғыда 400 орам болса, онда индукцияның ЭҚК максимал мәні қанша болады?



329-сурет 3-тапсырмада



330-сурет. 4-тапсырма



331-сурет. 5-тапсырмада

§ 51. Өздік индукция құбылысы. Индуктивтілік. Магнит өрісінің энергиясы

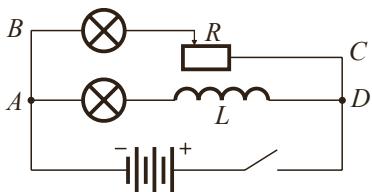
Күтілетін нәтиже:

- Параграфты оқып, сендер механикалық және магнит өрісінің энергиялар үқсастықтарын таба аласыңдар.

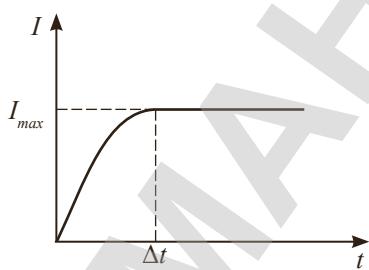
I Өздік индукция құбылысы

Өздік индукция құбылысы айнымалы тогы бар өткізгіштерде байқалады. Айнымалы ток өткізгіштің айналасында айнымалы магнит өрісін тудырады, ол өз кезегінде Максвелл гипотезасына сәйкес құйынды электр өрісін туғызады. Құйынды өрістің әсерінен өткізгіште индукциялық ток пайда болады, ол Ленц ережесі бойынша магнит ағынының өзгеруіне жол бермейді.

Өздік индукция – өткізгіш контур арқылы өтетін ток өзгергенде осы контурда индукциялық ЭҚҚ пайда болу құбылысы.



332-сурет. Аз актив кедергісі бар шарғыда өздік индукция құбылысы байқалады, А шамы кешігіп жанады



333-сурет. Шарғыдағы ток күшінің максимал мәнге жетуі үшін Δt уақыт қажсет

Егер өткізгіш тұрақты ток көзіне жалғанған болса, онда электромагниттік индукция құбылысын тізбектің іске қосылған, өшірілген сәтінде бақылауға болады. 332-суретте екі шамның ток көзіне параллель жалғануының сұлбасы бейнеленген. Оның бірі реостат арқылы, екіншісі аз актив кедергісі бар шарғы арқылы жалғанған. Реостаттың көмегімен шамдардың біркелкі жарқырауына кол жеткізуге болады. Кілттің тұйықталуы кезінде шарғы арқылы жалғанған шам кешігіп жанады. Мұны шарғыда өздік индукция ЭҚҚ пайда болуымен және тармақтағы ток күшінің Δt уақыт аралығында максимал мәнге дейін осуімен түсіндіруге болады (333-сурет).

Тізбек ажыратылған сәттегі өздік индукция құбылысын 334, а-суретте бейнеленген тізбекпен жасалған тәжірибе барысында бақылауға болады. Ленц ережесіне сәйкес, тізбекті ток көзінен ажыратқан кезде, шарғыда индукциялық ток пайда болады (334, ә-сурет). Оның бағыты ток көзі тудырган ток бағытымен бірдей болады (344, а-сурет).

Индукциялық ток шарғы мен гальванометрден тұратын тұйықталған контур бойымен өтеді де, гальванометр тілшесін қарсы жаққа бағыттайты. Гальванометр көрсеткіштері бойынша тізбектегі тоқтың біртіндеп өшетінін бақылауға болады (335-сурет).

II Шарғының индуктивтілігі

Өздік индукция құбылысы меканикадағы инерция құбылысына ұқсас. *Шарғы инерттілік қасиетке ие.*

Шарғының инерттілік қасиетін сипаттайтын физикалық шама индуктивтілік деп аталады.

Өздік индукция құбылысын тудыратын индуктивтілік пен магнит ағынының арасында байланыс орнатамыз. Шарғыны тесіп өтетін магнит ағыны мынаған тен:

$$\Phi = BS N \cos \alpha, \quad (1)$$

мұнда N – шарғының орам саны.

Шарғы тудырған магнит ерісінің индукциясы:

$$B = \mu_0 n I, \quad (2)$$

мұндағы μ – өзектік магнит өтімділігі, n – бірлік ұзындықтағы орам саны, шарғының орам санының оның ұзындығына қатынасымен анықталады:

$$n = \frac{N}{l}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулаларды (1) формулаға қоямыз, сонда:

$$\Phi = \mu \cdot \mu_0 \frac{N^2}{l} S I \cos \alpha. \quad (4)$$

Формуладағы (4) шарғының өлшемдері мен қасиеттерін сипаттайтын барлық шамаларды анықтап, L әрпімен белгілейміз:

$$L = \mu \cdot \mu_0 \frac{N^2}{l} S = \mu \cdot \mu_0 n^2 l S.$$

Шарғының индуктивтілігін есептеу формуласы алынды:

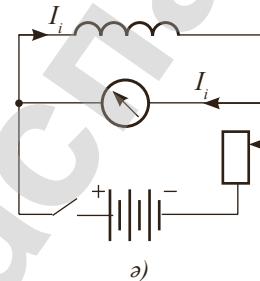
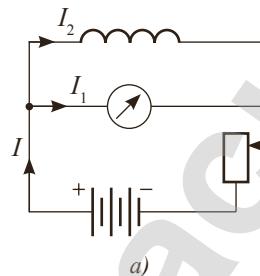
$$L = \mu \mu_0 n^2 l S. \quad (5)$$

Индуктивтілік шарғы өлшемдеріне l мен S , өзекшеннің μ материалына және орамның тығыздығына ғана тәуелді болады.

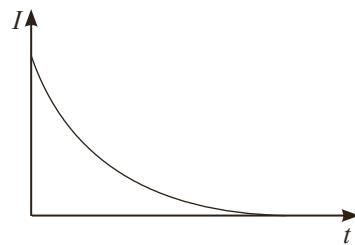
Ол шарғыдағы ток күшине және одан өтетін ағынга тәуелді емес, ол мына шамалардың пропорционалдық коэффициенті болып табылады:

$$\Phi = L I. \quad (6)$$

ХБЖ-да индуктивтіліктің өлшем бірлігі америкалық физик Джозеф Генридің құрметіне *генри* деп аталған: $[L] = 1$ Гн.



334-сурет. Ток көзінен ажыратылғаннан кейін шарғыдағы индукциялық ток гальванометрдің тілшесін қарама-қарсы жақта ауытқытады



335-сурет. Шарғыдағы ток күши қандай да бір уақыт аралығында нөлдік мәнге дейін өзгереді



1-тапсырма

Шарғы индуктивтілігінің оның өлшемдеріне және орам санына тәуелділік графигін сыйындар.

III Өздік индукцияның ЭҚК-сы

Электромагниттік индукция заңын және (5) формуланы қолданып, өздік индукцияның ЭҚК-сын есептеуге арналған мына өрнекті аламыз:

$$\varepsilon_{iS} = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = -\frac{LI_2 - LI_1}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Осыған байланысты, өздік индукцияның ЭҚК-сы:

$$\varepsilon_{iS} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (7)$$

Бұл формуладан шығатыны: $L = \frac{\varepsilon_{iS}}{|\Delta I| / \Delta t}$,
демек: $1\text{ГН} = \frac{1\text{В}}{1\text{А} / \text{с}}$.



Джозеф Генри (1797-1878) – Америка физигі, атақты ғалымдардың бірі, Смитсон институтының бірінші хатшысы. Магниттерді жасау барысында Генри электромагнетизмде өздік индукция құбылысын ашты. Фарадейден төуелсіз Генри өзара индукцияны ашты. Оның электромагниттік реле бойынша жасаған жұмыстары электрлі телеграфтың негізі болды.

IV Магнит өрісінің энергиясы

Шарғының магнит өрісінің энергиясын, шарғының инерттілік қасиеттері мен кинетикалық энергиясы бар қозғалыстағы дененің үқсастығын пайдаланып, байлай жазуға болады:

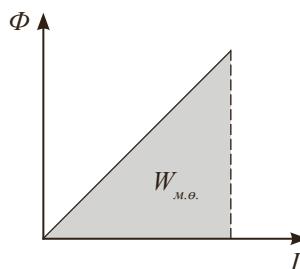
$$W_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (8)$$

Шарғының магнит өрісінің энергиясын есептеу формуласы (8) формулаға ұқсас, мынадай түрге енеді:

$$W_{m.o.} = \frac{LI^2}{2}. \quad (9)$$

Құйынды өрісті игеру үшін ток көзінің атқарған жұмысын графикалық әдіспен анықтаймыз. 336-суретте магнит ағынының шарғыдағы ток күшіне тәуелділігі бейнеленген, фигураның ауданы сандық мәні бойынша атқарылған жұмысқа тең, демек, шарғыдағы магнит өрісінің энергиясы:

$$W_{m.o.} = \frac{I\Phi}{2} = \frac{LI^2}{2}. \quad (10)$$



V Магнит өрісі энергиясының тығыздығы

Магнит өрісі тогы бар өткізгішпен бірге кеңістіктің біраз бөлігін қамтиды. *Магнит өрісінің энергетикалық сипаттамасы болып табылатын магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығын енгіземіз:*

$$\omega_{m.o.} = \frac{W_{m.o.}}{V}, \quad (11)$$

мұндағы ω – магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы. (11) формулаға (10) және (5) формулаарды қойсак:

$$\omega = \frac{LI^2}{2V} = \frac{\mu \cdot \mu_0 n^2 L S I^2}{2LS} = \frac{\mu \cdot \mu_0 n^2 I^2}{2}. \quad (12)$$

336-сурет. Магнит ағынының шарғыдағы ток күшіне тәуелділік графигі



Жауабы қандай?

1. Шарғының индуктивтілігін қалай өзгертуге болады?
2. Бұл шарғының активтік көдергесінен қалай әсер етеді?

(2) формуланы ескерсек:

$$\omega_{\text{м.о.}} = \frac{B^2}{2\mu \cdot \mu_0}. \quad (13)$$

Энергияның тығыздығы берілген ортанды магнит индукциясының квадратына тұра пропорционал.



Жауабы қандай?

Магнит өрісі энергиясының тығыздығы неге магниттік қысым деп аталауды?



Есте сақтаңдар!

Энергияның көлемдік тығыздығының ХБЖ-дағы өлшем бірлігі:

$$[\omega] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$$



Жауабы қандай?

- Неге қуатты электр қозғалтқыштарды ток көзінен реостаттың көмегімен бірқалыпты және баяу ажыратылады?
- Неге қарама-қарсы бағытталған екі қабат орамасы бар шарғыда индукциялық ток пайды болмайды?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРИ

Кедергісі $R = 20 \text{ Ом}$ және индуктивтілігі $L = 0,01 \text{ Гн}$ шарғы айнымалы магнит өрісінде орналасқан. Осы өріс тудырған магнит ағыны $\Delta\Phi = 1 \text{ мВб}$ ұлғайған кезде, шарғыдағы ток қүші $\Delta I = 0,05 \text{ А}$ өсті. Бұл уақытта шарғы бойымен қандай Δq заряд өтті?

Берілгені:

$$\begin{aligned} R &= 20 \text{ Ом} \\ L &= 0,01 \text{ Гн} \\ \Delta\Phi &= 1 \text{ мВб} \\ \Delta I &= 0,05 \text{ А} \end{aligned}$$

$$\Delta q - ?$$

ХБЖ

$$10^{-3} \text{ Вб}$$

Шешуі:

Шарғыдағы ток $L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ өздік индукциясының ЭҚҚ-сына қарсы әсер ететін $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ индукцияның ЭҚҚ-сын тудырады. Демек, шарғысы бар тізбек бөлігі үшін

Ом заңы мына түрде болады: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR$.

Тендеуді Δt уақытқа көбейтеміз: $\Delta\Phi - L\Delta I = IR\Delta t$,
бұдан $\Delta q = I\Delta t = \frac{\Delta\Phi - L\Delta I}{R}$.

$$\text{Есептейміз: } \Delta q = \frac{10^{-3} \text{ Вб} - 0,01 \text{ Гн} \cdot 0,05 \text{ А}}{20 \text{ Ом}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Кл.}$$

Жауабы: 25 мкКл.

Бақылау сұрақтары

1. Өздік индукция құбылысы нені білдіреді?
2. Индуктивтілік шарғысы қандай қасиеттерге ие?
3. Шарғы инерттілігін қандай шама анықтайды?
4. Магнит өрісінің энергиясы неге тең?



Жаттығу

51

1. Контурдың индуктивтілігі $L = 0,04$ Гн. Контурдағы ток күші $\Delta I = 0,4$ А шамаға артты. Контурдағы ток тудыратын магнит ағыны қалай өзгерді?
2. Контурдың индуктивтілігі $L = 20$ мГн. Егер $\Delta t = 0,02$ с ішінде ондағы ток күші $\Delta I = 0,04$ А шамаға кемісе, контурдағы өздік индукцияның орташа ЭҚК-сы неге тең?
3. Индуктивтілігі $L = 6$ мГн соленоидтың $N = 400$ орамы бар. Орама арқылы өтетін ток күші $I = 10$ А. Соленоидта пайда болатын магнит ағынын анықтаңдар.
4. Тізбекте электр қозғаушы күші $\epsilon = 1,2$ В ток көзі, кедергісі $R = 1$ Ом реостат және индуктивтілігі $L = 1$ Гн шарғы тізбектей жалғанған. Тізбектен I_0 тұрақты ток өтеді. Қандай да бір уақыттан кейін ток реостаттың кедергісін ток $\Delta I/\Delta t = 0,2$ А/с тұрақты жылдамдықпен кемітіндей өзгерте бастайды. Ток өзгере бастағаннан $t = 2$ с өткеннен кейін тізбектің R_1 кедергісі неге тең болады?
5. Ұзын соленоид арқылы энергиясы $W = 0,5$ Дж магнит ағынын тудыратын $I = 10$ А ток күші өтеді. Соленоид орамдарын тесіп өтетін магнит ағынын анықтаңдар.

§ 52. Электрқозғалтқыш және тұрақты токтың электргенераторы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электрқозғалтқыш моделін зерттей ала-сыңдар және алынған нәтижелерді Фарадей заңы мен Ленц ережесін пайдалана отырып, дәлелді түрде түсіндіре аласыңдар.

