

Р. Башарұлы, Ш. Шүйіншина, К. Сейфоллина

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің 9-сыныбына арналған оқулық

9

Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі ұсынған



Алматы «Атамұра» 2019

ӘОЖ 373.167.1

КБЖ 22.3я72

В 30

*Оқулық Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі бекіткен
негізгі орта білім беру деңгейінің 7–9-сыныптарына арналған
«Физика» пәнінің жаңартылған мазмұндагы
Типтік оқу бағдарламасына сәйкес дайындалды.*

Шартты белгілер:



– сұрақтар



– жаттығулар



– деңгейлік тапсырмалар



– практикалық және эксперименттік тапсырмалар



– теориялық зерттеу



– ғылым мен техниканың даму тарихынан



– терендөтілген деңгейдегі қосымша материалдар

Башарұлы Р. т.б.

Б 30 **Физика: Жалпы білім беретін мектептің 9-сыныбына арналған оқулық/**
Р. Башарұлы, Ш. Шүйіншина, К. Сейфоллина. – Алматы: Атамұра, 2019. –
272 бет.

ISBN 978-601-331-569-0

ӘОЖ 373.167.1
КБЖ 22.3я72

ISBN 978-601-331-569-0

© Башарұлы Р., Шүйіншина Ш.,
Сейфоллина К., 2019
© «Атамұра», 2019

АЛҒЫ СӨЗ

Қымбатты балалар!

Биылғы оқу жылында сендер негізгі мектепке арналған «Физика» курсын толық аяқтайдыңдар. 9-сыныпқа арналған «Физика» оқулығында механиканың негізгі заңдары қарастырылады. Бұл заңдар әртүрлі деңелердің, планеталардың, жасанды Жер серіктесінің, зымырандардың т.с.с. қозғалысын түсіндіру үшін қолданылады. Сондай-ақ бұл оқулық дыбыс құбылыстары мен радиобайланысты түсіндіруге мүмкіндік беретін механикалық және электрмагниттік тербелістер мен толқындардың физикалық негіздерімен де, аспан денелеріне қатысты астрономиялық дөректермен де таныстырады.

Оқулықтың едеуір бөлігі қазіргі заман физикасына арналған. Осыған орай, кванттық теория, атом және атом ядроның құрылымы жайында алғашқы түсініктер беріліп, ядролық (атомдық) энергияны босатып алушың физикалық принциптері кеңірек баяндалады.

9-сыныпта физикадан оқылатын материалдардың барлығы да сендердің 7–8-сыныптарда физика курсынан алған білімдеріңе негізделеді. Сондықтан оларды алдын ала қайталап, естеріңде түсіріп отыру – сапалы білім алушың кепілі болып табылады.

Әрбір тараудың бастауында оқушылардың міндетті түрде менгеруіне арналған бағдарламалық оқу мақсаттары көрсетілген және естерінде үзақ сақталуға тиісті ең маңызды терминдердің (заңдар мен үғымдардың) тізбесі үш тілде берілген. Әр тақырыпты оқыған сайын оқу мақсаттарының орындалғанына үнемі көз жеткізіп отырындар. Оқулықтағы түйінді заңдар мен үғымдар санаулығана (олардың біразы әр тараудың соңында берілген). Мұндай түйінді заңдар мен үғымдарды терең менгеруге, берілген есептердің шығару амалдарын толығымен игеруге тырысындар.

Омірлеріңдегі ең бірінші жауапты да маңызды кезең – негізгі мектепті бітіріп шығатын оқу жылы әрқайсысыңа қайырлы да сәтті жыл болсын!

I ТАРАУ**КИНЕМАТИКА НЕГІЗДЕРІ****ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛАҮ МАҚСАТТАР:**

- ➡**материялық нүкте, санақ жүйесі, механикалық қозғалыстың салыстырмалылығы ұғымдарының мағынасын түсіндіру, жылдамдықтарды қосу және орын ауыстыру теоремаларын қолдану;**
- ➡**векторларды қосу, азайту, векторды скалярға көбейту;**
- ➡**вектордың координаталар өсіне проекциясын анықтау, векторды құраушыларға жіктеу;**
- ➡**уақытқа тәуелділік графиктерінен орын ауыстыруды, жылдамдықты, үдеуді анықтау;**
- ➡**түзусызықты теңайнималы қозғалыс кезіндегі жылдамдық, және үдеу формулаларын есептер шығаруда қолдану;**
- ➡**түзусызықты теңайнималы қозғалыс кезіндегі координата мен орын ауыстыру тендеулерін есептер шығаруда қолдану;**
- ➡**тендемелі қозғалыс кезіндегі дененің үдеуін эксперименттік жолмен анықтау;**
- ➡**эксперименттік нағиесіне әсер ететін факторларды талдау және экспериментті жүргізуі жақсарту жолдарын ұсыну;**
- ➡**тендемелі қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың және жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графиктерін түрғызу және оларды түсіндіру;**
- ➡**еркін түсіді сипаттау үшін теңайнималы қозғалыстың кинематикалық тендеулерін қолдану;**
- ➡**теңайнималы және бірқалыпты қозғалыстың кинематикалық тендеулерін қолдана отырып, горизонталь лақтырылған дененің қозғалысын сипаттау;**
- ➡**горизонталь лақтырылған дененің қозғалыс жылдамдығын анықтау;**
- ➡**горизонталь лақтырылған дененің қозғалыс траекториясын сыйзу;**
- ➡**дененің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысын сыйықтық және бұрыштық шамалар арқылы сипаттау;**
- ➡**сыйықтық және бұрыштық жылдамдықты байланыстыратын өрнекті есептер шығаруда қолдану;**
- ➡**центрге тартқыш үдеу формуласын есептер шығаруда қолдану.**

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде үзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұфымдар мен шамалар қарастырылады: «материялық нүктө», «санақ жүйесі», «механикалық қозғалыс», «жылдамдық, үдеу, орын ауыстыру», «векторлық және скалярлық физикалық шамалар», «бірқалыпты қозғалыс, теңайнымалы қозғалыс, теңүдемелі қозғалыс», «еркін түсү», «қозғалыс траекториясы», «шенбер бойымен бірқалыпты қозғалыс», «сзыбытық және бұрыштық жылдамдықтар», «центрге тартқыш үдеу».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Материялық нүктө	Материальная точка	Material point
Санақ жүйесі	Система отсчета	Frame of reference
Механикалық қозғалыс	Механическое движение	Mechanical motion
Жылдамдық, үдеу	Скорость, ускорение	Speed, acceleration
Орын ауыстыру	Перемещение	Displacement
Векторлар, скалярлар	Векторы, скаляры	Vectors, scalars
Бірқалыпты қозғалыс	Равномерное движение	Uniform motion
Теңайнымалы қозғалыс	Равнопеременное движение	Equal change of motion
Тенүдемелі қозғалыс	Равноускоренное движение	Uniformly accelerated motion
Еркін түсү	Свободное падение	Free fall
Қозғалыс траекториясы	Траектория движения	Trajectory of motion
Шенбер бойымен бірқалыпты қозғалыс	Равномерное движение по окружности	Uniform circular motion
Сзыбытық, бұрыштық жылдамдықтар	Линейные, угловые скорости	Linear, angular velocities
Центрге тартқыш үдеу	Центростремительное ускорение	Centripetal acceleration

§1.

МЕХАНИКАЛЫҚ ҚОЗГАЛЫС

1. Біз 7-сынып физикасында әлемде орын алатын сан алуан өзгерістерді табигат құбылыстары деп атаган едік. Табигат құбылыстарының ішінде механикалық құбылыстар айрықша орын алады. Оларды физиканың механика бөлімі зерттейді.

Механика – кинематика, динамика және статика деп аталатын үш бөлімнен тұрады. Механиканың негізгі есебі: **қозгалыстары денениң кез келген уақыт мезетіндегі орын анықтау** болып табылады.

Кинематика – денелердің массалары мен өзара әрекеттесу күштерін ескермей, олардың қозгалыстарын зерттейді.

Динамика – денелерге түсірілген күштерді ескере отырып, олардың қозгалыс заңдарын тағайындаиды.

Статика – күш түсетін денелердің тепе-теңдік шарттарын анықтайды.

Біз бұл тарауда кинематика тұрғысынан **механикалық қозгалыстарды сипаттайтын боламыз**.

Механикалық қозгалыс деп денелердің кеңістікте уақыт өтуіне қарай бір-бірімен салыстыргандагы орын ауыстыруларын айтады.

2. Механикалық қозгалыстарды сипаттау үшін кинематикада базалық ұғымдар мен шамалар қолданылады. Кейбір базалық ұғымдар мен физикалық шамалардың анықтамалары 7-сынып физикасында (§7–§11) берілген болатын. Оларды ескере отырып, кинематикалық ұғымдарды бірте-бірте тереңірек қарастыратын боламыз. Сондықтан жаңа материалдарды жоғары деңгейде игеру үшін еткен материалдарды қайталап, білүлериң парызы.

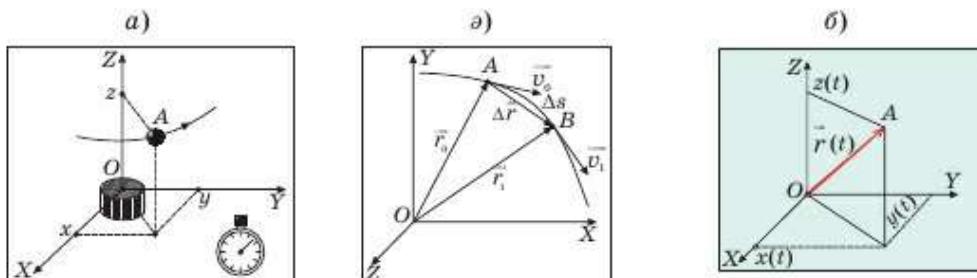
7-сыныпта ете қарапайым қозгалысты – материалдық нүктенің *Ox* осінің бойымен $\Delta t = t_2 - t_1$ уақыт аралығындағы тұзусызықты бірқалыпты қозгалысын қарастырдық. Сондықтан орын ауыстыру векторының $|\vec{\Delta x}| = x_2 - x_1$ модулі жүрілген *s* жолдың ұзындығына тең болады: $|\vec{\Delta x}| = x_2 - x_1 = s$. Мұндай жағдайда **бірқалыпты тұзусызықты қозгалыстың теңдеуі** мына формуламен өрнектелетінін білеміз:

$$\Delta \vec{x} = \vec{v} \Delta t \text{ немесе } \vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}. \quad (1.1)$$

Енді біз күрделірек қисықсызықты қозгалыстарды қарастырамыз.

3. Денелердің кеңістіктегі қозғалыстарын модельдеу әдісімен оңтай-лы да ұтымды сипаттау үшін материалық нүктеде үгымы енгізіледі.

Материялық нүктеде деп қарастырып отырган жағдайда өлшемдерін елемеуге болатын денені айтады.



Сурет 1.1. Санақ жүйелері

Мысал үшін санақ денесі ретінде Күнді алғып, оны айнала қозғалытын Жердің қозғалысын қарастырайық. Күн мен Жердің ортаса арақашықтығы ($15 \cdot 10^7$ км) өз өлшемдерінен миллиондаған есе үлкен. Сондықтан оларды материалық нүктеде ретінде қарастырып, Жердің $\Delta t = t_1 - t_0$ уақыт аралығындағы $\Delta \vec{r}$ орын ауыстыру векторы мен \vec{v} жүрген жолын санақ жүйесінде көрсете аламыз. Ол үшін санақ денесі – Күнді координаталар жүйесінің O бас нүктесіне бекітеміз де (сурет 1.1, а), эллипс бойымен қозғалатын Жердің уақыт ағымындағы кеңістіктегі орналасу координаталарын анықтаймыз. Айталық, уақыттың t_0 мезетінде Жер орбитаның A нүктесінде, ал t_1 мезетінде B нүктесінде болсын. Дене (материалық нүкте) кеңістікте қисық сызықтың бойымен қозғалыстындықтан, оның орын ауыстыруын, 7-сыныптағыдан, Ox түзуінің (есінің) бойындаған орналасқан $\Delta \vec{r}$ таңбасымен белгілей алмаймыз. Сондықтан кез келген қозғалыстағы орын ауыстыру векторын таңбалau үшін x , y , z координаталарына ортақ болатын басқа $\Delta \vec{r}$ таңбасын қолданатын боламыз.

Орын ауыстырудың жалпыға ортақ $\Delta \vec{r}$ таңбасын пайдаланып, жоғарыдағы тұзусызықты бірқалыпты қозғалыстың (1.1) тәндеуін мына түрде жаза аламыз:

$$\Delta \vec{r} = \vec{v} \Delta t \text{ немесе } \vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}. \quad (1.2)$$

Мұндагы \vec{r} – векторын, әдетте, радиус вектор деп атайды; $\Delta \vec{r} = (\vec{r}_1 - \vec{r}_0)$ – екі радиус вектордың айырымы, яғни бағытталған тұзусызықты кесінді болып табылады (сурет 1.1, ә); $\Delta t = (t_1 - t_0)$ – кез келген уақыт аралығы; \vec{v} – тұзусызықты бірқалыпты қозғалыстың тұрақты жылдамдығы.

Радиус-вектор $\vec{r}(t)$ деп санақ жүйесінің бас нүктесін материалың нүктемен қосатын бағытталған кесіндіні айтады. Радиус-вектордың OA кесіндісіне тәң ұзындығы (оны модуль деп айтады) координаталардың бас нүктесінен денеге дейінгі қашықтықты көрсетеді (сурет 1.1, б).

4. Қисықсызықты қозғалыста $\Delta\vec{r}$ орын ауыстыру векторы мен жүрілген Δs жол бір түзудің бойында орналаспайды (сурет 1.1, ә). Сондықтан қисықсызықты қозғалыстарғы орын ауыстыру векторының $|\Delta\vec{r}|$ ұзындығы (модулі) жүрілген Δs жолға тәң болмайды: $|\Delta\vec{r}| \neq \Delta s$. Ойткени A және B нүктелердің арасында дene \overline{AB} дугасының (траекториясының) бойымен қозгалады да, жүрілген Δs жол осы траекторияның ұзындығына тәң болады. Ал орын ауыстыру векторының $|\Delta\vec{r}|$ модулі AB кесіндісінің ұзындығына тәң.

Орын ауыстыру деп дененің бастапқы шыққан орнын соңғы орнымен қосатын бағытталған кесіндіні айтады.

Біздің мысалымызда орын ауыстыру OAB векторлық үшбұрыштың $\overline{AB} = \Delta\vec{r}$ векторы болып табылады. Оның модулі жүрілген жолдан кем екендігі суретте көрініп түр. Келесі тақырыпта көрсететініміздей (сурет 1.1, ә), бұл вектор екі радиус-вектордың айырымына тәң:

$$\Delta\vec{r} = \vec{r}_1 - \vec{r}_0.$$

5. Тұзусызықты немесе қисықсызықты қозғалыстардың барі де салыстырмалы ұғымдар болып табылатынын 7-сыныптан білеміз (§8). Расында да, дененің қозғалыс траекториясы таңдаң алынған санақ денесіне және онымен байланысқан санақ жүйесіне тәуелді өзгеріп отырады.

Санақ жүйесі деп таңдаң алынған санақ денесімен берік байланысқан координаталар жүйесі мен синхронды сағаттар тізбесін айтады.

Дененің кеңістіктері орнын анықтайтын координаталар жүйесі ретінде декарттық x, y, z үшөлшемді жүйе алынады да, оның бас нүктесіне санақ денесі O бекітіледі (сурет 1.1, а). Төртінші өлшем ретінде өр өстердің бойларына орналасқан сағаттардың көрсететін t уақыты алынады.

6. Санақ жүйелері солардың ішінде инерциялық санақ жүйесі деген ұғымды алғаш енгізген Италияның ұлы оқымыстысы Галилео Галилей болатын. Ол көптеген тәжірибелер жасап, Галилейдің салыстырмалық принципі деп аталаған кеткен мынадай қорытынды жасады:

Ешқандай механикалық тәжірибе жасау арқылы белгілі бір санақ жүйесінде дененің тұзусызықты бірқалыпты қозғалыста не тыныштықта тұргандығын анықтау мүмкін емес. Яғни механикалық қозғалыс салыстырмалы.

Екінші сөзбен айтқанда, бір-біріне қатысты тұзусызықты бірқа-

лыпты қозғалатын барлық инерциялық санақ жүйелерінде кез келген дененің қозғалыс заңдары бірдей болады. Мұндай санақ жүйелері **инерциялық санақ жүйелері** деп аталады.

Инерциялық санақ жүйелері үшін Галилейдің жылдамдықтарды қосу заңы орындалады:

$$v_1 = v' + v. \quad (1.3)$$

Мұндағы v – бірінші санақ жүйесімен салыстырғанда екінші санақ жүйесі қозғалысының жылдамдығы; v' – екінші санақ жүйесімен салыстырғандағы деңе қозғалысының жылдамдығы; v_1 – дененің бірінші санақ жүйесімен салыстырғандағы жылдамдығы.

Сұрақтар

1. Механика деген қандай ілім? Механикалық қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
2. Механикалық қозғалыстарды сипаттау үшін қандай үгымдар мен шамалар қолданылады? Бірқалыпты тұзусызықты қозғалыстың тендеулері қандай өрнектермен сипатталады?
3. Санақ жүйесі деп қандай жүйені айтады? Қозғалыстың салыстырмалылығы қалай түсіндіріледі?
4. Материалық нүктесі деп неңі айтады? Радиус-вектор деп қандай векторды айтады?
5. Орын аудыстыру векторы деп қандай векторды айтады? Неліктен қисықсызықты қозғалыста орын аудыстыру тұзусызықты қозғалыстағың жүрілген жолға тең болмайды?
6. Галилейдің салыстырмалылық принципі қалай тұжырымдалады?

§2.

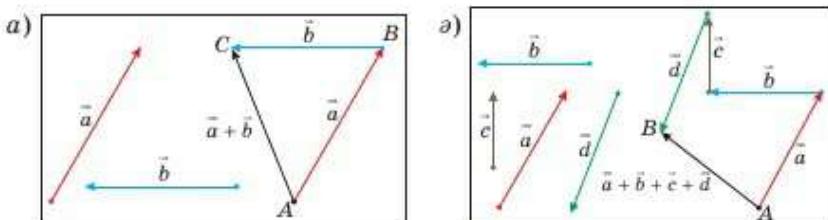
ВЕКТОРЛАР ЖӘНЕ ОЛАРҒА АМАЛДАР ҚОЛДАНУ. ВЕКТОРДЫҢ КООРДИНАТАЛАР ӨСТЕРИНДЕГІ ПРОЕКЦИЯЛАРЫ

1. Физика мен математикада шамаларды векторлар және скалярлар деп екі түрге ажыратынын білеміз. Оларды еске түсірейік. Мысалы: математикада кең қолданылатын *кесінді, аудан, көлем* сияқты шамалар немесе *ұақыт, жүрілген жол, масса, температура, электр заряды* сияқты физикалық үгымдар тек сан мәндерімен ғана сипатталады. Мұндай шамалар *скалярлық шамалар* немесе қысқаша *скалярлар* деп аталады. Ал көптеген басқа шамалар сан мәндерімен қоса кеңістіктері бағыттарымен де сипатталады. Мысалы: *жылдамдық, радиус-вектор, күш* сияқты шамалар векторлар болып табылады.

Векторлар деп сан мәндерімен қоса кеңістіктең багыттарымен де сипатталатын шамаларды айтады.

Векторларға амалдар қолдану скальярлық сандарға қолданылатын үйреншікті арифметикалық амалдарға ұқсамайды. Векторлық шамаларды қосу немесе азайту геометриялық амалдар негізінде орындалады. Мұндай амалдар *ұшбұрыш* немесе *параллелограмм* т.с.с. деп аталатын ережелерге бағынады. Оқушылар үшін осы ережелердің біреуін толық меңгеріп алу жеткілікті. Біз төменде ұшбұрыш ережесін векторларды қосу мен азайту амалдарына қолдану жолдарын көрсетеміз.

2. Векторларды ұшбұрыш ережесімен қосу. Бізге \vec{a} және \vec{b} векторлары берілсін (сурет 1.2, а). Екі векторды ұшбұрыш ережесі бойынша қосу үшін олардың бағыттарын өзгертпей кез келген біреуінің үшіна, мысалы, \vec{a} -ның үшіна екінші вектордың бас нүктесін түйістіреміз де, бірінші вектордың бас нүктесін екінші вектордың үшіна қарай бағытталған кесіндімен қосамыз. Сейтіп, ABC векторлық ұшбұрышын аламыз. Осы ұшбұрыштағы A нүктесінен C нүктесіне бағытталған \overrightarrow{AC} векторы \vec{a} және \vec{b} векторларының қосындысын береді: $\overrightarrow{AC} = \vec{a} + \vec{b}$.

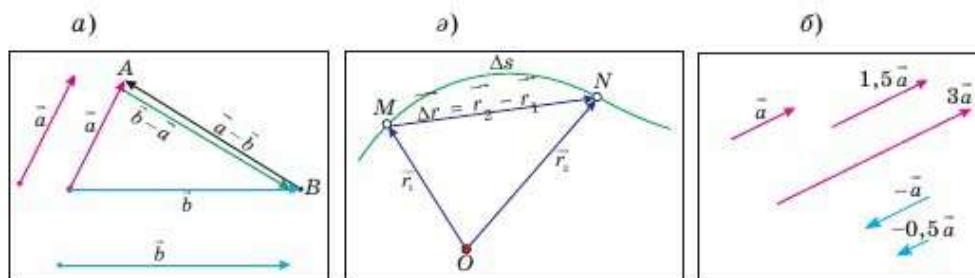


Сурет 1.2. Векторды ұшбұрыш ережесімен қосу

Ұшбұрыш ережесінде қолданған тәсілмен қанша вектор берілсе, сонша векторларды бір-біріне қосуға болады. Мысалы, әртүрлі \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} және \vec{d} векторлары берілсін (сурет 1.2, б). Көп векторларды қосу үшін олардың бағыттарын өзгертпей кез келген біреуінің үшіна, мысалы, \vec{a} -ның үшіна екінші \vec{b} вектордың бас нүктесін түйістіреміз, оның үшіна үшінші \vec{c} вектордың бас нүктесін түйістіреміз, оның үшіна төртінші \vec{d} вектордың бас нүктесін түйістіреміз де, бірінші вектордың бас нүктесінен соңғы вектордың үшіна қарай бағытталған \overrightarrow{AB} қосынды векторын аламыз: $\overrightarrow{AB} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$.

3. Векторларды ұшбұрыш ережесімен азайту. Берілген \vec{a} және \vec{b} екі векторды бірінен екіншісін ұшбұрыш ережесі бойынша алу үшін олар-

дың бағыттарын өзгертпей бас нүктелерін түйістіреді де, үштарын қосып үшбұрыш құрайды (сурет 1.3). Егер екі вектордың үштарын қосқан кесінді \bar{a} векторының үшіна қарай бағытталса, онда ол \bar{a} векторынан \bar{b} векторын алған айырымды береді: $\overline{BA} = \bar{a} - \bar{b}$ (сурет 1.3, а). Ал \bar{b} векторының үшіна қарай бағытталған кесінді \bar{b} векторынан \bar{a} векторын алған айырымды береді: $\overline{AB} = \bar{b} - \bar{a}$. Сол сияқты \bar{r}_2 радиус векторынан \bar{r}_1 радиус-векторын алғандары екі вектордың айырымы болатын $\Delta\bar{r} = \bar{r}_2 - \bar{r}_1$ векторының үші \bar{r} радиус-векторының үшімен түйіседі (сурет 1.3, б).



Сурет 1.3. а) және б) векторларды үшбұрыш ережесімен азайту;
б) векторларды сандарға көбейту

4. Векторларды санға көбейту. Берілген \bar{a} векторын k ($k \neq 0$) санына көбейту деп модулі $k \cdot |\bar{a}|$ көбейтіндісіне тең болатын \bar{b} векторын айтады:

$$|\bar{b}| = k \cdot |\bar{a}|; \quad \bar{b} = k \bar{a}.$$

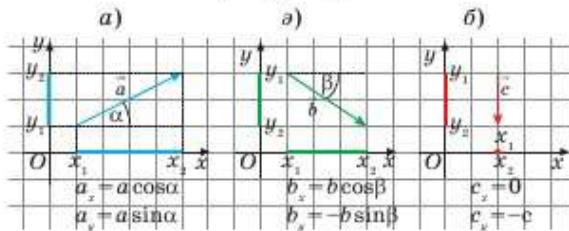
Бұл теңдіктерде: егер $k > 0$ болса, онда \bar{a} және \bar{b} векторлары бағыттас болады. Мысалы, $k_1 = 1,5$ және $k_2 = 3$ болса, онда $\bar{b}_1 = 1,5 \bar{a}$ және $\bar{b}_2 = 3 \bar{a}$ векторлары \bar{a} векторымен бағыттас орналасады (сурет 1.3, б – қызыл сыйықты векторлар). Ал $k < 0$ болса, онда \bar{b} векторы \bar{a} векторына қарама-қарсы бағыттас болады. Мысалы, $k_1 = -1$ және $k_2 = -0,5$ болса, онда $\bar{b}_1 = -\bar{a}$ және $\bar{b}_2 = -0,5 \bar{a}$ векторларының бағыты \bar{a} векторларына қарама-қарсы болады (сурет 1.3, б – көк сыйықты векторлар).

5. Векторлардың проекцияларын анықтау. Көптеген жағдайларда, мысалы, есептер шыгарғанда векторлардың координаталар өстеріндегі проекциялары арқылы жазылған скалярлық тендеулер қолданады. Оның үстінен проекциялар арқылы векторлардың модульдері есептеледі және бағыттары да анықталады. Сондай-ақ векторларды координаталар

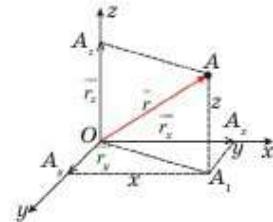
өстеріндегі құраушыларға жіктеу де олардың проекциялары арқылы орындалады. Сондықтан векторлардың проекцияларын анықтауға үлкен мән беріледі.

Берілген вектордың Ox және Oy өстеріндегі проекциясы деп оның модулінің үштарынан осы өстерге түсірілген перпендикулярлардың арасындағы кесінділердің оң немесе теріс таңбалы сан мәндерін айтады (сурет 1.4).

Проекциялардың таңбалары мен сан мәндері берілген масштаб бойынша немесе векторлардың өстермен жасайтын бұрыштарына қарай анықталады. Мысалы: \vec{a} векторының Ox және Oy өсіндегі проекциялары оң таңбалы сандар болып табылады (сурет 1.4, a). Олардың шамалары масштаб бойынша мынаған тең: $a_x = x_2 - x_1 = 25 \text{ мм} - 5 \text{ мм} = 20 \text{ мм}$; $a_y = y_2 - y_1 = 15 \text{ мм} - 5 \text{ мм} = 10 \text{ мм}$; өстермен жасайтын бұрыштары бойынша мына формуулалармен есептеледі: $a_x = a \cos \alpha$; $a_y = a \sin \alpha$. Ал келесі графикте (сурет 1.4, a) \vec{b} векторының сәйкес өстердегі проекциялары масштаб бойынша: $b_x = x_2 - x_1 = 20 \text{ мм} - 5 \text{ мм} = 15 \text{ мм}-\text{ге}$; $b_y = y_2 - y_1 = 5 \text{ мм} - 15 \text{ мм} = -10 \text{ мм}-\text{ге}$ тең, ал өстермен жасайтын бұрыштары бойынша: $b_x = b \cos \beta$; $b_y = -b \sin \beta$ формулаларымен анықталады. Үшінші графикте \vec{c} векторының сәйкес өстердегі проекциялары мына шамаларға тең: $c_x = x_2 - x_1 = 10 \text{ мм} - 10 \text{ мм} = 0$; $c_y = -10 \text{ мм}$, яғни $c_y = y_2 - y_1 = 5 \text{ мм} - 15 \text{ мм} = -c = -10 \text{ мм}$.



Сурет 1.4. Векторлардың координаталар өстеріндегі проекциялары



Сурет 1.5. Векторды құраушыларға жіктеу

Жалпы алғанда проекциялардың таңбалары былайша анықталады: егер вектордың үштының проекциясы естің оң бағытына қарай бағытталса, онда проекцияның таңбасы да оң болады. Ал егер вектордың үштының проекциясы естің оң бағытына қарама-қарсы бағытталса, онда проекция теріс таңбаланады.

6. Векторды құраушыларға жіктеу. Вектордың құраушыларға қалай жіктелетінін \vec{r} радиус-вектордың мысалында көрсетейік. Радиус-вектор

деп дененің (материялық нүктенің) кеңістіктері орнын координаталар жүйесінің бас нүктесімен қосатын $\vec{r} = \overrightarrow{OA}$ бағытталған кесіндісін айтқанбыз (сурет 1.5).

Радиус-вектордың Ox , Oy және Oz өстеріндегі құраушыларын тиісінше \vec{r}_x , \vec{r}_y және \vec{r}_z таңбаларымен белгілейді. Қорсетілген үш құраушы вектордың бағыттары мен шамаларын анықтау үшін \vec{r} радиус-вектордың ұшындағы A нүктеден xOy жазықтығына перпендикуляр түсіріп, A_1 проекциясын табамыз. A_1 нүктесінен Ox және Oy өстеріне перпендикулярлар түсіріп, өстердің бойындағы A_x және A_y нүктелерін белгілейміз. Oz өсінің бойына $OA_z = AA_1$ -ге тең кесіндіні салып, A_z нүктесін анықтаймыз. Сонда \vec{r} радиус-вектордың өстердегі құраушылары мына векторлар болып табылады: $\vec{r}_x = \overrightarrow{OA}_x$; $\vec{r}_y = \overrightarrow{OA}_y$ және $\vec{r}_z = \overrightarrow{OA}_z$. Ал олардың модульдері ($|\vec{r}_x|$, $|\vec{r}_y|$, $|\vec{r}_z|$) радиус-вектордың сәйкес өстердегі проекцияларына (x , y , z) тең: $|\vec{r}_x| = x$; $|\vec{r}_y| = y$; $|\vec{r}_z| = z$.

Біз жоғарыда вектордың үшөлшемді кеңістікте орналасқан күрделі-рек жағдайын қарастырық. Көп жағдайда векторлар белгілі бір жазықтықта орналасады (сурет 1.4). Мұндай жағдайларда вектор екі құраушыға ғана (мысалы, \vec{a}_x және \vec{a}_y) жіктеледі. Ал олардың модулі (сан мөндері), суреттен көрініп түрғандай, мына теңдіктермен анықталады:

$$a_x = x_2 - x_1; a_y = y_2 - y_1.$$

Жазықтықта орналасқан вектордың модулін оның құраушыларының модульдері арқылы тікбұрышты үшбұрыштарға арналған Пифагор теоремасы бойынша анықтайды. Мысалы: $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$ (сурет 1.4, a) немесе $b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2}$ (сурет 1.4, b).

Пифагор теоремасы негізінде үшөлшемді кеңістікте (сурет 1.5) орналасқан вектордың модулі де мына формула бойынша анықталады: $r = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + r_z^2}$.



Сұрақтар

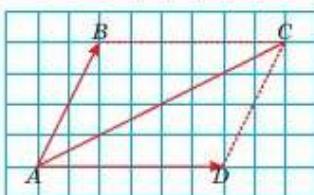
1. Векторлар, скалярлар деп қандай шамаларды айтады?
2. Векторларды үшбұрыш ережесімен қалай қосады? Көп векторларды қалай қосады?
3. Векторларды үшбұрыш ережесімен қалай азайтады?
4. Векторларды санға көбейткенде қандай вектор алынады?

5. Векторлардың проекциялары дегеніміз не? Векторлардың проекциялары қалай алынады?
6. Векторлар құраушыларга қалай жіктеледі?
7. Жазықтықта және кеңістікте орналасқан векторлардың модульдері құраушыларның модульдері арқылы қалай анықталады?



Жаттығу 1.1

1. Нүкте Ox осінің оң бағытында 2 м/с жылдамдықпен тұзусызықты бірқалыпты қозгалады. Уақыттың бастапқы мезетінде нүктенің координатасы $x_0 = -10 \text{ м}$ болды. Уақытты санау мезетінен 5 с өткендегі нүктенің координатасын табыңдар. Осы уақыт аралығында нүкте қанша жол жүрді?
2. Ox осінің бойымен 4 м/с жылдамдықпен қозгалған нүктенің координатасы $x_1 = 8 \text{ м}$ -ден $x_2 = -8 \text{ м}$ шамасына дейін өзгерді. Координаталардың өзгеруіне кеткен уақытты және осы уақыт аралығында нүктенің жүрген жолын анықтаңдар.



Сурет 1.6

3. Сурет 1.6 бойынша мына тапсырманы орындаңдар:
 - 1) координаталар өстерін таңдал алыңдар. Ол үшін A нүктесін бастырып, y осін тік төмөн, ал x осін AD бағытында сызыңдар;
 - 2) әр вектордың модульдерін торкөздің масштабына сәйкес анықтаңдар;
 - 3) әр вектордың Ox және Oy өстеріндегі проекцияларын дәлтерлеріне жеке-жеке салып, сан мөндерін таңбаларымен көрсетіп жазыңдар;
- 4) \overrightarrow{AC} векторының екі үшбұрыш бойынша қай векторлардың қосындысы екенін көрсетіп жазыңдар;
- 5) \overrightarrow{BC} және \overrightarrow{AD} векторларының қай векторлардың айырымы болатынын көрсетіп жазыңдар.

§3.

ТҰЗУСЫЗЫҚТЫ ТЕҢДІЙНЫМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС. ҮДЕУ

1. Тұзусызықты теңдійнымалы қозғалыс деп кез келген төң уақыт аралығында жылдамдығын бірдей шамага өзгертіп отыратын қозғалысты айтады.

Егер төң уақыт аралығында ($\Delta t = 2\text{c} = \text{const}$, сурет 1.7) қозғалыс жылдамдығы да бірдей шамага ($\Delta \vec{v} = 10 \text{ м/с} = \text{const}$, сурет 1.7) артып отырса, ондай қозғалыс **теңдемелі қозғалыс** деп аталады. Ал егер жылдамдық

уақыттың бірдей өлшемінде бірдей шамаға кеміп отырса, ондай қозғалыс **теңкемімелі (тәнбаяулайтын) қозғалыс** деп аталады.



Сурет 1.7. Тенұдемелі қозғалыс

Түзусызықты бірқалыпты қозғалыстарды сипаттайтын негізгі физикалық шама тұрақты жылдамдық ($\bar{v} = \text{const}$) болатын. Ал теңайымалы қозғалыстарда жылдамдық үнемі өзгеріп отырады ($\bar{v} \neq \text{const}$). Сондықтан айнымалы қозғалыстарды сипаттау үшін *ұдеу* деп аталатын физикалық шама енгізіледі.

2. Теңайымалы қозғалыстың ұдеуін табу үшін оның талаптарын ес-керіп, өзара тең уақыт аралықтарын төмендегі таңбалармен белгілейік:

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = \dots = \Delta t = \text{const.}$$

Әрбір уақыт аралығына сәйкес келетін жылдамдықтың өзгерістерін де төмендегіше белгілеп алайық:

$$\Delta \bar{v}_1 = \Delta \bar{v}_2 = \Delta \bar{v}_3 = \dots = \Delta \bar{v} = \text{const.}$$

Енді мына қатынастарга көніл аударайық:

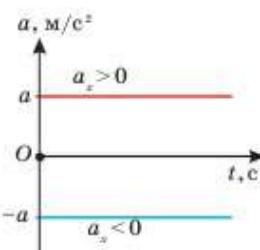
$$\frac{\Delta \bar{v}_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta \bar{v}_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta \bar{v}_3}{\Delta t_3} = \dots = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

Мұндағы $\Delta \bar{v}$ шамасы да, Δt шамасы да тұрақты болғандықтан, $\Delta \bar{v} / \Delta t$ қатынасы да тұрақты шама болып табылады: $\frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \text{const}$. Міне, осы тұрақты қатынас \bar{a} таңбасымен белгіленеді де, *ұдеу* деп аталады:

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t - t_0}. \quad (1.4)$$

Ұдеу деп жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шаманы айтады.

Халықаралық бірліктер жүйесінде *ұдеу* бірлігі = 1 м/с².



Сурет 1.8. $a(t)$ графигі
аталады (суретте кек сзық).

Үдеу де жылдамдық сияқты векторлық шама болып табылады. Тәцайнымалы қозғалыстың (1.4) формуласы бойынша салынған үдеудің уақытқа төуелділік $\bar{a}(t)$ графигі уақыт өсіне параллель сзық болады (сурет 1.8). Егер жылдамдық пен үдеу векторларының бағыттары бірдей болса ($\bar{a} > 0; \bar{v} > 0$), қозғалыс *тәңдемелі қозғалыс* деп (суретте қызыл сзық), ал олардың бағыттары қарама-қарсы болса ($\bar{a} < 0; \bar{v} > 0$), онда *тәңкемелі қозғалыс* деп аталады (суретте кек сзық).



Сұрақтар

1. Тұзусызықты тәцайнымалы қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
2. Үдеу деп қандай шаманы айтады? Қандай формуламен сипатталады?
3. Тұзусызықты тәңдемелі және тәңкемелі қозғалыстар деп қандай қозғалыстарды айтады? Олардың үдеулерінің уақытқа төуелділік графиктері қандай сзықтармен бейнеленеді?

§4.

ТҰЗУСЫЗЫҚТЫ ТЕЦАЙНЫМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ ЖЫЛДАМДЫГЫ. ОРЫН АУЫСТЫРУ

1. Алдыңғы тақырыптағы үдеудің $\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t - t_0}$ формуласынан бастап-
қы уақытты нөлге теңестіріп ($t_0 = 0$), кез келген уақыт мезетіндегі тұзусызықты тәцайнымалы қозғалыстың жылдамдығын таба аламыз:

$$\bar{v} = \bar{v}_0 + \bar{a}t.$$

Жылдамдықтың бұл векторлық тендеуін координаталар естеріндегі проекциялар бойынша үш скалярлық тендеумен алмастыруға болады:

$$\begin{aligned} v_x &= v_{0x} + a_x t, \\ v_y &= v_{0y} + a_y t, \\ v_z &= v_{0z} + a_z t. \end{aligned}$$

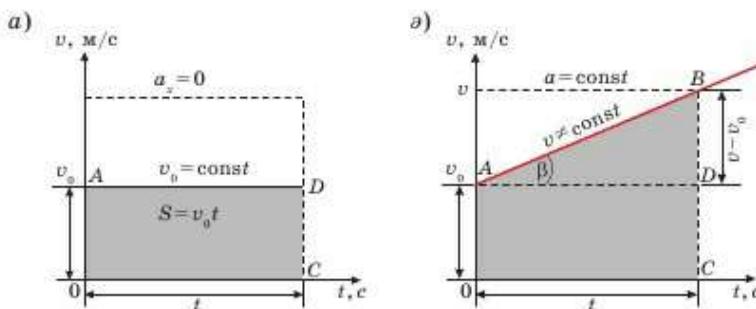
Әдетте, скалярлық тендеулерді өстердің таңбаларын көрсетпей бір гана формуламен өрнектеп жазады:

$$v = v_0 \pm at. \quad (1.5)$$

Мұндағы «плюс» таңбасы теңдемелі, ал «минус» таңбасы теңкемімелі (теңбаяулайтын) қозғалыстар үшін қолданылады.

2. Тұзусызықты қозғалысты бірқалыпты болса ($v = \text{const}$, $a = 0$), онда орын ауыстырудың модулі $|\Delta \bar{x}|$, яғни жүрілген жол ($|\Delta \bar{x}| = s$), 7-сыныпта айтқанымыздай, мына формуламен анықталады:

$$s = v \cdot t. \text{ Бұдан } v = \frac{s}{t}. \quad (1.6)$$



Сурет 1.9: а) тұзусызықты бірқалыпты қозғалыс жылдамдығының уақытқа төуелділік графигі ($v = s/t$), б) тұзусызықты теңдемелі қозғалыс жылдамдығының уақытқа төуелділік графигі ($v = v_0 + at$).

Тұзусызықты бірқалыпты қозғалыс жылдамдығының уақытқа төуелділік $v(t)$ графигін сзызып көрсетейік. Ол үшін горизонталь өске уақытың, ал вертикаль өске жылдамдықтың шамаларын саламыз. Соңда $v(t)$ төуелділігі горизонталь өске параллель AD кесіндісімен сипатталады (сурет 1.9, а). Өйткені дене тұзусызықты бірқалыпты қозғалыс кезінде өзінің бастапқы v_0 жылдамдығын уақыттың барлық кезеңінде өзгерісіз сақтайды ($v_0 = \text{const}$). Енді жылдамдықтың уақытқа төуелділігін сипаттайтын AD кесіндісінің ұштарынан горизонталь өске перпендикулярлар түсірсек, $OADC$ тіктөртбұрышын аламыз. Бұдан мынадай қорытынды туындаиды: жылдамдықтың уақытқа төуелділігін сипаттайтын кесіндімен және осы кесіндінің ұштарынан горизонталь өске түсірілген перпендикулярлармен шектелген фигураның ауданы орын ауыстырудың модуліне тең.

Расында да, біздің мысалымыздары тұзусызықты бірқалыпты қозғалыстың орын ауыстырудың модулі (яғни жүрілген жол) $|\Delta \bar{x}| = s = v_0 \cdot t$ шамасына тең. Мұндағы $v_0 \cdot t$ көбейтіндісі $OADC$ тіктөртбұрышының ауданы болып табылады ($S = v_0 \cdot t$).

3. Жоғарыдағы қорытынды тұзусызықты теңдайнымалы қозғалыс кезінде орын ауыстырудың модулін анықтау үшін де қолданылады. Ол

үшін мысал ретінде тұзусызықты теңдемелі қозғалыстың $v = v_0 + at$ формуласымен сипатталатын жылдамдықтың уақытқа төуелділік графигін салайық. Формуладағы бастапқы жылдамдық пен үдеу тұрақты шамалар болып табылады ($v_0 = \text{const}$, $a = \text{const}$). Бұл формуладағы v жылдамдықтың мәндерін вертикаль өске, ал t уақыттың шамаларын горизонталь өске салып, $v(t)$ төуелділік кесіндісінің де тұзусызық (AB) болатынына көз жеткіземіз. Алайда тұзусызықты бірқалышты қозғалыс үшін $v(t)$ төуелділік сыйыры (AD) горизонталь өске параллель болса (сурет 1.9, а), тұзусызықты теңдемелі қозғалыста жылдамдықтың уақытқа төуелділік кесіндісі (AB) горизонталь өске β көлбейу бұрыш жасап орналасады (сурет 1.9, а).

Жоғарыда жасалған қорытындыға сәйкес $OABC$ трапецияның ауданы теңдемелі қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың модуліне, яғни жүрілген жолға тең ($S_{\text{тп}} = |\Delta \bar{x}| = s$). Суреттен трапецияның ауданы $OADC$ тіктөртбұрыштың ауданы мен ABD тікбұрышты үшбұрыштың ауданының қосындысына тең екендігі көрініп түр: $S_{\text{тп}} = S_{\text{т.т}} + S_{\text{үшб}}$.

Тіктөртбұрыштың ауданы, жоғарыда көрсеткеніміздей, $S_{\text{т.т}} = v_0 \cdot t$ шамасына тең. Ал үшбұрыштың ауданы, геометриядан білетініміздей, табаны мен биіктігінің көбейтіндісінің жартысына тең. Суреттегі ABD үшбұрыштың BD табаны ($v - v_0$) айырымына, ал биіктігі t уақытқа тең. Ендеше, ABD үшбұрыштың ауданы мына шаманы қурайды:

$S_{\text{үшб}} = \frac{(v - v_0) t}{2}$. Мұндағы $(v - v_0)$ айырымын үдеудің $a = (v - v_0)/t$ формуласынан анықтап $(v - v_0 = at)$, үшбұрыштың ауданын мына түрде жазамыз: $S_{\text{үшб}} = \frac{at^2}{2}$. Сонымен, трапецияның ауданы:

$$S_{\text{тп}} = S_{\text{т.т}} + S_{\text{үшб}} = v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}$$

қосындысымен анықталады. Олай болса, тұзусызықты теңдемелі қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың модулі немесе жүрілген жол мына формула бойынша анықталады:

$$|\Delta \bar{x}| = s = v_0 \cdot t + \frac{at^2}{2}. \quad (1.7)$$

Әдетте, соңғы өрнекті теңкемімелі қозғалыстарды да ескеріп, мына түрде жазады:

$$s = v_0 \cdot t \pm \frac{at^2}{2}. \quad (1.8)$$

Егер бастапқы жылдамдық нөлге тең болса ($v_0 = 0$), онда теңайныма-

лы қозғалыстағы орын ауыстырудың модульдерін мына формуламен анықтайды:

$$s = \pm \frac{at^2}{2}. \quad (1.9)$$

Сұрақтар

- Түзусызықты теңдайымалы қозғалыстың жылдамдығы қалай және қандай векторлық-скалярлық формулалармен анықталады?
- Түзусызықты бірқалыпты қозғалыстың жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі қандай сыйықпен сипатталады және осы график негізінде қандай қорытынды жасалады?
- Түзусызықты теңдемелі қозғалыстың жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі қандай сыйықпен сипатталады және осы график негізінде қандай қорытынды жасалады?
- Түзусызықты теңдайымалы қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың модулі қалай анықталады және қандай формулалармен сипатталады?
- Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. *Ox* өсінің бойымен қозғалып бара жатқан материалық нүктесін координатаның уақытқа тәуелділігі

$$x = 6 - 4t + t^2 \quad (1)$$

тендеуімен өрнектеледі, мұндағы барлық шамалар ХБЖ жүйесіндегі бірліктермен берілген. Нүктенің қозғалыс басталғаннан кейін 5 с өткен кездегі координатасын, жылдамдығы мен жүрген жолын анықтандар.

Берілгені
$x = 6 - 4t + t^2$
$t_1 = 5$ с
<hr/>
$x_1 = ?$
$v_{1x} = ?$
$s = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Есептің шартындағы теңдеуде уақыт квадратпен (t^2) берілген. Ендеше, материалық нүктенің *Ox* өсінің бойында тұрақты үдеумен теңдайымалы қозғалыс жасалған. Теңдайымалы қозғалыстың скалярлық теңдеулері жалпы түрде төмендегі формулалармен өрнектеледі:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad (2)$$

$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (3)$$

(1) және (2) теңдеулерді салыстыра отырып, мына шамаларды табамыз: $x_0 = 6$ м, $v_{0x} = -4$ м/с, $a_x = 2$ м/с². Анықталған шамаларды (3) теңдеуге қойып, мына өрнекті аламыз:

$$v_x = -4 + 2t. \quad (4)$$

Уақыттың $t_1 = 5$ с мәнін (4) теңдеулеріне қойып, нүктенің осы уақыт мезетіндегі координатасы мен жылдамдығын табамыз:

$$x_1 = 6 - 4t_1 + t_1^2 = 1 \text{ м}; \quad v_{1x} = -4 + 2 \cdot 5 = 6 \text{ м/с}.$$

(4) өрнегінен $t = 0$ болған кездеңі деңе қозғалысы жылдамдығының Ox өсіндегі проекциясы теріс сан ($v_{0x} = -4$ м/с), ал $t_1 = 5$ с болған кездеңі проекциясы оң сан ($v_{1x} = 6$ м/с) екенін көреміз. Сол сияқты $t = 0$ болған кездеңі деңенің координаты $x_0 = 6 - 4t_0 + t_0^2 = 6$ м болғанына көз жеткіземіз. Олай болса, деңе алғашқыда x_0 нүктесінен бастап Ox өсінің бағытына қарсы бағытта қозғалған (сурет 1.10), ал x_2 нүктесіне жеткен соң, яғни t_2 уақыттан бастап кері қарай қозғала бастаған. Ендеше, x_2 нүктеде жылдамдықтың Ox өсіндегі проекциясы нөлге тең ($v_x = 0$). Олай болса, (4) теңдеуге сәйкес $0 = -4 + 2t_2$ өрнегін аламыз. Бұдан $t_2 = 2$ с.

Уақыттың осы мезетіндегі деңенің координатасы мына теңдеуден анықталады:

$$x_2 = 6 - 4t_2 + t_2^2; \quad x_2 = 2 \text{ м}.$$

Материалық нүктенің жүрген жолы сурет 1.10-тен көріп отырығанымыздай, Ox өсіне қарсы бағыттары жүрген $s_1 = |x_2 - x_0| = 4$ м жолы мен өске бағыттас қозғалғандагы $s_2 = |x_1 - x_2| = 1$ м жолының қосындысына тең:

$$s = s_1 + s_2 = |x_2 - x_0| + |x_1 - x_2| = 5 \text{ м}.$$

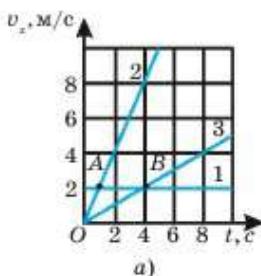
Жауабы: $x_1 = 1$ м; $v_{1x} = 6$ м/с; $s = 5$ м.



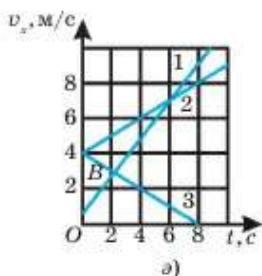
Жаттығу 1.2

1. Қозғалысын 1 м/с^2 үдеумен бастаған автокөліктің 5 с және 10 с өткеннен кейінгі орын ауыстыруы қандай болатынын анықтаңдар.
2. Деңені биіктігі 25 м балконнан жоғары қарай 20 м/с жылдамдықпен лақтырыды. Оның 2,0; 4,0; 5,0 с өткеннен кейінгі орын ауыстыруы қандай? Үдеу $a = -10 \text{ м/с}^2$ -қа тең.
3. Бекетке жақындағанда электр пойызының жүргізушісі қозғалқышты сондирді, одан кейін пойыз үдеуі $0,1 \text{ м/с}^2$ -қа бірқалыпты кеміп отыратын қозғалысқа түсті. Егер тежегішті іске қосқан кездеңі пойызың жылдамдығы 54 км/сағ болса, тоқтаганга дейін ол қандай арақашықтықты жүріп отті?
4. Зымыран старт алғып, 5 мин ішінде 8 км/с жылдамдықпен тік жоғары көтерілді. Осы кездеңі үдеу қалай бағытталған және оның мәні неге тең?

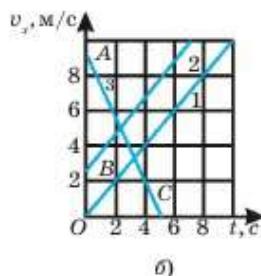
5. Бала 2 м/с жылдамдықпен бірқалыпты қозгала отырып, тепловоздың түсінан жүгіріп откен кезде тепловоз теңдемелі қозгала бастайды. Тепловоздың баланы қуып жеткен мезеттегі жылдамдығы қандай?
6. Үш деңенің (сурет 1.11, а) қозгалыс жылдамдықтары проекцияларының графиктерін пайдаланып, мына сұрақтарға жауап беріңдер: Деңелер қозгалыстарының сипаты қандай? Графиктің А және В нүктелеріне



а)



а)



б)

Сурет 1.11

сайкес уақыт мезеттеріндегі деңелер қозгалыстарының жылдамдықтары туралы не айтуға болады?

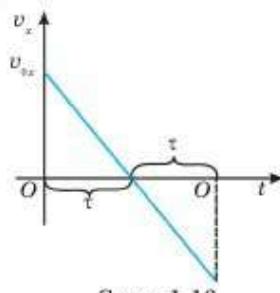
7. Үш деңе үшін берілген жылдамдық проекцияларының графиктерін (сурет 1.11, а) пайдаланып, мына тапсырмаларды орындаңдар: а) осы деңелердің үдеулерін анықтаңдар; ә) әрбір деңе үшін жылдамдықтың уақытқа тауелділігінің формуласын жазыңдар; б) 2 және 3-графиктерге сайкес келетін қозгалыстардың үқасстығы мен айырмашылығын табыңдар.
8. Үш деңенің қозгалыс жылдамдықтары проекцияларының графиктері (сурет 1.11, б) бойынша: а) координаталар өстеріндегі OA, OB және OC кесінділері неге сайкес келетінін анықтаңдар; ә) деңелердің қандай үдеумен қозгалатынын табыңдар; б) әрбір деңе үшін жылдамдық пен орын ауыстыру өрнектерін жазыңдар.



Практикалық тапсырма

1. $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t$ формуласын $\vec{s} = \vec{v} \cdot t$ формуласы мен салыстырып, $\frac{v_{0x} + v_x}{2}$ өрнегі теңдемелі қозгалыс жылдамдығының x өсіндегі проекциясы екендігін дәлелдеңдер.

2. Жылдамдық проекциясының графигі (сурет 1.12) бойынша жылдамдық модулінің графигін салыңдар.



Сурет 1.12

№1 зертханалық жұмыс**Тенұдемелі қозғалыс кезіндегі деңгелің үдеуін анықтау**

Жұмыстың мақсаты: көлбеке науамен домалайтын кішкене шардың үдеуін есептеу.

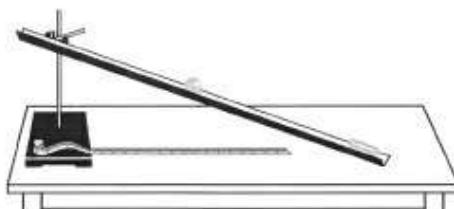
Ол үшін шардың белгілі бір t уақытта жүріп отетін s орын аудастыруының үзындығын өлшейді. Бастапқы жылдамдықсыз ($v_0 = 0$) тенұдемелі қозғалыс кезінде $s = \frac{at^2}{2}$ болатындықтан, s пен t -ны өлшеп алып, шардың үдеуін анықтауга болады:

$$a = \frac{2s}{t^2}.$$

Құрал-жабдықтар: науа, шар, қысқышы бар штатив, металл цилиндр, өлшеуіш таспа, метроном.

Жұмысты орындау.

1. Штатив арқылы науаны көкжиекпен кішкене бұрыш жасайдындей етіп бекіту керек (сурет 1.13). Науаның төменгі шетіне металл цилиндрді қоясындар.



Сурет 1.13

2. Метроном дыбыс берген бойда шарды науаның жоғарғы басынан жіберіп, ол цилиндрге барып соғылғанга дейін метрономның иеше рет соққанын санаңдар. Тәжірибе жүргізerde метрономды минутына 120 рет согатын етіп қойындар.

3. Науаның көкжиекке көлбекулік бұрышын өзгерте отырып, шарды жіберген мезеттенн бастап, оның цилиндрге барып соғылуына дейін метроном 4 рет согатындей етуге болады (согу арасы – үш толас).

4. Шардың қозғалыс уақытын есептеддер.

5. Өлшеуіш таспаның кометімен шарды s орын аудастыруының үзындығын табыңдар. Науаның көлбекулігін өзгертпей (тәжірибе шарты өзгермеуі тиіс), метрономның төртінші согуы мен шардың металл цилиндрге соғылуы дөл келетіндей етіп алып (ол үшін цилиндрді аздап қозғауга болады), тәжірибелі бес рет қайталау керек.

6. $s_{\text{opt}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3 + s_4 + s_5}{5}$ формуласы бойынша орын аудастыру модулінің орташа мәнін, ал содан соң үдеу модулінің орташа мәнін табыңдар: $a_{\text{opt}} = \frac{2s_{\text{opt}}}{t^2}$.

Тәжірибе нөмірі	$s, \text{ м}$	$s_{\text{нр}}, \text{ м}$	Метрономның сору саны	$t, \text{ с}$	$a_{\text{сп}, \text{г}}, \text{ м/с}^2$
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

7. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазындар.

Ешбір өлшеу абсолютті дәл болмайды. Өлшеу құралдарының жетілмеуіне және басқа себептерге байланысты қалай да қателік кетеді. Қателіктерді мейлінше азайту үшін тәжірибе шартын өзгертпей, өлшеу жұмыстарын бірнеше рет қайталап орындаған жөн. Содан кейін олардың арифметикалық орташа мәні есептеледі. Бұл жұмысты да осылай орындау үсынылады.

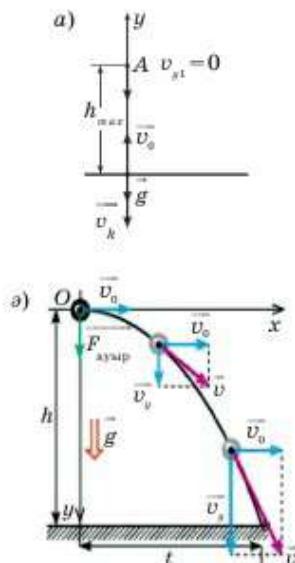
§5.

ДЕНЕНИЦ ЕРКІН ТУСУ. ЕРКІН ТУСУ ҮДЕУІ

1. 7-сынып физикасында ауырлық күші $F = mg$ формуласымен анықталатыннын айтқан едік. Мұндағы m массаның алдында тұрған коэффициентті g таңбасымен белгілеп, оның шамасы 9,81 санына тең болатыннын ($g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$) және *еркін тұсу үдеуі* деп аталатын ескерткенбіз. Міне, осы шаманы ғылыми эксперименттік физиканың негізін салушы итальяндық ұлы ғалым Галилео Галилей 1583 жылы алғаш рет тәжірибе жасап анықтаған болатын. Кейінірек ауырлық күшінің Жердің денелерді тартытын гравитациялық күші екендігі белгілі болды. «Гравитация» атауының төркіні де латынның «gratio» – «тарту» деген сөзінен шыққан. Тарту күшінің өрекеттінен Жер бетіне жақын денелердің бәрі де оның центріне қарай құлайды.

Денениц еркін тұсуі *деп ауырлық күші әрекеттінен туындағытын теңдікнымалы қозғалыстарды айтады.*

Еркін тұсу қозғалыстарына денениц ауасыз кеңістіктегі вертикаль бойымен құлағандагы немесе тік жоғары лақтырған кездеңі қозғалыстары (сурет 1.14, a),



Сурет 1.14. Денениц ауырлық күші әрекеттінен қозғалысы

сондай-ақ горизонтқа параллель лақтырған (сурет 1.14, ә) немесе горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған денелердің қозғалыстары жатады. Өйткені мұндай қозғалыстардың барлығында да денеге тек Жердің центріне бағытталған ауырлық күштері ғана өрекет етеді.

2. Еркін түсіндеуі деп ауырлық күші өрекетінен туындағатын айнымалы қозғалыстың үдеуін айтады.

Ауырлық күші ғана өрекет ететін барлық еркін қозғалыс түрлерінде дene тұрақты $\bar{a} = \bar{g}$ үдеуімен қозғалады (сурет 1.14). Ендеше, мұндай қозғалыстар кинематиканың негізгі скалярлық теңдеулерімен сипатталады:

$$\begin{aligned} v &= v_0 \pm at, \\ s &= v_0 \cdot t \pm \frac{at^2}{2}. \end{aligned}$$

3. Еркін түсіндеуінде қаралған түрінде дene негізгі теңдеулерінде $v = -gt$, $s = \frac{gt^2}{2}$. Екінші жағдайда дene бастапқы жылдамдықсыз еркін түседі ($v_{0y} = 0$, $a_y = -g$, $s = h$). Екінші жағдай үшін кинематиканың негізгі теңдеуі белгілі болады (у есі жоғары бағытталған):

$$\begin{aligned} v &= -gt, \\ h &= \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Екінші жағдайда дene бастапқы жылдамдықпен еркін түседі ($-v_{0y} \neq 0$, $a_y = -g$, $s = h$). Екінші жағдай үшін кинематиканың негізгі теңдеуі белгілі болады:

$$\begin{aligned} v &= -v_{0y} - gt, \\ h &= -v_{0y} \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \quad (1.11)$$

Үшінші жағдайда дene бастапқы жылдамдықпен тік жоғары қозғалады ($v_{0y} \neq 0$, $a_y = -g$, $s = h$). Үшінші жағдай үшін кинематиканың негізгі теңдеуі белгілі болады:

$$\begin{aligned} v &= v_{0y} - gt, \\ h &= v_{0y} \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \quad (1.12)$$

4. Енді дene негізгі бастапқы жылдамдықпен ($v_0 \neq 0$) горизонтқа параллель лақтырылған қозғалысын сипаттайық (сурет 1.14, ә). Мұндай қозғалыста дene параболаның бір бұтағы бойымен қозғалады. Ыңғайлы

булу үшін Oy өсін тік төмен бағыттайық. Дене горизонтқа параллель лақтырылғанда екі түрлі қозғалысқа қатысады. Оның бірі – Oy өсі бойымен бастапқы жылдамдықсыз ($v_{0y} = 0$) тік төмен теңдеудемелі қозғалыс, ал екіншісі – Ox өсі бойындағы жылдамдығы тұрақты ($v_{0y} = v_0 = \text{const}$) бірқалыпты тұзусызықты қозғалыс.

Ox өсі бойындағы бірқалыпты қозғалыс мына теңдеумен сипатталады:

$$x = v_{0x} \cdot t = v_0 \cdot t.$$

Oy өсі бойындағы теңдеудемелі тұзусызықты қозғалыс мына теңдеумен сипатталады:

$$h = \frac{gt^2}{2}.$$

Сұрақтар

- Дененің еркін тұсуі деп қандай қозғалысты айтады?
- Еркін тұсу үдеуі дегеніміз қандай үдеу және оның шамасын кім анықтады?
- Еркін тұсудің ең қарапайым түрі қандай қозғалыс және ол қандай теңдеулермен (формулалармен) сипатталады?
- Горизонтқа параллель лақтырылған дененің қозғалысы қандай теңдеулермен сипатталады?
- Төмөндегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсінідер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Жер бетінен 10 м биіктікте дод 20 м/с жылдамдықпен вертикаль жоғары лақтырылды. З с-тан кейін дод жер бетінен қандай биіктікте болады? ($g = 10 \text{ м/с}^2$.)

Берілгені

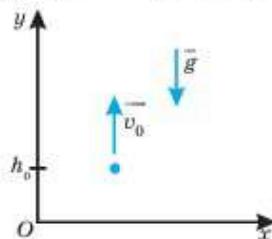
$h_0 = 10 \text{ м}$
$v_0 = 20 \text{ м/с}$
$t = 3 \text{ с}$
$g = 10 \text{ м/с}^2$
$h = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Дод тұрақты еркін тұсу үдеуімен теңайнымалы қозғалады (ауаның кедергісі ескерілмейді). Доптың скалярлық қозғалыс теңдеуін жазамыз:

$$h = h_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}. \quad (1)$$

Жылдамдық пен үдеудің проекцияларын таңдап алған Oy өсінің бағытына сәйкес анықтаймыз (сурет 1.15):



Сурет 1.15

$$v_{0y} = v_0 = 20 \text{ м/с}; g_y = -g = -10 \text{ м/с}^2.$$

Шешуі: Анықталған мәндерді (1) формуласына қойып, доптың $t = 3$ с ішінде көтерілген биіктігін табамыз:

$$h = 10 \text{ м} + 20 \text{ м/с} \cdot 3 \text{ с} - \frac{10 \text{ м/с}^2 \cdot 9 \text{ с}^2}{2} = 25 \text{ м.}$$

Жауабы: $h = 25 \text{ м.}$

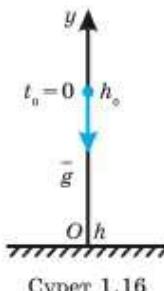
2-есен. Алтыншы қабаттың терезесінен ($h = 20 \text{ м}$) тасталған тас жерге қанша уақытта түседі? Жерге түскен сәттегі оның жылдамдығы қандай?

Bерілгені
$h = 20 \text{ м}$
$v_0 = 0$
$g = 10 \text{ м/с}^2$
<hr/>
$t = ?, v = ?$

Есен мазмұнын талдау

Оу өсін вертикаль жоғары бағыттаймыз (сурет 1.16). Дененің еркін түсі тенұдемемелі қозғалыс болып табылады. Сондықтан тастың скалярлық тендеулерін мына түрде жазамыз:

$$\begin{cases} y = y_0 + v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}, \\ v_y = v_{0y} + g_y t. \end{cases} \quad (1)$$



Сурет 1.16

Еркін түсі үдеуінің Oy өсіндегі проекциясы: $a_y = -g$. Тастың бастапқы координатасы $y_0 = h$, соңғы координатасы $y = 0$.

Енді осы шамаларды қозғалыс заңын өрнектейтін (1) тендеулерге қоямыз:

$$0 = h - \frac{gt^2}{2}, \text{ бұдан } t = \sqrt{\frac{2h}{g}};$$

доптың жерге түскен мезеттегі жылдамдығы: $v_y = -gt$.

$$\text{Шешуі: } t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10}} = 2 \text{ с};$$

$$v_y = -gt = -10 \text{ м/с}^2 \cdot 2 \text{ с} = -20 \text{ м/с.}$$

Мұндағы «минус» таңбасы доптың жерге түсі кезіндегі жылдамдық векторының бағыты y өсінің бағытына қарама-қарсы екенін көрсетеді.

Жауабы: $t = 2 \text{ с}; v = -20 \text{ м/с.}$



Жаттығу 1.3

- Жардан қулаган тас 2 с ішінде су бетіне жетті. Жардың биіктігі қандай? Тастың соңғы жылдамдығының модулін анықтаңдар.
- Бөлменің биіктігі 5 м. Шарик төбеден еденге дейін қанша уақытта құлайды? Еденге 0,5 с ішінде жету үшін шарикке қандай жылдамдық беру керек?
- Еркін түсken тастың Жерге согылар сөттегі жылдамдығы 40 м/с. Тас қандай биіктікten құлаған? Құлауға қанша уақыт кетті?
- Тас 30 м/с жылдамдықпен горизонталь лақтырылды. 4 с өткеннен кейін оның жылдамдығы қандай болады? Осы уақыт ішіндегі тастың екі өстің бойындағы координаталарының өзгерісін анықтаңдар.
- Тас Жермен салыстырғанда 10 м биіктікten 20 м/с жылдамдықпен горизонталь лақтырылды. Жерге құлар сөттегі үшу уақытын, үшу қашықтығын және үшу жылдамдығын анықтаңдар.
- Доп 20 м/с жылдамдықпен Жер бетінен кекжиекке 45° бұрышпен лақтырылды. Доптың ең үлкен көтерілу биіктігін, үшу қашықтығын, траекторияның ең жоғарғы нүктесіндегі жылдамдығын, қозғалыс басталғаннан 2 с өткен кездегі горизонталь жылдамдығы мен координаталарын анықтаңдар.



Фылым мен техниканың даму тарихынан

Галилейге (1564–1642 ж.ж.) дейін денелердің Жер бетіне құлауы жөнінде элладалық Аристотельдің (384–322 б.д.д.) корытынды пікірі ешқандай күмән туғызбады. Оның тұжырымдауы бойынша бірдей биіктікten құлағанда ауыр денелерге қарағанда жenіл денелер ұзақ уақыт жұмсайды. Аристотельдің осындағы пайымдауын италиялық Галилей теріске шығарды. Соған қарамастан Галилей де, басқа ғалымдар да Аристотельдің зор ойшылдығын бағалап, оны ұлы үстаз тұтты. Солардың бірі Ұлы Дала елінің екілі Әбу-Насыр ал-Фараби (870–950 ж.ж.) бабамыз да «мен Аристотельдің «Физикасын» 200 рет қайталап оқыдым» деп жазғаны белгілі. Галилей 1583 жылы барлық денелер ауасыз кеңістікте Жер бетіне бірдей биіктікten бірдей уақытта жетеді деген болжам жасады.

Кейінрек Ньютон (1642–1727 ж.ж.) Галилейдің болжамының дұрыстығын «Ньютоның тұтіктері» деп аталаған кеткен шыны тұтікті пайдаланып дәлелдеді. Ол тұтіктің ішіндегі ауаны езі ойлап жасаған сорғының жардемімен сорып шығарып, жenіл қауырсын мен ауыр қорғасын быттырасының ауасыз кеңістікте бірдей жылдамдықпен құлайтынын көрсетті.

Галилей еркін құлаған денелердің тенудемелі қозғалыстарының үдеулерінің тұрақты болатынын және барлық жағдайда да сан мәндерінің $9,81 \text{ м/с}^2$ шамасына тең болатынын тәжірибе жасап анықтады. Тәжірибесінде Галилей 1589 жылы Пизаның Пизан мұсабакасында Пизан көпірінде жүргізген эксперименттерде үш тасын жағдайда өткізу мүмкін болғанын көрсетті.



Сурет 1.17

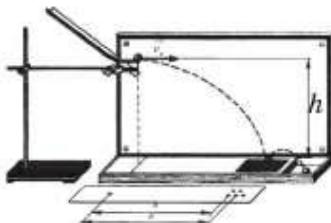
рибе жасау үшін ол өзі туған Пиза қаласындағы туристерді қызықтыратын биіктігі 58 м болатын «мәңгі құлаушы» Пиза мұнарасын таңдал алды (сурет 1.17). Міне, Галилей тапқан осы тұрақты шама ($9,81 \text{ м/с}^2$) физика ғылымының тарихына дененің Жер бетіндегі еркін түсү үдеуі деген атаумен енді.

№2 зертханалық жұмыс

Горизонталь лақтырылған дененің қозгалысын зерттеу

Жұмыстың мақсаты: горизонталь лақтырылған дененің ауырлық күші өрекетінен қозгалысын зерделеу және бастапқы жылдамдығын анықтау.

Құрал-жабдықтар: 1) зертханалық штатив және олардың қысқаштары; 2) шарик қозгалатын науа; 3) аржадан (фанерадан) жасалған тақта; 4) шарик; 5) қағаз парагы; 6) кнопкалар; 7) қара бояулы көшіргіш қағаз.



Сурет 1.18

Жұмысты орындау реті

1. Штативтің кемегімен аржа тақтасын вертикаль бағытта қысқашпен бекітіңдер (сурет 1.18). Сол қысқашпен шарик қозгалатын науаның шетін де қысындар. Науаның бүгілген төменгі жағын горизонталь орналастырайдар.

2. Тақтага ені 20 см-ден кем емес қағаз парагын кнопкалармен бекітіңдер. Төменгі горизонталь ақ қағаз бетіне қара бояулы көшіргіш қағазды орналастырайдар.

3. Шарикті тұрақты биіктікten наудады алғашқы орнын өзгертпей бес рет түсіріңдер де, көшіргіш қағазды алып тастандар (оның орнында шариктің горизонталь бетке түскен кездегі іздері қалады).

4. Шариктің h құлау биіктігін және өр жолғы l үшу қашықтығын өлшеңдер.

5. Үшү қашықтығының арифметикалық ортаса мөнін мына формула бойынша есептейдер: $l_{\text{опт.}} = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5)/5$.

6. Шариктің үшу уақытын мына формуладан есептеп шығарыңдар:

$$h = \frac{gt^2}{2}, \text{ бұдан } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

7. Шариктің бастапқы жылдамдығын мына формуладан есептеп шығарыңдар:

$$l_{\text{опт.}} = v_0 \cdot t.$$

8. Өлшеулер мен есептеу нәтижелерін төмендегі кестеге түсіріп жазыңдар:

Тәжірибе реті	$h, \text{ м}$	$t, \text{ м}$	$l_{\text{опт.}}, \text{ м}$	$v_{\text{опт.}}, \text{ м/с}$
№1				
№2				
№3				
№4				
№5				

9. Зерттеу нәтижелері бойынша қорытынды жасап, өзара талқыландар.

§6.

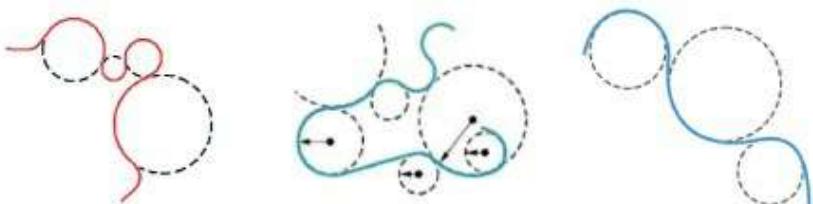
ҚИСЫҚСЫЗЫҚТЫ ҚОЗҒАЛЫС. МАТЕРИЯЛЫҚ НҮКТЕНІҢ ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН БІРҚАЛЫПТЫ ҚОЗҒАЛЫСЫ. ЦЕНТРГЕ ТАРТҚЫШ ҮДЕУ

1. Біз осы уақытқа дейін үдеулері тұрақты қозғалыстарды қарастырымдай. Мысалы, үдеуі нөлге тең болатын тұзусызықты бірқалыпты қозғалысты және үдеулері нөлден үлкен немесе нөлден кіші тұрақты сандар болатын тұзусызықты теңайнымалы қозғалыстарды, солардың бірі деңгейнің еркін түсін сипаттады.

Үдеулері тұрақсыз қозғалыстарға қисықсызықты қозғалыстар жатады.

Қисықсызықты қозғалыс деп жылдамдығы мен үдеуінің бағыттары да, сан мәндері де үнемі өзгеріп отыратын механикалық қозғалыстардың траекториялары аса күрделі қисықсызықтар болып келеді.

Жылдамдығы мен үдеуінің бағыттары да, сан мәндері де үнемі өзгеріп отыратын механикалық қозғалыстардың траекториялары аса күрделі қисықсызықтар болып келеді (сурет 1.19, қызыл және жасыл сизықтар).