I Электрқозғалтқыш және генератордың құрылғысы

1-тапсырма. Мектеп зертханасына арналған қозғалтқыш пен генератор моделдерін қарастырып, олардың негізгі бөліктерін жазындар, ұқсастықтары мен айырмашылықтарын көрсетіндер (337–338-суреттер).



Жауабы қандай?

Электрқозғалтқыш моделін генератор ретінде қолдануға бола ма?



337-сурет. Мектеп зертханасына арналған электрқозғалтқыш моделі



338-сурет. Мектеп зертханасына арналған генератор моделі



339-сурет



340-сурет



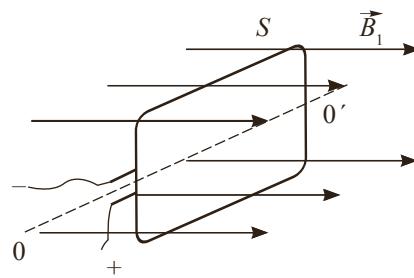
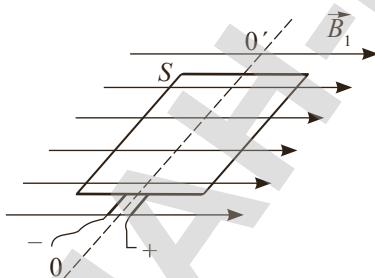
341-сурет

2-тапсырма. 339–341-суреттерде көрсетілген күрылғыларды атандар. Күрылғыларды қандай белгілеріне қарап анықтағандарынды түсіндіріңдер.

II Электрқозғалтқыштың жұмыс істеу принципі

3-тапсырма: Қозғалтқыштың жұмыс істеу принципін зерттеу

- 1) Электр қозғалтқыш моделін ток көзіне жалғаңдар. Модельге қажетті ток көзін алдын ала анықтап алындар.
- 2) Қозғалтқышты және қолда бар материалдарды пайдаланып, желдеткіш, жеделсаты (лифт), миксер, дрель сияқты электр аспаптарының моделін құрастырындар.
- 3) Магнит полюстерінің арасындағы қозғалтқыш рамаларының бірін бейнелендер. Раманың қабыргаларын көрсетіңдер. Оның бойындағы токтың бағытын көрсетіңдер. Раманың әрбір қабыргасына әсер ететін Ампер күшінің бағытын анықтандар (342-сурет).



342-сурет. Магнит өрісіндеғі тогы бар рама



Жауабы қандай?

1. Ампер күшінің бағытын анықтау үшін қандай ережені пайдаланыңдар?
2. Раманың қарама-қарсы қабыргаларына әсер ететін күштер неліктен тең болады?
3. Олар неліктен бірін-бірі теңгермейді?
4. Айналу моменті максимал болу үшін рама қандай күйде болуы керек?



343-сурет. Қозғалтқыш
статоры



344-сурет. Қозғалтқыш
роторы



345-сурет. Жартысақина

4-тапсырма. 343–345-суреттерде көрсетілген қозғалтқыштардың негізгі бөліктерін қарастырыңдар.



Жауабы қандай?

1. Қозғалтқыш моделіне қарағанда статор мен роторда орам санының көп болуы себебі неде?
2. Неге өткізгіш сымды металл пластинадарға орайды?
3. Өзекиені неліктен металдан емес пластинадан жасайды?
4. Жартысақина не үшін қажет? Олар қандай қозғалтқыш роторына бекітіледі?

5-тапсырма. Тұрақты ток қозғалтқышының пайдаланылуына бірнеше мысал келтіріндер.

III Қозғалтқыштарды пайдалану

Тұрақты ток қозғалтқыштарын теміржол көліктерінің дөңгелектерін іске қосу үшін және автокөлік жолдары мен теміржолдың тоғысқан жерлеріндегі шлагбаумдарды іске қосу үшін қолданады. Қоғамдық көліктерде (трамвай, троллейбус, метроп) олар тарту күшін тудырады. Қойма шаруашылығында тұрақты ток қозғалтқыштарын электркарларды және тиімді әрі қауіпсіз электртиегіштерді іске қосу үшін қолданады.

Металл өндеу саласында тұрақты ток қозғалтқыштарын металкесіш станоктарға орнатады.

6-тапсырма. Қарастырылған құрылғыларға – қозғалтқыш пен генераторға анықтама беріңдер.



Жауабы қандай?

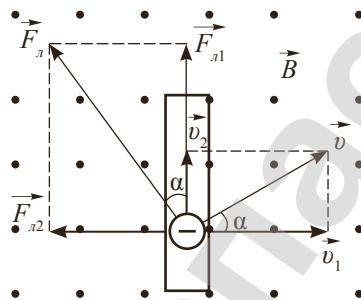
Судың құлау энергиясынан немесе қыздырылған будың қысымының өсерінен ротордың айналуы кезінде генераторларда Лоренц күшінің өткізгішке перпендикуляр құраушысына қарсы механикалық жұмыс атқарылады дегенге сенесіңдер ме?

IV Тұрақты ток генераторы



Естеріне түсіріндер!

Генератор роторының орамаларындағы зарядтардың орын ауыстыру жұмысын орам бойымен бағытталған Лоренц қүші атқарады. Лоренц қүшінің өткізгіштің жылдамдығына қарсы бағытталған, орамға перпендикуляр құраушысы теріс жұмыс жасайды (346-сурет). Лоренц қүшінің перпендикуляр құраушысы өткізгіштегі зарядталған бөлшектердің бағытталған қозгалысынан пайдалады.



346-сурет. Магнит ағынындағы өткізгіштің қозгалысы кезінде Лоренц қүші құраушыларының жұмысы



Жауабы қандай?

1. Тұрақты ток генераторының жұмысы қандай құбылысқа негізделген?
2. Генераторға жалғанған электр шамы одан да жарығырақ жануы үшін не істейу керек? Бұл электромагниттік индукция заңына сәйкес келе ме?
3. Генератор моделінің рамасын тесіп өтетін магнит ағыны қандай әдіспен өзгереді?
4. Қозгалтқыш жұмысы мен генератор жұмысының негізгі айырмашылықтары неде?
5. Қозгалтқышты генератор ретінде қолдануға бола ма? Ол үшін не істейу керек?



Өз тәжірибел

Тұрақты ток генераторы моделін іске қосындар.

Шығармашылық тапсырма

1. ppt-презентация дайындаңдар:
 - Тұрақты ток қозғалтқыштарының және генераторларының КР өндіріс саласындағы рөлі.
 - Электрқозғалтқыштар және көліктер.
 - Тұрақты ток генераторын қолданудың перспективалары.
2. Электрқозғалтқыш моделін құрастырындар

14-тараудың қорытындысы

Магнит ағыны	Электромагниттік индукция заңы	Шарғының магнит өрісі
$\Phi = BS \cos \alpha$ $\alpha - \vec{B}$ және \vec{n} векторлары арасындағы бұрыш	Контурдың ЭҚҚ-сы $\varepsilon_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ $\varepsilon_i = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	Индуктивтілік $L = \mu \mu_0 n^2 l S$ Энергия $W_{M.O.} = \frac{LI^2}{2}$
$\Phi = LI$	Откізгіштің ЭҚҚ-сы $\varepsilon_i = B \vec{v} \times \vec{l} \sin \alpha$ Өздік индукцияның ЭҚҚ-сы $\varepsilon_{iS} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$	Энергия тығыздығы $\omega_{M.O.} = \frac{W_{M.O.}}{V}$ $\omega_{M.O.} = \frac{B^2}{2\mu \cdot \mu_0}$

Зандар, ережелер

Электромагниттік индукция заңы

Айнымалы магнит өрісі тудырған құйынды өрістің ЭҚҚ-ның индукциясы бірлік уақыт ішінде контурмен шектелген беттен өтетін магнит ағынының өзгерісіне тең.

Ленц ережесі

Контурдағы индукциялық ток әрқашанда оның магнит өрісі осы токты тудырған магнит ағынының өзгерісіне кедергі жасайтындей бағытталады.

Глоссарий

Индуктивтілік – шарғының инерттілік қасиетін сипаттайтын физикалық шама.

Магнит ағыны – магнит өрісіне енгізілген тұйықталған контурды тесіп өтетін магнит индукциясы сзығтарының саны.

Магнит ағыны – контурды тесіп өтетін магнит өрісінің индукциясының контур ауданына және рама ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясы векторының арасындағы бұрыштың косинусына көбейтіндісіне тең физикалық шама.

Магнит өрісі энергиясының қолемдік тығыздығы – магнит өрісінің энергетикалық сипаттамасы, магниттік қысымы.

Өздік индукция – откізгіш контур арқылы өтетін ток өзгергенде осы контурда индукциялық ЭҚҚ пайда болу құбылысы.

Электр генераторы – механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын мәшине.

Электромагниттік индукция құбылысы – тұйықталған откізгіш контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі кезінде индукциялық токтың пайда болуы электромагниттік индукция құбылысы деп аталады.

Қосымшалар

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР ЖӘНЕ КЕСТЕЛЕР

- Зертханалық жұмыстарда оларды жүргізу мақсаты, қажетті құрал-жабдықтар көрсетілген, жұмыс барысы суреттермен, кестелермен және есептеу формулаларымен берілген.

1-қосымша. Зертханалық жұмыстар

№1 зертханалық жұмыс.

Көлбеке науа бойымен қозғалатын дененің үдеуін анықтау

Жұмыстың мақсаты: көлбеке науа бойымен домалаған кішкене шардың үдеуін өлшеу.

Құрал-жабдықтар: муфтасы және қысқышы бар штатив, металл науа, шар, цилиндр дene, өлшеуіш таспа, секундомер.

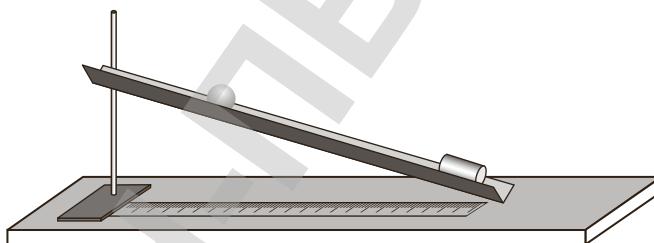
Қысқаша теория: Дене көлбеке науа бойымен үдемелі қозғалып келеді, дененің орын ауыстыруы мынаған тең: $s = \vartheta_0 t + \frac{at^2}{2}$.

Бастапқы жылдамдықтың нөлге тең болғанда: $s = \frac{at^2}{2}$.

Есептеу формуласын аламыз: $a = \frac{2s}{t^2}$. (1)

Жұмыстың орындалу реті:

- 1-суретте көрсетілген қондырғыны жинандар, науаның төменгі жағына цилиндрлік денені қойыңдар.
- Науаның жоғарғы жағынан шарды домалатып, секундомердің көмегімен науа бойымен домалау уақытын есептөндөр.
- Арақашықтықты өлшейтін таспа арқылы шардың цилиндрге дейін жүріп өткен жолын анықтаңдар.
- Өлшеу нәтижелерін 1-кестеге толтырыңдар.



1-сурет

1-кесте

№ п/п	Өлшенді		Есептелді	
	Арақашық- тық s , м	Қозғалыс уақыты t , с	Үдеу a , $\text{м}/\text{с}^2$	Үдеудің орташа мәні a , $\text{м}/\text{с}^2$
1				
2				
3				
4				
5				

- Науаның көлбеке бұрышын өзгертпей, тәжірибелі 5 рет қайталандар.
- Әрбір тәжірибе жүргізу барысында шардың үдеуін есептеу үшін (1) формуланы қолданыңдар, нәтижесін кестеге толтырып отырыңдар.

7. Үдеудің орташа мәнін мына формуламен есептендер: $a_{opt} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}{5}$
8. Эр өлшеу үшін абсолют қателікті: $\Delta a = |a_{opt} - a|$,
абсолюттік қателікті орташа мәнін: $\Delta a_{opt} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3 + \Delta a_4 + \Delta a_5}{5}$,
салыстырмалы қателікті: $\varepsilon = \frac{\Delta a_{opt}}{a_{opt}} \cdot 100\%$ анықтап, өлшеу қателігін статистикалық әдіспен бағалаңдар.
9. Зерттеу нәтижесін мына түрде жазындар: $\varepsilon = \dots \cdot 100\%$ болғанда $a = a_{opt} \pm \Delta a_{opt}$.
10. Алынған нәтижені $a = g \sin \alpha$ формуласымен есептелген үдеудің мәнімен салыстырындар, мұндағы α – жазықтықтың көлбейу бұрышы.

Қорытынды:

Наудан домалап түскен шар үдеуінің пайда болу себебі туралы қорытынды жаңандар. Үдеуді өлшеуде жіберілген қателікті бағалаңдар. Өлшеудегі негізгі қателікті атанадар. Кандай қателіктің түріне жатады: кездесік па немесе жүйелік пе? Тәжірибе нәтижесін жақсарту үшін не істер едіндер?

№ 2 зертханалық жұмыс. Дененің ұшу қашықтығының лақтыру бұрышына тәуелділігін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дene қозғалысының негізгі заңдылықтарын тексеру. Лақтыру бұрышының қандай мәндерінде ұшу қашықтығы максимал болатынын анықтау.

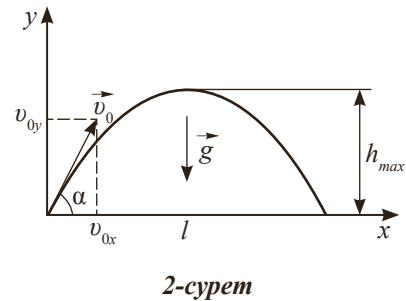
Курал-жабдықтар: зертханалық баллистикалық тапанша, өлшеуіш таспа, 2 бет парал, 1 бет көшірме қағазы, жабысқақ таспа. Көшірме қағаз болмаған жағдайда еленген құмды пайдалануға болады.

Қысқаша теория: көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ұшу қашықтығы мына формуламен өрнектеледі (2-сурет):

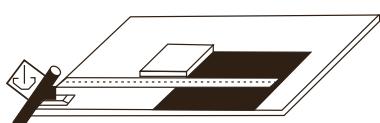
$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{g}. \quad (1)$$

Жұмыстың орындалу реті:

- Баллистикалық тапаншаның құрылышымен және жұмыс істеу принципімен танысындар.
- 3-суреттегідей қондырығы жинаңдар.
- Сынақ кезінде 45° бұрышпен атылған шар ак қағаздың шеткі бұрышына түсетіндей қағазды жабысқыш таспамен бекітіңдер.
- Көшірме қағазды қара жағымен бекітілген бетке қойындар (көшірме қағаз жоқ болған жағдайда құмы бар жәшікті қойындар).