Сурет 1.19. Күрделі қисықсызықты қозғалыстардың траекториялары

Траекториялары аса күрделі қисықсызықты қозғалыстарды сипаттайтын дайын формулалар мен теңдеулер жоқ. Оларды сипаттау үшін, әдетте, траекторияның қисығын бірнеше қарапайым бөліктерге бөледі. Мұндай қарапайым бөліктерге өзімізге таныс тұзу сизықты немесе парабола қисығына және шенбердің догаларына үқсас траекториялар жатады. Сөйтіп, кейбір бөліктерді алдыңғы тақырыптарда қарастырган траекториялары тұзу сизық немесе парабола қисығы болатын қозғалыстардың теңдеулерімен сипаттайды. Алайда күрделі қисықтардың көп бөлігі, жогарыдағы суреттерде бейнеленгендей, радиустары әртурлі шенберлердің догалары болып келеді. Ендеше, *ен қарапайым қисықсызықты қозғалыс – материалық нүктенің шенбер бойымен бірқалыпты қозғалысын қарастырайық.*

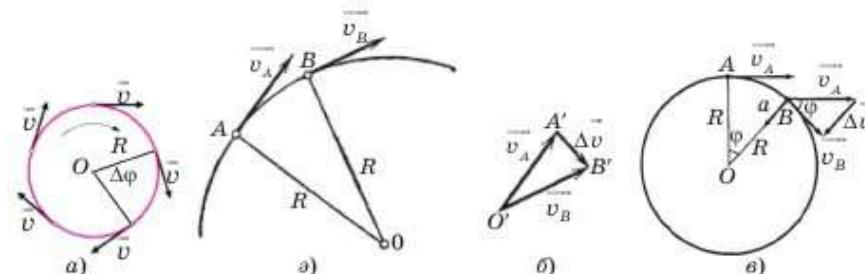
2. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы деп жылдамдығының бағыттары бірдей уақыт аралықтарында бірдей бұрыштарға бұрылып отыратын қисықсызықты қозғалысты айтады.

Материялық нүкте жылдамдығының бағыты өзара тең уақыт аралығында ($\Delta t = \text{const}$) өзара тең бұрыштарға ($\Delta\phi = \text{const}$) бұрылып отыратындықтан, қозғалыс траекториясы шеңбер (сурет 1.20, а) болып табылады. Ал қозғалыстың v жылдамдығының бағыты үнемі шеңбердің R радиусына перпендикуляр, яғни шеңберге жанама сзызық түрінде орналасады.

Түзүсізықты теңайнымалы қозғалыстарда ($t_0 = 0$ деп алсақ) үдеудің модули

$$a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{\Delta v}{t}$$

формуласымен анықталатынын білеміз. Ал дене шеңбер бойымен қозғалғанда оның үдеуінің модули қандай формуламен анықталады және қалай бағытталады? деген орынды сұрақ туындайды. Енді осы сұрақтардың жауаптарын іздестірейік.



Сурет 1.20. Шеңбер бойымен қозғалыс

Дене шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалып, өтे қысқа уақыт аралығында ($t \rightarrow 0$) A нүктеден B нүктесіне жетсін (сурет 1.20, ә). Қозғалыс бірқалыпты болғандықтан, дененің A және B нүктелеріндегі жылдамдықтарының модульдері бірдей болады ($v_A = v_B = v$) да, тек бағыттарыға өзгереді. Осы екі нүктедегі жылдамдық векторларының $v_B - v_A$ айырымын табайық. Ол үшін жоғарыда айтылған (§3) векторларға азайту амалдарын қолданудың үшбұрыш ережесін пайдаланамыз. Модульдері бірдей $v_A = v_B = v$ векторлардың өркайсысын өз-өзіне параллель көшіреміз де, зерделеп салыстыруға ыңғайлы болу үшін өз алдына жеке $O'A'B'$ векторлық үшбұрышын саламыз (сурет 1.20, б). Жеке салынған

бұл векторлық үшбұрыштың O' төбесін шеңбер бойындағы B нүктесімен сейкестендіріп те салуға болады (сурет 1.20, *в*). Сонда модульдері бірдей, бірақ бағыттары әртүрлі v_A және v_B векторлардың $\bar{v}_B - \bar{v}_A$ айрымы $A'B' = \Delta v$ шамасына тең болады. Бұл айрым екінші жағынан үдеудің формуласы бойынша былайша өрнектелетінін білеміз:

$$\Delta \bar{v} = \bar{a} t,$$

мұндағы \bar{a} өзіміз модулін іздең отырған шеңбер бойындағы бірқалыпты қозғалыстың үдеуі болып табылады.

Векторлық $O'A'B'$ үшбұрышы OAB үшбұрышына ұқсас. Өйткені екі үшбұрыш та теңбүйірлі және бүйір қабыргаларының арасындағы бұрыштардың өзара тең (сыбайлас қабыргалардың арасындағы бұрыштардың өзара тең болатыны геометриядан белгілі). Ендеше, ұқсас үшбұрыштардың сейкес қабыргаларының қатынастары өзара тең болады:

$$\frac{OA}{AB} = \frac{O'A'}{A'B'}.$$

Мұндағы: $OA = R$; $O'A' = v$; $A'B' = \Delta v = at$. AB кесіндісі \bar{AB} дугасын керіп тұрған хорда болып табылады. Өте аз $t \rightarrow 0$ уақыт аралығында ететін қозғалысты қарастырып отырғандықтан, дуганың ұзындығын жуықтап оны керіп тұрған хорданың ұзындығына теңестіруімізге болады. Сонда дененің t уақыт ішінде дуга бойымен бірқалыпты журген жолы AB кесіндісіне тең болады: $AB = v \cdot t$.

Анықталған шамаларды жоғарыдағы қатынастардағы орындарына койып, мына теңдікті аламыз:

$$\frac{R}{vt} = \frac{v}{at}.$$

Бұл теңдіктен *шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс үдеуінің* модулі мына формула бойынша анықталады:

$$a = \frac{v^2}{R}. \quad (1.13)$$

3. Енді шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс үдеуінің қалай бағытталатынын көрсетейік. Көрnekілік үшін ортадағы екі суретті (ә және б суреттерді) шеңбер бойындағы орындарына жайғастырып, жаңа көрініске көңіл аударайық (сурет 1.20, *в*). Векторлық $\Delta \bar{v} = \bar{a} t$ теңдеуіне сейкес $\Delta \bar{v}$ векторы қалай бағытталса, бас нүктесі шеңбер бойындағы B нүктесінде орналасқан \bar{a} векторының да солай бағытталатыны белгілі. Ендеше, суреттен көрініп тұрғандай, бұл вектор центрге қарай бағытталып,

жылдамдық векторына перпендикуляр (нормаль) орналасады. Сондықтан модулі $a = v^2/R$ формуласымен анықталатын үдеуді **нормаль** немесе центрге тартқыш үдеу деп атайды: $a_{\text{н.т.}} = v^2/R$.

4. Шеңбер бойындағы бірқалыпты қозгалыс кезінде дene өр айналым жасауга бірдей уақыт жұмсайды. Осы тұрақты уақытты период деп атауга келісілген.

Период деп шеңберді толық бір айналуға кеткен уақытты айтады.

Периодты T өрпімен белгілейді. Период бірлігіне ХБЖ-да *бір секунд* (1 с) алынады. Егер t уақыт ішінде дene n айналым жасаса, онда период мына формула бойынша анықталады:

$$T = \frac{t}{n}. \quad (1.14)$$

Жиілік деп уақыт бірлігінде жасалған толық айналымдар санын айтады. Жиілікті гректиң v (ню) өрпімен белгілейді:

$$v = \frac{n}{t}. \quad (1.15)$$

Жиілік периодқа кері шама болып табылады. Расында да:

$$v = \frac{n}{t} = \frac{n}{nT} = \frac{1}{T}. \quad (1.16)$$

Механикалық қозгалыстардың айналу жиілігінің бірлігіне ХБЖ-да *бір болінген секунд* $\left(\frac{1}{c} = c^{-1}\right)$ алынады.



Сұрақтар

1. Қисықсызықты қозгалыс деп қандай қозгалысты айтады?
2. Қисықсызықты қозгалыстарды сипаттау үшін қандай амалдар қолданылады?
3. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозгалысы деп қандай қозгалысты айтады?
4. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозгалыстың үдеуінің модулі қалай анықталады және қандай формуламен өрнектеледі?
5. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозгалыстың үдеуін не себепті нормаль немесе центрге тартқыш үдеу деп атайды?
6. Период және жиілік дегеніміз қандай шамалар? Олар бір-бірімен қандай формулалар арқылы байланысады?
7. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалдары

1-есеп. Жер центрінен Ай центріне дейінгі қашықтық шамамен 384 000 км. Жерді айнала қозгалатын Айдың центрге тартқыш үдеуін есептеп шыгару керек.

<i>Берілгені</i>
$R = 3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$
$a_{\text{п.т.}} = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Айдың қозгалыс траекториясын жуықтап шеңбер деп, ал шеңбердің радиусын Жер мен Айдың центрлеріне дейінгі қашықтыққа тең деп аламыз. Сонда шеңбердің центріне бағытталған центрге тартқыш үдеу мына формула бойынша анықталады: $a_{\text{п.т.}} = v^2/R$, мұндағы v – Айдың қозгалыс жылдамдығы.

Айдың Жерді толық бір айналу периоды $T = 27,5$ тәул. = $2,36 \cdot 10^6$ с. Ал оның толық бір айналғандағы жүрген жолы радиусы R шеңбердің ұзындығына тең: $s = 2\pi R$.

Сондықтан Айдың қозгалыс жылдамдығы мына өрнекпен анықталады:

$$v = \frac{s}{T} = \frac{2\pi R}{T},$$

Енді жылдамдықтың осы мәнін центрге тартқыш үдеудің формуласына апарып қоямыз да, центрге тартқыш үдеуді анықтаймыз:

$$a_{\text{п.т.}} = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{T^2}.$$

Шешүі:

$$a_{\text{п.т.}} = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4 \cdot (3,14)^2 \cdot 3,84 \cdot 10^8 \text{ м}}{(2,36 \cdot 10^6 \text{ с})^2} \approx 0,0027 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 27 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

$$\text{Жауабы: } a_{\text{п.т.}} = 27 \cdot 10^{-4} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

2-есеп. Жер бетінен 600 км қашықтықта оны айнала 8 км/с жылдамдықпен қозгалып жүрген Жердің жасанды серігінің (ЖЖС) центрге тартқыш үдеуін есептеп табу керек.

<i>Берілгені</i>
$h = 600 \text{ км}$
$v = 8 \text{ км/с}$
$a_{\text{п.т.}} = ?$

Есеп мазмұнын талдау

ЖЖС Жердің төңірегінде радиусы $r = R + h$ болатын шеңбердің (орбитаның) бойымен айналады. Сондықтан оның Жер центріне бағытталған центрге тартқыш үдеу мына формуламен анықталады:

$$a_{\text{п.т.}} = \frac{v^2}{r} = \frac{v^2}{R + h}.$$

$$\text{Шешуіл: } a_{\text{н.г.}} = \frac{v^2}{R+h} = \frac{(8000 \text{ м/с})^2}{6,4 \cdot 10^6 \text{ м} + 0,6 \cdot 10^6 \text{ м}} = 9,1 \text{ м/с}^2.$$

Алынған мән Жердің жасанды серігінің центрге тартқыш үдеуі жер бетіндегі еркін тұсу үдеуінен азгана шамага кем болатынын көрсетеді.

§7.

СЫЗЫҚТЫҚ ЖӘНЕ БҮРЫШТЫҚ ЖЫЛДАМДЫҚТАР

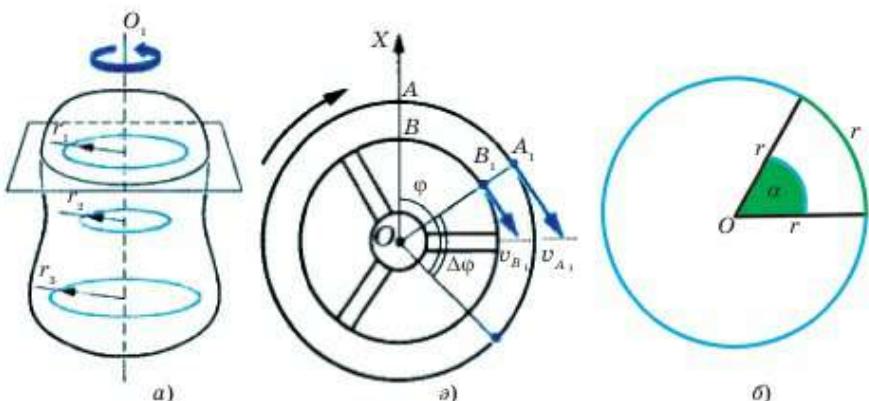
1. Біз алдыңғы тақырыпта материалық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысын қарастырдық. Шеңбер бойымен қозғалысты айналып турған қатты дененің (мысалы, өзінің төңірегінде айналатын Жер шарының) кез келген нүктесі жасайды.

Қатты дененің айналмалы қозғалысы *деп оның барлық нүктелерінің айналу өсі төңірегінде радиустары осы өске перпендикуляр болатын әртүрлі шеңберлердің бойымен қозғалысын айтады* (сурет 1.21, а).

Қатты дененің айналмалы қозғалысының материалық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысына қарағанда өзіндік ерекшеліктері бар. Ең басты ерекшелік мынаған саяды: материалық нүкте шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалғанда бірдей уақытта бірдей жол жүреді, яғни бірдей дуга сымады. Ал қатты дененің айналмалы қозғалысында оның әрбір нүктесі бірдей уақытта әртүрлі жол жүреді ($\overline{AA_1} > \overline{BB_1}$), яғни әртүрлі дуга сымады (сурет 1.21, ә). Сондықтан A нүктесінің дугаға жанама болатын v_A жылдамдығының модулі B нүктесінің v_B жылдамдығының модулінен артық болады ($v_A > v_B$). Олай болса, қатты дененің айналмалы қозғалысын сипаттау үшін *жүрілген жол және шеңберге* (траекторияга) жанама болатын *сызықтық жылдамдық шамаларымен* қатар, *бұрыштық жылдамдық* деген физикалық шама енгізіледі. Бұрыштық жылдамдық гректің ω (омега) әрпімен белгіленеді.

2. Қатты дененің барлық нүктелерін айналу өсіндегі центрлермен қосатын радиустар (мысалы, OB_1 және OA_1 радиустары) бірдей Δt уақытта бірдей $\Delta\phi$ бұрышына бұрылады (сурет 1.21, ә). Міне, сондықтан қатты денелердің айналмалы қозғалысын сипаттау үшін ϕ бұрылу бұрышының осы бұрылуға кеткен t уақытқа қатынасымен анықталатын *бұрыштық жылдамдық* алынады:

$$\omega = \frac{\phi}{t}. \quad (1.17)$$



Сурет 1.21. Әртүрлі денелердің бойындары нұктелердің айналмалы қозғалысы

Бұрыштық жылдамдық деп қатты дененің айналу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шаманы айтады

Механикада бұрылу бұрышын радианмен (рад) өлшейтін болғандықтан, бұрыштық жылдамдықтың бірлігіне секундтагы радиан (рад/с) алынады.

Бір радиан деп үзіндігі радиусқа тәң болатын шеңбердегі аудармасын көріп түрган екі радиустың арасындағы α (альфа) бұрышты айтады (сурет 1.21, б).

Ендеше, $90^\circ = \pi/2$ радианга, $180^\circ = \pi$ радианга, $270^\circ = 3\pi/2$ радианга, $360^\circ = 2\pi$ радианга тәң. **1 радиан = $360^\circ/2\pi \approx 57^\circ 17' 45''$.**

3. Бұрыштық жылдамдықты дененің v айналу жиілігімен байланыстыруға болады. Мысалы, дene толық бір айналғанда 360° -қа, яғни $\phi = 2\pi$ бұрышқа бұрылатыны белгілі. Толық бір айналуга кеткен уақыттың бір периодқа тәң ($t = T$) екені және жиілік пен периодтың бір-біріне кері шама ($v = 1/T$) болатыны тағы да аян. Ендеше, (1.17) өрнегіне сәйкес бұрыштық жылдамдықты мына формулалармен де сипаттауға болады:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ немесе } \omega = 2\pi v. \quad (1.18)$$

Бұл формула бұрыштық жылдамдық пен жиіліктің бір-біріне тура пропорционал байланысын сипаттайты.

4. Бұрыштық жылдамдықты өз өсінен айналатын дененің әр нұктесінің шеңберге жанама болатын сызықтың v жылдамдығымен де байланыстыруға болады. Енді осы байланысты анықтайық.

Дененің радиусы R шеңбердің бойында жатқан нұктесі бір айналыс жасағанда $2\pi R$ жол жүреді. Бір айналыс жасауға T период уақыт

кететіндіктен, бірқалыпты айналмалы қозғалыстың сыйықтық жылдамдығының модулі мына формула бойынша табылады:

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R \nu,$$

мұндағы $2\pi\nu$ бұрыштық жылдамдыққа тең ($\omega = 2\pi\nu$). Ендеше, соңғы формула былайша да өрнектеледі:

$$v = \omega R. \quad (1.22)$$

Бұл формула сыйықтық жылдамдықпен бұрыштық жылдамдық арасындағы байланысты көрсетеді.



Сұрақтар

1. Қатты дененің айналмалы қозғалысы деп қандай қозғалысты айтады? Оның материялық нүктенің шеңбер бойындағы қозғалысынан қандай айырмашылығы бар?
2. Бұрыштық жылдамдық деп қандай жылдамдықты айтады? Қандай формуламен өрнектеледі? Қандай бірлікпен өлшеменеді?
3. Бұрыштық жылдамдық дененің айналу жиілігімен қандай формулалар арқылы байланысады?
4. Қандай шарттар орындалғанда дene бірқалыпты айналады? Мұндай айналыс қандай формулалармен сипатталады?
5. Бұрыштық жылдамдық дененің сыйықтық жылдамдығымен қандай формулалар арқылы байланысады?
6. Төмендегі мысалдарда берілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Жердің өз өсінен бір айналу уақыты 24 сағ. Экватордағы нүктенің айналуының бұрыштық және сыйықтық жылдамдықтарын есептеп шығару керек. (Жер радиусы 6400 км-ге тең деп есептендер).

<i>Берілгені</i>	<i>ХВЖ бойынша</i>
$R = 6400$ км	$R = 64 \cdot 10^6$ м
$T = 24$ сағ.	$T = 86400$ с
$\omega = ?$, $v = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Жер бетіндегі нүкте Жер бір айналғанда $\phi = 360^\circ$ градусқа, яғни 2π радианға бұрылады. Нүктенің бұрыштық жылдамдығы: $\omega = \frac{\phi}{t}$, ал сыйықтық жылдамдығы: $v = \omega R$.

$$\text{Шешүй: } \omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = \frac{6,28 \text{ рад}}{86400 \text{ с}} = 0,00007 \text{ рад/с;}$$

$$v = \omega R = 0,00007 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \cdot 64 \cdot 10^5 \text{ м} = 448 \text{ м/с.}$$

$$\text{Жауабы: } \omega = 7 \cdot 10^{-5} \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$v = 448 \text{ м/с.}$$

2-есеп. Минутына 3000 айналым жасайтын бу турбинасының бұрыштық жылдамдығын анықтау керек.

Берілгені	ХВЖ бойынша
$n = 3000$	
$t = 1 \text{ мин}$	$t = 60 \text{ с}$
$\omega = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Бұрыштық жылдамдық айналу жиілігіне тұра пропорционал: $\omega = 2\pi v$. Ал айналу жиілігі уақыт бірлігіндегі (1 секундтағы) айналым санына тең: $v = n/t$.

$$\text{Шешүй: } v = \frac{n}{t}; v = \frac{3000}{60 \text{ с}} = 50 \text{ с}^{-1}.$$

$$\omega = 2\pi v = 2 \cdot 3,14 \text{ рад} \cdot 50 \text{ с}^{-1} = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

$$\text{Жауабы: } \omega = 314 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$



Жаттығу 1.4

- Жердің Құнді айналу жиілігі қандай?
- Сағат тілінің айналу бұрыштық жылдамдығы үлкен бе, әлде Жердің айналуының бұрыштық жылдамдығы үлкен бе?
- Сағаттың секундтық және минуттық тілдері айналуының бұрыштық жылдамдықтарын табыңдар.
- Дене радиусы 50 м шеңбер дөгасының бойымен қозгалады. Оның 10 с ішіндегі бұрылу бұрыши 1,57 рад-ға тең екені белгілі. Дене қозгалысының сызықтық жылдамдығы мен жүрген жолын табыңдар.
- Дененің айналу периодын 10 с-қа тең деп алғып, оның 10 с ішіндегі бұрыштық жылдамдығы мен бұрылу бұрышини есептеп шығарыңдар.
- Радиусы 10 см-ге тең дөңгелек қайрақты айналдырганда, ол 0,20 с ішінде бір айналым жасайды. Айналу осінен ең қашық нүктелердің жылдамдығын табыңдар.
- Егер автокөліктің радиусы 30 см доңгалагы 1 с ішінде 10 айналым жасаса, оның қозгалыс жылдамдығы қандай?

8. Автокөлік радиусы 100 м айналма жолмен 54 км/саг жылдамдықпен қозгалады. Автокөліктің центрге тартқыш үдеуін табындар.
9. Алғашқы «Восток» гарыш кемесінің Жерді айналу периоды 90 мин. Оның Жер бетінен орташа биіктігі 320 км-ге тең деп есептеуге болады. Ал Жердің радиусы 6400 км. Осы гарыш кемесінің жылдамдығын есептеп шыгарындар.
10. Жердің жасанды серігі (ЖЖС) дөңгелек орбита бойымен 630 км биіктікте қозгалады. Оның айналу периоды 97,5 мин. Жердің радиусын 6370 км деп алып, осы ЖЖС-нің сзыбытық жылдамдығы мен центрге тартқыш үдеуін анықтандар.
11. Жер бетіндегі еркін тұсу үдеуі мен Айдың центрге тартқыш үдеуінің қатынасын есептеп шыгарындар. Ай орбитасының радиусы 60 Жер радиусына тең.
12. Қуатты бу турбинасының роторы минутына 3000 айналым жасайды. Оның жұмыстық дөңгелегінің диаметрі 2,7 м. Осы бу турбинасының бұрыштық жылдамдығын және ротор қалақшалары ұшының сзыбытық жылдамдығы мен үдеуін табындар.



Фылым мен техниканың даму тарихынан

Доғаның ұзындығын радиуспен өлшеуді және осы өлшеулерге сәйкес радиустардың арасындағы бұрыштарды бағалауды алғаш қолданған әл-Каши болатын. Ол 1/60 радианға тен бұрышты бір өлшем бірлігі ретінде санап, оны диаметрдің бөлігі деп атады. Сонымен қатар әл-Каши бұдан да кіші туынды бірліктерді қолданды.

Араб математигі және астрономы саналатын Гияс ад-Дин Джамшид ибн Масуд әл-Каши 1380 жылы Иранда өмірге келіп, 1429 жылы (кей деректе 1436 жылы) қайтыс болған. Атақты Әмір Темірдің немересі өз заманының әйгілі астрономы Ұлықбек (1393–1449) Самарқанда 1420 жылы сол кездең ен озық обсерваторияны салдырганнан кейін жан-жақтан келген көрнекті ғалымдардың ішінде әл-Каши де болды. Ол «Шенбер туралы» деген трактатында $\pi \approx 3,14$ (ли) санын үтірден кейін 16 санға дейінгі дәлдікпен анықтай алған екен. XVII ғасырға дейін бірде-бір математик мұндан дәлдікке қол жетізе алмаған. «Арифметиканың кілті» деген трактатында ондық бөлшектердің теориясын бірінші рет жүйелі түрде баяндайды. Дәлірек айтқанда ондық бөлшектер ұғымын енгізеді (бұл ұғым туралы қытайлықтардан білгенін жазады), ондық бөлшектерге амалдар қолданудың негізгі ережелерін тұжырымдайды және сол уақыттарда қолданылып келген бөлшек сандар жүйесін ондық бөлшектерге ауыстыру тәсілдерін көрсетеді.

I тараудагы ең маңызды түйіндер

• **Механикалық қозғалыс** – денелердің кеңістікте уақыт ағымына қарай бір-бірімен салыстыргандагы орын ауыстыруы.

• **Үдеу** – жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын векторлық шама:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} \text{ немесе } \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t},$$

• **Тұзусызықты төңайнымалы қозғалыстардың скалярлық төңдеулері:**

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2};$$

$$v = v_0 \pm at.$$

• **Период** – материалдық нұктенің шеңбер бойымен толық бір айналым жасауына кететін уақыт: $T = \frac{t}{n}$.

• **Жиілік** – бірлік уақыттагы айналым саны, ол айналу периодына кері шама:

$$\nu = \frac{n}{T} \text{ немесе } \nu = \frac{1}{T}.$$

• **Центрге тартқыш үдеу** – шеңбер бойымен бірқалыпты қозгалатын дененің үдеуі:

$$a_{\text{ц.т.}} = \frac{v^2}{r}.$$

• **Бұрыштық жылдамдық** – қатты дененің айналу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама:

$$\omega = \frac{\Phi}{t} \text{ немесе } \omega = 2\pi\nu.$$

• **Сызықтық жылдамдық** – бұрыштық жылдамдыққа және айналу радиусына тұра пропорционал:

$$v = \omega R.$$

ІІ ТАРАУ

АСТРОНОМИЯ НЕГІЗДЕРІ

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- абсолюттік және көрінерлік жүлдышдық шамаларды ажырату;
- жүлдышдардың жарқырауына әсер ететін факторларды атау;
- аспан сферасының негізгі элементтерін атау;
- жүлдышды аспанның жылжымалы картасынан жүлдышдардың аспан координатасын анықтау;
- әртүрлі ендіктегі жүлдышдардың шарықтау айырмашылығын түсіндіру;
- жергілікті, белдеулік және бүкіләлемдік уақытты сәйкестендіру;
- Кеплер заңдарының негізінде аспан денелерінің қозғалысын түсіндіру;
- Күн жүйесіндегі денелердің арақашықтығын немесе өлшемдерін анықтау үшін параллакс әдісін қолдануды түсіндіру.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде үзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «абсолюттік және көрінерлік жұлдыздық шамалар», «жұлдыздардың жарқырауы», «аспан сферасы», «жұлдызды аспанның жылжымалы картасы», «жұлдыздардың аспан координатасы», «жұлдыздардың шарықтау айырмашылығы», «жергілікті, белдеулік және бүкіләлемдік уақыт», «Кеплер заңдары», «Күн жүйесі».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Абсолюттік және көрінерлік жұлдыздық шамалар	Абсолютная и видимая звездные величины	Absolute and apparent stellar magnitudes
Жұлдыздардың жарқырауы	Яркость звезд	Brightness of stars
Аспан сферасы	Небесная сфера	Celestial sphere
Жұлдызды аспанның жылжымалы картасы	Подвижная карта звездного неба	Moving map of the star sky
Жұлдыздардың шарықтаулары	Кульминации звезд	The culmination of the stars
Жергілікті, белдеулік және бүкіләлемдік уақыт	Местное, поясное и всемирное время	Local, standard and world time
Кеплер заңдары	Законы Кеплера	Kepler's Laws
Күн жүйесі	Солнечная система	Solar system

§8.

ЖҰЛДЫЗДЫ АСПАН. АСПАН СФЕРАСЫ

1. Жұлдызды аспан – *самсаған сансыз шырақтармен көмкерілген көк күмбезі*. Сократтың шекірті, Аристотельдің үстазы әйгілі Платон аспан күмбезін былайша елестетеді: «Әлем жай гана күмбез емес. Ол – мінсіз де кемел күмбез; Жаратушы оның бетін мұнтаздай жылтыр етуге қамқорлық жасады және бұл себепсіз де емес еді...». Еуразия кеңістігін алыш жатқан апайтес Ұлы Дағала өкілдері және олардың бірі – қазақ халқы өздерінің ертеғілері мен әпсаналарында Платон суреттеген күмбезді «жеті қат», кейде «тоғыз қат көк» деп пайымдаған. Есте жоқ ескі заманда қалыптасқан мұндай пайымдау Платонша айтқанда «себепсіз де емес еді». Расында да, Бұқар жырауаша «Ай нұрын қстап мініп, жүлдyz арапал...» алысқа бармай-ақ, бергі Күн жүйесіне зер салсақ (сурет 2.1), ондағы шырақтардың біреуі бері, біреуі әрі жеті-тоғыз қабаттан тұратыны белгілі. Солардың бірі – Абай жырлаган *«сәулесі суда dірілдеген, желсіз тұнде жарық Ай»* (сурет 2.2) – бізге ең жақын жалыны жоқ аспан шырагы. Екіншісі – бізге ең жақын жалындан жанып тұрган жұлдызы – Күн. Олардан басқа Жерде тұрып қарусыз көзben көруге болатын ертүрлі орбиталар бойымен Күнді айнала қозғалатын жалынсыз бес планета: Меркурий (қазақша «Кіші шолпан» немесе «Балпан»), Шолпан, Марс («Қызыл жұлдызы»), Юпитер («Есекқырған») және Сатурн.



Сурет 2.1. Күн жүйесіндегі планеталар



Сурет 2.2. Тұнгі аспан

Жердің екі жартышарында жай көзben көруге болатын 6 мындашырақтардың барлығы дерлік жұлдыздар болып табылады. Откір көзді адам тұнгі Айсыз ашық аспанда көк күмбезінің өзі тұрган жартышарында

З мың жұлдызды көре алады. Жердің екінші жартышарында түрған адам да жай кезбен сонша жұлдыздарды бақылай алады. Алғаш рет жұлдыздар тізімін біздің дәуірге дейінгі II ғасырда ежелгі элладалық (грекиялық) астроном Гиппарх жасады. Оның тізіміне Птоломейдің кейінгі толықтыруларымен 1022 шырақ енгізілді. Бірте-бірте жай көзге көрінетін шырақтар саны 6 мыңға жеткізілді. Олардың ішінде жиі аталағын 300 жұлдыздың төл атауларының 15%-ы грек, 5%-ы латын, 80%-ы араб тілдерінде аталағы. Араб тілдеріндегі жұлдыздар атауын беруге «мұсылман ғалымдары» деп аталағы кеткен Орталық Азия халықтарынан шыққан ұлы ғұлама астрономдар да зор үлес қости.

Қазіргі Жер бетіндегі және гарыш кеңістігіне ұшырылған телескоптарда соңғы жұз жылда тіркелген мәліметтер бойынша тек Біздің Галактиканың өзінде 200 миллиардтай жұлдыздардың бар екендігі айғақталды. Басқа Галактикалардағы жұлдыздар саны да ондаған, жүздеген миллиардтарды құрайды. Телескоптарда тіркелген жеке Галактикалардың саны да миллиардтан асады. Міне, жұлдызды аспанның қазіргі ғылыми астрономияда анықталған галактикалық құрылымдық қабаттары мен қатпарлары осындайды.

2. Жұлдыздардың көрінерлік жарықтылығы бірдей емес: біразы жарырап, самаладай самсап көрінсе, біразы көзге әрек шалынады. Осыған орай Гиппарх **көрінерлік жұлдызық шама (к.ж.ш.)** деген ұғым енгізіп, өз тізімінде шырақтарды 6 топқа жіктеген болатын. Солардың ішінде ең жарық жұлдыздарды (мысалы, қазақтар Сүмбіле деп атайдын *Cirrus-stus*) бірінші топқа, ал ең солрындарын алтыншы топқа енгізген еди.

1603 жылы неміс астрономы Иоганн Байер әр шоқжұлдыздарғы жұлдыздардың жарықтылық деңгейлерін грек әріптерінің ретімен көрсетуді ұсынды. Мысалы, ең жарық жұлдызы «*α*» әрпімен, одан кейін «*β*» т.с.с. әріптерімен белгіленеді.

Қазіргі кезде астрономдар ағылшын ғалымы Норман Погсон XIX ғасырда ұсынған **көрінерлік жұлдызық шама** өлшемдерін қолданады. Бүндей өлшемдер бойынша *к.ж.ш.* 5 топқа бөлінеді де, әр топтағы жұлдыздар шамасы бір-бірінен $\sqrt{100} = 2,512$ есеге өзгеріп отырады. Көрінерлік жұлдызық шаманы латынның *«magnitude»* – *«шама»* сөзіндегі бірінші түрган *t* әрпімен белгілейді.

3. Астрономияда жұлдыздың жарқырауы деп аталағын шама да *к.ж.ш.* өлшемінде беріледі. Жұлдыздардың жарқырау көрсеткіші *к.ж.ш.* бойынша теріс немесе оң сандармен де, бүтін немесе бөлшек сандармен де беріле береді. Мысалы, ең жарық жұлдызы Сүмбіленің *к.ж.ш.-сы t = -1,56*; Құннің *к.ж.ш.-сы t = -26,6*; Айдың *к.ж.ш.-сы t = -17,7*.

Аспан шырақтарының *к.ж.ш.*-сымен өлшенген жарқырауы олардың шын жарықтылығын бере алмайды. Өйткені тым алыстағы жарықтылығы күшті шыраққа қараганда, көзге жақын орналасқан шырақ жарқырап көрінуі мүмкін. Сондықтан шырақтардың орналасу қашықтықтарына қарай олардың шын жарықтылығыны ескеру үшін *M* әрпімен белгіленетін *абсолюттік жұлдыздық шама* (*а.ж.ш.*) деген түсінік енгізілген. Бір абсолюттік жұлдыздық шама деп бақылаушыдан 10 парsec қашықтықта орналасқан шырақтың жарықтылығының айтады (мұндағы 1 парsec жарықтың бір жылда жүріп өтетін жолы). Бұндай өлшем бойынша Сүмбіленің *а.ж.ш.*-сы $M = +1,41$; Күннің *а.ж.ш.*-сы $M = +4,8$ т.с.с. (форзацтагы қосымшаны қарандар).

4. Ежелгі «халық астрономиясында» көзге айқын көрінетін шырақтарды *шоқжұлдыз шогырларына* біріктірген.

Шоқжұлдыз деп аспанның белгілі бір жұлдыздар шогыры енетін шегарасы анықталған бөлігін айтады.

Жұлдыздардың шогырлануына қарай аспан күмбезін беліктерге белу тәсілі ғылыми астрономияда да қолданыс тапты. Осылайша аспан күмбезі бірнеше беліктерге белініп, бұл беліктерде 88 шоқжұлдыз орналасқан. Бұлардың ішінен 12 шоқжұлдызға халық астрономиясы ерекше мән беріп, орналасу пішіндеріне қарай оларға әртүрлі жануарлардың немесе ертеі-аныздардың кейіпкерлерінің аттарын беріп отырған (сурет 2.3). 12 шоқжұлдызға айрықша мән берудің себебі мынаған саяды: ескі түсінік бойынша Жерді айнала қозғалатын Күн аспан күмбезінде бір жылда бір рет өрбір 12 шоқжұлдыздың түсынан өтеді-мыс. Зодиакальдік шоқжұлдыздар деп аталып кеткен мұндай жұлдыздар шогырларына мыналар кіреді: жыл басы – наурызға сәйкес келетін *тоқты айы* (21.03–20.04), *торпақ айы* (21.04–21.05), *егіздер айы* (22.05–21.06), *шаян айы* (22.06–23.07), *арыстан айы* (24.07–23.08), *бикеш айы* (24.08–23.09), *таразы айы* (24.09–23.10), *сарышаян айы* (24.10–22.11), *мерген айы* (23.11–21.12), *тауешкі айы* (22.12–20.01), *сүкүйгыш айы* (21.01–19.02), *балықтар айы* (20.02–20.03). Осындай пайымдауларга сүйеніп, жыл мезгілдерін және уақытты көрсететін күнтізбелер жасалған. Алайда бір жылда Күн Жерді емес, Жер Күнді айналатыны белгілі болғаннан кейін де, ертеде жасалған мұндей күнтізбелер өз құндылығын жойған жок. Өйткені жыл мезгілдері мен



Сурет 2.3. Үлкен аю шоқжұлдызы

тәсілі ғылыми астрономияда да қолданыс тапты. Осылайша аспан күмбезі бірнеше беліктерге белініп, бұл беліктерде 88 шоқжұлдыз орналасқан. Бұлардың ішінен 12 шоқжұлдызға халық астрономиясы ерекше мән беріп, орналасу пішіндеріне қарай оларға әртүрлі жануарлардың немесе ертеі-аныздардың кейіпкерлерінің аттарын беріп отырған (сурет 2.3). 12 шоқжұлдызға айрықша мән берудің себебі мынаған саяды: ескі түсінік бойынша Жерді айнала қозғалатын Күн аспан күмбезінде бір жылда бір рет өрбір 12 шоқжұлдыздың түсынан өтеді-мыс. Зодиакальдік шоқжұлдыздар деп аталып кеткен мұндай жұлдыздар шогырларына мыналар кіреді: жыл басы – наурызға сәйкес келетін *тоқты айы* (21.03–20.04), *торпақ айы* (21.04–21.05), *егіздер айы* (22.05–21.06), *шаян айы* (22.06–23.07), *арыстан айы* (24.07–23.08), *бикеш айы* (24.08–23.09), *таразы айы* (24.09–23.10), *сарышаян айы* (24.10–22.11), *мерген айы* (23.11–21.12), *тауешкі айы* (22.12–20.01), *сүкүйгыш айы* (21.01–19.02), *балықтар айы* (20.02–20.03). Осындай пайымдауларга сүйеніп, жыл мезгілдерін және уақытты көрсететін күнтізбелер жасалған. Алайда бір жылда Күн Жерді емес, Жер Күнді айналатыны белгілі болғаннан кейін де, ертеде жасалған мұндей күнтізбелер өз құндылығын жойған жок. Өйткені жыл мезгілдері мен

күнтізбелік уақыттарға айтарлықтай өзгерістер енгізуіндегі қажеттігі ту-
мады. Осылайша Жердің екі жартышарларының үстіндегі күмбездерін
қосып, халық астрономиясы мен ғылыми астрономияны біріктіретін
«аспан сферасы» деген ұғым қалыптасты.

**5. Аспан сферасы деп радиусын шексіз үлкейтуге болатын, центрі
кеңістіктің кез келген нүктесінде орналасқан сфераны айтады.**

Аспан сферасының O центрі (сурет 2.4) ретінде бақылаушының түр-
ған орнын, телескоптың Жердегі немесе гарыштағы орнын, Жер центрін
т.с.с. алуға болады. Жердің өз өсінен батыстан шығысқа қарай айналуы-
на байланысты аспан шырақтары солтүстік жартышарда Жерді шығыс-
тан батысқа қарай айналғандай болып көрінеді. Сондықтан да аспан сфе-
расына проекцияланған аспан шырақтарының кеңістіктегі орны өзгеріп
отырады.

**Аспан сферасын сипаттайтын ең
басты элементтерге мыналар жатады
(сурет 2.4):**

Бақылаушы вертикали – аспан сфе-
расының центрі арқылы өтетін, әрі ба-
қылаушы түрған нүктедегі тіктеуіш-
тің бағытымен бағыттас *тік сызық*.

Зенит Z – бақылаушының қақ тे-
бесіндегі аспан сферасындағы нүкте.

Надир Z' – зенитке қарама-қарсы
аспан сферасындағы нүкте.

Ақиқат горизонт (көкжиек) – ба-
қылаушы вертикалине (тік сызыққа)
перпендикуляр деңгелек.

Өлем өсі (PP') – аспан сферасының айналу өсі өтетін сызық.

Өлем полюстері – аспан сферасының өлем өсімен қылышы нүктелері.

Аспан экваторы – жазықтығы өлем өсіне перпендикуляр болатын
аспан сферасының бетіндегі шеңбер.

Аспан меридианы немесе **бақылаушы меридианы** – әлемнің полюс-
тері және зенит пен надир арқылы өтетін аспан сферасы бетіндегі үлкен
деңгелек.

Солтүстіктің және оңтүстіктің нүктелері (N және S) – аспан
меридианының ақиқат горизонтпен (көкжиекпен) қылышы нүктелері.

Шығыстың және батыстың нүктелері (E және W) – аспан эква-
торының ақиқат горизонтпен (көкжиекпен) қылышы нүктелері.



Сурет 2.4. Аспан сферасы:
негізгі нүктелер, сызықтар,
деңгелектер, шеңберлер

Талтұстік сзығы – ақиқат горизонттың бетіндегі солтустік пен оңтүстіктердің нүктелердің қосатын түзу сзығы.

Шырақ вертикалі (қысқаша верикаль) – аспан сферасы бетіндегі зенит, надир және шырақ (M) арқылы өтетін дугалық сзығы.



Сұрақтар

- Жұлдызды аспан деп нені айтады? Жұлдызды аспан ежелгі дауірде және қазіргі заманда қалай суреттеледі?
- Жұлдыздардың көрінерлік жарықтылық деңгейлері қалай бағаланады және қандай шамалармен өлшенеді? Ерекшеліктері қандай?
- Шоқжұлдыз деп нені айтады? Зодиакальдік шоқжұлдыздарға не себептен ерекше мән беріледі?
- Аспан сферасы деп нені айтады?
- Аспан сферасы қандай негізгі нүктелермен сипатталады?
- Аспан сферасы қандай негізгі сзықтармен сипатталады?
- Аспан сферасы қандай негізгі деңгелектермен (шеберлермен) сипатталады?



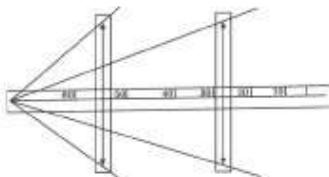
Жаттығу 2.1

- Нөлінің жұлдыздық шама бірінші жұлдыздық шамадағы жұлдыздан неше есе жарық?
- Темірқазық жұлдызының көрінерлік жұлдыздық шамасы 2,02, ал Веганың жұлдыздық шамасы 0,03. Осылардың қайсысы жарық және неше есе жарық?



Практикалық тапсырма

- 2.5-суретте көрсетілгендей қарапайым бұрыш өлшегіш күрал – астрономиялық таяқ жасап алындар. Ол өзара перпендикуляр орналасқан екі таяқшадан құралған. Ұзындығы 1 м болатын градустық өлшем белгілері салынған таяқшаның бір үшінде саңылауы 3–4 мм сақина (шайба) – қауауыш орналасқан, ол визир болып табылады. Оған көлденен әрі жылжымалы етіп орналастырылған таяқшаның екі үшінша шеге қағылған. Өлшегіш таяқшаның градустық шкаласы транспортир көмегімен анықталады. Ол үшін транспортирдің орталық нүктесі қауауыш-визирмен сойкестендірілуі керек.



Сурет 2.5.

2. Астрономиялық таяқша көмегімен α және β Үлкен аюдың, α және β Кіші аюдың, α Үлкен аю және β Кіші аюдың аралық бұрыштарын өлшеңдер. Бұл үшін қарауышты қозғе жақындастып, жылжымалы тақтайшаны өлшегіш бойымен жылжытуға отырып, оның үштариңдағы екі шегені аралық бұрыштың қашықтығы өлшеніп отырган екі жұлдызбен беттестіру қажет. Жылжымалы тақтайшаның өлшегіш бойында орналасуы бойынша дәптерге өлшенген бұрыштың мәнін жазып алындар.
3. α және β Үлкен аю жұлдыздарының, сонымен бірге α Үлкен аю және β Кіші аю жұлдыздарының бұрыштық арақашықтықтарын өлшеп, соңғы екі жұлдызы аралығы алғашқыларымен салыстырганда 5 есе үлкен болатынын тексеріңдер.
4. Мүмкіндігінше қалалардагы планетарийлерге экскурсияга барып немесе ауылдық жерлердегі тунгі аспандагы жұлдыздарды бақылап, халық арасында белгілі атаулары бар жұлдыздардың орналасуын тор дәптердің бетіне суреттерін салындар.



Фылым мен техниканың даму тарихынан

Ислам мәдениеті мен ғылыми гүлденген ортағасырда оның шығысында ғылыми үлкен өркениет қанат жайды. Халифаттың білімді де білікті әмірлері қоғамның мәдени деңгейін көтеріп, дамыта түсі үшін ғылым мен білімге көніл бөлді. Астрономия мен медицинаға басымдық берілді. Білімді де білікті әмірлердің алдынғы қатарында әл-Мамун мен Ұлықбек те бар еді. IX ғасырда Бағдатта әл-Мамун «Ақылдылар үйін» салып, оның жаңынан зәулім кітапхана мен обсерватория жасақтады. Бұл ғылыми орда Мысырдағы (Египеттегі) «Музейге» үкісас «Ғылымдар Академиясының» прототипі болды. Онда әртүрлі ұлттар мен діни конфессия екілдерінен шыққан ғалымдар философия, астрономия, медицина т.б. салалар бойынша зерттеулер жүргізілді. Мысалы, сферальық үшбұрыштарды шешу үшін ислам математиктері мен астрономдары IX–X ғасырларда сферальық тригонометрияның арнайы математикалық аппаратын жасады, әрі координаталардың түрленуін модельдейтін аспап – астролябияны ойлад тапты. Аспанның жылжымалы картасы астролябияның қазіргі жетілдірілген түрі болып табылады.

Әмір Темірдің немересі Ұлықбек 15 жасында Самарқан мен оның төңірегіндегі аймақтардың билігін қолына алды. Оның тұсында оку орындары (медреселер) көптеп салынды. Жастайынан атасының зәулім кітапханасында өз бетімен окуға қанықкан Ұлықбек нағыз ағартушы билеуші еді. 1420 жылы салынған медресенің ғимараттарында ол алғашқы университеттің негізін салып, ұстаздықта белгілі ғалымдарды, солардың ішінде көрнекті астрономдарды да көптеп тартты.



Сурет 2.6.
Ұлықбек квадрантпен
жұлдыздарды бақылау
үстінде

Біраз жыл өткеннен соң Самарқанға жақын жерден «Фылым Сарайы» деп атаған үлкен обсерватория салдырганнан кейін билікті тастап, ғылым жолына біржола түсті.

Обсерваториядағы ең басты аспап аса үлкен квадрант болатын. Оның бір белігі жерасты жартасты ойып қашалған жырада (траншеяда), ал қалған белігі сыртта орналастырылды. Доғаның сыртқы белігі Жер бетінен 20 метрге дейін зорайып, ал жер астында орналасқан белігі терендігі 11 метрге жетті (жерасты доғасының 57–80 градустар аралығын құрайтын белігі осы уақытқа дейін сақталған). Квадрант меридиан жазықтығында орнатылып, Күн мен Айдын, планеталар мен тірек жұлдыздардың шарықтауларын бақылау үшін және бұрыштық қашықтықтарын елшеу үшін қолданылды. Өлшеудердің дәлдігі 1°-ка дейін жетті. Серіз жыл бойы үзбей жүргізген байқаулардан кейін Ұлықбек 1018 жүлдіздың координаттарын көрсетіп, каталогтарын жасады, оған 700 жүлдіз бірінші рет енгізілді.

§9.

АСПАН КООРДИНАТАЛАРЫНЫҢ ЖҮЙЕЛЕРИ

1. Аспан координаталарының жүйелері астрономияда шырақтардың немесе басқа нысандардың аспан сферасындағы орналасу күйін сипаттау үшін қолданылады. Осы мақсатта бірнеше аспан координаталарының жүйелері жасалған. Олардың ішінде екі жүйе: *горизонттық (көкжиектік) координаталар жүйесі* мен *экваторлық координаталар жүйесі* жи қолданыс табады. Екі жүйеде де зерттелетін шырақтың немесе аспан сферасындағы кез келген нүктенің координаталары екі бұрыштық (немесе екі доғалық) шамалармен көрсетіліп беріледі. Аспан шырақтарының координаталары арнайы жабдықталған бұрыш өлшегіш аспаптардың жәрдемімен анықталады. Енді осы шамалардың аталған жүйелерде қалай анықталатынын көрсетейік.

2. Горизонттық координаталар жүйесінің С центрі жердегі бақылаушының түрган орнымен сойкестендіріледі (сурет 2.7). О шырақтың анықталатын координаталарын *h биіктік* немесе *z зениттік* қашықтық және *A азимут* деп атайды. Бұл жүйедегі негізгі жазықтық математикалық горизонт (көкжиек) болып табылады.



Сурет 2.7.

Горизонттық координаталар жүйесі



Сурет 2.8.

Экваторлық координаталар жүйесі

Шырақтың h биектігі деп горизонттан (көкжиектен) шыраққа дейінгі вертикаль дөңгелек дөгасының немесе горизонт жазықтыры мен шыраққа бағытталған сөуленің арасындағы α бұрыштың шамасын айтады. Биектіктер Z зенитке қарай 0° -тан $+90^\circ$ -қа дейінгі оң таңбалы шамалармен және Z' надирге қарай 0° -тан -90° -қа дейінгі теріс таңбалы шамалармен анықталады.

Шырақтың z зениттік қашықтығы деп зениттен шыраққа дейінгі вертикаль дөңгелектің дөгасының немесе тіктеуіш сызығы мен шыраққа бағытталған сөуленің арасындағы β бұрыштың шамасын айтады. Зениттік қашықтық 0° -тан 180° -қа дейін Z зениттен Z' надирге қарай анықталады.

Шырақтың A азимуты деп горизонттың оцтүстік S нүктесінен шырақтың вертикаль дөңгелегіне дейінгі дөғаның немесе шырақтың вертикаль дөңгелегінің горизонтпен қиылсысының мен талтүстік сызықтың арасындағы β бұрыштың шамасын айтады. Азимуттар аспан сферасының тәуліктік айналысына қарай, яғни S оцтүстік нүктеден батысқа қарай 0° -тан 360° -қа дейінгі шамалармен анықталады. Ал кейде азимуттар батысқа қарай 0° және $+180^\circ$ аралықтарында, шығысқа қарай 0° және -180° аралықтарында анықталады. (Геологияда азимуттарды анықтау N оцтүстік нүктесінен басталады).

Горизонттық координаталарды шырақтардың аспандары орналасулатын әр бақылаушының түрған орны мен уақытына сәйкес анықтайты. Сондықтан мұндай координаталарды жүлдыштық карталар мен атластарда қолданбайды. Жүлдыштық карталар мен атластарда негізінен экваторлық координаталар жүйесі қолданылады.

3. Экваторлық координаталар жүйесі негізгі жазық ретінде *аспан экваторының жазықтығын пайдаланады* (сурет 2.8). M шырақтың

анықталатын координаталарын δ еңстік бұрыши немесе оның дөгасы және $\alpha = t$ сағаттық бұрыш немесе оның дөгасы деп атайды.

Шырақтың δ еңсі деп еңстік дөңгелектің аспан экваторынан шыраққа дейінгі дөгасының ұзындығын немесе аспан экваторы жазықтығы мен шыраққа бағытталған сөүленің арасындағы бұрыштың шамасын айтады. Еңстің шамасы 0° -тан $+90^\circ$ -қа дейін өлемнің солтүстік полюсіне қарай және 0° -тан -90° -қа дейін өлемнің оңтүстік полюсіне қарай анықталады.

Шырақтың $\alpha = t$ сағаттық бұрыши деп аспан экваторының жоғарғы нүктесінен (яғни аспан экваторының аспан меридианымен қиылышу нүктесінен) шырақтың еңстік дөңгелегіне дейінгі дөғаның ұзындығын немесе аспан меридианы мен шырақтың еңстік дөңгелегінің арасындағы екі жақты бұрыштың шамасын айтады. Сағаттық бұрыштар аспан сферасының тәуліктік айналыс жағына қарай, яғни аспан экваторының жоғарғы нүктесінен батысқа қарай 0° -тан 360° -қа дейін бұрыштың өлшеммен немесе суретте көрсетілген 0 сағаттан 24 сағатқа дейін сағаттық өлшеммен анықталады. Сағаттық және бұрыштық өлшемдердің арақатынастары $\alpha = t$ теңдігі бойынша анықталады: $24 \text{ сағ} = 360^\circ$; $1 \text{ сағ} = 15^\circ$; $1 \text{ мин} = 15'$; $1 \text{ с} = 15''$; $1^\circ = 4 \text{ мин}$; $1' = 4 \text{ с}$.

Жұлдыздық карталар мен атластарда аспан шырақтары экваторлық координаталары бойынша тіркеледі. Аспанның жылжымалы карталары (жеке параптер) да осы координаталарға негізделіп жасалады.

4. Жұлдызды аспанның жылжымалы картасы белгілі бір орында жылдың кез келген күні мен тәуліктің әр сәтінде жұлдызды аспанның көрінісін анықтау мақсатында қолданылады. Картада екі беліктен: жұлдыздар картасы мен қондырма дөңгелектен тұрады. Картада жұлдыздар, шоқжұлдыздардың танымал бейнесі, олардың шегаралары, аспанның экваторлық координаталарының торы бейнеленген.

Картаның орталығында еңстік дөңгелектерінің радиалды сзықтар түріндегі көшірмелері қиылышады. Бұл нүкте – дүниенің солтүстік полюсі. Тура көтерілу мәндері карта жиегінің ішкі жағында сағат тілінің бағытымен әр 1 сағ сайын жазылған. Аспан экваторы (еңстігі 0°) және аспанның үш ендігі әр 30° сайын концентрлік шеңбермен сзызылып, бастапқы еңстік дөңгелегімен ($0 \text{ сағ} - 12 \text{ сағ} \text{ түзуі}$) қиылышқан тұстарында градуспен таңбаланған. Осы сандардың көмегімен аспан шырақтарының экваторлық координаталарының мәндерін жуықтай анықтауга болады.

Аспан экваторының ішкі жағында аспанның солтүстік жартышары, одан тысқары оңтүстік жартышарының 45° еңстікке дейінгі аймагы орналасқан.

Аспан экваторымен екі нүктеде, яғни көктемгі күн мен түннің тенесінде орналасқан.

лу нүктесінде $\alpha = 0$ сар, $\delta = 0^\circ$ қылышатын өрі орталық нүктесі дүние полюсімен сәйкес келмейтін шеңбер **эклиптика** деп аталады.

Жазғы күн тоқырау нүктесі солтүстік жартышарда эклиптиканың еңстік дөңгелегімен 6 сар мәнінде, ал қысқы күн тоқырау нүктесі оңтүстік жартышарда 12 сар мәнінде қылышқан тұста орналасқан.

Карта жиегін ала күнтізбелік айлар және күндер көрсетілген. Олар Күннің эклиптикадағы орнын анықтайды.

Қондырма дөңгелекте географиялық ендік мәндері жазылған сопақ пішінді түйік сыйықтар көрсетілген. Оның орны мен пішіні бақылаушының Жер бетінде орналасуына, яғни оның тұрган орнының географиялық ендігіне төуелді. Бақылаушының орналасу орнының ендігіне сәйкес бұрыштық белгі салынған қисық бойымен қызып алғанда, оның түйік жиегі осы орынның математикалық горизонтқа (көкжиегіне) сәйкес болады. Көкжиек бойында дүниенің «төрт бұрышы» белгіленген. Егер оңтүстік пен солтүстік нүктелерінің арасында жіп керілген болса, онда ол аспан меридианын көрсетеді. Осы жіптің орта шенін жуықтап зенит ретінде санауга болады. Оның дәл орны керілген жіптің Жер ендігі ϕ -ге тең аспан ендігімен қылышқан нүктесіне сәйкес келеді. Мысалы, Алматы үшін ($\phi = 43,25^\circ$) зениттің аспандагы орны картада $\delta = 43,25^\circ$ ендік шеңберін сыйып, сол шеңбердің талтүстік сыйықпен қылышқан нүктесін белгілеу арқылы анықталады. Қондырма дөңгелектің жиегі 24 сағ-қа, ал әр сағат 6 белікке белінген. Бұл дөңгелекте сағат сандарының мәні жергілікті уақыт бойынша белгіленген. Бақылау кезінде бұл жайт есте болу керек. Қондырма дөңгелектің ойылып алғынған жерін мәлдір қаразбен желімдеп жапсырып, онда талтүстік (меридиан) сыйыры мен зенит орнын белгілесе және картаны дүниенің солтүстік полюсі нүктесінен шегеге қондырса, жылжымалы карта қолдануға ыңғайлыш болады.

Жұлдызы аспанның жылжымалы картасының көмегімен әртурлі астрономиялық есептерді шеше аламыз. Берілген орындағы жұлдыздардың шығуы, батуы, жоғары және төмен шарықтауының, яғни көкжиектен ең биік және ең төмен орналасуының қай күні, қай уақытта өтетінін анықтауға болады. Мәселен, берілген күннің белгілі бір уақытында жұлдызы аспанның көрінісін анықтау үшін қондырма дөңгелегінің сағаттық жиегіндегі уақыт шамасы картаның жиегіндегі күн санымен сәйкестендіріледі. Осы кезде ойық ішінде аспанда көрінетін жұлдыздар пайда болады. Шарықтау шегінде талтүстік сыйық бойындағы жұлдыздардың дүниенің солтүстік полюсінің оңтүстік жағындағылары жоғары, ал оның солтүстік жағындағылары төменгі шарықтау сөтінде орналасады. Шығып келе жатқан жұлдыздар көкжиектің шығыс белігінде, ал батып бара жатқандары батыс белігінде орналасады.

5. Жұлдызды аспанның жылжымалы картасын (ЖАЖК) қолдануға мысал келтірейік. Қазақ халық астрономиясында кейбір жұлдыздар мен шоқжұлдыздардың шығу және бату заңдылықтарын тұжырымдайтын «жұлдыз» ережесі бар. Солардың бірінде Үркер, Ұшарқар (Таразы) және Сүмбіле «уш айда туып, бір айда батар» деп айтылады.

Осы ереженің растығын және оның қай мезгілде орындалатындығын ЖАЖК-ын қолданып тексерейік. Бұл ережеде аспан шырақтарының ең соңғы кешкі батуы мен таңтеренгі ең алғаш тууы туралы айтылған. Олар бақылаушының тұрған орнының географиялық ендігіне де тәуелді. Біз қондырма дәңгелекті әллипс пішінді қисықтың $\phi = 45^\circ$ мәніне сәйкес кесіп алып қолданамыз.

Қондырма дәңгелекті карта бетіне орналастырып, дәңгелекті жоғарыда аталған шырақтар оның ішкі жиегінің батыс түсында орналасқанша айналдырамыз. Сейтіп, сағаттық дәңгелектен және айлар мен күндер көрсетілген жиектен аталған шырақтар, жуықтан алғанда 5–15 мамыр аралығында, келесі ретпен: Үркер, Ұшарқар (Таразы) және Сүмбіле жергілікті уақыт бойынша 20 сағ кезінде бататынын анықтаймыз.

Қондырма дәңгелекті сағат тілінің қозғалу бағыты бойымен айналдыра отырып, бірінші болып Үркер туатынын байқаймыз. Үркердің жуықтан алғанда тууы – маусымның 23 күні жергілікті уақыт бойынша 2 сағ-та болады. Дәл осылайша Ұшарқар (Таразының) шамамен шілденің 27-де 3 сағ 25 мин-та, ал Сүмбіле 20 тамызда 3 сағ 5 мин-та туатынын анықтаймыз. Сондықтан қазақтар арасында «Сүмбіле туса су сүиды» деп күз маусымының басталғанын білдіреді.



Сұрақтар

1. Аспан координаталарының жүйелері не үшін қолданылады? Олар қалай аталады?
2. Горизонттық (кокжиектік) координаталар жүйесі деп қандай жүйені айтады? Координаталары қалай аталып белгіленеді? Қалай анықталады?
3. Экваторлық координаталар жүйесі деп қандай жүйені айтады? Координаталары қалай аталып, белгіленеді? Қалай анықталады?
4. Жұлдызды аспанның жылжымалы картасы не үшін жасалған? Оның негізіне қай өнірдің астрономдарының ғылыми және өнертапқыштық еңбектері алынған?
5. Әлемнің солтустік полюсі жылжымалы картада қай орында орналасқан? Аспан меридианының орнын картада қалай табуга болады?
6. Картадан берілген мекенжайдың зенит нүктесінің орнын қалай табуга болады?



Жаттығу 2.2

- Сириус жүлдізының Темірқазықтан бұрыштық қашықтығы 106° . Сириустың еңістік координатасының мәні оң бола ма, өлде теріс бола ма?
- Бұрыштық өлшемге айналдырыңдар: а) 6 сағ 24 мин; ә) 18 сағ 43 мин.
- Сагаттық өлшемге айналдырыңдар: а) $90^{\circ}30'$; ә) $105^{\circ}43'$.
- Жүлдіздардың аспан сферасының қай жартышарында орналасқанын анықтаңдар.



Практикалық тапсырма

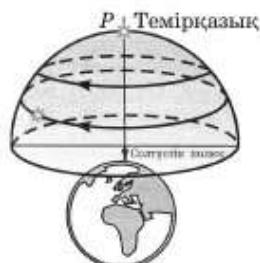
- Жүлдіздық картадан оқулықтағы қосымшада көлтірілген жүлдіздарды координаталары бойынша табыңдар.
- Жүлдіздық карта бойынша мына жүлдіздардың экваторлық координаталарын анықтаңдар: а) Орион; ә) α Лира. Алынған мәліметтерді қосымшадагы осы жүлдіздардың координаталарымен салыстырыңдар.
- ЖАЖК-ның көмегімен төменде көлтірілген шоқжүлдіздардың қайсылары өздерің тұратын орында батпайтынын анықтаңдар: а) Улкен аю; ә) Лира; б) Цефей; ғ) Аққу; д) Кассиопея; е) Жетекші.
- Оқулықта айтылған «жүлдіз» ережесін $\phi = 55^{\circ}$ ендіктегі қалай орындалатынын тексеріңдер. Нәтижесі 45° ендіктегі нәтижемен салыстырыңдар.
- ЖАЖК-ның көмегімен күн мен түннің тәцелу және тоқырау кездеріндегі экваторлық координаталарын, осы кездері Күннің шығу және бату уақытын анықтаңдар.

§10.

ӘРТҮРЛІ ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЕҢДІКТЕГІ АСПАН ШЫРАҚТАРЫНЫҢ КӨРІНЕРЛІК ҚОЗҒАЛЫСЫ

1. Бақылаушы шар пішінді Жер бетінде орналасқандықтан, жүлдізды аспан көрінісі оның тұрған орнының географиялық ендігіне байланысты әртүрлі болады. Географиялық ендік мәнінің байланысты шырақтардың тәуліктік параллельдері көкжиекке қатысты әртүрлі бұрышпен орналасады.

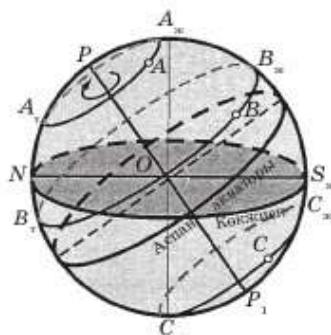
Жердің солтүстік P полюсінде орналасқан бақылаушыга аспан сферасының тек солтүстік жартышары, ал онтүстік полюсте оның онтүстік жартышары ғана көрінеді. Жер полюстерінде дүние өсі тік сызық бойымен сәйкес келеді. Жүлдіздардың тәуліктік параллельдері көкжиекке параллель орналасады (сурет 2.9), яғни барлық жүлдіздар батпайды және тумайды.



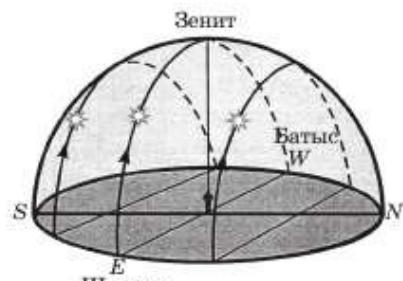
Сурет 2.9. Жүлдіздардың тәуліктік параллельдері

Бақылаушы солтүстік полюстен экваторға сапар шеккенде, жұлдызы-ды аспан көрінісі өзгеріп отырады. Дүниенің солтүстік полюсінің зенит-тен бұрыштық қашықтығы біртіндеп өседі. Осыған орай жұлдыздардың тәуліктік параллельдері горизонтқа (көкжиек) көлбей орналасады. Сейтіп, аспан экваторы мен көкжиек жазықтарының арасындағы бұрыш та өсетін болады; соның салдарынан аспан сферасының экваторға таяу бөлігіндегі жұлдыздар көкжиектен шығып, көкжиекте бататын болады, мысалы, В жұлдызы (сурет 2.10).

Бақылаушы Жер экваторына жеткенде, дүние полюстері көкжиекке (оның тұра солтүстік және оңтүстік нүктелеріне) дәл келеді. Ал аспан экваторы зенит арқылы өтеді. Жұлдыздардың қозғалысы аспан экваторына параллель болғандықтан, олар шығыс көкжиектен оған тік-бұрыш жасай көтеріліп, сол қалпында батыс көкжиекке төмендейді (сурет 2.11). Экватордағы бақылаушы аспаннан оның екі жартышарының барлық жұлдыздарын көре алады.



Сурет 2.10



Сурет 2.11

2. Шырақтардың шарықтауы (кульминациясы). Шырақтардың қозғалысы барысында көкжиектен ең жоғары және ең төмен орналасуы олардың **шарықтауы** деп аталады. Шырақтың көкжиектен ең биік және ең төмен орналасуын тиісінше **жоғарғы** және **төменгі шарықтауы** дейді. Сурет 2.10-да жұлдыздардың орта ендікте бақыланатын тәуліктік қозғалысының траекториялары көрсетілген. Мұнда А жұлдызы – батпайтын жұлдызы. Оның жоғарғы ($A_{\text{ж}}$) және төменгі ($A_{\text{т}}$) шарықтауы көкжиек үстіндегі болса, В жұлдызының тек жоғарғы шарықтауы ғана көкжиек үстіндегі болады. Ал С жұлдызы – бұл орында тумайтын жұлдызы. Оның жоғарғы және төменгі шарықтауы көкжиек астында болады. Осылайша шырақтың көкжиектік координаталары тәулік ішінде үздіксіз өзгеріп отырады.


Сұрақтар

- Жұлдызды аспаниның тәуліктік қозғалысының көрінісі бойынша бақылаушы өзінің Жердің солтүстік полюсінде орналасқанын анықтай ала ма? Неге?
- Бақылаушы экваторда тұрганда дүние полюсі көкжиектің қай нүктесінде орналасады?
- Аспан меридианын жұлдыздар тәулігіне иеше рет кесіп өтеді?
- Шырақтардың шарықтауы ұғымына сүйеніп, шығатын немесе бататын, шықпайтын және батпайтын жұлдыздардың анықтамасын беріңдер.


Практикалық тапсырма

- Жұлдызды картадан Үлкен аю, Кіші аю, Кассиопея, Аққу, Арystan, Пырақ, Сыршы және Орион шоқжұлдыздарын тауып, олардың пішіндерін естерінде сақтап, дәптерге сыйбаларын салындар.
- ЖАЖК-сын бақылау сабагы өтетін уақыт пен күнге келтіріп, осы уақытта 1-пункттегі шоқжұлдыздардың қайсысы көкжиектен жоғары орналасқандығын, қайсысы шығып немесе батып келе жатқанын және шарықтауына жеткенін анықтаңдар.

§11.
ЖЕРГІЛІКТІ, БЕЛДЕУЛІК ЖӘНЕ БҮКІЛӨЛЕМДІК УАҚЫТ

1. Үлкен және кіші уақыт аралықтарын өлшеу үшін астрономиялық құбылыстармен тығыз байланысты табиғи бірліктер қолданылады. Уақыттың негізгі табиғи бірліктері – *тәулік*, *ай* және *жыл*. Бұлардың алғашқысы күн мен түннің алмасуына, екіншісі Ай жүзінің (фазасының) өзгеруіне, ал соңғысы жыл маусымдарының ретті түрде алмасуына байланысты.

Тәулік дегеніміз – Жердің аспандары белгілі бір санақ денесіне қа-тысты өз өсінен толық бір айналым жасауға кететін уақыт аралығы. Мұндай дене ретінде Күн немесе кез келген жұлдыз алынуы мүмкін. Олай болса, біз *күн тәулігі* және *жұлдыз тәулігі* деген ұғымдарды ажыратады.

2. Нақты және орташа күн тәулігі. Күн шарығының (дискісінің) орталық нүктесінің жоғарғы шарықтау сөті *нақты талтұс* деп, ал төменгі шарықтауы *нақты тұн ортасы* деп аталады.

Күннің екі аттас шарықтау аралығы *нақты күн тәулігі* деп аталады. Бірақ мұндай тәуліктің ұзақтығы жыл бойы тұрақты болмайды. Бұл Күннің көрінерлік қозғалысы экватор емес, эклиптика бойымен өтуінен туындаиды. Сондықтан күнделікті өмірде ұзақтығы тұрақты 24 сағ болатын *орташа күн тәулігі* пайдаланылады.

Күн тәулігінің басы түн ортасынан, яғни Күннің төменгі шарықтауынан басталады.

3. Жергілікті, белдеулік және бүкіләлемдік уақыт. Күннің меридиан арқылы өту сөті, бақылаушы орнының географиялық бойлығына тәуелді. Күннің жергілікті меридиан арқылы өту сөті бізге *жергілікті орынның күн уақытын береді*. Бұл уақыт тек берілген географиялық меридианда ғана қолданылатындықтан, күнделікті өмірде *белдеулік уақытты* қолдануыңғайлы. Бұл үшін Жер беті полюстерді қосатын сзықтар көмегімен 24 сағаттық *белдеулерге* белінген. Әр сағаттық белдеу бойлық бойымен 15° -қа созылады. Әр белдеудің ішінде оның орталық меридианындағы орташа күн уақыты осы аймақтың белдеулік уақыты ретінде алынады.

Гринвич обсерваториясы (Ұлыбританияда) орналасқан меридиан *нөлінші* меридиан ретінде қабылданған және ол белдеу нөлінші сағаттық белдеу (сурет 2.8) болып табылады. Гринвич меридианындағы жергілікті орташа күн уақыты *бүкіләлемдік уақыт* ретінде қабылданған. Бірінші сағатқа (1-сағ) сәйкес келетін белдеудің ($n = 1$) орталық меридианы Гринвич меридианынан 15° шығысқа қарай орналасқан. Басқа сағат белдеулерінің де бастапқы меридиандары осылай анықталады. Ал олардың екі жақ шегаралары мемлекеттік және әкімшілік шегаралары бойынша немесе табиги аймақтармен (өзен, тау жоталары) белінген. Қазақстанның аумағы арқылы Гринвичтен есептегенде 4-сағаттық (мысалы, Атырау) және 5-сағаттық (мысалы, Оскемен) белдеулер өтеді.

Бүкіләлемдік уақытты (T_0) және берілген орынның белдеуінің реттік санын (n) біле отырып, белдеулік уақытты табу оңай:

$$T_n = T_0 + n. \quad (2.1)$$

1930 ж. көктемде үкімет декреті бойынша КСРО аумағында *декреттік уақыт* енгізілді: барлық сағаттық белдеулерде сағат тілі тұрақты түрде бір сағатқа ілгері жылжытылды. Кейбір елдерде декреттік уақытты жаз айларында тағы 1 сағ ілгері жылжыту қабылданған.

Алматы және Нұр-Сұлтан уақыты (5-сағаттық белдеу) бүкіләлемдік уақыттан 6 сағат алда.

$$T_5 = T_0 + (n + 1) = T_0 + 6 \text{ сағ.}$$

Географиялық бойлығы λ болатын орындағы T_λ жергілікті орташа күн уақыты бүкілөлемдік уақытқа сол бойлықтың уақыт бірлігіндегі мөнін қосу арқылы анықталады:

$$T_\lambda = T_0 + \lambda. \quad (2.2)$$

Сұрақтар

- Нақты және орташа күн тәуліктерінің бір-бірінен айырмашылығы неде?
- Бүкілөлемдік уақыт жер бетінде қай орынның жергілікті уақытына сәйкес келеді?
- Қазақстан жері арқылы қанша және қандай сағаттық белдеулер өтеді?
- Нұр-Сұлтан уақыты ендік мәні қанша градус болатын орынның жергілікті уақытына дәл келеді?
- Жергілікті Алматы және Нұр-Сұлтан уақыттары бірдей ме? Осы қалалардагы жергілікті уақыттардың айрымын есептеу үшін бізге нени білу керек?
- Алматы мен Нұр-Сұлтанда белдеулік уақыт бірдей ме?

Жаттығу 2.3

- Алматы мен Нұр-Сұлтаниң 5-сағаттық белдеуде орналасқанын біле отырып, Алматы немесе Нұр-Сұлтан уақыты қай бойлықтың жергілікті уақытына сәйкес келетінін есептеп шыгарындар.
- Қазақстан Республикасының ең шығыс шегарасы $\lambda = 89^{\circ}20'$ бойлық арқылы, ең батыс шегарасы $\lambda = 46^{\circ}30'$ бойлық арқылы өтеді. Осы екі географиялық орындардың жергілікті орташа күн уақыттарының айрымын табындар.
- Нұр-Сұлтан уақыты бойынша сағат 18 сағ 24 мин болғанда, географиялық ендіктері $\lambda = 71^{\circ}25'$ және $\lambda = 76^{\circ}55'$ болатын Нұр-Сұлтан мен Алматы қалаларының жергілікті уақыттарын есептендер.

§12.