2-сурет



3-сурет

- Тапаншаны $20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ бұрышпен орналастырып, әр жағдайда бес рет атындар. Шардың тұсу ізін қарындашпен жүргізіп, жанына лақтыру бұрышын белгілендер.
- Өлшеу нәтижелерін кестеге толтырындар.

Шардың ұшу бұрышы α_0	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	90°
Ұшу қашықтығы, см	l_1							
	l_2							
	l_3							
	l_4							
	l_5							
Ұшу қашықтығының ортаса мәні, см	l_{opt}							

- Парақты аудыстырып, $50^\circ, 60^\circ, 70^\circ, 90^\circ$ бұрышпен бес рет атындар.
- Ұшу қашықтығының ортаса мәнін мына формуламен есептөндөр:

$$l_{\text{opt}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5}{5}$$

- Бақылау сұрақтарына жауап беріндөр.
- Бұрыштардың қандай мәндерінде ұшу қашықтықтары шамамен бірдей болды? Алынған нәтижені ұшу қашықтығын есептеу формуласын қолдана отырып тексеріндөр. Шардың бастапқы жылдамдығының модулін барлық бұрыштар үшін бірдей деп алындар.
- Бұрыштың қандай мәнінде ұшу қашықтығы максимал болды? Оны теориямен байланыстыр.
- Жүргізілген тәжірибеге қорытынды жасандар.

№ 3 зертханалық жұмыс.

Көлбеу науамен домалайтын дененің қозғалысын оқып үйрену

Жұмыстың мақсаты: айналмалы дененің инерция моментін анықтау, жанама өлшеулер кезінде нәтижелерді өңдеу қабілетін қалыптастыру.

Құрал-жабдықтар: муфтасы және қысқышы бар штатив, дуга тәрізді науа, диаметрі 1,5 – 2 см шар, көшірме қағаз, салмағы әртүрлі тастары бар таразы, екі кесек.

Қысқаша теория: Айналмалы дененің кинетикалық энергиясын және оның бұрыштық жылдамдығын білсек, онда шардың инерция моментін анықтай аламыз:

$$W_{\text{аин}} = \frac{J \omega^2}{2}, \quad J = \frac{2W_{\text{аин}}}{\omega^2}. \quad (1)$$

A нүктесіндегі шар (4-сурет) *B* горизонталь деңгейге қатысты mgh потенциалдық энергияға ие. Науа бойымен домалап түсken шардың потенциалдық энергиясы ілгерілемелі қозғалыстың $W_{\text{ин}}$ кинетикалық энергиясына және айналмалы қозғалыстың кинетикалық энергиясына айналады. *B* нүктесіндегі шар үшін энергияның сақталу заңына сәйкес мына теңдеу орындалады:

$$mgh = W_{\text{ин}} + W_{\text{аин}}$$

бұдан

$$W_{a\ddot{u}h} = mgh - \frac{mv^2}{2};$$

демек,

$$J = \frac{2W_{a\ddot{u}h}}{\omega^2} = \frac{m(2gh - v^2)}{\omega^2},$$

мұндағы v – шардың массалар центрінің сывықтық жылдамдығы, ω – оның B нүктесінде айналуының бұрыштық жылдамдығы. Наяға қатысты массалар центрінің сывықтық жылдамдығы және шардың бетінде айналу осінен максимал алыс қашықтықтағы нүктенің массалар центріне қатысты сывықтық жылдамдығы өзара тең, онда мына өрнекті жазуға болады:

$$\omega = \frac{v}{R},$$

мұндағы R – шардың радиусы.

Онда шардың инерция моменті үшін мына өрнекті жазамыз:

$$J = mR^2 \left(\frac{2gh}{v^2} - 1 \right). \quad (2)$$

Егер де үстелдің бетінде дейінгі l қашықтықты және t уақытты білсек, шардың массалар центрінің B нүктесіндегі v сывықтық жылдамдығын анықтауда болады:

$$v = \frac{l}{t}.$$

Үшу уақытын мына қатынастан анықтаймыз: $H = \frac{gt^2}{2}$ бұдан: $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

Демек, жылдамдық:

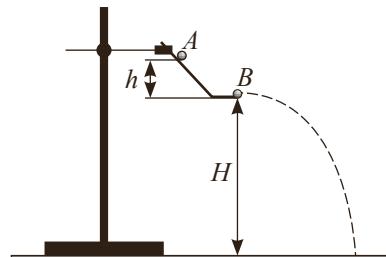
$$v = \frac{l}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}. \quad (3)$$

Алынған (3) өрнекті (2) формулаға қойсақ, мына тендеуді аламыз:

$$J = \frac{mR^2 (4hH - l^2)}{l^2}. \quad (4)$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Дуга тәрізді науаны штативке қысқышпен бекітіндер. Науаның төменгі жағы үстел бетінде параллель болу қажет. h және H биіктіктерін өлшеп, нәтижени кестеге жазындар (4-сурет):



4-сурет

Тәжірибе №	Өлшенді					Есептелді		
	$m, \text{ кг}$	$R, \text{ м}$	$h, \text{ м}$	$H, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$J, \text{ кг}/\text{м}^2$	$J_{opt}, \text{ кг}/\text{м}^2$	$\Delta J^*, \text{ кг}/\text{м}^2$
1								
2								

2. Таразының көмегімен шардың массасын өлшендер, нәтижесін кестеге жазындар.

- Шарды екі кесектің арасына орналастырып, оның d диаметрін анықтаңдар, $R = \frac{d}{2}$ радиусын есептөндөр, нәтижесін кестеге толтырыңдар.
- h биіктікten шарды домалатып, оның ұшу қашықтығын өлшеңдер, тәжірибелі 5 рет қайталаңдар.
- Әр жүргізілген тәжірибе үшін (4) формула бойынша инерция моментін анықтаңдар.
- Инерция моментінің орташа мәнін анықтаңдар: $J_{\text{opm}} = \frac{J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5}{5}$.
- Әр тәжірибе үшін абсолют қателікті $\Delta J_i = |J_{\text{opm}} - J_i|$, абсолют қателіктің орташа мәнін: $\Delta J_{\text{opm}} = \frac{\Delta J_1 + \Delta J_2 + \Delta J_3 + \Delta J_4 + \Delta J_5}{5}$, салыстырмалы қателікті $\varepsilon_J = \frac{\Delta J_{\text{opm}}}{J_{\text{opm}}} \cdot 100\%$ тауып, өлшеу қателігін статикалық әдіспен анықтаңдар.
- Шардың инерция моментін мына формуламен есептөндөр: $J_2 = \frac{2}{5} mR^2$.
Бір рет өлшегендегі қателікті бағаландар: $\varepsilon_J = 2 \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta m}{m}$, $\Delta J_2 = J_2 \cdot \varepsilon_J$
- Өлшеу нәтижелерін былайша жазыңдар: $\varepsilon = \dots\%$ болғанда $J = J_{\text{opm}} \pm \Delta J_{\text{opm}}$; $\varepsilon = \dots\%$ болғанда $J = J_2 \pm \Delta J_2$.
- Түзу аймақта жоспарлау екі әдіспен алынған шардың инерция моментінің мәндерін бейнелеп, алынған нәтижелерді салыстырыңдар.
- Жүргізілген жұмыс бойынша қорытынды жасаңдар.

№ 4 зертханалық жұмыс.

Бір-біріне бұрыш жасай бағытталған күштерді қосу

Жұмыстың мақсаты: тәжірибе арқылы күштің шамасын анықтау және тәжірибе жүзінде күштерді қосу ережесін тексеру.

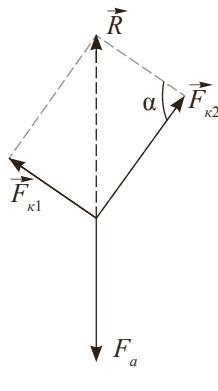
Құрал-жабдықтар және материалдар: екі динамометр, екі штатив, кесек, транспортир, ілмегі бар жіп.

Қысқаша теория: Тендерлі күш деңеге түсірілген барлық күштердің векторлық қосындысына тең:
 $\vec{R} = \vec{F}_{k1} + \vec{F}_{k2}$.

Тендерлі күшті құраушыларына байланысты үшбұрыш немесе параллелограмм әдісі бойынша анықтайды (5-сурет). Сан мәнін косинустар теоремасы арқылы есептейді.

Тендерлі күштердің модулі мынаған тең:

$$R = \sqrt{F_{k1}^2 + F_{k2}^2 - 2F_{k1}F_{k2} \cos \alpha}.$$



5-сурет

Жұмыстың орындалу реті:

1. Кесекке әсер етуші ауырлық күшін анықтаңдар.
2. Кесекті жілкө іліп, штативке белгілі бір бұрышпен бекітілген ілмек соына екі динамометрді іліндер. Штативтерді керілген жілтер динамометрлердің өзектерімен бір тұзу құрайтындағы етіп орналастырыңдар.
3. Динамометрлердің көрсеткіштерін жазыңдар.
4. Керілген жілтердің арасындағы бұрыштарды өлшендер.
5. Динамометрлердің көлбейу бұрышын өзгертіп, тәжірибелі қайталандар.

Тәжірибе №	Өлшемді				Есептелді күш, R, Н
	Ауырлық күші, Н	Керілу күші, F_{k1}	Керілу күші, F_{k2}	Бұрыш, α	

6. Алынған нәтижені өндөндер.
 - Өздерін таңдаған масштабта бірінші тәжірибеде кесекке әсер ететін күштердің векторларын бейнелендер, содан кейін осы әрекетті екінші тәжірибе үшін қайталандар, векторлардың басын кесектің ілінүнуктесіне орналастырыңдар. Параллелограмм ережесі бойынша жілті керетін теңәсерлі екі күштің векторын түрфызыңдар.
 - Ол вектордың ұзындығын сызғышпен өлшендер. Масштабты ескеріп, күшті есептөндер, оны ауырлық күшімен салыстырыңдар.
 - Жілтің керілу күштерінің алгебралық косындысын есептөндер, алынған нәтижені ауырлық күшімен салыстырыңдар.
 - Теңәсерлі күшті косинустар теоремасы арқылы есептөндер, оны ауырлық күшімен салыстырыңдар.
 - Керілген жілтердің арасындағы бұрыш әртүрлі болған жағдайлар үшін керілген күштерінің мәндерін салыстырыңдар. Бұрыштың өзгерісі керілу күшінің шамасына қалай әсер етеді?
7. Жүргізілген зерттеулер бойынша қорытынды жасандар.
8. Нәтижені жақсарту үшін тәжірибеде нені өзгертертін едіндер?
9. Зертханалық жұмысты жүргізу туралы өз нұсқаларынды ұсыныңдар. Сендерге қандай аспаптар қажет болатын еді?

№5 зертханалық жұмыс.

Тұтқыр сұйықта қозғалатын кішкене шар жылдамдығының оның радиусына тәуелділігін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: тәжірибе нәтижесіне әсер ететін факторларды анықтау және олардың алдын алу жолдарын ұсыну.

Құрал-жабдықтар: диаметрлері әртүрлі, биіктігі 15–20 см, әрбір 1 см-ден кейін белгі қойылған сынауықтар, сынауыққа арналған тұғыр, әртүрлі маркалы мотор майлары құйылған ыдыстар, диаметрлері 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм және 2 мм шарлар, секундомер, қыздырыш (электрпеш).

Қысқаша теория: Тұтқыр оргада құлайтын шарға үш түрлі күш әсер етеді: ауырлық күші, Архимед күші және кедергі күші. Қозғалыстың тұсу жылдамдығы тұрақты, теңәсерлі күш нөлге тең: $\vec{F}_a + \vec{F}_A + \vec{F}_k = 0$.

Күш бағыттарын ескерсек: $F_a = F_A + F_\kappa$.

Күштердің алынған арақатынасына мына формулаларды қоямыз:

$$F_a = mg = \rho_u \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g; \quad F_A = \rho_c \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g; \quad F_\kappa = 6\pi\eta Rv.$$

Теңдеуді жылдамдыққа қатысты шешіп, жылдамдықты есептеу формуласын аламыз;

$$v = \frac{2(\rho_u - \rho_c) \cdot g \cdot R^2}{9\eta},$$

мұндағы ρ_u – шардың тығыздығы, ρ_c – сұйықтың тығыздығы, R – шардың радиусы, v – шардың жылдамдығы, η – сұйықтың тұтқырлығы.

Жұмыстың орындалу реті:

- Шар жылдамдығының оның радиусына тәуелділігін зерттеу.

Шардың тұсу жылдамдығын анықтау үшін жүрілген жолдың уақытқа тәуелділік графигін түргізындар. Графиктен қозғалыс сызығын таңдаңдар, түзудің көлбей бұрышы арқылы шардың сұйыққа құлау жылдамдығын анықтаңдар. Тәжірибе нәтижелері шардың тұтқыр ортадағы құлау жылдамдығын есептеудің теориялық формуласымен қандай қатынаста болады?

- Тұтқыр ортада шардың құлау жылдамдығына әсер ететін факторларды анықтау:
 - диаметрі 2 мм шардың басқа сұйыққа құлау жылдамдығын анықтаңдар;
 - диаметрі 2 мм шардың температурасы жоғары бірінші ортада құлау жылдамдығын анықтаңдар;
 - диаметрі 2 мм шардың кеңірек синауыққа құлау жылдамдығын анықтаңдар.
- Жүргізілген тәжірибе бойынша қорытынды жасаңдар.
- Тәжірибелі жақсарту үшін жұмыс барысына қандай өзгеріс енгізер едіңдер?

№6 зертханалық жұмыс. Өткізгіштерді аралас жалғауды зерделеу

Жұмыс мақсаты: өткізгішті шунт, қосымша кедергі, кернеу бөлгіш ретінде жалғауды үйрену.

Өткізгіштер аралас жалғанған тізбек бөліктерінде кернеудің бөлінуін зерттеу.

Құрал-жабдықтар: 4 В тұрақты ток көзі, 3,5 В (2,5 В) екі шам.

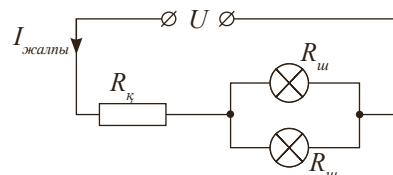
15–50 Ом айнымалы резистор, үш вольтметр.