КҮН ЖҮЙЕСІНДЕГІ ПЛАНЕТАЛАР
ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ЗАҢДАРЫ

1. Поляк ғалымы *Николай Коперник* (1473–1543 жж.) езінің Күн жүйесінің гелиоцентрлік моделін (ұлғасын) жасағанда ертеде қалыптасқан планеталардың шеңбер бойымен тұрақты жылдамдықпен қозғалатыны туралы қагидаға сүйенді. Алайда неміс астрономы *Иоганн Кеплер* (1571–1630 жж.), Дания астрономы Тихо Брагенің (1546–1601 жж.) ете мүқият жасаған Марс қозғалысына қатысты бақылау жұмыстарының нәтижелерін пайдаланып, планеталардың орбиталарының эллипс болатынын анықтады. Сейтіп, ол планеталардың эллипс бойымен қозғалысының үш заңын ашты.

2. Кеплердің бірінші заңы: *барлық планеталар Күнді эллипс бойымен айналады, оның фокустарының бірінде Күн орналасады.*

Эллипстің екі симметрия өсі бар: үлкені $AA_1 = 2a$, кішісі $BB_1 = 2b$. Мұндағы a – цікен жарты өсі, b – кіші жарты өсі деп аталады (сурет 2.12). Оның F_1 және F_2 екі фокусы симметрия центрі болып табылатын О нүктесінен $OF_1 = OF_2 = c = a^2 - b^2$ қашықтықта орналасқан.

Эллипстің негізгі қасиеті: эллипстің кез келген нүктесінен фокустарга дейінгі қашықтықтардың қосындысы ердайым цікен өстің қзындығына тең:

$$MF_1 + MF_2 = 2a = \text{const.}$$

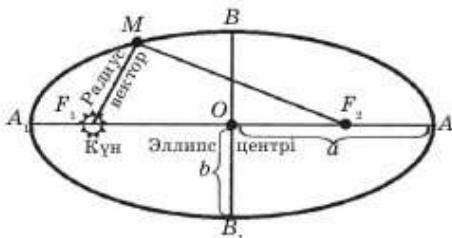
Эллипстің шеңберден айырмашылығы $e = c/a$ қатынасы арқылы анықталады. Бұл қатынас эллипстің эксцентриситеті деп аталады. Эксцентриситет негүрлым үлкен болса, эллипстің шеңберден айырмашылығы да соғурлым көп болады. Егер $c = 0$ болса (эллипстің фокустары центрімен беттеседі), онда эллипс радиусы a болатын шеңберге айналады.

Орбитаның Күнге ең жақын нүктесін *перигелий* (грек. *peri* – таяу, *helios* – Күн), оның ең алыс нүктесі *афелий* (грек. *apo* – алыс) деп аталады. Эллипстің үлкен a жарты өсі планетадан Күнге дейінгі орташа қашықтыққа тең. Жерден Күнге дейінгі орташа қашықтық Күн жүйесінде қолданылатын қашықтықтың өлшем бірлігі ретінде қабылданған. Оны *астрономиялық бірлік* (а.б.) деп атайды: 1 а.б. = 149 600 000 км.

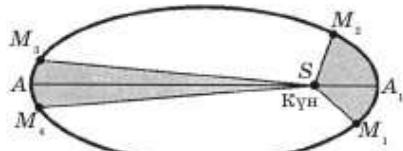
Жердің табиғи серіргі Айдың және кез келген жасанды серіктердің Жерге ең таяу келетін нүктесі *перигей* (грек. *Гея* – Жер), ал ең алыс нүктесі *апогей* деп аталады.

3. Кеплердің екінші заңы: *планетаның радиус-векторы бірдей уақыт аралығына шамалары бірдей аудандар сыйып шыгады.*

Сурет 2.13-ке назар аударайық. Мұндағы боялған екі аудан бір-біріне тең, ал деңенің бірдей уақыт аралығында жүріп өткен жолдары, яғни M_1M_2 және M_3M_4 дөғаларының ұзындықтары бірдей емес. Радиус-вектор r негұрлым кіші болса, дуга соғұрлым ұзын болады, яғни планетаның бұл орындағы жылдамдығы да үлкен. Планеталар ең үлкен жылдамдықпен перигелийде, ал ең кіші жылдамдықпен афелийде қозгалады.



Сурет 2.12



Сурет 2.13

4. Кеплердің үшінші заңы: *кез келген екі планетаның Күнді айналу периодтары квадраттарының қатынасы олардың орбиталарының үлкен жарты өстөрінің кубтарының қатынасына тең болады:*

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}, \quad (2.3)$$

мұндағы: a_1 мен a_2 – екі планетаның үлкен жарты өстөрі; T_1 мен T_2 – олардың айналу периодтары.

Кеплер заңдарын тек Күн жүйесі деңелерінің қозғалыстарына ғана емес, сонымен қатар барлық аспан деңелері жүйелерінің қозғалыстарына да қолдануға болады.



Сұрақтар

1. Кеплердің бірінші заңы қалай түжірымдалады?
2. Кеплердің екінші заңы қалай түжірымдалады?
3. Кеплердің үшінші заңы қалай түжірымдалады және қандай формуламен сипатталады?
4. Планетаның орбита бойымен ең шапшаң және ең баю қозғалатын нүктелерін атаңдар.
5. Планета афелийден перигелийге орын ауыстырында, оның жылдамдығының мөні қалай өзгереді?



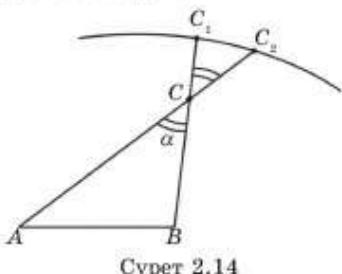
Жаттығу 2.4

- Күнді толық бір айналып шығу үшін Уранға 84 жыл қажет. Ол Күннен Жермен салыстырганда неше есе алғы орналасқан?
- Юпитердің үлкен жарты өсі 5 а.б. Оның Күнді айналу периоды неше жыл?
- Марс орбитасыңың үлкен жарты өсі 1,5 а.б. Оның Күнді айналу периоды қандай?

§13.

КҮН ЖҮЙЕСІ ДЕНЕСІНЕ ДЕЙІНГІ АРАҚАШЫҚТЫҚТА
ПАРАЛЛАКС ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ

1. Жұлдыздар бізге бірдей қашықтықта орналасқандай болып көрінеді. Ең жақын деген жұлдыздың жарығы бізге тек 4,3 жылда жетеді. Ал алдырық орналасқан жұлдыздардың жарығы бізге миллиондаған жылдардан кейін жетеді. Сондықтан алдың қашықтықтағы жұлдыздардың Жерден қашықтықтарын есептеу оңайга соқпайды. Дегенмен Жерге біршама жақын аспан денелеріне, соның ішінде Күн жүйесінің денелері мен кейір таяу жұлдыздарға дейінгі қашықтықты бір-бірінен алшақ екі орыннан бақылау арқылы анықтауға болады. Бұл тәсіл астрономияда *параллакс тәсілі* деп аталады. Бақылау нүктесінің орны аудиастырылған кезде қарастырылатын дененің орнының өзгеруі *параллакстық ығысу* деп аталады.



Сурет 2.14

С денесін A және B нүктелерінен бақылайық (сурет 2.14). Оның аспан сферасындағы проекциялары C_1 және C_2 нүктелерімен анықталсын. Онда C денесін екі нүктеден бақылаған кездегі параллакстық ығысу α бұрышымен өлшенеді. Бұл бұрыш *параллакс*, ал AB кесіндісі *базис* деп аталады. Күн жүйесінің денелеріне дейінгі қашықтықты анықтаганда, базис ретінде Жер радиусы алынады.

Шынында да, Жердің тәуліктік айналысы кезінде бақылаушы Жер центріне қатысты бірде оның бір жағында, бірде екінші жағында болады. Осының салдарынан Күн жүйесі денелерінің аспан сферасындағы бақыланатын орны біршама өзгереді. Бұған сурет 2.15 бойынша көз жеткізуге болады. Аспан денесінен қарағанда көру бағытына перпендикуляр орналасқан Жер радиусы көрінетін бұрыш r *қөкжиектік параллакс* деп

аталады. OSC үшбұрышынан (Ай орнында кез келген Күн жүйесінің денесі болуы мүмкін) Күн жүйесінің денесіне дейінгі қашықтық мына формула бойынша анықталады:

$$D = \frac{R_{\oplus}}{\sin p}, \quad (2.4)$$

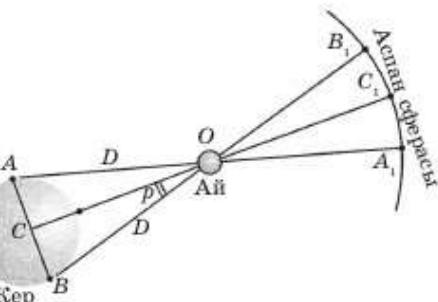
мұндағы: $R_{\oplus} = 6378$ км – Жер радиусы.

Ай Жерге ең жақын орналасқан аспан денесі болғандықтан, оның параллаксы ең үлкен шама $p = 57' \approx 1^\circ$.

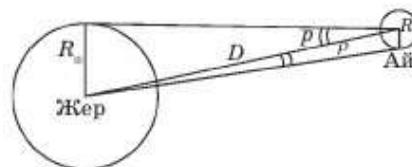
Параллакс нәтижесінде Айдың шығуы мен батуына байланысты көлесі салдар туындайды. Сурет 2.15-ке сәйкес экватордың A нүктесіндегі бақылаушы Айдың шығуын, ал B нүктесіндегі бақылаушы осы сәтте Айдың батуын көреді. Өрі A нүктесіндегі бақылаушы B нүктесіндегі бақылаушымен салыстырғанда Айдың жүлдіздарға қатысты шамамен «солға» қарай 2° -қа ығысқанын көреді. Сондықтан астрономиялық жылнамаларда көрсетілген уақытпен салыстырғанда параллакс нәтижесінде Ай 2 минутқа кеш шығып, сонша уақыт ерте батады.

2. Күн жүйесі денелерінің бұрыштық өлшемдерін, яғни олардың Жер бетіндегі бақылаушыға қандай бұрышпен көрінетінін, әдетте, арнаулы телескоптың бақылау көмегімен анықтайты. Аспан шырағының ρ бұрыштық радиусын және оған дейінгі D қашықтықты біле отырып, оның R радиусын есептеп шыгаруға болады (сурет 2.16). $R = D \sin \rho$. Шыраққа дейінгі ρ қашықтық $D = \frac{R_{\oplus}}{\sin \rho}$ формуласымен анықталатынын ескерсек, онда

$$R = D \sin \rho = \frac{R_{\oplus}}{\sin \rho} \sin \rho$$



Сурет 2.15



Сурет 2.16

Ал ρ және p бұрыштары ете кіші болғандықтан, синус функцияларының мәндері бұрыштардың мәндеріне тең болады:

$$R = \frac{R_{\oplus} \rho}{p}. \quad (2.5)$$

Есеп. Күннің бұрыштық радиусы $16'$ болса, онда оның сзықтық радиусы Жердің радиусынан неше есе артық? Күннің көкжиектік параллаксы $p = 8,8''$.

Берілгені:

$$\rho = 16'$$

$$p = 8,8''$$

Т/к: R - ?

Шешуі:

$$R = \frac{R_{\oplus} \rho}{p}; R = \frac{(16 \cdot 60)''}{8,8''} R_{\oplus} \approx 109 R_{\oplus}.$$

Жауабы: $R \approx 109 R_{\oplus}$.



Сұрақтар

- Параллакстық ығысу құбылышының мәні nedе?
- Параллакс төсілін қолданып, алystагы денеге дейінгі қашықтықты қалай анықтауга болады?
- Шырақтың көкжиектік параллаксы дегеніміз не?
- Планетаға дейінгі қашықтық пен көріну бұрышы белгілі болса, оның диаметрін қалай анықтауга болады?



Жаттығу 2.5

- Жер радиусының өлшемі ($R_{\oplus} = 6378$ км) және Ай параллаксының мәнін біле отырып, Ай радиусын есептеп шыгарыңдар.
- Күн мен Айдың бұрыштық өлшемдерін бірдей деп есептеп, олардың көкжиектік параллакстарын біле отырып ($8,8''$ және $57'$), Күн радиусы Ай радиусынан неше есе үлкен екенін есептеп шыгарыңдар.
- Сатурн сақиналары $1,3 \cdot 10^9$ км қашықтықтан $40''$ бұрышпен көрінсе, олардың сзықтық диаметрі қанша болғаны?
- Күннің бұрыштық диаметрі $32'$, сзықтық диаметрі Жердіңнен 109 есе үлкен. Диаметрі Жер диаметріне тең планета бізге қандай қашықтықтан осындай бұрышпен көрінер еди?
- Марстың Жерге мейлінше жақын орналасуы кезіндегі ($r = 5,6 \cdot 10^7$ км) бұрыштық диаметрі $25''$. Оның сзықтық диаметрі қандай?
- Жұлдыздың жылдық параллаксы $0,5''$. Бұл жұлдыз бізден Күнмен салыстырганда неше есе алты қашықтықта орналасқан?
- Альтайр жұлдызының параллаксы $0,12''$. Осы жұлдыздарға дейінгі қашықтықты парсек, жарық жылы, астрономиялық бірлік және километр мәнінде анықтаңдар.

II тараудагы ең маңызды түйіндер

- *Аспан сферасы* – радиусы анықталмagan жорамал сфера.
- *Шоқжұлдыз* – жұлдыз шоғырларын қамтитын шегарасы анықталған аспан сферасының белгі.
- *Горизонттық координаталар* жүйесінде шырақтың орны оның *A* азимуты мен *h* биіктігі арқылы анықталады.
- *Экваторлық координаталар* жүйесінде шырақтың орны оның *δ* еңістік және *α* тұра көтерілумен анықталады.
- *Жұлдызды аспанның жылжымалы картасы (ЖАЖК)* əртүрлі астрономиялық бақылаулар мен есептерді шешуде қолданылатын құрал.
- *Аспан сферасының тәуліктік айналуының көрінісі* бақылаушы орнының географиялық ендігіне байланысты.
- *Шырақтардың шарықтауы* деп олардың көкжиектен ең жоғарғы және төмен орналасуын айтады.
- Кеплердің бірінші заңы: *барлық планеталар Күнді эллипс бойымен айналады, оның фокустарының бірінде Күн орналасады.*
- Кеплердің екінші заңы: *планетаның радиус-векторы бірдей уақыт аралығына шамалары бірдей аудандар сзызып шыгады.*
- Кеплердің үшінші заңы: *кез келген екі планетаның Күнді айналу периодтары квадраттарының қатынасы олардың орбиталарының үлкен жарты өстірінің кубтарының қатынасына тең болады:*

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

III ТАРАУ**ДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ****ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:**

- ➡ инерция, инерттілік және инерциялық санақ жүйесі ұғымдарының мағынасын түсіндіру;
- ➡ Ньютоның бірінші заңын тұжырымдау және оны есептер шығаруда қолдану;
- ➡ ауырлық күші, серпімділік күші және үйкеліс күші табиғатын түсіндіру;
- ➡ Ньютоның екінші заңын тұжырымдау және оны есептер шығаруда қолдану;
- ➡ Ньютоның үшінші заңын тұжырымдау және оны есептер шығаруда қолдану;
- ➡ Бүкіләлемдік тартылыс заңын тұжырымдау және оны есептер шығаруда қолдану;
- ➡ үдеумен қозғалған дененің салмағын анықтау;
- ➡ салмақсыздық күйді түсіндіру;
- ➡ бірінші ғарыштық жылдамдықтың формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ➡ ғарыш аппараттарының орбиталарын салыстыру;
- ➡ тартылыс өрісіндегі дененің қозғалысын сипаттайтын шамаларды анықтау.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде ұзақ сақталуға тиісті мына физикалық үғымдар қарастырылады: «инерция», «инерциялық санақ жүйесі», «ауырлық, серпімділік және үйкеліс күштері», «Ньютоның бірінші заңы», «Ньютоның екінші заңы», «Ньютоның үшінші заңы», «Бүкіләлемдік тартылыс заңы», «үдеу», «дененің салмағы», «салмақсыздық», «бірінші ғарыштық жылдамдық», «ғарыш аппараттары».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Инерция	Инерция	Inertia
Инерциялық санақ жүйесі	Инерциальная система отсчета	Inertial reference system
Ауырлық, серпімділік және үйкеліс күштері	Силы тяжести, упругости и трения	Gravity, elasticity and friction forces
Ньютоның бірінші заңы	Первый закон Ньютона	Newton's first law
Ньютоның екінші заңы	Второй закон Ньютона	Newton's second law
Ньютоның үшінші заңы	Третий закон Ньютона	Newton's third law
Бүкіләлемдік тартылыс заңы	Закон Всемирного притяжения	Law of Universal gravitation
Үдеу	Ускорение	Acceleration
Дененің салмағы	Вес тела	Body weight
Салмақсыздық	Невесомость	Weightlessness
Бірінші ғарыштық жылдамдық	Первая космическая скорость	The first cosmic speed
Ғарыш аппараттары	Космические аппараты	Spacecraft

§14.

НЬЮТОННЫҢ БІРІНШІ ЗАҢЫ.
ИНЕРЦИЯЛЫҚ САНАҚ ЖҮЙЕЛЕРІ

1. Механиканың динамика деп аталатын екінші белімі денелердің қозғалысының туғызатын себептерін анықтап, олардың қозғалыс заңдарын зерттейді.



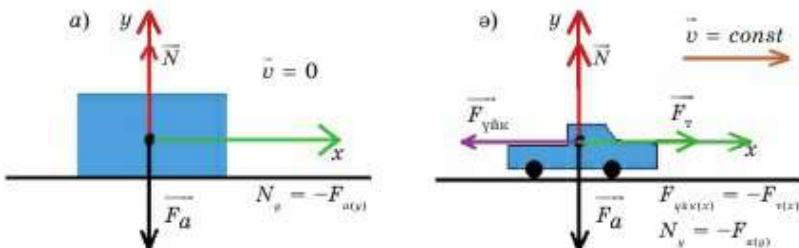
Исаак Ньютон
(1642–1727)

Ағылшынның ұлы ғалымы Исаак Ньютон өзіне дейінгі жаратылыстару және математика ғылымдарының жетістіктеріне сүйене отырып, денелердің өзара әрекеттесу заңдарын теориялық зерделеу жолымен қорытындылаады. Оның ашқан жаңалықтары 1687 жылы жарияланған «Табиғат философиясының математикалық бастаулары» деп аталатын еңбегінде жарияланды. Оған Ньютонның үш заңы енді. «Ньютон заңдары» деген атаумен физика ғылымының даму тарихына енген бұл заңдардың қатарын Бүкіләлемдік тартылыш заңы толықтырады.

2. Ньютон заңдарын *классикалық механика* заңдары деп те атайды. Өйткені бұл заңдар ғасырлар бойы тәжірибеде жинақталған деректердің жалпылама қорытындысы болып табылады. Мысалы, Ньютонның бірінші заңының негізін, 7-сынып физикасында айтқанымыздай, өмірлік тәжірибелерде байқалған «инерция» құбылыстары құрайды.

Инерция деп денеге басқа денелердің әрекет ететін күштері бірін-бірі тендерген жағдайда сол денениң тыныштық немесе қозғалыс жылдамдығын сақтау құбылысын айтады.

Инерция құбылыстары байқалатын барлық жағдайларда денеге әрекет ететін күштер бірін-бірі тендереді де, олардың қорытқы, яғни тендерекетті күші нөлге теңеледі: $\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \mathbf{0}$. Мысалы, төмендегі суреттерде



Сурет 3.1. а) тыныштық инерциясы (дене тыныштықта тұр);
ә) қозғалыс инерциясы (машина тұрақты жылдамдықпен қозғалады)

көрсетілген тыныштықта тұрған денеге әрекет ететін ауырлық күші мен нормаль қысым күші бірін-бірі теңгеріп тұр (сурет 3.1, а). Сол сияқты бірқалыпты тұзусызықты қозгалып бара жатқан машинаға әрекет ететін төрт күш те бірін-бірі теңгереді (сурет 3.1, ә).

3. Ең алғаш 1632 жылы инерция заңын Галилео Галилей түйіндейді. Ньютон Галилейдің түйіндеген қорытындысына жалпылама сипат беріп, динамиканың негізгі заңдарының қатарына қости. Физика тарихына Ньютоның бірінші заңы деген атаумен енген бұл заң жалпы түрде байлайша тұжырымдалады:

Егер денеге басқа денелер әрекет етпесе немесе олардың әрекеттері теңгерілген болса, онда дene не тыныштықтагы күйін, не тұзусызықты бірқалыпты қозгалысын сақтайды.

4. Тыныштықтагы денені қозгалысқа келтіруге немесе қозгалыстағы дененің жылдамдығын өзгертуге тырысқан жағдайда оның қарсыласу қасиеті инерттілік деп аталады.

Дененің инерттілігінің өлшемі *масса* болып табылады. Дененің масасы үлкен болған сайын ($P = mg$) оны орнынан қозгалту немесе қозгалыстағы денені тоқтату, яғни жылдамдығын өзгерту қынға согады.

5. Ньютоның бірінші заңының ең басты ғылыми ерекшелігі *инерциялық санақ жүйесін* енгізу болып табылады.

Қандай да бір санақ жүйесінде тыныштықта тұрған немесе бірқалыпты тұзусызықты қозгалатын денеге әрекет ететін күштер бірін-бірі теңгеріп тұратын болса, онда бұндай санақ жүйесі инерциялық санақ жүйесі деп аталады.

Инерциялық санақ жүйесі анықтамасында көрсетілген шарт Ньютоның бірінші заңының (немесе Галилейдің инерция заңының) ең басты айғары болып табылады. Ендеше, қысқа түрде инерциялық санақ жүйесіне мынадай анықтама бере алымыз:

Инерциялық санақ жүйесі деп Ньютоның бірінші заңы, яғни инерция заңы орындалатын жүйені айтады.

Инерциялық санақ жүйесімен салыстырғанда белгілі бір тұрақты жылдамдықпен ($\bar{v} = \text{const}$) үдеусіз ($\bar{a} = 0$) қозгалатын басқа жүйелердің барлығы да инерциялық санақ жүйелері болып табылады. Ньютон заңдары инерциялық санақ жүйелеріндеған орындалады.



Сұрақтар

- Механиканың динамика бөлімі қандай сұраққа жауап іздең, нені зерттейді?

- Инерция деп денениң қандай қасиетін айтады? Инерция құбылысы байкалу үшін қандай шарт орындалады?
- Ньютоның бірінші заңы неге инерция заңы деп аталады және ол қалай тұжырымдалады?
- Инерттілік деп денениң қандай қасиетін айтады және ол қандай шамамен сипатталады?
- Инерциялық санақ жүйелері деп қандай жүйелерді айтады?

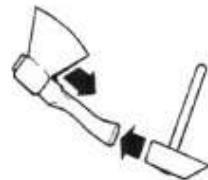


Жаттығу 3.1

- Велосипед тасқа тірелгенде (сурет 3.2) оны теүіп келе жатқан бала алға қарай құлады. Неге осылайша құлады? Қандай жағдайда құламайтын еді?
- Балтансың сабын балгамен үрганда (сурет 3.3) балта неге кері бағытта қозгалады?
- Егер тайгақ жолда адам алға, артқа, солға және оңға қарай құласа, онда оның аяғы сәйкесінше қай бағыттарға қарай таяды?
- Горизонталь жолда қозгальтышы жұмыс істеп тұрған машина бірқалыпты тұзусызықты қозгалып келеді. Машинаға қанша күш ерекет етеді? Бұл жағдайда Ньютоның 1-заңы орындала ма?
- Санақ жүйесі вагонмен байланысқан. Төмендегі жағдайларда вагон қандай санақ жүйесі бола алады: а) вагон перронда тұр; ә) вагон бірқалыпты қозгалыс жылдамдығын баяулатып, вокзалға жақында пайдаланып, эксперименттік зерттеулер жүргізіндер.



Сурет 3.2



Сурет 3.3



Эксперименттік зерттеу тапсырмалары

- Төмендегі көріністегі (сурет 3.4) қурал-жабдықтарды пайдаланып, эксперименттік зерттеулер жүргізіндер.



Сурет 3.4

- Байқалған құбылыстарды сипаттап, жазбаша түрде теориялық талдаулар жасандар.

§15.

МЕХАНИКАДАҒЫ КУШТЕР

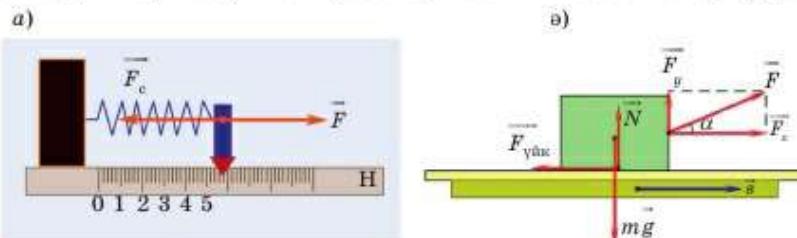
1. 7-сынып физикасында күш үғымына қысқаша тоқталып, кейбір механикалық күштерді (ауырлық, серпімділік, үйкеліс күштерін) қарастырган едік. 8-сынып физикасында зарядтардың төңірегінде туындастынын электр өрісі және олардың осы өріс арқылы өзара әрекеттесу күші (Кулон күші) туралы айтқанбыз. Жалпы күш туралы үғымды, солардың ішінде механикалық күштер туралы алғашқы мағлұматтарды Ньютон ашқан заңдар, әсіресе Бүкіләлемдік тартылыш заңы толықтыра түседі. Ньютон заңдарына және 7-8-сыныптарда алған білімдерімізге сүйеніп, күш үғымы туралы тереңірек сөз қозғаймыз.

Күш деп берілген деңеге басқа деңелердің немесе әртүрлі өрістердің әрекеттерінің сандық өлшемі болатын векторлық шаманы айтады.

Денеге әрекет ететін күш туралы айтқанда Ньютон заңдары мынадай талап қояды: түсken күш берілген деңениң күйін өзгертуі керек. Мұндай жағдайда деңениң күйінің өзгеруі деп оның жылдамдығының Δv шамасына өзгеруін немесе деформациялануын айтады. Ал жылдамдықтың

Δv шамасына өзгеруі үдеуге тұра пропорционал $(a = \frac{\Delta v}{t})$. Ендеше, *күш – деңеге үдеу түгизатын себеп* болып табылады. Сонымен, деңеге үдеу беретін немесе оны деформациялайтын күш қана әрекет ететін күш деп есептеледі. Күшті \vec{F} таңбасымен белгілейді. Халақаралық бірліктер жүйесінде күш, 7-сынып физикасында айтқанымыздай, **ニュトンмен (N)** өлшенеді. **1Н** деп аталатын эталондық күш массасы 1 кг деңеге 1 м/с² үдеу береді: **1Н = 1кг · м/с²**.

Практикада күшті өлшеу үшін **динамометр** деп аталатын шкалаалар күш эталонының ньютондық бірліктерін көрсететін арнайы серіппе колданылады. Күш серіппенің созылуы бойынша өлшенеді (сурет 3.5, a).



Сурет 3.5: a) динамометр – градиурленген серіппе, a) тірек-үстел мен деңеге түсken күштер

2. Механикалық күштердің біразын 7-сыныпта қарастырганбыз. Оларға төменде көрсетілген күштер жатады.

$$\text{Ауырлық күші: } F_a = mg, \quad (3.1)$$

мұндағы: m – дененің массасы, g – дененің еркін түсінүү үдеуі.

$$\text{Үйкеліс күші: } F_{\text{үйк}} = \mu N, \quad (3.2)$$

мұндағы: μ – үйкеліс коэффициенті, N – тіректің (немесе аспаның) деңеге түсіретін нормаль реакция күші.

$$\text{Серпімділік күші: } F_c = k|\Delta l| = k|x|, \quad (3.3)$$

мұндағы: k – серпіппенің қатаңдығы, $\Delta l = l - l_0 = x$ – серпіппенің (тростың) үзаруы.

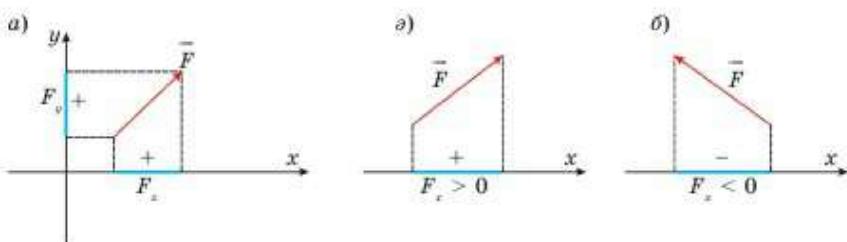
Бұл күштер Ньютон заңдарының салдарлары болып табылады. Сондықтан Ньютоның барлық заңдарын қарастыра отырып, оларды бірте-бірте тереңдерек мәнгеретін боламыз.

3. Денеге бір мезгілде өртүрлі күштер (сурет 3.5, ә) әрекет етуі мүмкін. Міне, осындай жағдайларда берілген есептерді шығарып немесе басқа да бір практикалық тапсырмаларды орындау үшін денеге түсірілген күштердің *теңдерекетті күшін* және олардың координаталар өстөріндегі проекцияларын табудың маңызы зор.

Теңдерекетті күш *деп* денеге әрекет ететін барлық күштердің әрекеттің алмастыратын жалғыз күшті айтады.

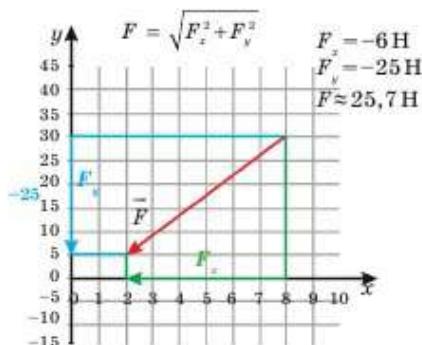
Денеге өсер ететін күштердің теңдерекетті күші векторларды қосудың үшбұрыш ережесі бойынша анықталады.

4. Есептер шығарып, практикалық тапсырмалар орындағанда векторлардың (солардың қатарында күш векторларының да) координаталар өстөріндегі проекцияларын табу маңызды орын алады. Төменде \vec{F} векторының Ox (қысқаша x) және Oy (қысқаша y) өстөріндегі проекцияларын қалай салуға болатыны көрсетілген (сурет 3.6). Ол үшін, §2-де айтқанымыздай, берілген вектордың бастапқы нүктесінен және үшінан координаталар өстөріне перпендикуляр сызықтар түсіріледі. Өрбір өстегі перпендикуляр сызықтардың арасы берілген \vec{F} вектордың сол өстөрдегі F_x немесе F_y проекциясы болып табылады.

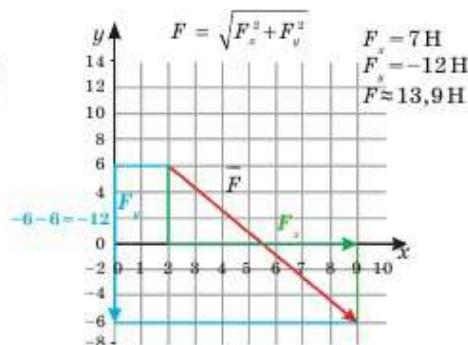


Сурет 3.6. Вектордың координаталар өстөріндегі проекциялары және олардың бағыттары

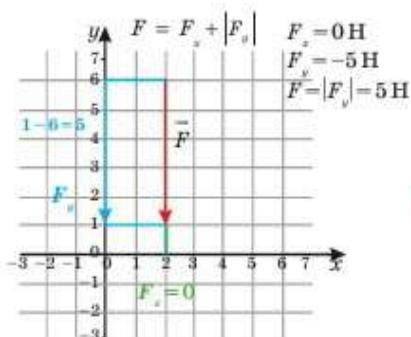
5. Төменде үлгі ретінде масштаб бойынша күш векторларының координаталар өстөріндегі проекцияларын салу және олардың модульдерін табу мысалдары келтірілген.



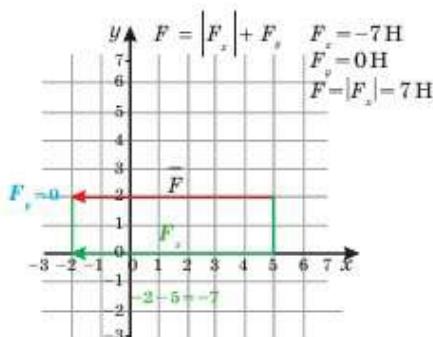
Сурет 3.7



Сурет 3.8



Сурет 3.9



Сурет 3.10

?

Сұрақтар

- Күш деп қандай физикалық шаманы айтады? Қандай бірлікпен өлшеменеді?
- Қандай механикалық күштерді білесіндер? Олар қандай формулалармен өрнектеледі?
- Теңерекетті күш деп қандай күшті айтады? Екі күштің теңерекетті күшін үшбұрыш ережесімен қалай табуга болады?
- Күш векторының координаталар өстериңдегі проекциялары қалай салынады? Олардың «оң» және «теріс» таңбалары қалай анықталады?

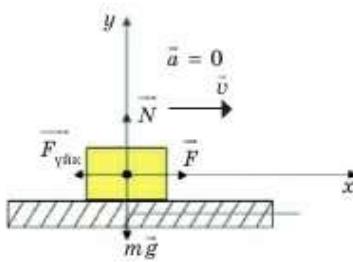


Жаттығу 3.2

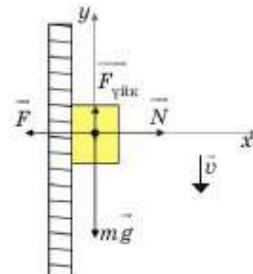
- Параллелограмм ережесі бойынша екі векторды қосқанда, олардың теңерекетті күшінің сан мәні біреуінің модуліне тең бола ала ма?
- Параллелограмм ережесі бойынша екі векторды қосқылғыш векторлардың ең кішісінен кем бола ала ма?
- Денеге модульдері өз қалауларың бойынша алынған әртүрлі екі күш өрекет етеді. Осы күштердің теңерекетті векторының модулі мен бағыттарын мына шарттарға сәйкес анықтай, суреттерін салып көрсетіңдер: 1) күштердің бағыттары бірдей; 2) күштер қарама-қарсы бағытталған; 3) өр күштер бір-біrine перпендикуляр бағытталған.
- И.А. Крыловтың «Ал жүк алі де орнында!» деген мысқылындағы өр жаққа тартқан аққу мен шаянның және шортанның тарту күштерінің (сурет 3.11) теңерекетті күшінің нөлге тең болатын жағдайын координаталар өстериңдегі проекцияларын салып көрсетіңдер.
- Көрсетілген денелерге қарап (суреттер 3.12–3.14), өр сурет үшін мына сұрақтарға сапалы жауап жазындар: 1) денеге қаша және қандай күштер түскен? 2) дene қалай қозгалады? 3) теңерекетті күш қалай бағытталған? Неге?



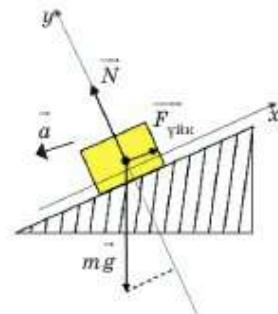
сурет 3.11



Сурет 3.12



Сурет 3.13



Сурет 3.14

6. Мына проекциялар бойынша сипатталатын күш векторларын екі және үшөлшемді масштабтары көрсетілген координаталар жүйесін пайдаланып салыңдар:
- 1) $F_x = 2\text{Н}$; $F_y = -5\text{Н}$; $F_z = 2\text{Н}$;
 - 2) $F_x = -2\text{Н}$; $F_y = 5\text{Н}$; $F_z = -3\text{Н}$.

§16.

НЬЮТОННЫҢ ЕКІНШІ ЗАҢЫ. МАССА

1. Ньютонның екінші заңы дененің m массасы мен оған әрекет ететін F күштің арасындағы байланысты анықтайды. *Масса* – физикадагы аса маңызды әрі күрделі ұғым. Масса ұғымы негізінде табиғаттың көптеген заңдары, солардың ішінде Ньютонның барлық заңдары ашылды. Ньютонның бірінші және екінші заңдарында масса дененің инерттілігінің өлшемі ретінде қарастырылады да, былайша тұжырымдалады:

Масса деп дененің инерттілік қасиеттерін сандық түргыдан сипаттайтын физикалық шаманы айтады.

Масса бірлігі Халықаралық бірліктер жүйесінде негізгі жеті бірліктің катарына енеді де, *килограммен (кг)* өлшенеді.

Массаның **1 килограмм** болатын эталондық бірлігі Париж маңындағы Севр елді мекенинде ұзындықтың **1 метр эталондық** бірлігімен бірге сақтаулы түр (сурет 3.15).

Массаның бұл эталоны диаметрі мен биіктігі 39,17 мм цилиндр пішінді 90 % платина мен 10 % иридий балқымасынан жасалған.

Денелердің массалары осы эталонға баламалы гир тастарымен салыстыру арқылы анықталады.

2. Дененің массасы – *скалярлық шама*. Егер массалары m_1 және m_2 болатын екі денені біріктірсе, онда олардың біртұтас массасы осы денелердің массаларының қосындысына тең болатынын тәжірибелер көрсетеді:

$$m = m_1 + m_2.$$

Массаның мұндай қасиетін *аддитивтілік қасиеті* деп аталады.

3. Тәжірибелер массалары әртүрлі екі деңе бір-бірімен әрекеттескенде түрліше жылдамдық алыш, әртүрлі үдеулермен қозғалатынын көрсетеді

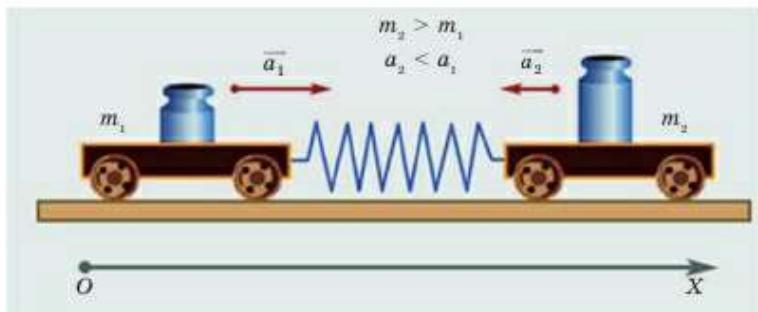


Сурет 3.15. Масса эталоны

(сурет 3.16). Сонымен қатар өрекеттесетін денелердің массалары олардың өрекеттесу барысында алатын үдеулеріне көрінісінде пропорционал болатынын айқаңтайды:

$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{a_2}{a_1}.$$

Бұл қатынастағы a_1 және a_2 шамалары денелердің алған үдеулерінің Ox өсіндегі проекциялары болып табылады. Ал минус (-) таңбасы өрекеттесуші денелердің үдеулерінің қарама-қарсы бағытталатынын көрсетеді.



Сурет 3.16. Екі дененің өзара өрекеттесу моделі

4. Ньютоның екінші заңы сан гасырлық тәжірибелік деректердің жиынтығын қорытындылаудан туған – *табигаттың іргелі заңы*. Ньютон өзіне дейінгі зерттеушілердің тәжірибелік деректерін екі топқа жіктеп талдайды.

Бірінші жағдайда массалары әртүрлі ($m \neq \text{const}$) денелерге тұрақты күшпен ($F = \text{const}$) өрекет ететін тәжірибелік деректер талданған. Бұл деректерден ол тәмемдегі қорытындыны жасады.

Егер массалары әртүрлі денелерге өрекет ететін күш өзгермейтін тұрақты болса, онда денелердің алған үдеулері массаларына көрінісінде пропорционал болады:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

Екінші жағдайда массалары тұрақты ($m = \text{const}$) денелерге әртүрлі күшпен ($F \neq \text{const}$) өрекет ететін тәжірибелік деректерді талдай отырып, Ньютон екінші маңызды қорытындыны жасады.

Егер массалары бірдей денелерге әртүрлі күштер өрекет ететін болса, онда әр дененің алатын үдеулері түсірілген күштерге тұрақты пропорционал болады:

$$\bar{a} \sim \bar{F}.$$

Тәжірибелік деректерді талдау барысында ашылған Ньютоның екінші заңы былайша тұжырымдалады:

Денениң алатын үдеуі оған әрекет ететін күштердің теңәрекеттің күшіне тұра пропорционал, ал денениң массасына көрі пропорционал болады:

$$\bar{a} = \frac{\bar{F}}{m}.$$

Мұндағы $\bar{F} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_3 + \dots + \bar{F}_n$ – денеге әрекет ететін бірнеше күштердің теңәрекеттің күші. Бұл өрнекті мына түрде жазған ыңгайлы:

$$\bar{F} = m\bar{a} \quad (3.4)$$

немесе

$$\bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots + \bar{F}_n = m\bar{a}. \quad (3.4')$$

Соңғы өрнек динамиканың негізгі теңдеуі деп аталады. Оны векторлық шамалардың (күштердің және үдеулердің) координаталар өстеріндегі (мысалы, x және y өстеріндегі) проекциялары арқылы да жазуға болады:

$$F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx} = ma_x; \quad (3.5)$$

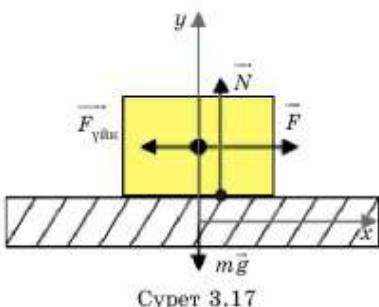
$$F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny} = ma_y. \quad (3.5')$$

Динамиканың негізгі теңдеуінің проекциялар арқылы жазылған соңғы түрлері есептер шығарғанда қолданылады. Ол ушін теңдеулерде күштер мен үдеулердің Ox және Oy өстеріндегі проекцияларының оң (+) немесе теріс (-) таңбалары көрсетіліп жазылады.

Сұрақтар

1. Масса деп қандай физикалық үғымды айтады, немен өлшенеді? Қандай қасиеттерімен ерекшеленеді?
2. Әртүрлі екі деңе өзара әрекеттескенде қандай өзгерістер орын алады және оларды қандай өрнекпен сипаттайты?
3. Ньютоның екінші заңы қандай қорытындылар негізінде ашылды және қалай тұжырымдалады?
4. Динамиканың негізгі теңдеуі қалай жазылады? Бұл теңдеу теңәрекеттің күштің қураушы векторларының координаттар өстеріндегі проекциялары бойынша қалай жазылады?
5. Төмендегі мысалдардағы есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары



Сурет 3.17

Берілгені	ХБЖ бойынша
$m = 800 \text{ г}$	$m = 0,8 \text{ кг}$
$F = 2 \text{ Н}$	$g = 9,8 \text{ м/с}^2$
$F_{\text{үйк}} = 0,5 \text{ Н}$	
T/к: $a = ?$, $N = ?$	

1-есеп. Горизонталь жазықта массасы 800 г денеге 2 Н күш осы жазыққа параллель әрекет етеді (сурет 3.17). Егер үйкеліс күші 0,5 Н болса, онда дене қандай үдеумен қозғалады және қандай нормаль қысым күшін түсіреді?

Есеп мазмұнын талдау

Денеге төрт күш әрекет етеді (сурет 3.17).

Олар: тарту күші (\vec{F}), үйкеліс күші ($\vec{F}_{\text{үйк}}$), ауырлық күші ($\vec{F}_a = m \vec{g}$) және нормаль қысым күші (\vec{N}). Ньютоның 2-заңы бойынша бұл төрт күштің векторлық қосындисы денигеге \vec{a} үдеуін береді:

$$m \vec{a} = \vec{F} + \vec{F}_{\text{үйк}} + \vec{F}_a + \vec{N}.$$

Бұл векторлық теңдеуді әр вектордың Ox және Oy өстеріндегі проекцияларын пайдаланып, екі скалярлық теңдеулермен алмастырамыз:

$$Ox: F_x + F_{\text{үйк}(x)} + N_x + F_{a(x)} = ma_x;$$

$$Oy: F_y + F_{\text{үйк}(y)} + N_y + F_{a(y)} = ma_y.$$

Күштер мен үдеулердің Ox және Oy өстеріндегі проекцияларын анықтаймыз:

$$Ox: F_x = 2 \text{ Н}; F_{\text{үйк}(x)} = -0,5 \text{ Н};$$

$$N_x = 0; F_{a(x)} = mg_x = 0;$$

$$a_x = a; g_x = 0.$$

$$Oy: F_y = 0; F_{\text{үйк}(y)} = 0;$$

$$N_y = N; F_{a(y)} = -mg;$$

$$a_y = 0; g_y = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

Әр проекцияның таңбалары көрсетілген сан мәндерін скалярлық теңдеулерге қойып, екі белгісізі бар екі теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\begin{cases} 2 - 0,5 = 0,8 a, \\ N - 0,8 \cdot 9,8 = 0. \end{cases}$$

Шешуі: Соңғы теңдеулерден денненің a үдеуін және N нормаль қысым күшін Халықаралық бірліктер (ХБ) жүйесінде таба аламыз. $a \approx 1,88 \text{ м/с}^2$; $N = 7,84 \text{ Н}$.

Жауабы: $a = 1,88 \text{ м/с}^2$; $N = 7,84 \text{ Н}$.

2-есеп. Жылжымайтын блоктан асыра тасталған жіпке массасы 0,3 және 0,2 кг жүктер ілінген. Осы жүйе қандай үдеумен қозгалады? Қозғалыс кезіндегі жіптің керілу күші қандай?

Bерілгені
$m_1 = 0,3 \text{ кг}$
$m_2 = 0,2 \text{ кг}$
$a - ?$
$T - ?$

Eсеп мазмұнын талдау

I және II деңе үшін (сурет 3.18) Ньютоның 2-засын пайдаланып, динамиканың векторлық тендеулерін жазайық:

$$\bar{T}_1 + \bar{P}_1 = m_1 \bar{a}_1;$$

$$\bar{T}_2 + \bar{P}_2 = m_2 \bar{a}_2.$$

Oy өсін жоғарыдан төмен бағытта, векторлардың осы өстегі проекциялары бойынша векторлық тендеулерді скалярлық тендеулермен алмастырайық:

$$T_{1y} + P_{1y} = m_1 a_{1y};$$

$$T_{2y} + P_{2y} = m_2 a_{2y}.$$

Проекциялардың мәндерін анықтайық:

$$Oy: T_{1y} = -T_1; P_{1y} = P_1 = m_1 g; a_{1y} = a_1.$$

$$Oy: T_{2y} = -T_2; P_{2y} = P_2 = m_2 g; a_{2y} = -a_2.$$

Проекциялардың мәндерін скалярлық тендеулердегі орындарына қойып, төмендегі тендеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{cases} -T_1 + m_1 g = m_1 a_1; \\ -T_2 + m_2 g = -m_2 a_2. \end{cases}$$

Соңғы теңдіктің екі жағын (-1) шамасына кебейтіп, тендеулер жүйесін мына түрге келтіреміз:

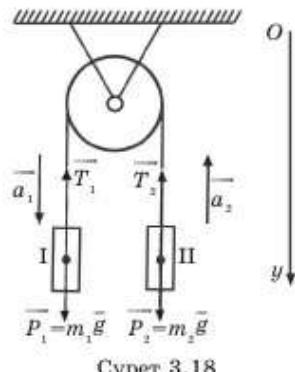
$$\begin{cases} -T_1 + m_1 g = m_1 a_1; \\ T_2 - m_2 g = m_2 a_2. \end{cases}$$

Жүктер бір ғана жіпке байланғандықтан, олардың үдеулерінің модульдері өзара тең ($a_1 = a_2 = a$), жіптің керілу күштері де бір-біріне тең ($T_1 = T_2 = T$). Ендеше, тендеулер жүйесін мына түрде жазамыз:

$$\begin{cases} -T + m_1 g = m_1 a; \\ T - m_2 g = m_2 a. \end{cases}$$

Шешуі: Тендеулердің он және сол жақтарын мүшелеп қосып, үдеудің мәнін табамыз:

$$m_1 g - m_2 g = (m_1 + m_2)a;$$



Сурет 3.18

$$a = \frac{(m_1 - m_2)g}{m_1 + m_2} = \frac{(0,3 - 0,2) \cdot 9,8 \text{ м/с}^2}{0,3 + 0,2} \approx 2 \text{ м/с}^2.$$

Соңғы тендеуден жіптің керілу күшін анықтаймыз:

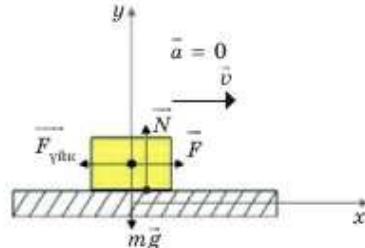
$$T = m_2(a + g) = 0,2(2 + 9,8) \text{ Н} \approx 2,4 \text{ Н.}$$

Жауабы: $a = 2 \text{ м/с}^2$; $T = 2,4 \text{ Н.}$



Жаттығу 3.3

- 60 Н күш денеге $0,8 \text{ м/с}^2$ үдеу береді. Қандай күш осы денеге 2 м/с^2 үдеу береді?
- Массасы 2 т машина орнынан қозгалып 10 с ішінде 100 м жол жүрді. Тарту күші неге тең?
- Қатаандығы 10^5 Н/м болатын тіркеу тросымен массасы 2 т машинаны $0,5 \text{ м/с}^2$ үдеумен сұйресе, трос қашшага ұзарады? Үйкеліс ескерілмейді.
- Дене горизонталь бетте орналасқан (сурет 3.19). Динамиканың негізгі тендеуін пайдаланып, осы суреттегі дененің қозгалыс үдеуінің нөлге тең болатынын дәлледендер. Суреттегі 1 мм аралық 1 Н-га сәйкес келеді.
- Массасы m машина a үдеумен тауга көтеріліп барады. Егер таудың көлбеулік бұрышы α , ал кедергі коэффициенті μ және машинаның тарту күші F болса, онда машина қандай үдеумен көтеріліп барады? Суреттің салып шығарылғандар.



Сурет 3.19

§17.

НЬЮТОННЫҢ ҮШІНШІ ЗАҢЫ

- Тәжірибе нәтижелері бойынша да, Ньютонның екінші заңын қарастырганда да әрекеттесетін екі дененің массаларының қатынасы олардың үдеулерінің сан мәндерінің көрінісінде көрсеттік:

$$\frac{m_1}{m_2} = -\frac{a_2}{a_1}.$$

Мұндағы «минус» таңбасы тәжірибелік деректердің айғары ретінде өрекеттесуші денелердің үдеулерінің бір-біріне қарама-қарсы бағытталынын білдіреді. Үдеу векторлық шама болғандықтан жоғарыдағы қатынасты мына түрде жаза аламыз:

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2.$$

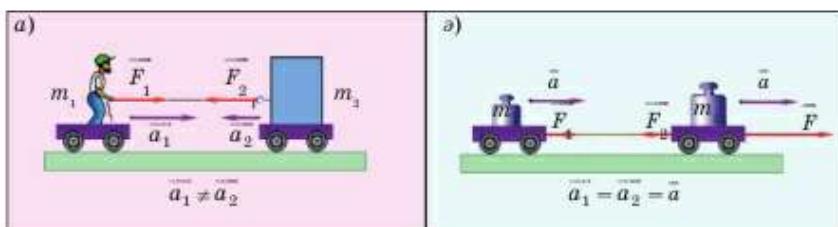
Ньютоның екінші заңы бойынша бірінші дененің үдеуін оған өрекет ететін $\vec{F}_1 = m_1 \vec{a}_1$ күші, ал екінші дененің үдеуін $\vec{F}_2 = m_2 \vec{a}_2$ күші туғызады. Ендеше, осы үш өрнекті салыстырып, қарсы таңбамен алғынған соңғы екі күштің модульдерінің бір-біріне тең екенін көреміз:

$$|\vec{F}_1| = |\vec{F}_2|. \quad (3.6)$$

Бұл теңдік Ньютоның үшінші заңын сипаттайтыды. Ол былайша тұжырымдалады:

Денелер бір-бірімен модульдері тең, ал бағыттары қарама-қарсы күштермен өрекеттеседі.

Мысалы, тәмендегі көріністе (сурет 3.20, a) адам жүкке қандай күшпен өрекет етсе, жүк те адамға модулі сондай қарама-қарсы күшпен өрекет етеді. Олардың табигаттары да бірдей, яғни ортақ арқаның (сурет 3.22, a) немесе серіппенің (сурет 3.16) серпімді күштері болып табылады. Ал егер мектеп зертханасындағы женіл арбаларға тұрақты магниттерді полюстерін қарама-қарсы қойып орналастырсақ, онда олар да бір-біріне тартылып, үдемелі қозғалыс жасайды. Бұл жағдайда магниттердің F_1 және F_2 өзара өрекеттесу күштерінің табигаты да бірдей болады, яғни **электромагниттік күштер** болып табылады.



Сурет 3.20. Денелердің өзара өрекеттесуі

2. «Денелер бір-біріне модульдері тең, бағыттары қарама-қарсы күштермен өрекеттессе, онда олар бірін-бірі тенгермей ме? Олай болса, денелердің үдемелі қозғалыстарын қалай түсіндіруге болады?» деген сұрақтар туындаиды. Мұндай сұрақтарға жауап беру үшін мыналарды білу қажет.

Егер модульдері бірдей, бағыттары қарама-қарсы күштер ($F_1 = -F_2$) әртүрлі денелерге түссе, онда олар бірін-бірі тенгермейді. Мұндай жағдайда әртүрлі денелерге түскен $F_1 = -F_2$ күштердің тендерекетті күші нөлге теңелмейді, сондықтан әртүрлі денелер әртүрлі үдеумен қозгалады (сурет 3.20, а). Суреттегі көріністе F_1 және F_2 күштері екі түрлі денелерге түскен. Егер бұл күштер бір ғана денеге түссе, онда олардың тендерекетті күші нөлге теңеледі де, дene тыныштықта тұрады немесе үдеусіз бірқалыпты түзусызықты қозгалады. Сонымен, векторларды қосу ережесін әртүрлі денелерге түсірілген күштерге қолдануға болмайды, тек бір ғана денеге түсірілген күштер үшін қолданады. Ат арбаны қандай күшпен тартса, арба да атты сондай күшпен тартады. Алайда әрекет етуші күштер бір ғана денеге емес, үш түрлі денеге: арбага, атқа және Жерге түседі. Міне, осындай жағдайларда күштерге векторларды қосу ережесі қолданылмайды.

3. Жеке денениң бөліктерінің арасында әрекет ететін күштер ішкі күштер деп аталады. Егер денеге немесе денелер жүйесіне ішкі \bar{F}_1 және \bar{F}_2 күштермен қатар, сыртқы \bar{F} күші де әрекет етсе (сурет 3.20, ә), онда олар бір ғана \bar{a} үдеуімен қозгалады. Мұндай жағдайда \bar{F}_1 және \bar{F}_2 ішкі күштер Ньютоның екінші заңында қолданыс таппайды, өйткені олардың векторлық қосындысы нөлге тең болады. Мұндай пайымдаулардың дұрыстығын дәлелдейік.

Мысал ретінде бір-бірімен созылмайтын жіппен байланған массалары m_1 және m_2 болатын біртұтас жүйені құрайтын екі денениң \bar{F} сыртқы күш әрекетімен үдемелі қозгалысын қарастырайық (сурет 3.20, ә). Суреттен көрініп тұргандай, массасы m_1 денеге бір ғана \bar{F}_1 күші, ал массасы m_2 денеге \bar{F}_2 және \bar{F} күштері әрекет етеді. Ньютоның екінші заңын біртұтас денениң екі белгі үшін қолданып, төмендегі теңдеулерді аламыз:

$$m_1 \bar{a}_1 = \bar{F}_1; \quad m_2 \bar{a}_2 = \bar{F}_2 + \bar{F},$$

мұндағы: $\bar{a}_1 = \bar{a}_2 = \bar{a}$; $\bar{F}_1 = -\bar{F}_2$ – ішкі күштер.

Теңдеулердің оц және сол жақтарын мүшелей қоссақ, Ньютоның екінші заңы мына түрге келеді:

$$(m_1 + m_2) \bar{a} = \bar{F}.$$

Бұл өринек ішкі күштердің, шынында да, Ньютоның екінші заңынан алынып тасталатынын растайды. Ал денелер бірдей үдеумен қозгатынын және үдеуді тек сыртқы күштің ғана тузызатынын көреміз.

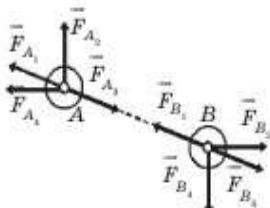

Сұрақтар

- Ньютоның үшінші заңы қалай тұжырымдалады және қандай формула мен өрнектеледі?
- Ньютоның үшінші заңын қандай тәжірибелермен сипаттауга болады? Олардан қандай қорытындылар жасалған?
- Ауырлық күші қандай формуламен өрнектеледі және оның физикалық мағынасы қандай?
- Ішкі күштер деп қандай күштерді айтады? Ньютоның екінші заңын қолданғанда ішкі күштерді елемеуге болатынның қалай дәлелдеуге болады?

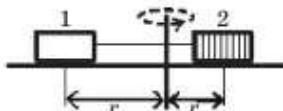


Жаттығу 3.4

- Екі деңе өзара өрекеттеседі (сурет 3.21). А және В деңелерге өрекет ететін күштер көрсетілген. Бұл күштердің қайсысы екі деңениң өзара өрекеттесу күштеріне жатады? Неге?
- Жіппен байланған екі арбаша центрден тепкіш машинада ығыспай айналады (сурет 3.22). Екінші арбашаның массасын анықтаңдар. Бірінші арбашаның массасы 300 г. $r_1 = 30$ см; $r_2 = 10$ см.



Сурет 3.21



Сурет 3.22

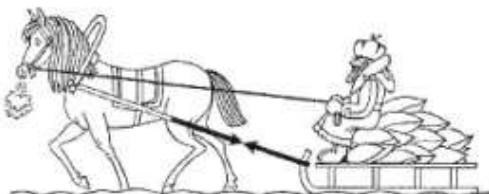
- Массасы 1 кг шар массасы белгісіз шармен соқтығысады. Олардың алған үдеулері тиісінше 0,2 және 0,4 м/с² шамаларына тең. Шарлардың өзара өрекеттесу күшін және екінші шардың массасын анықтаңдар. Үйкеліс ескерілмейді.
- Массасы 1 кг шар массасы 2 кг шармен соқтығысады. Екінші шардың алған үдеуі 0,2 м/с². Олардың өзара өрекеттесу күшін және бірінші шардың үдеуін анықтаңдар. Үйкеліс ескерілмейді.
- Жіппен байланған екі цилиндр центрден тепкіш машинада ығыспай айналады. Айналу барысында бірінші цилиндр айналу осінен 9 см арақашықтықта орналасты. Егер екінші цилиндрдің массасы біріншіден уш есе артық болса, онда жіптің үзындығы қандай болады?
- Массасы m жүк массасы M лифтінің еденінде жатыр. Мына деңелердің арасындағы өзара өрекет күштерін бейнелең көрсетіңдер: Жер, жүк, лифт, лифтінің аспасы. Аспаның салмағы ескерілмейді.
- Массасы M қозғалмайтын блок арқылы асyра тасталған жіпке массалада-

ры m_1 және m_2 ($m_1 > m_2$) екі жүк ілінген. Мына денелердің арасындағы өзара әрекет күштерін бейнелең көрсетіңдер: Жер, массасы m_1 жүк, массасы m_2 жүк, жіп, блок, блок аспасы. Жіп пен аспаның массалары және үйкеліс күші ескерілмейді.

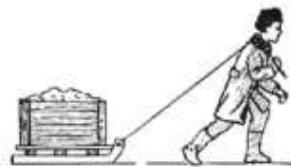


Теориялық зерттеу

Төмендегі көріністерге (сурет 3.23 және сурет 3.24) Ньютон заңдары негізінде теориялық талдаулар жасап, мына сұрақтардың жауабын жазбаша мақала түрінде қабырға газеттерінде жариялаңдар: жүті мен адам отырган шананы ат не себепті тартып келеді? Қандай денелерге қандай ішкі және сыртқы күштер түседі? Векторларын салып түсіндіріңдер. Қандай жағдайда бала жүгі бар шананы тарта алмайды?



Сурет 3.23



Сурет 3.24

§18.

БҮКІЛӘЛЕМДІК ТАРТЫЛЫС ЗАҢЫ

1. Ньютоның екінші заңы бойынша қозғалысты өзгертетін себеп, дәлірек айтқанда, *денелердің үдеумен қозғалтатын себеп күш* болып табылады. Жас Ньютонды Жердегі қозғалыстар ғана емес, аспан денелерінің қозғалысын туғызатын *күш* пен оның *табигаты* қызықтыратын. Ол 23 жасында, яғни 1665 жылы Жерді айнала қозғалатын Айды орбитасынан шығармай үстап тұратын күш пен ағаштағы алманың Жерге құлауын мәжбүрлайтін күштің табигаты бірдей болуы керек деген аса маңызды *болжам* жасады. Ньютон өз болжамын *ғылыми гипотеза* деңгейіне көтеріп, Фаламдағы барлық денелер де модульдері бірдей, бағыттары қарама-қарсы $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ күшпен бірін-бірі *тартады* деген қорытындыға келді. Алайда ол бұл күштің табигатын ашуға, аналитикалық өрнек-формуласын табуға 20 жыл шамасында еңбек етті. Кейінірек денелердің бірін-бірі тартатын күшін *гравитациялық күш* деп ататын болды («gravitas» – «ауырлық» деген мағына береді).

2. Бүкіләлемдік тартылыс заңы Ньютон 1682 жылы ашты. Планеталардың арасындағы гравитациялық тартылыс күшін (сурет 3.25) анықтау үшін Ньютон **механиканың кері есебі** деп аталатын зерттеу әдісін қолданады. **Механиканың негізгі есебінде** деңенің массасы мен оған өрекет ететін күш және уақыттың кез келген мезеңдегі жылдамдық арқылы деңенің қозғалыс күйі (координаталары) анықталады. Ал механиканың кері есебінде деңенің массасы және қалай қозғалатыны (жылдамдығы мен координатасы) белгілі болса, оған өрекет ететін күшті табады. Т. Брагенің де, И. Кеплердің де және басқа ғалымдардың да зерттеулері планеталардың қалай қозғалатыны жөнінде Ньютонға мол ақпарат берді. Сөйтіп, ол планеталардың қалай қозғалатынын біле отырып, оларға өрекет ететін күшті механиканың кері есебін шешу арқылы анықтады. **Бүкіләлемдік тартылыс күші** деп аталған бұл күш мына тамаша формуламен өрнектеледі:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}. \quad (3.7)$$

Бұл формуладағы: F – гравитациялық тартылыс күші деп те аталады; m_1 және m_2 – өрекеттесетін деңелердің массалары; R – деңелердің арақашықтығы; G – гравитациялық тұрақты деп аталатын коэффициент.

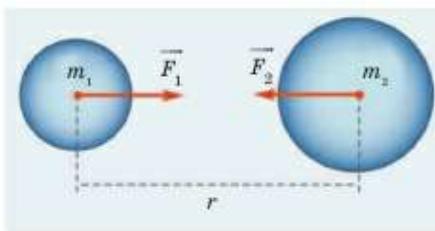
Физика тарихына **Бүкіләлемдік тартылыс заңы** деген атаумен енген бұл заң былайша тұжырымдалады:

Екі деңе бір-біріне массаларының көбейтіндісіне тұра пропорционал, ал арақашықтықтарының квадратына кері пропорционал күшпен тартылады.

3. Ауырлық күші ($F_a = mg$) гравитациялық тартылыс күшінің $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$ салдары болып табылады. Расында да, массасы M Жер мен оның бетінен h биіктікте орналасқан массасы m деңенің арасындағы гравитациялық тартылыс күші

$$F = G \frac{Mm}{r^2}$$

формуласымен өрнектеледі. Мұндағы $r = (R_m + h)$ – Жердің центрінен деңеге дейінгі арақашықтық.



Сурет 3.25. Гравитациялық тартылыс күштері

Гравитациялық күш (сурет 3.25) сияқты ауырлық күші де Жердің центріне қарай бағытталады. Басқа күштер өрекет етпесе, дene ауырлық күші өрекеттімен Жерге g үдеуімен еркін түседі. Бұкіләлемдік тартылсыз заңын пайдаланып, *еркін тұсу үдеуін анықтайтын формууланы* алуға болады.

Жоғарыдағы $F_a = mg$ және $F = G \frac{Mm}{r^2}$ күштерінің табиғаты бірдей, екеуі де дененің Жерге тартылу күші болып табылады. Ендеше, оларды теңестіре аламыз:

$$G \frac{Mm}{r^2} = mg \text{ немесе } G \frac{M}{r^2} = g.$$

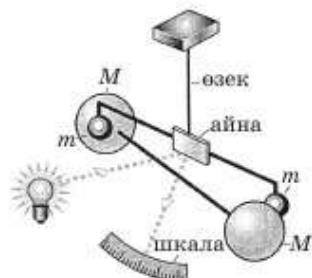
Сонымен, Жерге қарай құлаған дененің еркін тұсу үдеуі мына формулалармен өрнектеледі:

$$g = G \frac{M}{r^2} \text{ немесе } g = G \frac{M}{(R_\infty + h)^2}. \quad (3.8)$$

Соңғы формуладан дененің Жер бетінен h биіктігі өсken сайын оның g еркін тұсу үдеуінің $(R_\infty + h)^2$ шамасына еселеп кемі беретіндігі айқын көрінеді. Жердің формасы идеал шар тәріздес болмағандықтан, денелердің әртүрлі ендіктердегі еркін тұсу үдеулерінің арасында аздаған айырмашылықтар бар. Жердің әртүрлі нүктелерінде денелердің еркін тұсу үдеулері ретінде олардың орташа мәні ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$) алынады.

Жоғарыдағы формулаларды пайдаланып, басқа да аспан денелерінің өз массаларына сәйкес келетін еркін тұсу үдеулерін анықтауға болады.

4. Гравитациялық тұрақтының шамасын XVIII ғасырдың аяғында 1798 жылы ағылшының хас шебер экспериментші-ғалымы Генри Кавендиш өтे сезімтал бұралмалы таразының көмегімен анықтады (сурет 3.26). Серпімді металдан жасалған сым-өзекке ілінген күйентенің екі ұшына массалары $m_1 = m_2 = m$ екі кішкентай шар бекітілген. Осы шарлардың өрқайсысының жанына массалары $M_1 = M_2 = M$ екі үлкен шар орнатылған. Кішкентай шарларды үлкен шарлардан белгілі бір R арақашықтықта жайғастырып, айналы таразының шкаласындағы сөзле шоғының қанша бөлікке бұрылғанын жазып отырган. Үлкен және кіші шарлардың бір-біріне \mathbf{F} тартылу күшін, яғни серпімді сым-өзектің ширығу күшін градуирленген шкаланың



Сурет 3.26.
Бұралмалы таразы

көрсетуі бойынша анықтаған. Тәжірибелі әртүрлі жағдайда бірнеше рет қайталай отырып, Бүкіләлемдік тартылым заңының $F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}$ формуласындағы жалғыз белгісіз шама – G гравитациялық тұрақтының мәнін тапқан:

$$G = \frac{R^2 F}{m_1 m_2} = \frac{r^2 F}{m M} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$



Сұрақтар



1. Бүкіләлемдік тартылым заңын ашуға қандай болжам (гипотеза) себепкер болды?
2. Бүкіләлемдік тартылым заңын Ньютоң қалай ашты, қандай формуламен ернектеледі, қалай тұжырымдалады?
3. Денелердің еркін тұсу үдеулері қандай формулалармен ернектеледі және қандай шамаға төуелді өзгереді?
4. Гравитациялық тұрақтыны кім және қалай анықтады?
5. Төмөндегі мысалдардан есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Жердің Күнді айналу орбитасының радиусы $1,5 \cdot 10^{11}$ м, Күн массасы $2 \cdot 10^{30}$ кг болса, онда Жердің орбита бойымен қозғалысының орташа жылдамдығы қандай?

Берілгені

$$R = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

$$M = 2 \cdot 10^{30} \text{ кг}$$

$$\text{T/к: } v = ?$$

Есеп мазмұнын талдау

Массасы m Жер Күнді айналғанда оған центрге тартқыш күш өрекет етеді: $F_{\text{ц.т.}} = ma_{\text{ц.т.}}$. Мұндағы $a_{\text{ц.т.}} = \frac{v^2}{R}$ центрге тартқыш үдеу; ал v – Жердің орбита бойындағы сыйықтық жылдамдығы; R – Күн мен Жер центрлеріне дейінгі арақашықтық.

Центрге тартқыш күш сан шамасы жағынан центрден тепкіш күшке тең. Бұл күштер екі деңеге: бірі Жерге, екіншісі Күнге түседі. Центрден тепкіш күш Бүкіләлемдік тартылым күшіне тең:

$$\frac{mv^2}{R} = G \frac{M \cdot m}{R^2}, \text{ мұндағы } G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

$$\text{Бұдан } v^2 = G \frac{M}{R}; v = \sqrt{\frac{GM}{R}}.$$

$$\text{Шешуі: } v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{2 \cdot 10^{30}}{1,5 \cdot 10^{11}}} \text{ м/с} = 30 \text{ км/с.}$$

Жауабы: $v = 30 \text{ км/с.}$

2-есеп. G – гравитациялық тұрақты, Жердің Күнді айналу периоды – T және Күннің Жерден қашықтығы L бойынша Күн массасын анықтаңдар.

<i>Берілгені</i>	<i>Есеп мазмұнын талдау</i>
G – гравитациялық тұрақты	Жер мен Күнді материялық нүктө ретінде қарастырамыз. Жердің Күн центріне қарай тартатын $F = ma_{\text{ц.т.}}$ центрге тартқыш
L – Жерден Күнге дейінгі қашықтық	күшпен олардың арасындағы $F = G \frac{Mm}{L^2}$
T – Жердің Күнді айналу периоды	бүкіләлемдік тартылыс күшінің табигаты бірдей, яғни бір-біріне тең күштер болып табылады:
$M = ?$	

$$ma_{\text{ц.т.}} = G \frac{Mm}{L^2}. \quad (1)$$

Мұндағы центрге тартқыш үдеуді Жердің Күнді айналғандагы v сыйықтық және ω бұрыштық жылдамдықтары арқылы өрнектейміз:

$$a_{\text{ц.т.}} = \frac{v^2}{L} = \frac{(\omega L)^2}{L} = \omega^2 \cdot L.$$

Екінші жағынан бұрыштық жылдамдық $\omega = \frac{2\pi}{T}$ өрнегімен анықталады. Олай болса, $a_{\text{ц.т.}} = \omega^2 \cdot L = \frac{4\pi^2}{T^2} L$. Үдеудің бұл мәнін (1) тендігіне қойып, мына тепе-тендікті аламыз:

$$\frac{m4\pi^2}{T^2} \cdot L = G \frac{mM}{L^2}.$$

Шешуі: Соңғы тендікten Күн массасын табамыз:

$$M = \frac{L^3 \cdot 4\pi^2}{G \cdot T^2} = \frac{L^3}{G} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2.$$

$$\text{Жауабы: } M = \frac{L^3}{G} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2.$$



Жаттығу 3.5

- Қандай қашықтықта массалары 1 г екі шар $6,67 \cdot 10^{-17}$ Н күшпен бірін-бірі тартады?
- Егер гарыш кемесіндегі аспап еркін тусу үдеуінің шамасын $4,9 \text{ м/с}^2$ деп корсетсе, ол қандай биіктікте ұшып жүр?
- Центрлерінің арақашықтығы 1 м болатын екі шардың өзара тартылым күші 0,0001 Н. Егер шардың біреуінің массасы 100 кг болса, екіншісінің массасы неғе тең?
- Жер Күнді айнала 30 км/с жылдамдықпен қозгалады. Олардың арақашықтығы орта есеппен 150 млн км . Күннің массасы Жер массасынан неше есе артық?
- Экваторының ұзындығы $21\,327 \text{ км}$ болатын белгісіз планетада алма 1 м биіктікten $0,72$ секунда құлап түсті. Бұл қай планета?

§19.

ДЕНЕНИҢ САЛМАҒЫ. САЛМАҚСЫЗДЫҚ

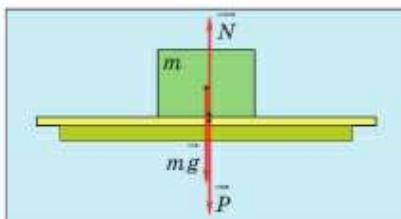
1. Күнделікті өмірде «салмақ» сезі жиі қолданылады. Алайда оны ауырлық күшімен ($F_a = mg$) шатастырмау қажет.

Салмақ деп денениң Жерге тартылу барысында оның тіреуге немесе аспага әрекет ету күшін айтады.