Қысқаша теория. Егер тізбек тізбектей де, параллель де жалғанған болса, онда ол аралас жалғанған деп аталады.

Өткізгіш қолданылу мақсатына қарай әртүрлі жалғануы мүмкін:

1. Қосымша кедергі.

Егер кедергі ток көзінің түйіндеріндегі кернеуден төмен кернеумен жұмыс істеге арналған өткізгіштерге тізбектей жалғанған болса, онда ол қосымша кедергі деп аталады (6-сурет). Қосымша кедергі осы кернеулердің айырымы және тізбектегі рұқсат етілген ток күшімен есептеледі.



6-сурет

2. Шунт.

Егер кернеуі ескермеуге болатындаі аз өткізгішпен электр аспабының контактілерін түйіктасақ, онда бұл нүктелердің потенциалдары бірдей болады (7-сурет). Өткізгіштердің ұштарындағы кернеу нөлге тең болады. Электр аспабында ток болмайды. Барлық заряд тасымалдаушылар өткізгіш арқылы өтеді. Мұндай өткізгіш шунт болып табылады.

Шунтпен тізбектей жалғанған кілт тізбектің оңай басқаруға мүмкіндік береді. 7-суретте сұлбасы берілген электр тізбегіне бір немесе екі шамды жалғауға болады. Тізбекті өшіріп-қосқыш немесе реостат көмегімен басқаруға болады.

3. Кернеу болғыш (потенциометр).

Айнымалы кедергі өткізгіші ток көзі түйінде-ріндегі кернеуді белгілі қатынаста тізбектің екі тармағына болуға мүмкіндік береді. Ол үшін аспаптарды 8-суретте көрсетілгендей жалғау керек.

Ток көзі түйіндеріндегі кернеу мен электр аспаптарындағы кернеудің қатынасын 9-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинап, анықтауга болады.

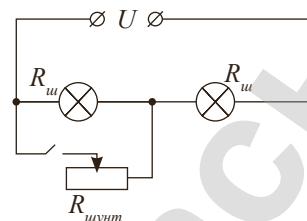
Жұмыстың орындалу реті:

1-тапсырма. Қосынша кедергі ретінде айнымалы резисторды жалғау.

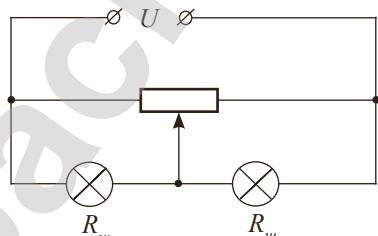
- 10-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастырындар.
- Тізбектегі айнымалы резистордың міндеттін анықтаңдар.
- Реостат сырғытпасының әртүрлі жағдайында амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін жазындар.
- Нәтижелерді кестеге енгізіндер.

№ тәжірибе	Өлшемді			Есептелді $U_1 + U_2$, В
	U_1 , В	U_2 , В	U , В	
1				

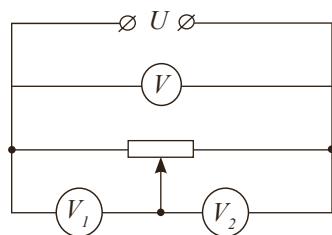
5. Ток көзінің түйіндеріндегі кернеулердің қосындысын ab және cd боліктеріндегі кернеулердің қосындысымен салыстырындар.
6. Резистор сырғытпасын жылжыту кезінде шамның жарқырауының өзгеру себебін түсіндіріндер.
7. Қорытынды жасандар.



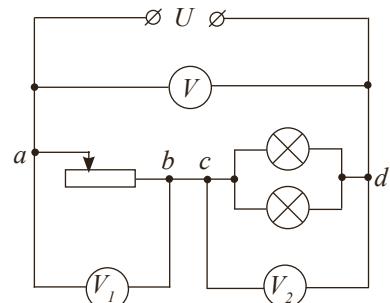
7-сурет



8-сурет



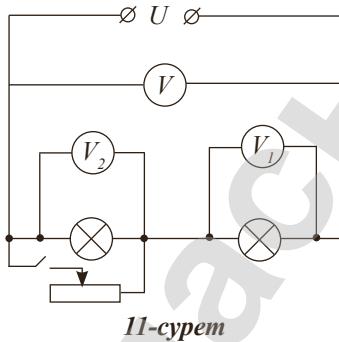
9-сурет



10-сурет

2-тапсырма. Айнымалы резисторды уақытша шунт ретінде жалғау.

- 11-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинаңдар.
- Тізбектегі айнымалы резистордың міндетін анықтаңдар.
- Кілт ашық және жабық болған кездегі амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.



№ тәжірибе	Кілттің күйі	Өлшемді			Есептелді $U_1 + U_2$, В
		U_1 , В	U_2 , В	U , В	
1	Жабық				
2	Ашық				

4. Кілт жабық болған кезде, резистор сырғытпасы шеткі және ортаңғы нүктеде орналасқан кезде вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар. Шамның жарқырауын бақылаңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тәжірибе	Резистор сырғытпасының орналасуы	Өлшемді			Есептелді $U_1 + U_2$, В
		U_1 , В	U_2 , В	U , В	
1	Сол жақ шетте				
2	Ортада				
3	Оң жақ шетте				

5. Ток көзі түйіндеріндегі кернеуді тізбек бөліктеріндегі кернеулердің қосындысымен салыстырыңдар.
6. Бірінші вольтметрдегі кернеудің мәні нөлге тең болатын жағдайды көрсетіңдер.
7. Корытынды жасандар.

3-тапсырма. Айнымалы резисторды кернеу бөлгіштері ретінде жалғау.

1. 9-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинаңдар.
2. Резистор сырғытпасын бір шеткі нүктеден екінші шеткі нүктеге жылжытып, сырғытпаның үш түрлі орналасуы үшін вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тәжірибе	Өлшемді			Есептелді $U_1 + U_2$, В
	U_1 , В	U_2 , В	U , В	
1				

3. Тізбектегі жалпы кернеу сырғытпаның кез келген орналасуында айнымалы резистордың оң және сол бөліктеріне жалғанған вольтметрлердің көрсеткіштерінің қосындысына тең екенине көз жеткізіңдер.
4. Тізбектегі айнымалы резистордың міндетін анықтаңдар.
5. Корытынды жасандар.

№7 зертханалық жұмыс.

Ток көзінің электр қозғауышы күші мен ішкі кедергісін анықтау

Жұмыстың мақсаты: ток көзінің ЭКК-сы мен ішкі кедергісін анықтау.

Құрал-жабдықтар: ток көзі – гальвани элементтің 4,5 В батареясы, амперметр, вольтметр, 6 Ом реостат, өткізгіш сымдар.

Қысқаша теория: сұлбасы 12-суретте көрсетілген тізбек белгілі үшін $I = \frac{U}{R}$ және толық тізбек үшін $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ Ом зандарын қолданып, ток көзінің ЭКК-сын өрнектейміз:

$$\varepsilon = U_1 + I_1 r. \quad (1)$$

Реостат көмегімен тізбектегі ток күшін өзгертеміз, сонда (1) формула мына түрге келеді:

$$\varepsilon = U_2 + I_2 r. \quad (2)$$

(1) және (2) формулалардан шығатыны:

$$U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r,$$

демек:

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}. \quad (3)$$

(3) формуланы (1) формулаға қойсақ, мына өрнекті аламыз:

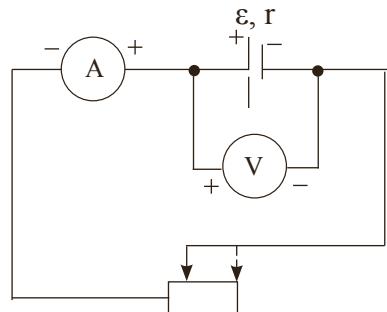
$$\varepsilon = \frac{U_2 I_1 - U_1 I_2}{I_1 - I_2}. \quad (4)$$

Жұмыстың орындалу реті:

- Сұлба бойынша тізбек жинаңдар (*12-сурет*).
- Реостат сырғытпасын аспаптың ортасына орналастырыңдар.
- Тізбекті тұйықтап, амперметр I_1 мен вольтметр U_1 көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тәжірибе	Өлшемді				Есептелді				
	I_1, A	U_1, V	I_2, A	U_2, V	ε, B	$r, \text{Ом}$	$\varepsilon, \%$	$\Delta\varepsilon$	Δr

- Реостаттың кедергісін арттырып, сырғытпаны жаңа орынға орналастырыңдар да, амперметр I_2 мен вольтметр U_2 көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
- (3) және (4) формулалар бойынша ток көзінің ішкі кедергісі мен ЭКК мәндерін есептеңдер.
- Өлшеу аспаптарының дәлдік класы бойынша өлшеу қателіктерін есептеңдер.
- Жауапты өлшеу қателіктерін ескеріп жазыңдар.
- Ток көзінің ЭКК-сын тура өлшеу арқылы анықтандар, нәтижелерді салыстырыңдар.



12-сурет.

№8 зертханалық жұмыс.

Қыздыру шамының, резистордың, жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамасы

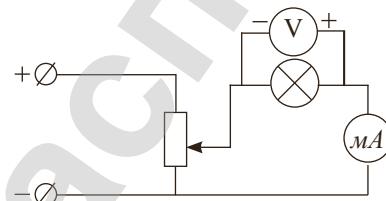
Жұмыстың мақсаты: қыздыру шамының, резистордың және жартылай өткізгіш диодтың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

Күрал-жабдықтар: 12 В тұғыры бар қыздыру шамы, 15 Ом реостат, вольтметр, 50 мА миллиамперметр, 6 В ток көзі, 100 Ом кедергі, диод, кілт, өткізгіш сымдар.

Жұмыстың орындалу реті

1-тапсырма. Қыздыру шамының вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

- 13-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинаңдар.
- Дәптерлеріңе өлшеулер мен есептеулер нәтижелерін жазатын кесте сзыныңдар.



13-сурет

$U, \text{В}$					
I, mA					
$R, \text{Ом}$					

- Шамдағы кернеуді 0,5 В қадаммен 0 вольттан 6 вольтқа дейін арттырыңдар.
- Вольтметр мен миллиамперметрдің көрсеткіштерін кестеге енгізіңдер.
- Шамының вольт-амперлік сипаттамасының графигін сзыныңдар. Алынған нәтижені түсіндіріңдер.
- Ток күші мен кернеудің әртүрлі мәндерінде шамының қыздыру қылының кедергісін анықтаңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
- Шамының қыздыру қылының кедергісінің табылған мәндерін талдандар.

2-тапсырма. Резистордың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

- Электр тізбегіндегі шамды 100 Ом кедергімен алмастырыңдар.
- Дәптерлеріңе өлшеу нәтижелерін жазатын кесте сзыныңдар.

$U, \text{В}$					
$I, \text{mA} (R = 100 \text{ Ом})$					
$I, \text{mA} (R = 50 \text{ Ом})$					

- Резистордағы кернеуді 1 В қадаммен 0 вольттан 6 вольтқа дейін арттырыңдар. Вольтметр мен миллиамперметрдің көрсеткішін кестеге енгізіңдер.
- Резисторды 50 Ом резистормен алмастырыңдар. Кернеудің мәнін өзгертпей, миллиампердің көрсеткішін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

- Резистордың вольт-амперлік сипаттамаларын бір координаталық жазықтықта салындар. Қыздыру шамы мен резистордың вольт-амперлік сипаттамаларының айырмашылығы неде?
- Резисторлардан алынған вольт-амперлік сипаттамалар негізінде $I = f(U)$ тәуелділік теңдеуін жазындар. Олардың ұқсастықтары неде? Айырмашылықтары ше?

3-тапсырма. Жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

- Ұсынылған жартылай өткізгіш диодтың шектік параметрлерін жазындар.
- Тізбектегі резисторды диодқа алмастырып, тура жалғанған диодтың параметрлерін ескеріп, өлшеу аспаптарындағы шектік мәндерді таңдаңдар. Диодтың тура жалғануының параметрлері шамамен 1,5 В және 300 мА екенін ескеріп, өлшеу аспаптарының шектерін таңдаңдар.
- 0,3 В қадаммен диодтың тура жалғануының вольт-амперлік сипаттамаларын алындар. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге енгізіндер.

$U, \text{В}$					
$I, \text{мА}$					
$R, \text{Ом}$					

- Диодқа кері жалғанған электр тізбегін жинаңдар. Өлшеу шегін шамамен 15 В және 3 мА деп алындар.
- 1 В қадаммен диодтың кері жалғануының вольт-амперлік сипаттамаларын алындар. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге енгізіндер.

$U, \text{В}$					
$I, \text{мА}$					
$R, \text{Ом}$					

- Координаталық жазықтықтың бірінші ширегінде тура жалғану үшін, төртінші ширегінде кері жалғану үшін ток күшінің кернеуге тәуелділік графигін сыйындар. Алынған нәтижелерді түсіндіріндер.
- Ток күші мен кернеудің әртүрлі мәндерінде диодтың кедергісін анықтаңдар. Нәтижелерді қестеге енгізіндер.
- Диод кедергісінің алынған мәндерін талдаңдар.

№9 зертханалық жұмыс.

Бір валентті ионның электр зарядын өлшеу

Жұмыстың мақсаты: тәжірибе жүзінде электролиз процесіндегі электрон зарядын анықтау.

Күрал-жабдықтар: мыс ертіндісі бар электролиттік ванна, тұрақты ток көзі, амперметр, реостат, кілт, таразы, секундомер, электропуш, өткізгіш сымдар.

Қысқаша теория. Фарадей заңдары электрон зарядын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Фарадейдің біріккен заңынан электрон зарядын есептеу формуласын өрнектейік:

$$e = \frac{MIt}{mN_A n},$$

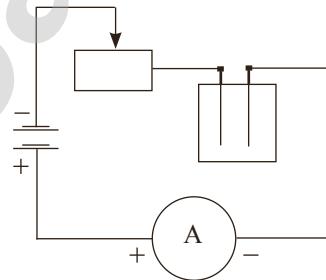
мұндағы m – электродта бөлінген зат массасы, электролизге дейінге және одан кеінгі электрод массаларының айырымымен анықталады, M – мольдік масса, n – иондардың валенттілігі, I – электролит арқылы өтетін ток күші, t – электролиз уақыты.

Жұмыстың орындалу реті:

- Катод ретінде қолданылатын мыс электродты тазалап, массасын анықтандар. Өлшенген масса шамасын m_1 кестеге енгізіңдер.