Жермен салыстырылғанда қозгалмайтын горизонталь үстелдің үстінде орналасқан денені қарастырайық (сурет 3.27). Жермен байланысқан санақ жүйесін **инерциялық жүйе** деп қарастырамыз. Денеге мына күштер әрекет етеді: тік (вертикаль) төмен бағытталған ауырлық күші $\bar{F}_a = m\bar{g}$ және үстелдің денеге түсіретін серпімділік күші $\bar{F}_e = \bar{N}$. Соңты күшті **нормаль қысым күші** немесе **тіректің реакция күші** деп атайды. Біргана денеге қарама-қарсы әрекет ететін бұл күштер бір-бірін теңгереді:

$$\bar{F}_a = -\bar{F}_e = -\bar{N}.$$

Ньютоның үшінші заңы бойынша дene үстелге реакция күшіне қарама-қарсы, ал модулі оған тең күшпен әрекет етеді: $\bar{P} = -\bar{N}$. Мұндағы

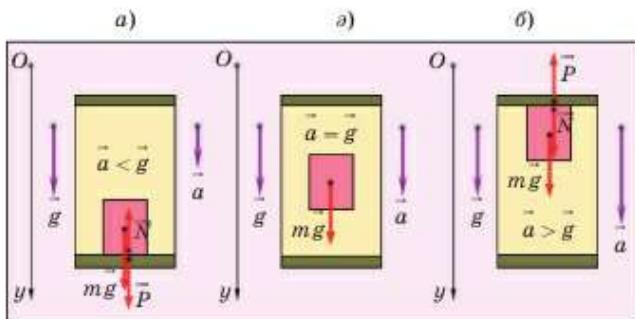


Сурет 3.27. Денеге және үстелге түсікен күштер

P күші салмақ болып табылады. Расында да, жоғарыдағы теңдіктерді салыстырып мына өрнекті аламыз: $\vec{P} = \vec{F}_a = m\vec{g}$, яғни салмақ ауырлық күшіне тең болып шықты.

Алайда денеге түсетін ауырлық күші мен үстелге түсетін салмақ күші әртүрлі күштер болып табылады; **өйткені олар бір мезгілде әртүрлі денелерге түсеп тұр!**

2. Ауырлық және салмақ күштерінің әртүрлі күштер екенін көрсету үшін Жермен салыстырғанда \vec{a} үдеуімен қозгалатын лифтінің еденіндегі жатқан (немесе серіппеге ілінген) денені қарастырайық (сурет 3.28).



Сурет 3.28. Тік төмен үдемелі қозгалатын лифтідегі дененің салмагы:
а) $P < mg$; ә) $P = 0$; ә) $P > 0$

Бұл жағдайда лифтімен байланысқан санақ жүйесі инерциялық жүйе болып табылмайды; өйткені лифт инерциялық жүйе – Жермен салыстырғанда бірқалыпты қозгалмайды. Денеге бұрынғыша $m\vec{g}$ ауырлық күші және тіректің (еденнің) \vec{N} реакция күші әрекет етеді, алайда бұл күштер инерциялық емес санақ жүйесінде, яғни үдей қозгалатын лифтіде бірін-бірі тендермейді. Ендеше, үдей қозгалатын инерциялық емес жүйедегі дene үшін Ньютоның екінші заңыны мына векторлық теңдеу түрінде жаза аламыз:

$$m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a} \text{ немесе } \vec{N} = m(\vec{a} - \vec{g}).$$

Дене тарапынан тірекке түсетін салмақ күші \vec{P} Ньютоның үшінші заңы бойынша қарсы таңбамен алынған тіректің денеге түсіретін – \vec{N} реакция күшіне тең: $-\vec{P} = m(\vec{a} - \vec{g})$. Ендеше, **үдемелі қозгалатын лифтідегі дененің салмагы** мына векторлық формуламен анықталады:

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}). \quad (3.9)$$

3. Лифтінің төмен қарай үдеумен қозғалған жағдайын қарастырайық (сурет 3.28). Oy координаталық өсін еркін тұсу үдеуінің бағытымен бағыттайық та, осы өстегі \vec{P} салмақ күші, \vec{g} еркін тұсу үдеуі және лифт қозғалысының \vec{a} үдеуінің проекцияларын анықтайық. Аталған векторлардың бөрі де Oy өсімен бағыттас болғандықтан, олардың осы өстегі проекциялары оң таңбалы, яғни нөлден үлкен $P > 0$, $g > 0$ және $a > 0$ сандар болып табылады. Ендеше, жоғарыда көрсетілген дененің салмагының векторлық формуласын төмөндегі скалярлық формула түрінде жаза ала-мыз:

$$P = m(g - a). \quad (3.10')$$

Бұл формуладан мынадай қорытындылар туындаиды:

1) егер $a > 0$ және $a < g$ болса (сурет 3.28, а), онда төмен қарай үдей қозғалатын лифтінің ішіндегі дененің P салмагы $F_a = mg$ ауырлық күшінен кем болады ($P < mg$), яғни дene жеңілдейді;

2) егер $a > 0$ және $a > g$ болса (сурет 3.28, б), онда дененің салмагының таңбасы өзгереді ($P < 0$), яғни «теріс» салмақ пайда болып, дene лифтінің еденіне емес, төбесіне сығымдала қысылады;

3) егер $a > 0$ және $a = g$ болса (сурет 3.28, ә), онда салмақ жоғалады ($P = 0$). Салмақ жоғалған жағдайда дene лифтінің еденіне де, төбесіне де ешқандай қысым түсірмей, онымен бірге Жерге қарай еркін құлайды.

Салмақсыздық деп дененің тірекке немесе аспага нормаль қысым күшін түсірмейтін күйін айтады.

Салмақсыздық күй Жер төңірегінде орбита бойымен еркін қозғалатын (дөлірек айтқанда, үнемі еркін құлайтын) гарыш кемелерінде орын алады.



Сұрақтар

1. Салмақ деп қандай күшті айтады? Ол ауырлық күшіне жата ма?
2. Үдемелі қозғалатын лифтідегі дененің салмагы қандай векторлық формуламен анықталады?
3. Тік төмен үдемелі қозғалатын лифтідегі дененің салмагы қалай өзгереді және қандай скалярлық формуламен өрнектеледі? Салмақсыздық деп нені айтады?
4. Төмөндегі мысалдары есептің шығару жолын және физикалық магынасын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Массасы 2 кг жүкті жоғары қарай $a = 2,5 \text{ м/с}^2$ үдеумен серпімді динамометрге байлан көтереді. Динамометр серіппесінің ұзару модулі қандай болады? Серіппенің қатаандығы $k = 1000 \text{ Н/м}$.

Берілгені	ХБЖ бойынша
$a = 2,5 \text{ м/с}^2$	$g = 9,8 \text{ м/с}^2$
$m = 2 \text{ кг}$	
$k = 1000 \text{ Н/м}$	
$ \Delta l - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Серіппенің созылуы кезінде туындаған \bar{F} серпімді күшінің модулі мен $|\Delta l|$ абсолют ұзарудың арасындағы байланыс Гук заңы бойынша анықталады:

$$F = k|\Delta l|. \text{ Бұдан } |\Delta l| = \frac{F}{k}. \quad (1)$$

Жүкке \bar{F} серпімді күшінен өзге $\bar{F}_a = mg$ ауырлық күші де өрекет етеді. Осы екі күштің векторлық қосындысы Ньютоның 2-заңына сәйкес жүкке \bar{a} үдеуін береді:

$$m\bar{a} = \bar{F} + \bar{F}_a.$$

Oy өсін жүктің көтерілу бағытымен бағыттас салып, Ньютоның 2-заңын векторлардың осы өстегі проекциялары бойынша жазамыз:

$$ma_y = F_y + F_{a(y)}.$$

Векторлардың *Oy* өсіндегі проекцияларын анықтаймыз:

$$a_y = a; F_y = F; F_{a(y)} = -mg.$$

Бұл шамаларды жоғарыдағы теңдеуге қойып, мына өрнекті аламыз:

$$ma = F - mg.$$

$$\text{Бұдан } F = mg + ma = m(a + g). \quad (2)$$

(1) және (2) өрнектерінен серіппенің ұзару модулін анықтаймыз:

$$|\Delta l| = \frac{F}{k} = \frac{m(a + g)}{k}.$$

$$\text{Есептің шешүі: } |\Delta l| = \frac{m(a + g)}{k} = \frac{2 \text{ кг}(2,5 + 9,8) \text{ м/с}^2}{1000 \text{ Н/м}} \approx 2,5 \text{ см.}$$

Жауабы: $|\Delta l| = 2,5 \text{ см}$

**Жаттығу 3.6**

1. 1970 жылы Байқоңырдан ұшырылған зымыран массасы 750 кг «Луноход-1» аппаратын Айдың бетінен жеткізді. Жер және Ай беттерінде

аппаратқа әрекет ететін ауырлық күштері және аппараттың Жер мен Айға түсіретін салмақ күштері қандай? Денелерге түскен күштерді сыйып көрсетіңдер.

2. Фарыш зымыраны Жер бетінен тік жоғары $20 \text{ м}/\text{с}^2$ үдеумен көтеріледі. Осы кездегі оның кабинасындағы массасы 80 кг үшкыш-гарышкердің салмағы қандай болады?
3. Дененің салмағы екі есе артуы үшін немесе екі есе кемуі үшін оны қандай үдеумен көтеру керек немесе түсіру керек?
4. Зымыран және гарыш кемесінің жалпы массасы 300 т. Зымыран үшуга старт алғанда оның бірінші басқышының бүйіріндегі төрт қозгалтқышы және екінші басқышының бір қозгалтқышы жұмыс істейді. Егер бірінші басқыштың өр қозгалтқышының тарту күші 1 МН, ал екінші басқыш қозгалтқышының тарту күші 940 кН болса, онда гарышкерлер қандай жүктемені бастанына кешіреді?



§20.

ДЕНЕЛЕРДІҢ АУЫРЛЫҚ КУШІНІҢ ӘРЕКЕТІНЕН ҚОЗГАЛАСЫ

1. Ауырлық күші әрекет ететін дененің қозгалысын қарастырайық. Жалпы алғанда Жердің (немесе кез келген басқа планеталардың) тартылыш (гравитациялық) өрісіндегі дene қозгалысының сипаты өте күрделі. Сондықтан мәселені күрделендірмес үшін дененің қозгалысын белгілі бір шектеулер аймагында сипаттауга көшеміз. Ондай шектеулерге мыналар жатады:

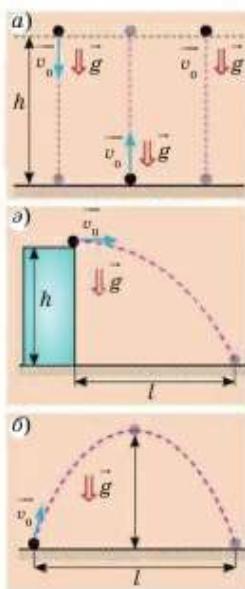
1) еркін тұсу үдеуі тұрақты деп алынады ($g = 9.81 \text{ м}/\text{с}^2 \approx 10 \text{ м}/\text{с}^2$); шындығында еркін тұсу үдеуі Жер бетінен биіктеген сайын кеми беретінін білеміз;

2) еркін тұсу үдеуі тұрақты деп алынғандықтан, дененің Жер бетіне жақын маңдағы қозгалыстары ғана қарастырылады; мұндай жағдайда Жердің бетін горизонталь деп есептеуге болады;

3) Жермен байланысқан санақ жүйесін инерциялық жүйе деп есептейміз;

4) ауаның да кедергісі ескерілмейді, яғни денеге бір ғана ауырлық күші әрекет етеді деп қарастырамыз.

Міне, нақ осындай шарттарға сәйкес келетін денелерді қарастыратын боламыз.



Сурет 3.29. Ауырлық күш өрісіндегі дененің қозғалысы

тәмдегі кестеде көрсетілген тендеулер аталған шамалардың Oy және Ox өстөріндегі проекциялары бойынша жазылады.

Кесте 3.1

Формуланың (тендеудің) атапуы	Ox осіндегі проекциясы	Oy осіндегі проекциясы
Жылдамдық проекцияның уақытқа тәуелділік тендеуі	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + gt$
Орын ауыстыру проекцияның уақытқа тәуелділік тендеуі	$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$s_y = v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}$
Координаталардың уақытқа тәуелділік тендеуі	$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{gt^2}{2}$

Бұл формулалар ауырлық күшінің өрекеті тұғызған кез келген үдемелі қозғалыс туралы есептерді шешуге жеткілікті болып табылады. Оларды қолданғанда векторлардың Ox және Oy өстөріндегі проекцияларының таңбаларын анықтап алу қажет. Егер проекция теріс (-) таңбалы болса,

онда олар скалярлық формулаларға «минус» таңбаларымен енгізіледі. (Темендеңі есеп шыгарудың мысалдарын қараңдар).

Дене парабола бойымен қозгалғанда оның Oy өсіндегі қозгалысы *тендайнымалы* болады да, ал Ox өсіндегі қозгалысы *бірқалыпты* қозгалыстың тендеуімен сипатталады. Расында да, еркін түсү үдеуінің Ox өсіндегі проекциясы нөлге тең болғандықтан ($g_x = 0$), жоғарыдағы тендеулер мына түрде жазылады: $v_x = v_{0x}$; $s_x = v_{0x}t$; $x = x_0 + v_{0x}t$.

Сұрақтар

- Ауырлық күші өрекетінен денелердің қозгалыстарына ариалған есептерді шешкенде қандай шектеулер қойылады? Не үшін?
- Ауырлық күші өрекетінен денелердің қозгалысы траекториялары қалай взгереді?
- Жалпы турде денелердің қозгалыс күйі қандай векторлық тендеумен сипатталады?
- Механиканың негізгі есебі деп нені айтады?
- Ауырлық күшінің өрекетіне байланысты есептер шыгарғанда қандай формулалар қолданылады? Тендеулердегі «плюс» (+) және «минус» (-) таңбалары қалай алынады?
- Темендеңі мысалдарда келтірілген есептердің шыгару жолдарын түсінідер.

Есеп шыгару мысалдары

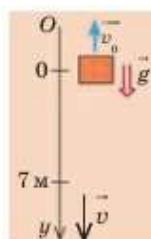
1-есеп. Ауа шары 2 м/с жылдамдықпен бірқалыпты көтеріледі (сурет 3.30). Жер бетінен 7 м биіктікте одан кішігірім ауырлау дене түсіп қалды. Қанша уақыттан кейін дене Жер бетіне жетеді? Жермен соқтырысу кездегі дененің қозгалыс жылдамдығы қандай шамага жетеді? Денеге тек ауырлық күші тана өрекет етеді деп есептendir.

Берілгені	ХЕЖ бойынша
$v_\omega = 2 \text{ м/с}$	$g \approx 10 \text{ м/с}^2$
$h = 7 \text{ м}$	
$t - ?, v - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Шар вертикаль жоғары қозгалады. Дене шардан құлаған сэтте оның бастапқы жылдамдығы шардың көтерілу жылдамдығымен бірдей және жоғары бағытталған (сурет 3.30):

$$v_0 = v_\omega = 2 \text{ м/с.}$$



Сурет 3.30

Құлаған дene де вертикаль бойымен қозгалады: өу баста жоғары қарай $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ үдеуімен теңкемімелі қозгалыс жасап, бір сәтке тоқтайды да, одан кейін төмен қарай $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ үдеуімен теңдемелі қозгалады. Екі жағдайда да еркін түсу үдеуі төмен бағытталады. Дененің *Oy* бойымен құлау уақыты мен соңғы \vec{v} жылдамдығын анықтау үшін кинематиканың негіздері теңдеулерінің скалярлық жазылуын қолданамыз:

$$s_y = h_y = v_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}, \quad (1)$$

$$v_y = v_{0y} + g_y \cdot t. \quad (2)$$

Oy өсіндегі векторлардың проекцияларының таңбалары мен сан мәндерін анықтаймыз:

$$h_y = h = 7 \text{ м}; v_{0y} = -v_0 = -2 \text{ м/с}; \quad g_y = g \approx 10 \text{ м/с}^2; \quad v_y = v.$$

(1) мен (2)-ге проекциялардың мәндерін қойып, уақыт пен жылдамдықты анықтаймыз:

$$(1) \text{ бойынша: } 7 = -2t + 5t^2 \text{ немесе } 5t^2 - 2t - 7 = 0.$$

$$(2) \text{ бойынша: } v = v_y = -2 + 10t.$$

Шешүү: $5t^2 - 2t - 7 = 0$ квадрат теңдеуінің шешу амалдарын пайдаланып, дененің Жерге құлау уақытын табамыз: $t_1 = 1,4 \text{ с}$; $t_2 = -1 \text{ с}$ (соңғының физикалық мағынасы жок), ендеше $t = t_1 = 1,4 \text{ с}$.

$v = -2 + 10t$ теңдеуіне уақыттың мөнін қойып ($t = 1,4 \text{ с}$), дененің Жерге соғылар өсіндегі жылдамдығын табамыз: $v = 12 \text{ м/с.}$

Жауабы: $t = 1,4 \text{ с}$; $v = 12 \text{ м/с.}$

2-есеп. Биіктігі 20 м тік жартастан горизонталь бағытта теңізге таслақтырған. Егер тас жартастан 16 м қашықтықта суға құлаған болса, тас қандай жылдамдықпен лақтырылған? Тастың суға құлар алдындағы жылдамдығы қандай? Ауаның кедергісі ескерілмейді.

Берілгені	ХБЖ бойынша
$h = 20 \text{ м}$	$g \approx 10 \text{ м/с}^2$
$l = 16 \text{ м}$	
$v_0 = ?, v = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Горизонталь лақтырылған дененің қозгалысы екі қозгалыстың қосындысынан тұрады. Оларға мына қозгалыстар жатады: *Ox* бойымен бірқалыпты қозгалыс ($v_0 = \text{тұрақты}$) және *Oy* бойымен теңдемелі қозгалыс ($g = \text{тұрақты}$).

Дене парабола қисығының екінші бұтағының бойымен қозгалады (сурет 3.31).

Oy бойымен теңдемелі қозгалыстың скалярлық теңдеулері:

$$h_y = v_{0y} t + \frac{g}{2} t^2; \quad v_y = v_{0y} + g_y t.$$

Векторлардың Oy осіндегі проекциялары:

$$v_{0y} = 0; \quad h_y = h.$$

Ендеше, жоғарыдағы формулалар мына түрде жазылады:

$$v_y = gt; \quad h = \frac{gt^2}{2}. \quad \text{Бұдан } t = \sqrt{\frac{2h}{g}}.$$

Ox бойымен бірқалыпты қозгалыстың теңдеуі:

$$l = v_0 t. \quad \text{Бұдан } v_0 = \frac{l}{t} = \frac{l}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \sqrt{\frac{lg}{2h}}.$$

Дененің v қозгалыс жылдамдығы (суретте қызыл сзызық) әрқашан траекторияга (парабола қисығына) жанама болады.

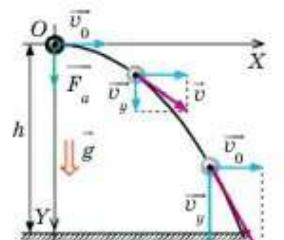
Тастың сұра құлар алдындағы v жылдамдығы Пифагор теоремасының формуласы бойынша табылады:

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$$

$$\text{Шешүй: } v_0 = \frac{l}{\sqrt{\frac{2h}{g}}} = \frac{16}{\sqrt{\frac{2 \cdot 20}{10}}} = 8 \text{ м/с.}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh} = \sqrt{8^2 + 2 \cdot 10 \cdot 20} \approx 21,5 \text{ м/с.}$$

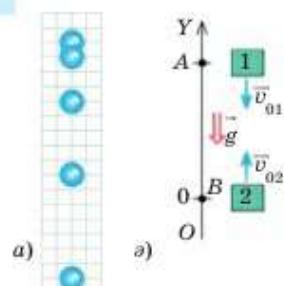
Жауабы: $v_0 \approx 8$ м/с; $v \approx 21,5$ м/с.



Сурет 3.31

Жаттығу 3.7

1. Қалықтап тұрган тікүшактан бірінші денені вертикаль жоғары, екіншісін вертикаль төмен лақтырып, үшіншісін жай гана тастаған. Қай дene ең үлкен үдеумен қозгалады? Суреттерін бір масштабта салып, түсіндіріңдер.
2. Экспериментте алынған нәтиже бойынша (сурет 3.32, a) шардың еркін түсү үдеуін анықтандар. Суретте шардың әрбір 1 с өткеннен кейінгі күйі көрсетілген. Тор қабырғасының ұзындығы – 5 см.



Сурет 3.32

3. Бір вертикаль сзызықтың бойында орналасқан арақашықтықтары 105 м болатын A және B нүктелерінен бірдей 10 м/с жылдамдықпен екі денені лақтырган (сурет 3.32, а). Бірінші денені A нүктесінен томен қарай, ал одан 1 с өткеннен кейін екінші денені B нүктесінен жогары қарай лақтырган. A нүктесінен есептегендегі деңелер қандай қашықтықта кездеседі?



Эксперименттік тапсырма

Үстелдің шетіне кішігірім ауырлау деңе қойып, оны тұртіп құлатындар. Өлшеу нәтижелерін анықтауга тек сызғышты ғана пайдаланып, деңеге қандай бастапқы жылдамдық бергендігін табындар.



Теориялық зерттеу

- Горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған деңенің қозгалысын қарастырып, оның қандай теңдеулермен сипатталатынын көрсетіңдер.
- Парабола қисығының қандай математикалық теңдеумен сипатталатынын анықтап алыңдар да, оны горизонталь лақтырылған деңе қозгалысының $y(x)$ түріндегі төуелділік теңдеуімен салыстырып, мұндай қозгалыстың траекториясы парабола қисығы болатынына көз жеткізіңдер.

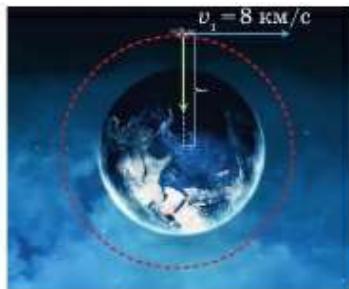
§21.

ЖЕРДІҢ ЖАСАНДЫ СЕРІКТЕРІНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ

1. Жер центрінен r қашықтықта оны айнала қозгалатын деңелері **Жер серігі** деп атайды. Ай – Жердің табиги серігі (сурет 3.33).



Сурет 3.33. Ай – Жер серігі



Сурет 3.34. Бірінші гарыштық жылдамдық

Ол Жерді 384 400 км арақашықтықта 4 млрд жылдан астам уақыттан бері айналып келеді. Қазіргі кезде Жерді айнала мындаған жасанды Жер серіктері: ғарыш кемелері мен әртүрлі мақсаттарға аппараттар, солардың ішінде қазақстандық «ҚазСат» серіктері де үшіп жүр.

2. Жасанды Жер серіктері қалай және қандай жылдамдықпен қозгалады? деген сұрақтың жауабын іздестірейік. Массасы m дene Жерді белгілі бір орбита бойымен айнала қозғалғанда (сурет 3.34) оның жылдамдығының модулі тұрақты сақталғанымен бағыты ылғи да өзгеріп отырады. Өйткені v , жылдамдық векторы қозгалыс траекториясына (суретте қызыл үзілмелі сызықпен көрсетілген шеңбер) үнемі жанама, ал шеңбердің r радиусына перпендикуляр орналасады. Ендеше, дененің Жер төңірегіндегі қозгалысы *тенцдемелі айналмалы қозгалыс* болып табылады. Алайда дененің Жер төңірегіндегі айналмалы қозгалысының траекториясы жылдамдық шамасының өзгеруіне қарай әртүрлі (мысалы, шеңбер немесе созылмалы эллипс түрінде) болуы мүмкін. Біз солардың ішінен Жер бетіне жақын орналасқан (мысалы, $h = 400$ км биіктіктері) дene қозгалысының траекториясын ғана қарастырамыз. Жер бетінен онша алыс емес мұндай траекторияны шеңбер ретінде қарастыруымызға болады (сурет 3.34). Жер бетіне жақын осындай шеңбердің r радиусын жуықтап, Жер радиусына тең деп аламыз ($r \approx R$, өйткені $h \ll R$). Мұндай жағдайда дененің шеңбер бойымен қозгалысының үдеуі де Жерге жақын дененің еркін тұсу үдеуіне тең болады ($a = g = 9,8 \text{ м/с}^2$). Міне, осы шарттарға сәйкес келетін дененің Жер төңірегіндегі қозгалыс жылдамдығын *бірінші ғарыштық жылдамдық* деп атайды да, v , әрпімен таңбалайды. Кез келген дene Жер серігі болуы үшін оның орбитага шығар алдындағы жылдамдығын бірінші ғарыштық жылдамдыққа жеткізу қажет.

3. Бірінші ғарыштық жылдамдығы модулінің сан мәнін анықтайық. Жасанды серіктер Жер бетінен едөуір биіктікке ($h = 400$ км) көтерілетіндіктен, оның шеңбер бойымен қозгалысына атмосфераның кедергі күші әрекет етпейді деп есептейміз. Ендеше, массасы m дenege Жердің гравитациялық тартылыс күші ғана әрекет етеді. Олай болса, Ньютоның екінші заңы және Букіләлемдік тартылыс заңы бойынша мына тәп-тәндікті жаза аламыз:

$$ma = G \frac{mM}{r^2}. \quad (3.11)$$

Мұндағы: $ma = mg$ орбитадағы дененің ауырлық күші, ал m оның массасы; G – гравитациялық тұрақты; M – Жердің массасы; $r = (R + h)$ – дененің Жер центріне дейінгі арақашықтығы; h – дененің Жер бетіне дейінгі арақашықтығы; a – дененің шеңбер бойымен қозгалысының үдеуі.

Дененің шеңбер бойымен қозғалысының үдеуі центрге тартқыш үдеу деп аталатынын білесіндер:

$$a_{\text{ц.т.}} = \frac{v_1^2}{r}.$$

Мұндагы v_1 – зымыранның денеге беретін бірінші гарыштық жылдамдығы. Біздің қарастырып отырған жағдайда центрге тартқыш үдеу дененің еркін тұсу үдеуіне тең ($a_{\text{ц.т.}} = g$), ал шеңбердің (орбитаның) радиусы Жер радиусына жақын болады ($r \gg R_{\infty}$).

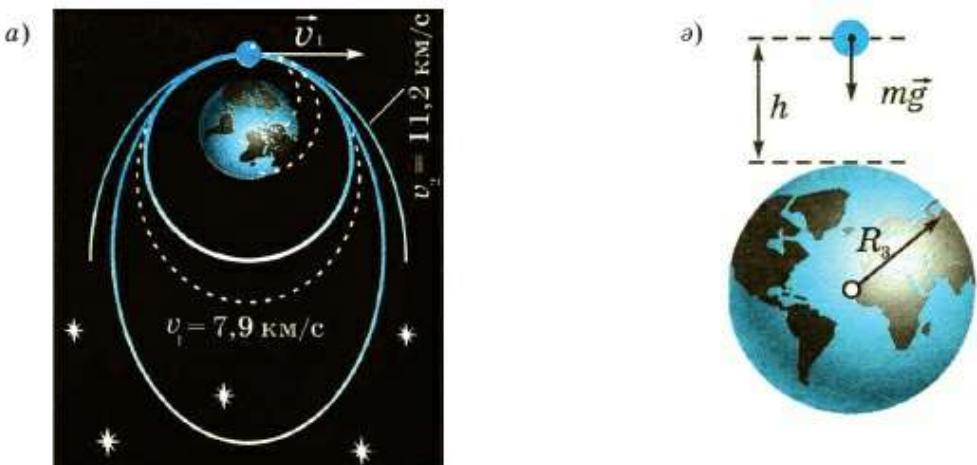
Үдеудің мәнін жоғарыдағы (3.11) өрнекке қойып, теңдіктің екі жағындағы дененің m массасын қысқартып, әрі (3.8) өрнегін ескеріп *бірінші гарыштық жылдамдықтың формуласын* аламыз:

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R_{\infty}}} \text{, немесе } v_1 = \sqrt{g R_{\infty}}. \quad (3.12)$$

Жер бетіне жақын орбитаның радиусын жуықтап Жер радиусына тең деп алып ($r \approx R_{\infty} = 6370$ км), соңғы формуладан *бірінші гарыштық жылдамдықтың сан мәнін* анықтаймыз:

$$v_1 = \sqrt{g R_{\infty}} = 8 \text{ км/с.}$$

Гарыштық жылдамдықтарды бірінші, екінші және үшінші гарыштық жылдамдықтар деп ажыратады. Олардың соңғыларын жоғары сыйнаптарда қарастырады. Алайда қысқаша анықтамаларын білген жән.



Сурет 3.35. Жасанды серіктің траекториялары

Бірінші гарыштық жылдамдық ($v_1 \approx 8$ км/с) деп денені Жер бетінен көтеріп, оның тәңірегінде дөңгелек орбита бойымен қозгалтуға қажетті жылдамдықты айтады (сурет 3.35, а).

Екінші гарыштық жылдамдық ($v_2 \approx 11,2$ км/с) деп денені Жердің тарту күшін жеңіп, эллипстік орбита бойымен қозгалатын Күн серігіне айналдыруға қажетті жылдамдықты айтады.

Үшінші гарыштық жылдамдық ($v_3 \approx 16$ км/с) деп денені Күннің тарту күшін жеңіп, Біздің Галактикаға сапар шектіретін жылдамдықты айтады.

4. Жасанды серік орбитага шыққаннан кейін радиустары Жер радиусынан үлкен әртүрлі шеңбер бойымен қозгалуы мүмкін ($r \gg R$). Мұндай жағдайларда деңе әртүрлі орбиталарда қандай жылдамдықпен қозгалады? деген сұрақ туындейды. Оған жауап алу үшін бірінші гарыштық жылдамдықтың $v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R_\infty}}$ формуласындағы Жер радиусының орнына

дененің Жер бетінен h қашықтығын (сурет 3.35, а) ескеретін ($R_\infty + h_1$); ($R_\infty + h_2$) т.с.с. нақты шеңберлердің радиустарын пайдалануымыз қажет. Олай болса, дененің Жер бетінен кез келген h биіктігіндегі қозгалыс жылдамдығының формуласын мына түрде жазамыз:

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{(R_\infty + h)}}. \quad (3.12')$$

Бұл формуладан деңе Жер бетінен алшақтаған сайын ($h = h_1 < h_2 < h_3$ т.с.с.) оның орбита бойындағы жылдамдығының бірінші гарыштық жылдамдығымен салыстырғанда кемі беретіндегі айқын көрінеді. Мысалы, $h = 2000$ км биіктікте жасанды серік Жерді айнала 6,9 км/с жылдамдықпен қозгалар еді.

5. Ерекше айта кететін бір жайт: $v_1 = \sqrt{G \frac{M}{(R_\infty + h)}}$ формуласынан көрініп түргандай, денелердің әртүрлі орбиталар бойындағы жылдамдықтарына олардың массаларының ешқандай қатысы жоқ. Кез келген массалы деңе Жер тәңірегіндегі берілген орбита бойында бірдей жылдамдықпен қозгалады.

Алайда денелердің орбита бойындағы жылдамдығы бірінші гарыштық жылдамдығы болып табылмайды. Жер бетіндегі кез келген массалы денені Жер тәңірегіндегі орбитага шығару үшін 8 км/с жылдамдық берсе гана олар Жер серігіне айнала алады. Ал мұндай жылдамдықты аса қуатты гарыш зымырандары гана бере алады.

**Сұрақтар**

- Жер серіктері деп қандай денелерді айтады?
- Жасанды Жер серіктері деп қандай денелерді айтады?
- Бірінші гарыштық жылдамдық деп қандай жылдамдықты айтады?
- Бірінші гарыштық жылдамдықтың $v = \sqrt{gR}$ формуласымен де өрнектелетінін қалай дәлелдеуге болады?
- Жасанды Жер серігінің Жер бетінен биіктігіне байланысты әртүрлі орбиталардағы жылдамдығы қалай өзгереді?
- Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Жасанды Жер серігі Жер экваторының жазықтығында айнала отырып, Жер шарының үстіндегі бір нүктеден аудитқымайды (геостационарлық жасанды Жер серігі). Ол Жер бетінен қандай қашықтықта тұр? $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $R = 6370 \text{ км}$.

<i>Берілгені</i>	<i>ХБЖ бойынша</i>
$R = 6370 \text{ км}$	$R \approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$
$g = 9,8 \text{ м/с}^2$	$T = 24 \cdot 3600 \text{ с}$
$h - ?$	$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$

Есеп мазмұнын талдау

Жердің серікті тарту күші $F = G \frac{mM}{(R+h)^2}$ және Жер серігін центрге тартқыш күші ($F = ma_{\text{ц.в.}}$) өзара тең:

$$G \frac{mM}{(R+h)^2} = ma_{\text{ц.в.}} \quad (1)$$

Мұндағы m – Жер серігінің массасы; $M = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ – Жердің массасы; $R+h$ – Жер центрінен Жер серігіне дейінгі қашықтық; $a_{\text{ц.в.}} = \frac{v^2}{(R+h)} = \omega^2(R+h)$ – центрге тартқыш үдеу; h – серіктің Жер бетінен биіктігі (сурет 3.35, ə).

Серіктің Жерді айналғандағы бұрыштық жылдамдығы:

$$\omega = \frac{2\pi}{T};$$

мұндағы $T = 24$ сағ. – Жердің өз өсін толық бір айналуға кететін уақыты. Бұл уақытта серік те Жерді бір айналып отырады, өйткені ол Жер бетіндегі адам үшін бір нүктеде «қозгалмай» тұрады.

Бұрыштық жылдамдықтың мәнін центрге тартқыш үдеу формуласындағы орнына қойып, мына өрнекті аламыз:

$$a_{\text{u.r.}} = \frac{4\pi^2}{T^2} (R + h).$$

Центрге тартқыш үдеудің соңғы шамасын (1) формуласына қойып, теңдіктің оң және сол жақтарын m массасына қысқартқаннан кейін мына өрнекті аламыз:

$$G \frac{M}{(R + h)^2} = \frac{4\pi^2}{T^2} (R + h) \text{ немесе } GM T^2 = 4\pi^2 (R + h)^3.$$

$$\text{Бұдан } R + h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}; \quad h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R.$$

$$\text{Шешүү: } h = \sqrt[3]{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \cdot (24 \cdot 3600)^2}{4 \cdot 3,14^2}} \text{ м} - 6,4 \cdot 10^6 \text{ м} \approx 3,2 \cdot 10^7 \text{ м.}$$

Жауабы: $h = 3,2 \cdot 10^7$ м.

2-есеп. Жасанды серік A планетасының төңірегінде T периоден айналады. Егер серік тығыздығы A планетасының тығыздығындаи болатын B планетасының төңірегінде радиусы бұрынғыға қарағанда екі есе үлкен болатын орбитада айналса, онда период қалай өзгереді? (Екі жағдайда да орбиталар шеңбер болып табылады).

<i>Берілгені</i>
$\rho_A = \rho_B = \rho$
$R_B = 2 R_A$
$T_A = T$
$T_B = ?$

Eсеп мазмұнын талдау

Жасанды серік кез келген планетаның төңірегінде шеңбер тәріздес орбита бойымен айналғанда центрге тартқыш күш гравитациялық тарту күшіне тең болады:

$$ma_{\text{u.r.}} = G \frac{mM}{R^2} \text{ немесе } a_{\text{u.r.}} = G \frac{M}{R^2}. \quad (1)$$

Мұндағы m – жасанды серіктің массасы; $a_{\text{u.r.}} = v^2/R$ – центрге тартқыш үдеу; G – гравитациялық тұрақты; M – планетаның массасы.

Планетаның массасын оның шар тәріздес көлемі мен тығыздығы арқылы табамыз:

$$M = \rho \cdot V = \rho \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Центрге тартқыш үдеудің және планета массасының мәндерін (1) теңдікке қойып, мына өрнектерді аламыз:

$$\frac{v^2}{R} = \rho \cdot G \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot \frac{1}{R^2} \text{ немесе } v^2 = \rho G \frac{4}{3} \pi R^2. \quad (2)$$

Екінші жағынан серіктің орбита бойындағы v сызықтық жылдамдығы $v = 2\pi R/T$ формуласы бойынша табылады (мұндағы $2\pi R$ – орбитаның бір айналғандағы серіктің жүрген жолы, T – бір айналуға кеткен уақыт). Жылдамдықтың соңғы мәнін квадраттап, (2) өрнегімен теңестіреміз:

$$\frac{4\pi^2 R^2}{T^2} = \rho G \frac{4}{3} \pi R^2, \text{ бұдан } T^2 = \frac{3\pi}{\rho G} \text{ немесе } T = \sqrt{\frac{3\pi}{\rho G}}.$$

Жауабы: Есептің талдауы көрсеткендегі, серіктің айналу периоды $T = \sqrt{\frac{3\pi}{\rho G}}$ планетаның тығыздығына ғана тәуелді. Есептің шарты бойынша $\rho_A = \rho_B = \rho$. Ендеше, жасанды серік екі планета тәңірегінде де бірдей периодпен айналады.