$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$m, \text{кг}$	$I, \text{А}$	$t, \text{с}$	$e, \text{Кл}$

- Электролиттік ваннага электролит пен мыс электродтар – анод пен катодты орналастырыңдар. Реостат арқылы катодты ток көзінің теріс таңбалы ұшына, анодты – оң таңбалы ұшына жалғандар (*14-сурет*).
- 30 минутқа созылатын эксперименттің басталу уақытын анықтап, ток көзіне жалғандар. Тәжірибе барысында реостат сырғытпасын жылжытпай, ток күшін тұрақты шама ретінде ұстап тұрындар.
- Эксперимент уақыты аяқталғанда, ток көзін өшіріндер. Катодты ажыратындар, электр пешінде кептіріп, таразының көмегімен массасын m_2 анықтандар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
- Мыстың мольдік массасын $M = 63,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ деп алғып және мыстың екі валентті $Z = 2$ екенін ескеріп, электрон зарядын анықтандар.
- Алынған шамаларды кестелік мәндермен салыстырындар. Өлшеу қателігін анықтандар.



14-сурет

2-қосымша. Физикалық шамалар кестесі

1-кесте. Физикалық тұрақтылар

Физикалық тұрақты	Белгіленуі	Тұрақтының мәні
Вакуумдағы жарық жылдамдығы	c	$\approx 3 \cdot 10^8$ м/с
Элементар заряд (электрон заряды)	e	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Электронның тыныштық массасы	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Протонның тыныштық массасы	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Больцман тұрақтысы	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Универсал газ тұрақтысы	R	8,31 Дж/(моль К)
Гравитациялық тұрақты	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Нм ² /кг
Планк тұрақтысы	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с
Фарадей тұрақтысы	F	9 648 4,56 Кл/моль
Идеал газдың қалыпты жағдайдағы мольдік қолемі ($t = 0$ °C, $p = 101,325$ кПа)	V_m	$2,24 \cdot 10^{-2}$ м ³ /моль
Авогадро тұрақтысы	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Абсолют нөлдік температура	T_0	0 К = -273,15 °C
Қалыпты атмосфералық қысым	P_{atm}	101325 Па
Ауаның қалыпты жағдайдағы тығыздығы	ρ_{aya}	1,293 кг/м ³

2-кесте. Заттардың тығыздығы

Зат	Тығыздық $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \text{ немесе } n \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$	Зат	Тығыздық $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \text{ немесе } n \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$
Алюминий	2,7	Никель	8,9
Қола	8,7–8,9	Қалайы	7,3
Вольфрам	19,34	Платина	21,6
Темір, болат	7,8	Қорғасын	11,4
Алтын	19,3	Күміс	10,5
Жез	8,7	Титан	4,5
Мис	8,9	Мырыш	7,18

3-кесте. Заттардың менишікті жылусыйымдылығы

Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$
Алюминий	920	Күм	880
Сү	4200	Платина	140
Ая	1000	Сынап	130
Темір	460	Қорғасын	140
Керосин	2100	Күміс	250
Кірпіш	880	Спирт	2500

Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Жез	380	Болат	500
Мұз	2100	Шыны	840
Мыс	380	Мырыш	380
Никель	460	Шойын	540
Қалайы	250	Эфир	3340

4-кесте. Менишікті балқу жылуы, балқу температурасы

Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Алюминий	658	39	Қалайы	232	5,9
Темір	1539	27	Платина	1774	11
Алтын	1063	6,7	Сынап	-39	1,0
Мұз	0	34	Қорғасын	327	2,5
Мыс	1083	21	Құміс	960	10
Нафталин	80	15	Мырыш	420	12

5-кесте. Менишікті булану жылуы және заттардың қалыптты атмосфералық қысымында қайнау температурасы

Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$L, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$L, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Су	100	2,3	Спирт	78	0,9
Сынап	357	0,3	Эфир	35	0,4

6-кесте. Отынның меншікті жсану жылуы

Зат	$q, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Зат	$q, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Бензин	46	Тасқөмір	30
Қоңыр көмір	17	Керосин	46
Сүтегі	120	Мұнай	44
Дизель	42,7	Оқ-дәрі	3,8
Ағаш*(қайын)	13	Табиғи газ	44
Ағаш*(қарағай)	13	Спирт	27
Ағаш көмір	34	Шымтезек	14

7-кесте. Қаныққан булардың қысымы мен тығыздығының температураса тәуелділігі

$t, ^\circ\text{C}$	p, kPa	$p, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	p, kPa	$p, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	p, kPa	$p, \text{г/м}^3$
0	0,61	4,84	20	2,34	17,32	40	7,38	51,2
1	0,66	5,18	21	2,49	18,14	41	7,78	53,8
2	0,71	5,54	22	2,64	19,22	42	8,21	56,5
3	0,76	5,92	23	2,81	20,35	43	8,65	59,4

$t, ^\circ\text{C}$	p, kPa	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	p, kPa	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	p, kPa	$\rho, \text{г/м}^3$
4	0,81	6,33	24	2,99	21,54	44	9,11	62,3
5	0,87	6,76	25	3,17	22,80	45	9,59	65,4
6	0,94	7,22	26	3,36	24,11	46	10,10	68,6
7	1,0	7,70	27	3,57	25,49	47	10,62	72,0
8	1,07	8,21	28	3,78	26,93	48	11,17	75,5
9	1,15	8,76	29	4,01	28,45	49	11,75	79,1
10	1,23	9,33	30	4,25	30,04	50	12,34	82,8
11	1,31	9,93	31	4,50	31,70	55	15,75	104,0
12	1,40	10,57	32	4,71	33,45	60	19,93	129,5
13	1,50	11,25	33	5,03	35,27	65	25,02	160,1
14	1,60	11,96	34	5,27	37,18	70	31,18	196,4
15	1,71	12,71	35	5,63	39,18	75	38,56	239,3
16	1,82	13,50	36	5,95	41,30	80	47,37	289,7
17	1,94	14,34	37	6,28	43,50	85	57,82	348,7
18	2,06	15,22	38	6,63	45,80	90	70,12	417,3
19	2,20	16,14	39	6,99	48,20	100	101,32	588,5

8-кесте. Кризистік температура

Зат	Кризистік температура $t, ^\circ\text{C}$	Зат	Кризистік температура $t, ^\circ\text{C}$
Сынап	1700	Көмірқышқыл газы	31
Су	374	Оттегі	-118
Этил спирті	243	Азот	-146
Эфир	197	Сутегі	-240
Хлор	146	Гелий	-263

9-кесте. Психрометрлік кесте

Құрғақ термометрдің көрсеткіші $t, ^\circ\text{C}$	Құрғақ және ылғал термометр көрсеткіштерінің айырымы $^\circ\text{C}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Салыстырмалы ылғалдылық, %										
1	91	80	67	53	36	18				
2	90	81	69	56	41	24	4			
3	90	79	72	59	45	29	11			
4	91	81	69	62	49	34	17			
5	92	82	71	59	52	39	23	5		
6	92	83	73	62	49	43	28	12		
7	93	84	75	64	52	38	33	18	1	
8	93	86	77	67	55	42	28	24	8	
9	94	86	78	69	58	46	33	17	14	
10	94	87	80	71	61	50	37	23	7	

Құрғақ термометрдің көрсеткіші t , °C	Құрғақ және ылғал термометр көрсеткіштерінің айырымы °C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Салыстырмалы ылғалдылық, %									
11	94	88	81	73	64	53	41	28	13	
12	95	89	82	75	66	56	45	33	19	4
13	95	90	83	76	68	59	49	38	25	10
14	95	90	84	78	70	62	52	42	30	16
15	96	91	85	79	72	64	55	45	34	22
16	96	91	86	80	74	67	58	49	39	27
17	96	92	87	82	76	69	61	52	43	32
18	96	92	88	83	77	71	63	55	46	36
19	97	93	89	84	79	73	66	58	50	40
20	97	93	89	85	80	74	68	61	53	44
21	97	94	90	86	81	76	70	63	56	48
22	97	94	91	87	82	77	72	66	59	51
23	97	94	91	87	83	79	73	68	61	54
24	98	95	92	88	84	80	75	70	64	57
25	98	95	92	89	85	81	77	71	66	59
26	98	95	93	90	86	82	78	73	68	62
27	98	96	93	90	87	83	79	75	70	64
28	98	96	93	91	88	84	80	76	72	66
29	98	96	94	91	88	85	82	78	73	68
30	98	96	94	92	89	86	83	79	75	70
31	98	97	94	92	90	87	84	80	76	72
32	98	97	95	93	90	88	85	81	78	74
33	99	97	95	93	91	88	85	82	79	75
34	99	97	95	93	91	89	86	83	80	77
35	99	97	96	94	92	90	87	84	81	78
36	99	97	96	94	92	90	88	85	82	79
37	99	98	96	94	93	91	88	86	83	80
38	99	98	96	95	93	91	89	87	84	81
39	99	98	96	95	93	92	90	88	85	83
40	99	98	97	95	94	92	90	88	86	83

10-кесте. 20 °C температурада сұйықтардың беттік керілу коэффициенті

Зат	$\sigma, \frac{mH}{u}$	Зат	$\sigma, \frac{mH}{u}$
Су	73	Сұт	46
Бензин	21	Мұнай	26
Глицерин	59	Сынап	487
Керосин	24	Спирт	22
Сабын ерітіндісі	40	Сірке қышқылы	28

11-кесте. Қатты денелердің механикалық қасиеттері

Зат	Созылудың беріктік шегі $\sigma_{\text{бш}}$, МПа	Серпімділік модулі E , ГПа	Зат	Созылудың беріктік шегі $\sigma_{\text{бш}}$, МПа	Серпімділік модулі E , ГПа
Алюминий	100	70	Мәрмәр	140	70
Бетон	48	20	Қалайы	20	50
Вольфрам	3000	415	Қорғасын	15	16
Гранит	150	49	Күміс	140	80
Алтын	140	79	Болат	500	200
Кірпіш	17	3	Шыны	90	50
Мұз	1	10	Фарфор	650	150
Мыс	400	120	Мырыш	150	80

12-кесте. Ортанның диэлектрлік өтімділігі

Зат	Диэлектрлік өтімділік	Зат	Диэлектрлік өтімділік
Су	81	Парафин	2,1
Керосин	2,1	Слюдя	6
Май	2,5	Шыны	7

13-кесте. Металдар мен қоспалардың менинкіті кедергісі

Зат	ρ , Ом·м	Зат	ρ , Ом·м
Алюминий	$2,7 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,05 \cdot 10^{-6}$
Вольфрам	$5,3 \cdot 10^{-8}$	Қалайы	$1,13 \cdot 10^{-7}$
Темір	$9,9 \cdot 10^{-8}$	Осмий	$9,5 \cdot 10^{-8}$
Алтын	$2,2 \cdot 10^{-8}$	Платина	$1,05 \cdot 10^{-7}$
Константан	$4,7 \cdot 10^{-8}$	Сынап	$9,54 \cdot 10^{-7}$
Жез	$6,3 \cdot 10^{-8}$	Корғасын	$2,07 \cdot 10^{-7}$
Магнанин	$3,9 \cdot 10^{-8}$	Күміс	$1,58 \cdot 10^{-8}$
Мыс	$1,68 \cdot 10^{-8}$	Фехраль	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Никелин	$4,2 \cdot 10^{-8}$	Мырыш	$5,95 \cdot 10^{-8}$
Никель	$7,3 \cdot 10^{-8}$	Шойын	$5 \cdot 10^{-7}$

14-кесте. Кедергінің температуралық коэффициенті

Зат	α , K^{-1}	Зат	α , K^{-1}
Вольфрам	$5 \cdot 10^{-3}$	Никелин	10^{-4}
Константан	$5 \cdot 10^{-6}$	Нихром	$2 \cdot 10^{-4}$
Магнанин	$8 \cdot 10^{-5}$	Фехраль	$2 \cdot 10^{-4}$

15-кесте. Электрохимиялық эквивалент

Зат	$k, \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$	Зат	$k, \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$
Алюминий	$9,32 \cdot 10^{-8}$	Натрий	$2,38 \cdot 10^{-7}$
Сутек	$1,04 \cdot 10^{-8}$	Никель (екі валентті)	$3,04 \cdot 10^{-7}$
Алтын	$6,81 \cdot 10^{-7}$	Никель (уш валентті)	$2,03 \cdot 10^{-7}$
Калий	$4,05 \cdot 10^{-7}$	Сынап	$2,07 \cdot 10^{-6}$
Кальций	$2,08 \cdot 10^{-7}$	Қорғасын	$1,07 \cdot 10^{-6}$
Оттек	$8,29 \cdot 10^{-8}$	Құміс	$1,12 \cdot 10^{-8}$
Магний	$1,26 \cdot 10^{-7}$	Хлор	$3,67 \cdot 10^{-7}$
Мыс	$3,29 \cdot 10^{-7}$	Мырыш	$3,39 \cdot 10^{-7}$

16-кесте. Парамагнетиктер мен диамагнетиктердің магнит өтімділігі

Парамагнетик заттар	μ	Диамагнетик заттар	μ
Азот (газ тәрізді)	1,000013	Сутек (газ тәрізді)	0,999937
Ауа (газ тәрізді)	1,000038	Су	0,999991
Оттек (газ тәрізді)	1,000017	Шыны	0,999987
Оттек (сұйық)	1,0034	Мырыш	0,999991
Эбонит	1,000014	Құміс	0,999981
Алюминий	1,000023	Алтын	0,999963
Вольфрам	1,000175	Мыс	0,999912
Платина	1,000253	Висмут	0,999824

17-кесте

Грек алфавиті						Латын алфавиті					
A a	альфа	I i	йота	P p	ро	A a	а	J j	жи	S s	эс
B β	бета	K κ	каппа	Σ σ	сигма	B b	бе	K k	ка	T t	тэ
Γ γ	гамма	Λ λ	лямбда	T τ	тау	C c	це	L l	эль	U u	у
Δ δ	дельта	M μ	мю	Y υ	иpsilonон	D d	де	M m	эм	V v	вэ
Ε ε	эпсилон	N ν	ню	Φ φ	фи	E e	э	N n	эн	W w	дубль-вэ
Z ζ	дзета	Ξ ξ	кси	X χ	хи	F f	эф	O o	о	X x	икс
Η η	эта	Ο ο	омикрон	Ψ ψ	пси	G g	же	P p	пэ	Y y	игрек
Θ θ	тета	Π π	пи	Ω ω	омега	H h	аш	Q q	ку	Z z	зет
						I i	и	R r	эр		

Д.И.МЕНДЕЛЕЕВ ЖАСАГАН ХИМИЯЛЫҚ ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ПЕРИОДТЫҚ ЖҮЙЕСІ

ПЕРІОД-	КАТАР-	ЭЛЕМЕНТТЕРДІҢ ПЕРИОДТЫҚ ЖҮЙЕСІ																		РО	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	ІН-	І-	І-	І-	І-	І-	І-	І-	І-	І-	І-		
1	1	H 1 СҮҮГІР- ЛАР 1,008																		He 2 ГЕЛИЙ 4,003	
2	2	Li 3 ПИТИЙ 6,941	Be 4 БЕРИЛЛІЙ 9,012	B 5 ФОРІУС 10,811	C 6 КЕМІРТЕГІ 12,011	N 7 АЗОТ 14,00	O 8 ОТТЕГІ 15,999	P 9 ФОСФОР 31,974	S 10 КУКРІТ 32,064	F 11 ХЛОР 35,453	Ne 10 НЕОН 20,179	Ar 18 АРГОН 39,948									
3	3	Na 11 НАТРИЙ 22,990	Mg 12 МАГНИЙ 24,315	Al 13 АЛЮМІНИЙ 26,981	Si 14 КРЕМНІЙ 28,085	Cr 15 ФЕРІУС 30,974	Fe 16 ІРІС 31,974	Mn 17 МАРГАНЕЦ 32,064	Co 18 ІРІС 32,064	Ni 19 ІРІС 32,064	Kr 36 КРИПТОН 83,80										
4	4	K 19 КАДІЙ 39,098	Ca 20 КАЛЬЦІЙ 40,088	Sc 21 СКАНДІЙ 44,956	Ti 22 ТАНДІЙ 47,910	V 23 ХРОМ 51,996	Cr 24 ХРОМ 51,996	Mn 25 МАРГАНЕЦ 54,938	Fe 26 ХРОМ 55,847	Ni 27 ХРОМ 58,933	Xe 54 КСЕРОН 131,340										
5	5	Zn 30 МЫРЬШ 63,546	Br 31 МЫРЬШ 65,338	Ga 32 ГЕРМАНІЙ 69,72	Ge 33 ГЕРМАНІЙ 72,559	As 34 МЫШІЯ 74,922	Se 35 СЕІЕН 78,96	Br 35 БРОМ 79,904	Br 36 БРОМ 83,80												
6	6	Rb 37 РУЕВІДІЙ 85,468	Sr 38 ІСТРИЙ 88,906	Zr 39 ІСТРИЙ 89,912	Nb 40 Цирконій 91,22	Mo 41 Ниобій 92,906	Tc 42 МОЛІБДЕН 95,94	Tc 43 ТЕХНЕЦІЙ 98,916	Ru 44 РУТЕНІЙ 101,07	Ru 45 РОДІЙ 102,905	Pd 46 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 47 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 48 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 49 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 50 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 51 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 52 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 53 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 54 ПАЛАДІЙ 106,42	Pd 55 ПАЛАДІЙ 106,42	
7	7	Ag 48 КУМІС 107,868	Cd 49 КАДІЙ 112,41	In 50 ІНДІЙ 114,82	Sn 51 КАЛІЙ 118,69	Te 52 СУРМЕ 121,75	I 53 ІОД 126,904														
8	8	Cs 55 ЦЕМІЙ 132,905	Fr 56 БАРІЙ 137,33	La * 57 ЛАНТАН 138,905	Hf 58 ГАФНІЙ 178,49	Ta 59 ТАТАЛ 180,94	W 60 ВОЛЬФРАМ 183,85	Re 61 РЕНІЙ 186,207	Os 62 ОСМІЙ 190,2	Ir 63 ІРІДІЙ 192,22	Pt 64 ПЛАТИНА 195,09	Ru 65 ПЛАТИНА 195,09	Ru 66 ПЛАТИНА 195,09	Ru 67 ПЛАТИНА 195,09	Ru 68 ПЛАТИНА 195,09	Ru 69 ПЛАТИНА 195,09	Ru 70 ПЛАТИНА 195,09	Ru 71 ПЛАТИНА 195,09	Ru 72 ПЛАТИНА 195,09		
6	9	Ag 80 АЛТИН 196,966	Hg 81 СЫНАЙ 200,59	Tl 82 ТАЛІДІМ 204,437	Pb 83 КОРГАСЫН 207,2	Bi 84 ВІСІМІТ 208,980	Po 85 полоній 209,0	At 86 АСТАТ 210,1	Os 87 ІРІДІЙ 210,2	Ir 88 ІРІДІЙ 210,2	Pt 89 ІРІДІЙ 210,2	Ir 90 ІРІДІЙ 210,2	Pt 91 ІРІДІЙ 210,2	Pt 92 ІРІДІЙ 210,2	Pt 93 ІРІДІЙ 210,2	Pt 94 ІРІДІЙ 210,2	Pt 95 ІРІДІЙ 210,2	Pt 96 ІРІДІЙ 210,2	Pt 97 ІРІДІЙ 210,2		
7	10	Fr 87 ФРАНЦІЙ [223]	Ra 88 РАДІЙ 226,025	Ac** 89 АКТИНІЙ [227]	Ku 90 КУРЧАТОВІЙ [261]	Ns 91 НІЛЬС СВОРІЙ [261]	Te 92 Іод [261]	Te 93 Іод [261]	Te 94 Іод [261]	Te 95 Іод [261]	Te 96 Іод [261]	Te 97 Іод [261]	Te 98 Іод [261]	Te 99 Іод [261]	Te 100 Іод [261]	Te 101 Іод [261]	Te 102 Іод [261]	Te 103 Іод [261]			
ЖОҒАРЫ ОКСИДТЕР		R ₂ O	RO	R ₂ O ₃	RO ₂	RH ₄	RH ₃	H ₂ R	HR	RO ₄											
ЧИЛДІС СТЕКІТКІК КӨСҮЛҮСТАР										RO ₄											
Ce 58 ЦЕРІУС 140,12	Pr 59 ПРЯЗЕДОДІМ 140,908	Nd 60 НЕОДІМ 144,24	Pm 61 ПРОМЕТІЙ 145,9	Sm 62 САЛАРІЙ 150,4	Eu 63 ЕВРОПІЙ 151,96	Gd 64 ГАДОЛІНІЙ 157,25	Tb 65 БЕРІЛІСІ 158,925	Dy 66 ДІССІРІЗОМ 162,50	Ho 67 ГОЛІУМ 164,930	Er 68 ЭРІЙ 167,26	Tm 69 ТУРІМ 168,934	Lu 70 НОБЕЛИЙ 173,04									
Th 90 ТОРІМ 232,038	Pa 91 ПРОТАКТИНИЙ 231,036	U 92 УРАН 238,029	Ne 93 НЕПУТОНИЙ 237,048	Pu 94 ПЛУТОНИЙ 241	Am 95 АМЕРІЦІЙ 243	Cm 96 КАРІЯ 247	Bk 97 БЕРІЛІСІ 247	Es 98 КАЛІФОРНИЙ 251	Fr 99 ФЕРМІЙ 257	Rf 100 МЕНДЕЛЕВІЙ 258	Mc 101 ШІЛДЕЙІН 258	Lr 102 НОБЕЛИЙ 255									
Оксидтер мен гидрооксидтердің жалғыз мөндерінде орналасуы		R ₂ O ₄										R ₂ O ₇									
Атомдық тәнбапандағы нөмірлер		R ₂ O ₃										R ₂ O ₅									
Элементтің атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₂										R ₂ O ₆									
Элементтің атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₇										R ₂ O ₈									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₉										R ₂ O ₁₀									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₁₁										R ₂ O ₁₂									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₁₃										R ₂ O ₁₄									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₁₅										R ₂ O ₁₆									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₁₇										R ₂ O ₁₈									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₁₉										R ₂ O ₂₀									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₂₁										R ₂ O ₂₂									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₂₃										R ₂ O ₂₄									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₂₅										R ₂ O ₂₆									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₂₇										R ₂ O ₂₈									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₂₉										R ₂ O ₃₀									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₃₁										R ₂ O ₃₂									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₃₃										R ₂ O ₃₄									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₃₅										R ₂ O ₃₆									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₃₇										R ₂ O ₃₈									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₃₉										R ₂ O ₄₀									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₄₁										R ₂ O ₄₂									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₄₃										R ₂ O ₄₄									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₄₅										R ₂ O ₄₆									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₄₇										R ₂ O ₄₈									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₄₉										R ₂ O ₅₀									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₅₁										R ₂ O ₅₂									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₅₃										R ₂ O ₅₄									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₅₅										R ₂ O ₅₆									
Атомдық массасының орташа мөндері		R ₂ O ₅₇										R ₂ O ₅₈									

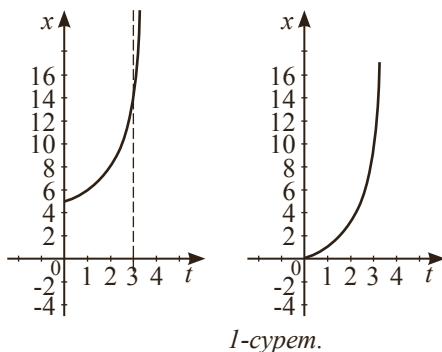
Пәндік көрсеткіш

Абсолют қателік	11	Идеал сұйық	80
Абсолют қатты дене	48	Идеал мәшине	139
Ағын элементі	80	Изобаралық процесс	121
Ағын сзықтары	81	Изопроцесс	120
Ағын түтігі	81	Изотермалық процесс	120
Адиабаталық процесс	135	Изотроптық	85
Аморфты дене	158	Изохоралық процесс	122
Ампер күші	264	Инерция моменті	49
Анизотроптық	158	Импульс моменті	53
Ауаның абсолют ылғалдылығы	147	Импульстің сакталу заңы	55
Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы	148	Кедегінің температуралық	
Ауырлық центрі	60	коэффициенті	234
Аэродинамика	80	Кенздейсок қателік	10
Беріктік	159	Кернеулік	172
Беттік керілу күші	153	Кинематика	5
Беттік керілу коэффициенті	153	Кинематиканың негізгі міндеті	15
Бүкіләлемдік тартылыс заңы	43	Клапейрон теңдеуі	117
Бұрыштық үдеу	27	Конденсатор	198
Бойль – Мариотт заңы	120	Кюри температурасы	277
Бірінші ретті мәнгі қозғалтқыш	136	Қаныққан бу	146
Вискозиметр	90	Қанықпаган бу	146
Галилей түрлендірүлөрі	21	Қаттылық	87
Гальваностегия	244	Қозғалыс заңы	16
Гей-Люссак заңы	121	Кристалдық тор	86
Гидродинамика	80	Кулон заңы	168
Гироскоп	55	Күш импульсі	107
Гигрометр	146	Қатынас ыдыстар	48
Гидростатикалық қысым	153	Ламинарлық ағыс	81
Диамагнетиктер	277	Ленц ережесі	292
Динамика	37	Лездік жылдамдық	34
Дизлектрлік өтімділік	169	Лоренц күші	270
Дөңгелек процесс	107	Магнит ағыны	285
Екінші ретті мәнгі қозғалтқыш	140	Магнит өрісі	257
Еркін тұсу	8	Магнит өрісінің күш сзықтары	260
Жанама үдеу	26	Магнит өтімділік	277
Жартылай өткізгіштер	237	Магнит индукциясы	258
Жүйелік қателік	10	Макроскопиялық параметрлер	101
Абсолют қатты дене	43	Мандалық кедегі күші	90
Жылу мәшинесі	138	Массалар центрі	60
Жылу мөлшері	130	Менделеев – Клапейрон теңдеуі	116
Зат мөлшері	98	Мениск	156
Заттың салыстырмалы		Моль	98
молекулалық массасы	98	Мольдік масса	98
Зарядтың сакталу заңы	168	Микроскопиялық параметрлер	83
Ідеал газ күйінің теңдеуі	116	Меншікті өткізгіштік	237

Ньютоның I заңы	39	Термоэлектрондық эмиссия	251
Ньютоның II заңы	39	Ток жұмыс	225
Ньютоның III заңы	40	Ток күші	208
Орнықты тепе-тендік	66	Ток қуаты	226
Орнықсыз тепе-тендік	66	Ток тығыздығы	208
Өздік индукция	295	Толық тізбек үшін Ом заңы	217
Өлшеу қателігі	10	Турбуленттік ағыс	81
Әріс потенциалы	43	Тұтқырлық	89
Паскаль заңы	107	Тізбек бөлігі үшін Ом заңы	209
Парамагнетиктер	277	Фарад	197
Парциалдық қысым	123	Фарадейдің I заңы	246
Психрометр	146	Фарадейдің II заңы	246
Реактивті қозғалыс	9	Ферромагнетиктер	277
Рекомбинация	244	Фоторезистор	238
Салыстырмалы жылдамдық	23	Үдеу	15
Соққы иондалу	248	Шарль заңы	122
Статика	59	Шеттік бұрыш	156
Стационар ағыс	82	Шық нұктесі	147
Стокс формуласы	89	Электростатика	165
Сыйымдылық	134	Электр қозғаушы күш	213
Салыстырмалы қателік	11	Электр өрісі	172
Талғаусыз тепе-тендік	66	Электр өрісінің кернеулігі	174
Тасымал жылдамдық	23	Электр өрісінің күш сзықтары	201
Температура	102	Электр өрісінің энергиясы	284
Тепе-тендік	66	Электромагниттік индукция	202
Термистор	237	Электролиз	244
Термометр	102	Электролиттік диссоциация	243
Термодинамика	95	Электрохимиялық эквивалент	246
Термодинамикалық параметрлер	101	Электрсыйымдылық	196
Термодинамикалық тепе-тендік	102	Энергетикалық температура	109
Термодинамиканың бірінші заңы	127	Эквипотенциал бет	186
Термодинамиканың екінші заңы	138	Центрге тартқыш үдеу	26

Жаттығулардың жауаптары

- 2-жатт.** 1. $2,8 \pm 0,2$ В; $2,80 \pm 0,1$ В
 2. $14,0 \pm 0,4$ Ом
- 3-жатт.** 1. $0,07$ м/с². 2. 2 м/с. 3. -1 м/с².
 4. 1) 2 м/с²; 0; 1 м/с², -4 м/с²; 99 м;
 99 м; 2) $x_1 = 5 + t^2$; $x_2 = -4 + 6t$. 3) 1-су-
 рет. 5. 3,24 м.



- 4-жатт.** 1. $\approx 8,3$ м/с; $\approx -8,3$ м/с. 2.
 20 с. 3. 4 м/с. 4. 90 с, 81 м, $\approx 115,6$ с.
 5. а) 144 км/саф; б) 0; в) 102 км/саф.
- 5-жатт.** 1. 25 м/с². 2. 25 м/с; $0,71$ м/с².
 3. $-0,314$ рад/с². 4. 5 с. 5. $\approx 0,49$ м/с;
 $\approx 0,015$ рад/с; $\approx 0,007$ м/с²; 0.
- 6-жатт.** 1. $\approx 0,87$ м. 2. 19,8 м. 3. 45° .
 4. 540 м. 5. 5,3 м/с.

- 7-жатт.** 1. $2,5$ Н. 2. $-0,1$ м/с²; $10,1$ м/с².
 3. $0,025$. 4. $5,4$ Н. 5. $90,4$ Н.
- 8-жатт.** 1. ≈ 1497 км; 2. Ай центрінен
 $6R_{\text{ж}}$. 3. $F = GMm \left(\frac{1}{L} - \frac{1}{2(L - R)} \right)$.
 4. 3200 км, ≈ 2133 км, 6400 км.

5. 4 есе, 9 есе, 16 есе. 6. $\approx 9,4$ МДж/кг;
 $\approx 12,2$ ГДж;
 7. $T = 2\pi \sqrt{\frac{R_3}{g}}$
- 9-жатт.** 1. $2 \cdot 10^{-3}$ кг · м²; 7 рад/с.
 2. $4 \cdot 10^4$ Н · м. 3. $\approx 10^{34}$ кг · м²;
 $\approx 3,6 \cdot 10^{22}$ Дж. 4. 24 Дж.
 5. $4,08 \cdot 10^{-3}$ кг · м²; $5,71 \cdot 10^{-3}$ кг · м².

- 10-жатт.** 1. $0,8\pi$ кг · м²/с. 2. $2,512$ Н · м.
 3. 6 Н · м. 4. $2,8$ м/с²; 14 Н; 12,6 Н.
 5. 3 м/с²

- 11-жатт.** 1. 120 кг. 2. Ауыр жүгі бар
 ұшынан 0,1 м қашықтықта. 3. Болат
 өзектің ұшынан 11,4 см қашықтықта
 4. 0,96 м. 6. $x_c = -R/6$.

- 12-жатт.** 1. 1) орнықты тепе-тендік;
 2) талғаусыз тепе-тендік; 3) пен
 4) орнықсыз тепе-тендік; 5) орнықты
 тепе-тендік; 6) орнықсыз; 7) талғаусыз
 тепе-тендік. 2. Бөрене потенциалдық
 энергиясы минимал күйге туследі.
 3. Ертерек сырғы бастайды.

- 13-жатт.** 1. 10 м/с. 2. 1470 м. 3. 5 м/с,
 10 м/с. 4. 7000 Дж, -2100 Дж.
 5. 5,24 см; 6. $-5,37 \cdot 10^{10}$ Дж;
 $2,68 \cdot 10^{10}$ Дж; $-2,68 \cdot 10^{10}$ Дж.
 7. $\approx 11,2$ км/с.

- 14-жатт.** 1. $8,8$ м/с. 2. $\approx 1,55$ мН, 1032 Па.
 3. $\approx 8,9$ м/с, $\approx 5,3$ Н.

- 15-жатт.** 1. $4,5$ м/с. 2. $4,33$ м/с. 3. $\approx 2,3$ л.
 4. $v = \sqrt{\frac{8Fd^4}{\pi\rho D^2(D^4 - d^4)}}$.

- 16-жатт.** 1. $0,84$ см². 2. $0,28$ м. 3. $1,38$ м³.
 4. 3 есе. 5. $\approx 4,1$ м/с. 6. 2 Па с.

- 17-жатт.** 1. Неон, $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ кг/мол.
 2. 316 моль. 3. $4,18 \cdot 10^{-9}$ м. 4. 10^5 моль.
 5. 201 м/с.

- 18-жатт.** 1. 297 К, 300 К, 200 К, 373 К. 2.
 -269°C , -73°C , 167°C , 27°C . 3. 29°C ,
 27°C , 22°C . 4. 86°F , 77°F , 68°F

- 19-жатт.** 1. $\approx 106,7$ кПа. 2. $16 \cdot 10^{-3}$ кг/мол.
 3. $2 \cdot 10^6$ Па, $4 \cdot 10^{-3}$ кг/мол. 4. 500 К.
 5. $2,4 \cdot 10^{25}$ м³.

- 20-жатт.** 1. 286,4 К. 2. 1,2 моль.
 3. $1,2$ кг/м³. 4. $9,03 \cdot 10^{25}$. 5. 100 кПа.
 6. 1,7 есе.

- 21-жатт.** 1. 0,7 МПа. 2. 225 К. 3. 70 К.
 4. 2,5. 5. 3.

- 22-жатт.** 1. 15,58 кДж-ға азаяды.
 2. 18,7 кДж. 3. Жоқ, 900 Дж. 4. 5.

- 23-жатт.** 1. 3,3 МДж; 6,1 МДж. 2. 6%.
 3. 373,95 кДж. 4. $0,49$ м³. 4. 3 кДж.
 5. -400 Дж.

- 24-жатт.** 1. 20 Дж, 20%. 2. 10^2 кДж.
 3. $\eta = 9,3\%$. 4. 38,7%; 2,7. 5. 27%;
 274 кДж

- 25-жатт.** 1. $82,8$ г/м³. 2. 2400 Па, қанық-
 паған. 3. $53,6$ г/м³. 4. 50%. 5. 35%.

- 26-жатт.** 1. $1,6 \cdot 10^{-3}$ Н, май жағына.
 2. 78 мН/м. 3. 1,6 мДж. 4. 7 мм.
 5. 22 мН/м.

27-жыннамт. 1. 1,9 кН. 2. $3,6 \cdot 10^5$ Па.
 3. $F \geq 2,2 \cdot 10^2$ Н; $\varepsilon \geq 10^{-3}$. 4. $4 \cdot 10^7$ Па,
 $2 \cdot 10^{11}$ Па. 5. $2 \cdot 10^{-5}$ м²; $2,4 \cdot 10^7$ Па,
 шыдайды.

28-жыннамт. 1. 540 мкН. 2. $\approx 10^{-8}$ Кл.
 3. -5 мкКл; -5 мкКл; 22,5 Н. 4.
 Шардың астында $2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, шардың
 үстінде $-2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл. 5. 1,3 г.
29-жыннамт. 1. $1,76 \cdot 10^{12}$ м/с². 2. а) 576 кВ/м,
 432 кВ/м. 3. 3°-қа азаяды. 4. $4 \cdot 10^{-6}$ В/м,
 $\approx 1,8 \cdot 10^{-15}$ Кл. 5. $1,2 \cdot 10^4$ В/м.

30-жыннамт. 1. -9 нКл. 2. $E_A = 0$,

$$E_B = k \frac{\sigma \cdot 4\pi r^2}{R_B^2}, E_C = k \frac{\sigma \cdot 4\pi (r^2 + R^2)}{R_C^2}.$$

 3. $r < R$ болғанда $E(r) = 0$. $R < r < R_1$
 болғанда $E(r) = k \frac{\sigma \cdot 4\pi R^2}{r^2}$. 4. $0 < x < d$
 болғанда $E(x) = \frac{\sigma}{\varepsilon_a}$
 5. $-1,77 \cdot 10^{-7}$ Кл/м². 6. $1,73 \cdot 10^{-6}$ Кл/м².

31-жыннамт. 1. $\approx 1,8 \cdot 10^{-6}$ Дж.

$$2. A = \frac{aq}{4\pi\varepsilon_0} \left[\frac{q_1}{(d+l)(d+l+a)} + \frac{q_1}{l(l+a)} \right]$$

$$3. \approx 1,73 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}. 4. 25 \text{ В}.$$

$$5. \approx 1,13 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$$

32-жыннамт. 1. 50 кВ/м. 2. $\approx 4 \cdot 10^{42}$.

$$3. 3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}, -3 \cdot 10^{-5} \text{ Дж}, 6000 \text{ В}.$$

$$4. -0,126 \text{ мкДж}.$$

33-жыннамт. 1. -4 нКл, 4 нКл, $E = 0$.
 2. $\Delta F = \frac{2kq_1^2(2r_1 - 3l)r_1}{l^2(3l - 4r_1)^2}$. 3. 3,56 Н;
 $0,14 \text{ м}$. 4. 0,27 м. 5. 8,84 мН.

34-жыннамт. 1. $5 \cdot 10^{-9}$ Кл. 2. 100 В. 3. 6 мкФ,
 3 мкФ . 4. 165 В, 55 В. 5. $3,2 \cdot 10^{-5}$ Кл.

35-жыннамт. 1. 0,625 мкДж 2. 10^{-8} Кл,
 $5 \cdot 10^{-6}$ Дж. 3. 2 есе; 4. ≈ 220 мкДж

$$5. 97 \text{ мДж/м}^3$$

$$6. 0,25 \text{ Дж}, 500 \text{ В}, 0,$$

36-жыннамт. 1. 0,17 А; 6 мин. 2. 10^9 А/м^2 ;
 $5 \cdot 10^5 \text{ А/м}^2$. 3. $5 \cdot 10^{-4}$ Ом·м. 4. 2,5 Ом;
 $4 \text{ Ом}; 6 \text{ Ом}; 10 \text{ Ом}; 13,5 \text{ Ом}; 25 \text{ Ом};$
 $26,7 \text{ Ом}; 40 \text{ Ом}$. 5. 2,5 Ом.

37-жыннамт. 1. 0,3 А. 2. 0,1 А. 3. 9,7 В.

$$4. \approx 0,1 \text{ Ом}$$

$$5. 2 \text{ А}$$

38-жыннамт. 1. 0,5 А; 3,5 В. 2. 3,5 А. 3. 0,47 А.

$$4. 2 \text{ В}$$

$$5. 5,12 \text{ А}; 6. 6,14 \text{ В};$$

7. 0,2 А; 180 Дж; 168 Дж; 12 Дж.

39-жыннамт. 1. 13,5 Ом; 2. 6,7 Ом. 3. 0,25 Ом.
 4. 1,4 А. 5. 0,06 А.

40-жыннамт. 1. ≈ 1680 Дж. 2. 3,18 мин.

3. $\approx 1,22$ есе артады. 4. 24,2 Ом.

5. 20 мин; 3,75 мин. 6. 4, тізбектей.
 7. 60 %

41-жыннамт. 1. $5,7 \cdot 10^{-11}$ кг · м/с. 2. 0,82 мм/с.

3. 0,42 В/м. 4. $\approx 12,5$. 5. 0,0045 К⁻¹.
 6. 7,9 %-ке кемиді.

42-жыннамт. 1. $6,7 \cdot 10^{-10}$. 2. $2,3 \cdot 10^{-7}$ %.

3. $9,6 \cdot 10^{-5}$ %. 4. 3 есе кеміді. 5. 10 есе.

43-жыннамт. 1. 53,5 мг. 2. $2,35 \cdot 10^{21}$.

3. 4,1 кг. 4. $5,68 \cdot 10^{17}$. 5. 10 мин;
 4,6 мкм.

44-жыннамт. 1. 4,15 В. 2. 80 нА. 3. 3 мВ/м,

4. 4 нс. 5. 3,2 кВ

45-жыннамт. 1. Бөлшектерді Т әрпі түрінде

жинау, егер магнит ұшы басқа бол-
 шекке қаратылған бөлшек болса,
 онда олар бір-біріне тартылады. Кері
 жағдайда әрекеттесу орындалмайды.
 2. $4 \cdot 10^{-5}$ Тл. 3. $\approx 1,67 \cdot 10^4$ Тл.
 4. ≈ 12 А.

46-жыннамт. 1. 0. 2. 98 А. 3. $F_1 = 0,148$ Н;
 $F_2 = 0,048$ Н. 4. 250 кА. 5. ≈ 277 мН · м.

47-жыннамт. 1. $2 \cdot 10^{-8}$ Н. 2. $1,6 \cdot 10^{-15}$ Н;
 $0,569$ мм. 3. $2,8 \cdot 10^4$ с⁻¹. 4. $5 \cdot 10^{17}$ Дж.
 5. $1,04 \cdot 10^6$ м/с

48-жыннамт. 1. 2000, 1000. 2. 1,75-ке артады.
 3. 0.

49-жыннамт. 1. 5 м. 2. -1,36 мВб; 0.

50-жыннамт. 1. -0,25 Вб/с. 2. $3,14 \cdot 10^{-6}$ Кл.
 3. 10 В. 4. а) D-дан С-ға дейін б) С-дан
 D-ға дейін в) D-дан С-ға дейін г) С-дан
 D-ға дейін. 5. 4 В

51-жыннамт. 1. 16 Вб. 2. 0,04 В. 3. $1,5 \cdot 10^{-4}$ Вб.
 4. 1,75 Ом. 5. 0,1 Вб.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математикалық бағытындағы 10-11-сыныптары үшін «Физика» пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасы.– Астана: І.Алтынсарин атындағы ҰБА, 2017
2. Ванеев А. А., Корж Э.Д., Орехов В.П. Преподавание физики в 9 классе. Москва: Просвещение, 1980.
3. Ванеев А.А., Дубицкая З.Г., Ярунина Е.Ф. Преподавание физики в 10 классе средней школы. Москва: Просвещение, 1978.
4. Орехов В.П., Усова А.В., Турышев И.К. и др. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Москва: Просвещение, 1980.
5. Кабардин О.Ф., Кабардина С.И., Орлов В.А. и др. Методика факультативных занятий по физике: пособие для учителей.– М.:Просвещение, 1980.–191 с.
6. М. М. Балашов Физика. Пробный учебник для 9 класса средней школы. – Москва:Просвещение, 1993.
7. Тарасов Л.В., Тарасова А.Н. Вопросы и задачи по физике (Анализ характерных ошибок поступающих во втузы): Учебное пособие.–4-е изд., стереотип.–М.:Выssh. шк.,1990.–256 с.
8. Физика. Перевод с английского Ахматова А.С. и др. – Москва: Наука, 1965.
9. Л.Эллиот, У.Уилкокс Физика. Перевод с английского под редакцией проф. Китай-городского А.И.. Москва, Главная редакция физико-математической литературы издательства Наука,1975.
10. Кикоин И. К., Кикоин А. К. Физика. Учебник для 9 класса средней школы. – М.:Просвещение, 1992 .
11. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика. Учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений. – М.:Просвещение, 1995 .
12. Шахмаев Н. М. и др. Физика. Учебник для 11 класса средних школ. – М.: Просвещение, 1991.
13. Элементарный учебник физики под ред. акад. Ландсберга, том I. –Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. – Москва, 1975.
14. Элементарный учебник физики под ред. акад. Ландсберга, Т.2. Электричество и магнетизм. – 13-е изд.– М.:ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 480 с.
15. Балашов М.М., Гомонова А.И., Долицкий А.Б. и др.; Под ред. Мякишева Г.Я. Физика: Механика: Учеб. Пособие для шк. И классов с углубл.изуч. физики/ – М.: Просвещение, 1995.– 480 с.
16. Грабовский Р.И. Курс физики: Учебное пособие. 11-е изд., стер.– СПб.: Издательство «Лань», 2009.– 608 с.
17. Кабардин О.Ф. Физика: справ. материалы: Учеб.пособие для учащихся.– 3-е изд. – М.: Просвещение, 1991.–367 с.
18. Б.Кронгарт, В.Кем, Н.Койшибаев. Физика: Учебник для 10 классов естественно-математического направления общеобразовательных школ. – Алматы:Мектеп», 2006. –352 с.
19. Рымкевич А.П., П.А. Рымкевич Сборник задач по физике. – Москва «Просвещение», 1984.
20. Сборник задач по физике: Для 10-11 кл. общеобразовательных учреждений/ Сост. Г.Н.Степанова. М.: Просвещение, 2001.

21. Гладкова Р.А., Добронравов В.Е., Жданов Л.С., Щодиков Ф.С.. Сборник задач и вопросов по физике для средних специальных учебных заведений.– изд.2.исправл. М.: Наука, 1974.
22. Сборник задач по физике. 10-11 классы: пособие для учащихся общеобразоват. учреждений: базовый и профил. уровни/ Парфентьев Н.А.– 3-е изд.– М.: Просвещение, 2010.– 206 с.
23. Парфентьева Н.А. Задачи по физике. Для поступающих в вузы, – М.: Классикс Стиль, 2005.–480 с.
24. Физика в задачах для поступающих в вузы/ Турчина Н.В.– М.: ООО Издательство «Оникс»; ООО «Издательство «Мир и образование», 2008. – 768 с.
25. Сборник задач по физике: Учебное пособие/Баканина Л.П., Белонучкин В.Е., Козел С.М., Мазанько И.П.: Под ред.Козела С.М. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 288 с.
26. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1976.–464 с.
27. Зубов В.Г., Шальнов В.П.. Задачи по физике. –М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1975.–280 с.
28. Вертельник В.И., Позднеева Э.В. и др. Физика. Тренировочные задания: в 2 ч.– Томск. Том.политехн. ун-т, 2006.–ч.1.–170 с
29. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: Дидакт. материалы: 9-11 кл./ Дик Ю.И., О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов и др.– М.: Просвещение, 1993
30. Буров В.А., Дик Ю.И., Зворыкин Б.С и др Практикум по физике в средней школе: дидакт. материал.– М.: Просвещение, 1987.
31. Қазақша-орынша. Орынша-қазақша терминологиялық сөздік. Физика және астрономия. – Алматы: «Қазақпарат» баспа корпорациясы, 2014. –388 б. Мемлекеттік терминологиялық комиссия бекіткен.
32. Орынша-қазақша сөздік. А. Байтұрсынов атындағы Тіл білімі институты, – Алматы. Дайк-пресс – 2005.
33. Физика: Еженедельник Издательского дома «Первое сентября». Адрес сайта: <http://fiz.1september.ru/>.
34. Классная физика: Образовательный сайт. Адрес сайта: <http://class-fizika.narod.ru>
35. Гельффер Я.М. Законы сохранения.–М.: «Наука», 1967.
36. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Механика.–М.: «Наука», 1988.

Иллюстрациялық-материалдар сілтемелері

1. voxpopuli.kz
2. ethnosport.kz
3. popmech.ru
4. kazteleradio.kz
5. olympic.kz
6. kolpino.ru
7. liter.kz
8. naukatv.ru
9. aliexpress.com
10. tengrinews.kz
11. ukkz.com
12. saiman.kz
13. pinterest.com.au
14. ademi-ai.kz
15. paranormal-news.ru
16. thegolfclub.info
17. nutreaunmino.com
18. citytravel.livejournal.com
19. mirkosmosa.ru
20. informburo.kz
21. s-project.com.ua
22. neomagnet.by
23. labbox.ru
24. elektrik-a.su

Мазмұны

Алғы сөз.....	4
1 БӨЛІМ. МЕХАНИКА	5
1-ТАРАУ. Кинематика	5
§ 1. Физиканың қазіргі замандағы рөлі.....	6
§ 2. Физикалық шамалардың көтөліктері.	
Олшеу нәтижелерін өндөу	10
§ 3. Тенұдемелі қозғалатын дене кинематикасының негізгі түсініктері мен теңдеулері	15
§ 4. Инвариантты және салыстырмалы физикалық шамалар. Галилейдің салыстырмалылық принципі	21
§ 5. Қисықсызықты қозғалыс кинематикасы	26
§ 6. Қекжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы.....	31
2-ТАРАУ. Динамика	37
§ 7. Құштер. Құштерді қосу. Ныютон заңдары	38
§ 8. Бүкіләлемдік тартылым заңы.....	43
§ 9. Абсолют қатты дененің инерция моменті	48
§ 10. Импульс моменті. Импульс моментінің сакталу заңы мен оның қеңістік қасиеттерімен байланысы.	
Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі	53
3-ТАРАУ. Статика	59
§ 11. Массалар центри	60
§ 12. Тепе-тендік түрлері	66
4-ТАРАУ. Сақталу заңдары	71
§ 13. Импульстің және механикалық энергияның сақталу заңдары, олардың қеңістік пен уақыттың қасиеттерімен байланысы.....	72
5-ТАРАУ. Сұйықтар мен газдардың механикасы	79
§ 14. Гидродинамика. Сұйық пен газдардың ламинарлық және турбуленттік ағыстары	80
§ 15. Үзіліссіздік теңдеуі. Бернуlli теңдеуі. Көтергіш күш.....	84
§ 16. Тұтқыр сұйық ағыны. Стокс формуласы. Денелерді қапталдай ағу	89
2 БӨЛІМ. ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ	95
6-ТАРАУ. Молекулалық-кинетикалық теория негіздері	95
§ 17. Газдардың молекулалық-кинематикалық теориясының негізгі қағидалары және олардың тәжірибелік дәлелдемелері	96
§ 18. Термодинамикалық жүйелер мен термодинамикалық параметрлер.	
Термодинамикалық жүйелердің тепе-тендік және тепе-тендік емес күйлері.	
Температура – зат бөлшектерінің жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі ретінде	101
§ 19. Идеал газ. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі.....	107
7-ТАРАУ. Газ заңдары	115
§ 20. Идеал газ күйінің теңдеуі	116
§ 21. Изопроцесстер. Изопроцестердің графиктері. Дальтон заңы.....	120

8-ТАРАУ. Термодинамика негіздері	127
§ 22. Идеал газдың ішкі энергиясы. Термодинамикалық жұмыс.	
Жылу мөлшері, жылусыйымдылық	128
§ 23. Термодинамиканың бірінші заңы.	
Термодинамиканың бірінші заңын изопроцестерге колдану.	
Адиабаталық процесс, Пуассон тендеуі	133
§ 24. Қайтымды және қайтымсыз процестер. Энтропия.	
Термодинамиканың екінші заңы.	
Айналмалы процесс және оның пайдалы әсер коэффициенті, Карно циклі	138
9-ТАРАУ. Сұйық және қатты денелер	145
§ 25. Қаныққан және қанықпаған булар, ауаның ылғалдылығы.	
Фазалық диаграммалар. Үштік нүктө. Заттың кризистік күйі	146
§ 26. Сұйықтың беткі қабатының қасиеттері.	
Жұғу, капиллярлық құбылыстар	153
§ 27. Кристалл және аморфты денелер.	
Қатты денелердің механикалық қасиеттері	158
3 БӨЛІМ. ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ	165
10-ТАРАУ. Электростатика	165
§ 28. Электр заряды. Зарядтың беттік және көлемдік тығыздығы.	
Зарядтың сакталу заңы. Кулон заңы	166
§ 29. Электр өрісі. Біртекті және біртекті емес электр өрісі.	
Электр өрісінің кернеулігі. Электр өрістерінің суперпозиция принципі	172
§ 30. Электр өрісінің кернеулік векторының ағыны. Гаусс теоремасы	177
§ 31. Зарядтың орнын ауыстырылғандағы электр өрісінің жұмысы.	
Электр өрісінің потенциалы және потенциалдар айырымы	182
§ 32. Эквипотенциал беттер. Біртекті электр өрісі үшін потенциалдар айырымы мен кернеулік арасындағы байланыс	187
§ 33. Электр өрісіндегі откізгіштер мен дизелектриктер	191
§ 34. Электрсыйымдылық. Конденсаторлар. Конденсаторларды жалғау	196
§ 35. Электр өрісінің энергиясы	201
11-ТАРАУ. Тұрақты ток	207
§ 36. Электр тогы. Тізбек бөлігіне арналған Ом заңы.	
Откізгіштерді аралас жалғау	208
§ 37. Ток көзінің электр қозғаушы күші және ішкі кедергісі	212
§ 38. Толық тізбек үшін Ом заңы	216
§ 39. Кирхгоф заңдары	220
§ 40. Электр тогының жұмысы және қуаты.	
Джоуль – Ленц заңы. Ток көзінің пайдалы әсер коэффициенті	225
12-ТАРАУ. Әртүрлі ортадағы электр тогы	231
§ 41. Металдардағы электр тогы. Асқынөткізгіштік	232
§ 42. Жартылай откізгіштегі электр тогы.	
Жартылай откізгіш құралдар	237
§ 43. Электролиттердің балқытпасы мен ерітіндісіндегі электр тогы.	
Электролиз заңдары	243
§ 44. Газдардағы электр тогы. Вакуумдағы электр тогы.	
Электронды-сәулелік түтікше	248

13-ТАРАУ. Магнит өрісі.

§ 45. Токтың өткізгішпен әрекеттесуі, Ампердің және Эрстедтің тәжірибелері.

Магнит индукция векторы. Тогы бар шексіз түзу және дөңгелек

өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы. Бұргы ережесі.....

§ 46. Ампер күші. Сол қол ережесі.....

§ 47. Лоренц күші. Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозгалысы.....

§ 48. Заттардың магниттік қасиеттері. Кюри температурасы.....

258

264

270

277

14-ТАРАУ. Электромагниттік индукция

§ 49. Электромагниттік индукция құбылысы.

Магнит ағыны. Ампер күшінің жұмысы

284

§ 50. Электромагниттік индукция заны. Ленц ережесі

289

§ 51. Өздік индукция құбылысы. Индуктивтілік. Магнит өрісінің энергиясы

295

§ 52. Электрқозғалтқыш және тұрақты токтың электртрансформаторы

300

Қосымшалар. Зертханалық жұмыстар және кестелер

1-қосымша. Зертханалық жұмыстар

306

№ 1 зертханалық жұмыс.

Көлбейу науа бойымен қозгалатын дененің үдеуін анықтау

306

№ 2 зертханалық жұмыс. Дененің ұшу қашықтығының лактыру

бұрышына тәуелділігін зерттеу

307

№ 3 зертханалық жұмыс.

Көлбейу науамен домалайтын дененің қозгалысын оқып үйрену

308

№ 4. зертханалық жұмыс.

Бір-біріне бұрыш жасай бағытталған күштерді қосу

310

№ 5 зертханалық жұмыс.

Тұтқыр сүйікта қозғалатын кішкене шар жылдамдығының

311

оның радиусына тәуелділігін зерттеу

№ 6 зертханалық жұмыс.

Өткізгіштерді аралас жалғауды зерделеу

312

№ 7 зертханалық жұмыс.

Ток көзінің электр қозгаушы күші мен ішкі кедергісін анықтау

315

№ 8 зертханалық жұмыс.

Қызыдыру шамының, резистордың,

316

жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамасы

№ 9 зертханалық жұмыс.

Бір валентті ионның электр зарядын өлшеу

317

2-қосымша. Физикалық шамалар кестесі

319

Пәндік көрсеткіш

326

Жаттығулардың жауаптары

328

Пайдаланылған әдебиеттер

330

Назар аудар



Электронды қосымша жүктелген CD қолжетімсіз болған жағдайда, қосымшаны *arman-pv.kz* сайтынан тауып, өз компьютеріңе жүктеп алуыңға болады

Оқу басылымы

**Назифа Анваровна Закирова
Руслан Рауфович Аширов**

ФИЗИКА

**Жалпы білім беретін мектептің 10-сыныбының
жаратылыстану-математикалық бағытына арналған оқулық**

Бас редакторы	K. Караева
Әдіскер-редакторы	Т. Базарханова
Редакторы	Ж. Кулдарова
Техникалық редакторы	В. Бондарев
Көркемдеуші редакторы	Е. Мельникова
Биљд редакторы	Ш. Есенкулова
Суретші-безендіруші	О. Подопригора
Мұқабаның дизайны	В. Бондарев, О. Подопригора
Беттегендер	Л. Костина, С. Сулейменова, Г. Илишева, Т. Макарова, А. Кейикбайва, Н. Нержанова

Сатып алу үшін мына мекенжайларға хабарласыңыздар:

Нұр-Сұлтан қ., 4 м/а, 2 үй, 55 пәтер.

Тел.: 8 (7172) 92-50-50, 92-50-54. E-mail: astana@arman-pv.kz

Алматы қ., Ақсай-1А м/а, 28Б үй.

Тел.: 8 (727) 316-06-30, 316-06-31. E-mail: info@arman-pv.kz

«Арман-ПВ» кітап дүкені

Алматы қ., Алтынсарин к/сі, 87 үй. Тел.: 8 (727) 303-94-43.

Теруге 15.08.18 берілді. Басуға 05.07.19 кол койылды. Пішімі 70 x 100 $\frac{1}{16}$. Қағазы оффсеттік.

Карп түрі «Times New Roman». Оффсеттік басылым. Шартты баспа табағы 27,09.

Таралымы 40000 дана.

Артикул 810-007-002к-19