Жаттығу 3.8

1. Айдың радиусы Жер радиусынан 3,7 есе, ал массасы оның массасынан 81 есе кіші. Ай бетіндегі дененің еркін түсү үдеуі қандай?
2. Ай Жерді және Жер Күнді қандай жылдамдықтармен айналады? Денелердің массалары мен арақашықтықтарын анықтамалық дереккөздерінен алындар.
3. Жер Күнді 365,26 тәуліктे айналады. Күннің массасын есептеп шыгарындар. Есептеуге қажетті мәліметтерді анықтамалық дереккөздерінен алындар.
4. Айдың Жерге тартылыш күшін есептөндөр. Есептеуге керекті мәліметтерді анықтамалық дереккөздерінен алындар.
5. Марстың табиги серігі – Фобос, радиусы 9400 км орбита бойымен оны 7 сағат 39 минутта айналып шыгады. Марстың массасын есептеп шыгарындар.

III тараудагы ең маңызды түйіндер

- **Ньютоның бірінші заңы (инерция заңы).** Егер денеге басқа денелер әрекет етпесе немесе олардың әрекеті тенгерілген болса, онда дene не тыныштықтағы күйін, не тұзусызықты бірқалыпты қозгалысын сақтайды.
- **Қандай да бір санақ жүйесіндегі денеге әрекет ететін күштер жоқ болса немесе олардың әрекеттері бірін-бірі тенгеріп тұратын болса, онда бұндай санақ жүйесі инерциялық санақ жүйесі деп аталады.**
- **Масса – дененің инертилік және гравитациялық қасиеттерін сандық тұргыдан сипаттайтын физикалық шама.**
- **Ньютоның екінші заңы (динамиканың негізгі заңы).** Дененің алатын үдеуі оған әрекет ететін күштердің тендеректесінде күшіне тұра пропорционал, ал дененің массасына көрі пропорционал болады:

$$\ddot{\vec{a}} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

- **Ньютоның үшінші заңы.** Денелер бір-бірімен модульдері тең, ал бағыттары қарама-қарсы күштермен әрекеттеседі:

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

- **Бүкіләлемдік тартылым заңы.** Екі дene бір-бірінен массаларының көбейтіндісіне тұра пропорционал, ал арақашықтықтарының квадратына көрі пропорционал күшлен тартылады:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}.$$

- **Салмақ – дененің Жерге тартылу барысында оның тіреуге немесе аспага әрекет ету күші:**

$$P = mg.$$

- **Жер бетіне жақын орбита үшін ($r \approx R_{жер}$) бірінші гарыштық жылдамдықтың формуласы:**

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{r}} \quad \text{немесе} \quad v_1 = \sqrt{g R_{жер}},$$

IV ТАРАУ

САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- ➡ дene импульсі мен күш импульсін ажырату;
- ➡ импульстің сақталу заңын тұжырымдау және есептер шығаруда қолдану;
- ➡ табиғаттағы және техникадағы реактивті қозғалысқа мысалдар келтіру;
- ➡ «Байқоңыр» ғарыш айлағының аймақтық және халықаралық маңыздылығына баға беру;
- ➡ механикалық жұмысты аналитикалық және графикалық тәсілдермен анықтау;
- ➡ жұмыс пен энергияның байланысын түсіндіру;
- ➡ энергияның сақталу заңын тұжырымдау және есептер шығаруда қолдану.

Бұл тарауда оқушылар терең ігеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде үзак сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «импульс», «дене импульсі», «күш импульсі», «импульстің сақталу заңы», «реактивті қозғалыс», «механикалық жұмыс», «энергия», «энергияның сақталу заңы».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Импульс	Импульс	Momentum
Дене импульсі	Импульс тела	Body momentum
Күш импульсі	Импульс силы	Impulse of force
Импульстің сақталу заңы	Закон сохранения импульса	Law of conservation of momentum
Реактивті қозғалыс	Реактивное движение	Jet propulsion
«Байқоңыр» ғарыш айлағы	Космодром «Байконур»	«Baikonur» spaceport
Механикалық жұмыс	Механическая работа	Mechanical work
Энергия	Энергия	Energy
Энергияның сақталу заңы	Закон сохранения энергии	Law of energy conservation

§22.

ДЕНЕ ИМПУЛЬСІ ЖӘНЕ КУШ ИМПУЛЬСІ

1. Белгілі бір \vec{v}_1 жылдамдықпен қозғалып келе жатқан массасы m денеге өтे қысқа Δt уақыт аралығында \vec{F} күші әрекет етсін. Осы уақыт аралығында күштің әрекетінен дененің жылдамдығы $\Delta\vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ шамасына өзгереді. Ендеше, дene Δt уақыт аралығында (1.6) формуласына сәйкес төменде көрсетілген үдеумен қозғалатын болады:

$$\vec{a} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}.$$

Ньютоның екінші заңымен анықталатын динамиканың негізгі тендеуіне жоғарыдағы үдеудің мәнін қойып, мына өрнектерді аламыз:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \text{ немесе } \vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = m\Delta\vec{v} = \Delta(m\vec{v}).$$

Сонымен, Ньютоның екінші заңы мынадай формулалармен де өрнектеледі:

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 \text{ немесе } \vec{F}\Delta t = \Delta(m\vec{v}). \quad (4.1)$$

Соңғы өрнектен көріп отырғанымыздай, денеге түскен күштің осы күш әрекет ететін уақыт аралығына көбейтіндісі $(\vec{F}\Delta t)$ дененің массасы мен жылдамдығының көбейтіндісінің өсімшесіне $[\Delta(m\vec{v})]$ тен болып шықты. Тендіктің оң және сол жағындағы көрсетілген шамалардың физикалық мағынасы өтे маңызды. Осыған орай физикага *дene импульсі* (қозғалыс мөлшері деп те атайды) және *куш импульсі* деген жаңа үғымдар енгізіледі. Дене импульсін, әдетте, \vec{p} таңбасымен белглейді.

2. Дене импульсі *деп* дененің массасының оның жылдамдығына *көбейтіндісімен* анықталатын физикалық шаманы айтады:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (4.2)$$

Жылдамдық векторлық шама болғандықтан, оған тұра пропорционал импульс та векторлық шама болып табылады. Формуладан көрініп түрғандай, импульс векторының бағыты жылдамдық векторымен бағыттас болады.

Импульстің өлшем бірлігіне арнайы атау берілмеген. Алайда Халықаралық бірліктер жүйесіндегі (ХБЖ) импульстің өлшем бірлігін (4.2) формуласы бойынша $m = 1 \text{ кг}$, $\vec{v} = 1 \text{ м/с}$ деп алып анықтай аламыз:

1 импульс бірлігі = 1 кг · 1 м/с = 1 кг · м·с.

Импульс ұғымын ғылымға бірінші енгізуші «Ньютонды иғына көтерген» алыптардың бірі – француздың әмбебап ұлы ғалымы Рене Декарт болатын.

3. Соңғы формуладағы импульстің шамасын (4.1) тендігіндегі орнына қойып, мына өрнекті аламыз:

$$\bar{F}\Delta t = \bar{\Delta p} = \bar{p}_2 - \bar{p}_1 = \bar{m}\bar{v}_2 - \bar{m}\bar{v}_1, \quad (4.3)$$

мұндағы: $\bar{F}\Delta t$ – **күш импульсі** деп аталатын векторлық шама (оган арнағы тақбалаш белгісі берілмеген); $\bar{\Delta p} = \bar{p}_2 - \bar{p}_1 = (\bar{m}\bar{v}_2 - \bar{m}\bar{v}_1)$ – дене импульсінің Δt уақыт ішіндегі өзгерісі; m – дененің массасы, \bar{v}_2 – дененің соңғы, ал \bar{v}_1 – бастапқы жылдамдықтары.

Сонымен, **күш импульсі** ($\bar{F}\Delta t$) **деп күш пен оның әрекет ететін уақытының көбейтіндісін айтады.**

Күш импульсі бағыты күш векторымен бағыттас болады. Халықаралық бірліктер жүйесінде күш импульсінің бірлігі: **Ньютон-секунд** (Н · с).

(4.3) формуласына сәйкес **күш импульсі** ұғымына тағы да мынадай анықтама береді аламыз: **күш импульсі деп дене импульсінің өзгерісіне тен болатын физикалық шаманы айтады.**

Жоғарыдағы формуладан мынадай қорытынды туындаиды:

Дене импульсінің өзгерісі оған түсken күшке тұра пропорционал және күш қалай бағытталса, импульстің өзгерісі де солай бағытталады: $\bar{\Delta p} \sim \bar{F}$.

Ньютон ең алғаш өзінің екінші заңын нақ осылайша түжырымдаған болатын.

4. $\bar{F}\Delta t$ көбейтіндісімен анықталатын күш импульсін графикте көрсетейік. Ол үшін Oy осіне денеге әрекет ететін \bar{F} күшін, ал Ox осіне күштің әрекет ететін t уақытын салайық (сурет 4.1).

Егер \bar{F} күші тұрақты болса, онда күш импульсінің шамасы табаның ұзындығы t , ал биіктігі F болатын тіктөртбұрыштың ауданына тен болар еді.

Енді күш айнымалы болатын жағдайды қарастырайық. Мысалы, күш 7 с ішінде нөлден 20 ньютонға дейін уақытқа тұра пропорционал өсіп, ал одан кейін 3 с ішінде уақытқа тұра пропорционал кеміп нөлге теңелетін болсын (сурет 4.1). Мұндай жағдайда $t = 10$ с ішінде әрекет ететін айнымалы күштің импульсі суреттегі үшбұрыштың ауданына тен болады.



Сурет 4.1. Күш импульсінің графигі

Жалпы алғанда $F(t)$ функциясымен сипатталатын айнымалы күштің уақытқа тәуелділігі күрделі қисық болып келуі мүмкін. Мұндай жағдайда күш импульсінің шамасы қисық пен Ox өсінің арасындағы фигураның ауданына тең болады. Математикада мұндай күрделі фигурапардың ауданын анықтау үшін оны уақыттың өте аз Δt аралықтарына сәйкес келетін өте шарын фигурапарға бөледі. Сонда өрбір Δt_i уақыт аралығында деңеге өрекет ететін F_i , күшін тұрақты деп алуға болады. Олай болса, F_i күшінің импульсі мынаған тең: $F_i \cdot \Delta t_i$. Жоғарыдағы графикте осындай элементар тіктөртбұрыштардың саны – 30 ($i = 30$). Олардың аудандарын қосып, t уақыт ішінде өрекет ететін $F(t)$ айнымалы күшінің импульсін анықтайты. Мұндай тәсілді математикада *интегралдау тәсілі* деп атайды.



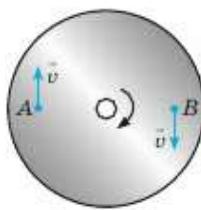
Сұрақтар

1. Күш өрекетінен деңе жылдамдығының өзгерісіне қарай Ньютоның екінші заңын қалай өрнектеуге болады?
2. Деңе импульсі деп қандай физикалық шаманы айтады?
3. Күш импульсі деп қандай шаманы айтады?
4. Күш импульсін графикалық түрде қалай бейнелең көрсетуге болады?



Теориялық зерттеу

Материялық нүктө $\ddot{v} > 0$ жылдамдығымен қозгалатын болса, онда оның импульсі үнемі нөлден үлкен шама болып табылады ($\ddot{p} > 0$). Ал егер денені материялық нүктө ретінде қарастыруға болмайтын болса, онда оның импульсі кейде нөлге теңелуі мүмкін. Мұны айналып тұрған біртекті дөңгелек (сурет 4.2) мысалында дәлелдендер.



Сурет 4.2.
Біртекті дөңгелек

§23.

ИМПУЛЬСТИҚ САҚТАЛУ ЗАҢЫ

1. Табиғаттағы денелер үнемі бір-бірімен әрекеттеседі. Әрекеттесуші денелердің арасынан өз әрекеттеріне қараганда басқа денелердің әрекеттерін елемеуге болатын денелер жүйесін бөліп алуға болады. Мысалы, Құн жүйесіндегі планеталардың өзара әрекеттесулеріне қараганда олардың басқа жүлдемдермен ете әлсіз әрекеттесулерін елемеуге болады. Міне, осындай жағдайлар үшін физикада *түйық жүйе* деген үғым енгізіледі. Түйық жүйедегі денелердің өзара әрекеттесу күшін *ішкі күш*, ал түйық жүйенің сыртындағы денелердің әрекет күштерін *сиртқы күш* деп атайды.

Түйық жүйе деп сыртқы күштердің әрекеттерін елемейтін, тек бір-бірімен ішкі күштер арқылы ғана әрекеттесетін денелердің жүйесін айтады.

2. Түйық жүйеге енетін денелер өзара әрекеттескенде біріне-бірі импульстерін бере алады. Сейтіп, біреуінің импульсі өссе, екіншісінікі кемиді. Алайда түйық жүйедегі денелердің импульстерінің қосындысы бастапқы шамаларын өзгертуей тұрақты сақтайды. Түйық жүйенің өз импульсін өзгертуей тұрақты сақтау қасиеті физикада *импульстіқ сақталу заңы* деп аталады. Бұл заң былайша тұжырымдалады:

Түйық жүйедегі денелер өзара әрекеттескенде импульстерін өзгерте алады; алайда олардың қосынды импульсі тұрақты сақталады:

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const.}$$

Импульстіқ сақталу заңы Ньютоның екінші және үшінші заңдарының салдары болып табылады. Оны төмендегі материалдар айғақтайды.

3. Массалары өртүрлі екі шардан тұратын түйік жүйені қарастырайық. Жүйедегі бірінші шар Oy осінің бойында, екінші шар Ox осінің бойында орналасын (сурет 4.3, а). Массасы m_1 бірінші шар v_1 жылдамдығымен Ox осі бағытында қозгалсын, ал екінші шар тыныштықта тұрсын. Олай болса, олардың импульстері сәйкесінше мынаған тең:

$$\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1; \quad \vec{p}_2 = 0.$$

Ендеше, шарлар соқтығысқанға дейінгі түйік жүйенің импульсі:

$$\sum \vec{p}_i = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1 \vec{v}_1.$$

Екі шардан тұратын түйік жүйенің импульсінің шарлар соқтығысқаннан кейін де өзгермейтінін көрсетейік. Бірінші шар екінші шарды жанай соқсын (сурет 4.3, а). Соққы барысында Ньютоның үшінші заңына сәйкес бірінші шар екінші шарға қандай күшпен өрекет етсе, екінші шар модулі де сондай, бірақ қарама-қарсы бағытталған күшпен бірінші шарға өрекет етеді:

$$\vec{F}_2 = -\vec{F}_1 \text{ (суретте қызыл сыйықты векторлар).}$$

Шарлардың өзара өрекеттесу уақытын Δt деп белгілейік. Сонда шарларға өрекет ететін $\vec{F}_1 \Delta t$ және $\vec{F}_2 \Delta t$ **күш импульстерінің** де модульдері тең, ал бағыттары қарама-қарсы болатынын көреміз:

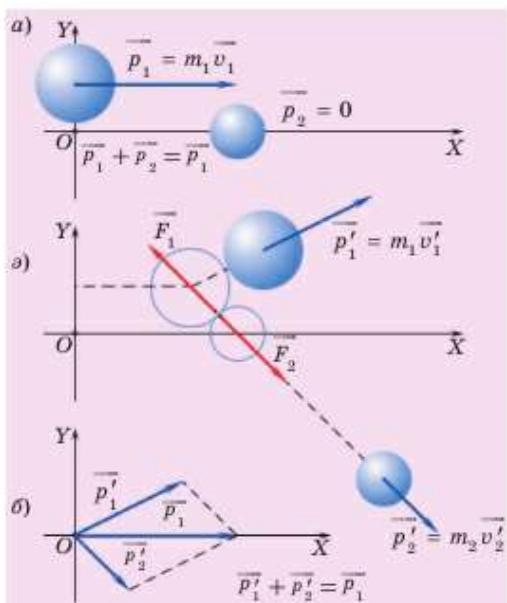
$$\vec{F}_1 \Delta t = -\vec{F}_2 \Delta t. \quad (4.4)$$

(4.3) формулада көрсетілген Ньютоның екінші заңы бойынша шарларға өрекет ететін күш импульстерін мына түрде жазамыз:

$$\vec{F}_1 \Delta t = m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1; \quad (4.5, a)$$

$$\vec{F}_2 \Delta t = m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2. \quad (4.5, a)$$

Мұндағы: $\vec{p}'_1 = m_1 \vec{v}'_1$ – бірінші шардың соқтығысудан кейінгі өзгерген



Сурет 4.3. Шарлардың импульстерінің қосындысы өзгермейді

импульсі (ортадағы суретте Ox осіне сүйір бұрыш жасап, жоғары қарай бағытталған вектор); $\vec{p}_1 = m_1 \vec{v}_1$ – бірінші шардың соқтығысуға дейінгі импульсі (жоғарыдағы суретте Ox осіне параллель бағытталған вектор); $\vec{p}'_1 = m_1 \vec{v}'_1$ – екінші шардың соқтығысудан кейінгі өзгерген импульсі (ортадағы суретте Ox осіне сүйір бұрыш жасап, төмен қарай бағытталған вектор); $\vec{p}'_2 = m_2 \vec{v}'_2 = 0$ – екінші шардың соқтығысуға дейінгі импульсі.

(4.4) және (4.5) формулаларынан мына тәпеп-тендіктерді аламыз:

$$m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1 = - (m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2)$$

немесе

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2. \quad (4.6)$$

(4.6) формуласы, шынында да, түйік жүйедегі екі дененің соқтығысуға дейінгі импульстерінің қосындысы ($\sum \vec{p}_i = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$) олардың соқтығысудан кейінгі импульстерінің қосындысына ($\sum \vec{p}'_i = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$) тең болатынын көрсетеді. Мұндай қорытынды түйік жүйедегі денелердің саны екіден көп ($i > 2$) болса да өзгермейді:

$$\sum \vec{p}_i = \sum \vec{p}'_i = \text{const.} \quad (4.7)$$

Міне осылайша, түйік жүйенің ішіндегі денелердің өзара әрекеттесулері барысында әр дененің импульстері өзгереді, ал бірақ тұтас жүйенің импульсі өзгермей тұракты сақталады.

5. Соқтығыулар серпімді де, серпімсіз де, ал шекті жағдайда абсолют серпімді немесе абсолют серпімсіз де болуы мүмкін. Абсолют серпімді соқтығысуда түйік жүйенің импульсі де, механикалық энергиясы да өзгеріссіз сақталады. Абсолют серпімсіз соқтығыста жүйенің механикалық энергиясы толық сақталмайды. Алайда жоғалып кетпейді, жүйедегі денелердің ішкі энергиясына (жылуға) түрленеді.

Денелер соқтығысқаннан кейін бірігіп, бірдей жылдамдықпен қозгалатын болса, онда мұндай соқтығысуды абсолют серпімсіз соқтығысу деп атайды.

Екі дененің абсолют серпімсіз соқтығысын қарастырайық. Массасы m_1 дene массасы m_2 дeneмен абсолют серпімсіз соқтығыссын. Олардың соқтығысуға дейінгі жылдамдықтары \vec{v}_1 және \vec{v}_2 , ал соқтығысудан кейінгі жылдамдығы \vec{u} болсын. Мұндай жағдайда импульстің сақталу заңы (4.7) формуласына сәйкес былайша жазылады:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$$

Абсолют серпімсіз соқтығысуда жүйенің механикалық энергиясының қандай мөлшері ішкі энергияға айналғанын білу маңызды. Ол үшін денелердің соқтығысуга дейінгі кинетикалық энергияларының қосындысынан, соқтығысдан кейінгі кинетикалық энергияларын алғып тастап, ΔE_k айрымын анықтау қажет:

$$\Delta E_k = \left(\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \right) - \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2}.$$



Сұрақтар



1. Түйік жүйе деп қандай жүйені айтады?
2. Импульстің сақталу заңы қалай тұжырымдалады? Формуласы қалай жазылады?
3. Түйік жүйедегі массалары әртүрлі екі шардың әртүрлі күйлеріндегі импульстерінің сақталу заңы қандай теңдеумен өрнектеледі?
4. Абсолют серпімсіз соқтығысу деп қандай соқтығысуды айтады? Абсолют серпімсіз соқтығыста механикалық энергияның қандай бөлігі денелердің ішкі энергиясына түрленеді.
5. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Қайықтағы аңшы оның қозғалыс бағытына қарай екі рет жеделдетіп мылтық атып еді, қайық тоқтап қалды. Егер қайық пен мылтықты аңшының массасы 200 кг, атылған оқтың жылдамдығы 500 м/с, ал оқтың массасы 20 г болса, қайықтың бастапқы жылдамдығы қандай болды? Үйкеліс ескерілмейді.

Берілгені

$$\begin{aligned} M &= 200 \text{ кг} \\ m &= 20 \text{ г} \\ v &= 500 \text{ м/с} \\ v_{02} &= 0 \text{ м/с} \\ v_0 - ? & \end{aligned}$$

Есеп мазмұнын талдау

Түйік жүйені қайық пен мылтықты адам және оқ құрайды. Жүйенің бастапқы импульсі қайық пен мылтықты адамның және оқтың импульстерінің қосындысынан тұрады:

$$M \overline{v_0} + m \overline{v_0} = M \overline{v_0}, \text{ мұндағы:}$$

$m \overline{v_0} = 0$ – атылмаған оқтың импульсі (оны ескермеуге болады, өйткені $m \overline{v_0} \ll M \overline{v_0}$);

$M \overline{v_0}$ – адам мен қайықтың бастапқы импульсі;

\bar{v}_0 – қайықтың бастапқы жылдамдығы;

$M\bar{v}'_0 + m\bar{v}$ – мылтық бірінші атылғаннан кейінгі жүйенің импульсі;

$M\bar{v}'_0$ – адам мен қайықтың бірінші оқты атқаннан кейінгі импульсі;

\bar{v}'_0 – қайық пен адамның бірінші оқты атқаннан кейінгі жылдамдығы;

$m\bar{v}$ – атылған бірінші оқтың импульсі (оқтың бұл импульсі ескеріледі, ейткені $\bar{v} >> \bar{v}'_0$).

Импульстің сақталу заңы бойынша жүйенің бастапқы импульсі ($M\bar{v}'_0$) оның мылтық бірінші атылғаннан кейінгі импульсіне ($M\bar{v}'_0 + mv$) тең:

$$M\bar{v}'_0 = M\bar{v}'_0 + m\bar{v}. \quad (1)$$

Мылтық екінші атылар алдындағы жүйенің импульсі: $M\bar{v}'_0$ (атылған оқтың $m\bar{v}'_0$ импульсі ескерілмейді);

Мылтық екінші атылғаннан кейінгі жүйенің импульсі: $M\bar{v}_{02} + m\bar{v} = m\bar{v}$;

$M\bar{v}_{02} = 0$ – адам мен қайықтың мылтық екі рет атылғаннан кейінгі импульсі ($\bar{v}_{02} = 0$);

$m\bar{v}$ – екінші оқтың импульсі.

Импульстің сақталу заңы бойынша жүйенің бірінші оқ атылғаннан кейінгі импульсі ($M\bar{v}'_0$) оның мылтық екінші атылғаннан кейінгі импульсіне ($m\bar{v}$) тең:

$$M\bar{v}'_0 = m\bar{v} \quad (2)$$

Шешуі. (1) мен (2) өрнектері бойынша теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\begin{cases} M\bar{v}'_0 = M\bar{v}'_0 + m\bar{v}, \\ M\bar{v}'_0 = m\bar{v}. \end{cases}$$

Теңдеулерден қайықтың бастапқы жылдамдығын анықтаймыз: $v_0 = 2mv/M = 2 \cdot 0,02 \cdot 500/200 = 0,1$ м/с.

Жауабы: $v_0 = 0,1$ м/с.

2-есен. 10 м/с жылдамдықпен қозғалған бильярд шары тыныштықта түрған массасы сондай шарға соғылды. Соққыдан екі шар да бірінші шардың бұрынғы бағытына 45° бұрышпен алшақтай қозғалды. Шарлар қандай жылдамдықпен қозғалды?

Берілгені
$v_1 = 10 \text{ м/с}$
$v_2 = 0 \text{ м/с}$
$m_1 = m_2 = m$
$\alpha = 45^\circ$
$v'_1 - ?$
$v'_2 - ?$

Eсеп мазмұнын талдау

Түйік жүйе екі шардан тұрады. Шарлардың соқтығысына дейінгі жүйенің импульсі екі шардың импульстериңіндең косындисынан тұрады:

$$m \vec{v}_1 + m \vec{v}_2 = m \vec{v}_1, (m \vec{v}_2 = 0).$$

Шарлар соқтығысқан соң жүйенің импульсі екі шардың өзгерген импульстеріндең косындисынан тұрады:

$$m \vec{v}'_1 + m \vec{v}'_2.$$

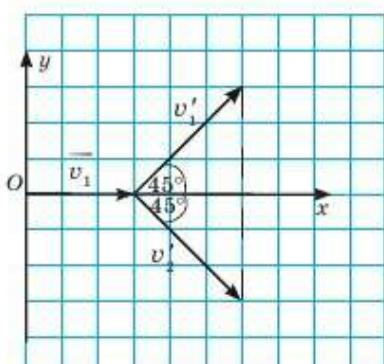
Импульстің сақталу заңы бойынша жүйенің бастапқы импульсі ($m \vec{v}_1$) оның соңғы импульсіне ($m \vec{v}'_1 + m \vec{v}'_2$) тең:

$$m \vec{v}_1 = m \vec{v}'_1 + m \vec{v}'_2 \text{ немесе } \vec{v}_1 = \vec{v}'_1 + \vec{v}'_2.$$

Соңғы өрнектегі жылдамдықтардың векторлық теңдеуін олардың координаталар өстеріндегі проекциялары бойынша екі скалярлық теңдеу түрінде жаза аламыз:

$$Ox \text{ есі бойынша: } v_{1x} = v'_{1x} + v'_{2x}; \quad (1)$$

$$Oy \text{ есі бойынша: } v_{1y} = v'_{1y} + v'_{2y}. \quad (1, a)$$



Сурет 4.4

Жылдамдықтардың проекцияларының мәндерін төмендегі сурет 4.4 бойынша анықтаймыз.

$$Ox: v_{1x} = v_1; v'_{1x} = v_1 \cos 45^\circ;$$

$$v'_{2x} = v_2 \cos 45^\circ;$$

$$Oy: v_{1y} = 0; v'_{1y} = v_1 \sin 45^\circ;$$

$$v'_{2y} = -v_2 \sin 45^\circ.$$

Проекциялардың мәндерін (1) және (1, a) теңдеулеріне қоямыз:

$$Ox: v_1 = v'_1 \cos 45^\circ + v'_2 \cos 45^\circ; \quad (2)$$

$$Oy: 0 = v'_1 \sin 45^\circ - v'_2 \sin 45^\circ. \quad (2, a)$$

Шешуі. (2, a) теңдеуінен: $v'_1 = v'_2$. (2) теңдеуінен:

$$v_1 = 2v'_2 \cos 45^\circ; v'_2 = v_1 / 2 \cos 45^\circ = 10 / 2 \cos 45^\circ = 7,1 \text{ м/с.}$$

Жауабы: $v'_1 = v'_2 = 7,1 \text{ м/с.}$



Жаттығу 4.1

- Массасы 10 т жүк машинасы 36 км/сағ жылдамдықпен, ал массасы 1 т жеңіл машина 25 км/сағ жылдамдықпен қозгалады. Олардың импульстері қандай?
- Көлемдері тең болат және қорғасын шары бірдей жылдамдықпен қозгалады. Олардың импульстерін салыстырындар.
- Массасы 2000 т пойыз жолдың тұзу болігінде жылдамдығын 36 км/сағтан 72 км/сағ-қа дейін арттырды. Пойыздың импульсінің өзгерісі қандай?
- Массасы 750 т кемедегі зеңбіректен кеме журісіне қарсы бағытта горизонтқа 60° бұрыш жасай оқпан үшты. Егер оқпаниның массасы 30 кг, ал оның кемемен салыстыргандагы жылдамдығы 1 км/с болса, онда кеменің жылдамдығы қандай шамага өзгерді?
- Массасы 20 кг тыныштықта тұрған арбаның үстіне массасы 60 кг адам отыр. Егер адам 1 м/с жылдамдықпен арба үстінде жүре бастаса, онда арба Жермен салыстырганда қандай жылдамдықпен қозгалар еді? Үйкеліс ескерілмейді.

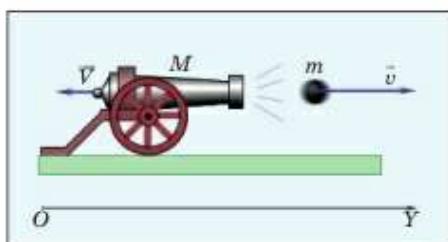
§24.

РЕАКТИВТІ ҚОЗГАЛЫС

1. Мылтықтан оқ атқанда немесе зеңбіректен оқпан үшіп шыққанда (сурет 4.5) мылтықтың да, зеңбіректің де *көрі тебілу* қозгалысы орын алады. *Әрекеттесуши денелердің бір-бірінен көрі тебілу құбылысы реактивті қозгалыс деп аталауды.*

Көптеген тіршілік иелерінің қозгалыстары да реактивті қозгалыстарда жатады. Мысалы, сегізаяқ, кальмар, теңіз-құрт, медуза сияқты мұхит жануарлары мен жәндіктерінің қозгалысы (сурет 4.6) көрі тебілу құбылысына негізделген. Олар бойларына судың белгілі массасын жинап алғып, қайыра ытқытып шығару арқылы ілгері қозғала алады. Мұхиттардағы тіршілік иелерінің осындай реактивті қозгалыс жылдамдықтарының 60 км/сағ шамасына дейін жететіні тіркелген.

2. Ньютон заңдарын қолданып, механиканың негізгі есебін шешкенде міндетті түрде денелерге әрекет ететін күштерге жүгінуші едік. *Импульстің сақталу заңы* әрекет етуші күштерге жүгінбей-ақ қозгалыстағы денелердің жылдамдықтарын анықтауга мүмкіндік береді.



Сурет 4.5. Зеңбіректің кері тебілуі



Сурет 4.6. Сегізаяқтың кері тебілуі

Мысал ретінде зеңбірек пен оқпаннан тұратын түйік жүйедегі кері тебілу қозғалысының жылдамдығын анықтайық. Өрине, өзара әрекеттесуші оқпан мен зеңбіректің жылдамдықтары оларға қандай да бір күштер әрекет етсе ғана өзгереді. Алайда ол күштерді анықтамай-ақ импульстің сақталу заңын қолдана отырып, кері тебілудің (реактивті қозғалыстың) жылдамдығын анықтауға болады.

Массасы M зеңбірек пен массасы m оқпан тыныштықта тұрганда ($\bar{V}_0 = 0$; $\bar{v}_0 = 0$) түйік жүйенің бастапқы импульсі нөлге тең болады: $\sum \bar{p}_i = M \bar{V}_0 + m \bar{v}_0 = 0$.

Зеңбіректен оқпан \bar{v} жылдамдығымен ұшып шыққан кезде зеңбірек те \bar{V} жылдамдығымен кері тебіледі (сурет 4.5). Бұл кезде жүйенің импульсі зеңбірек пен оқпанның импульстерінің қосындысынан тұрады:

$$\sum \bar{p}'_i = \bar{p}'_{\text{зең}} + \bar{p}'_{\text{ок}} = M \bar{V} + m \bar{v}.$$

Импульстің сақталу заңы бойынша түйік жүйенің импульсі өзгермейді:

$$\sum \bar{p}_i = \sum \bar{p}'_i = \text{const.}$$

Олай болса, зеңбірек пен оқпаннан тұратын жүйенің бастапқы импульсі қандай болса ($\sum \bar{p}_i = 0$), келесі импульстері де ($\sum \bar{p}'_i$) сондай болады: $M \bar{V} + m \bar{v} = 0$.

Соңғы векторлық теңдеуден зеңбіректің кері тебілу қозғалысының жылдамдығын анықтайдыз:

$$\bar{V} = - \frac{m}{M} \bar{v}. \quad (4.8)$$

Мұндағы минус таңбасы зеңбірек пен одан атылып шыққан оқпанның жылдамдық векторларының бір-біріне қарама-қарсы бағытталғанын білдіреді (сурет 4.5).

3. Реактивті қозғалыс та (4.8) формуласымен сипатталатын кері тебілу

лу күбылсына негізделеді. Зымырандарда (сурет 4.7) оқпанның рөлін соплодан үлкен жылдамдықпен атқып шығатын жанғыш отынның өнімі – ыстық газ атқарады. Сондықтан сыртқа зор қысыммен атқып шыққан газдың массасын m , жылдамдығын \bar{u} деп; ал газ шыққаннан кейінгі зымыранның массасын M , жылдамдығын \bar{v} деп белгілейік. Сонда «зымыран + газ» тұйық жүйесіндегі зымыранның жылдамдығы жалпы турде мына формуламен анықталады:

$$\bar{v} = - \frac{m}{M} \bar{u}. \quad (4.9)$$

Бұл формулада зымыранның бастапқы жылдамдығы нөлге тең деп қарастырылған. Сонымен қатар жанғыш отынның барлық массасы *bir уақытта* газ түрінде босап шығады деп есептеледі. Нақты жағдай үшін зымыранның жылдамдығы күрделі формулалармен анықталады, өйткені отын біртіндеп жанады да, одан белінетін газ да біртіндеп шығатын болады. Оның үстінен гарыш кеңістігінде қозғалу үшін жанғыш отынның массасын еселеп қосып отыру қажет. Шынында да, Жердің немесе Күннің тартылышында жағдай үшін жанғыш отынның массасы зымыранның өз массасынан бірнеше есе артық болуы қажет. Мысалы, Күннің тартылышында жағдай үшін жанғыш отынның массасы зымыран 55 есе артық жанғыш отын жүмсайды. Мұның барлығы гарыш кеңістігіне шығудың тауқыметінің орасан қызындығын паш етеді.

4. Адамзат тарихында бірінші болып гарышқа шығу жүмыстарының аса күрделі теориялық, практикалық және техникалық мәселелерін К.Э. Циолковскийдің (1857–1935) ізбасары – бас конструктор С.П. Королев (1907–1966) басшылық жасаган Кенес Одағының галымдары мен конструкторлары абыраймен шешті. Олардың жасампаздық еңбектері арқасында «Байқоңыр» гарыш айлағынан 1957 жылы 4 қазанда алғашқы Жер серігі ұшырылды; ал 1961 жылдың 12 сөүірінде «Восток-1» зымыраны Ю.А. Гагаринді көкке көтеріп, 1,5 сағаттай уақытта Жер шарын бір айналып шықты да, соңғы сатыдағы реактивті қозғалтқыш оны тұган Отанына қайыра оралтты.



Сурет 4.7

К.Э. Циолковский
(1857–1935)



Сұрақтар

- Реактивті қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
- Зеңбіректің кері тәбілу қозғалысының жылдамдығы қалай анықталады?
- Зымыранның қозғалыс жылдамдығы қалай анықталады?
- Фарышқа ұшудың күрделі мәселелерін бірінші болып кімдер шешті?
- Көпсатылы зымыран қалай жұмыс істейді?
- Төмендегі мысалда көрсетілген есептің шыгару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалы

Есеп. Спорттық тапаншаның жылжымалы құндағы қатаандығы $k = 4 \text{ кН/м}$ серіппемен жалғанған. Құндақтың массасы $M = 400 \text{ г}$, оқтың массасы $m = 8 \text{ г}$. Оқ атылғанда құндақ кері қарай $x = 3 \text{ см}-\text{ге}$ ығысады. Тапанша жұмыс істеуі үшін оқ қандай ең аз жылдамдықпен қозғалуы керек?

Берілгені	ХБЖ бойынша
$k = 4 \text{ кН/м}$	$k = 4 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$
$M = 400 \text{ г}$	$M = 0,4 \text{ кг}$
$m = 8 \text{ г}$	$m = 8 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$
$x = 3 \text{ см}$	$x = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
$v_2 - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Массасы M құндақ және массасы m оқ түйік жүйені құрайды. Осы түйік жүйедегі импульстің сақталу заңын мына түрде жазамыз:

$$M\bar{v}_1 + m\bar{v}_2 = (M+m)\bar{v}_0. \quad (1)$$

Теңдіктің сол жағы тапанша атылған кездегі жүйенің импульсін, ал оң

жағы тыныштықтағы жүйенің ($v_0 = 0$) импульсін сипаттайтын. Жүйенің тыныштықтағы импульсі нөлге тең болғандықтан, жоғарыдағы теңдік белгішінде жазылады: $M\bar{v}_1 + m\bar{v}_2 = 0$, мұндағы v_1 – оқ атылғаннан кейінгі тапанша мен құндақтың жылдамдығы; v_2 – оқтың жылдамдығы (сурет 4.8).

Жоғарыдағы теңдеулерді векторлардың Ox өсіндегі проекциялары арқылы жазамыз:

$$Mv_{1(x)} + mv_{2(x)} = 0. \quad (2)$$



Проекциялардың Ox өсіндегі мәндері:

$$v_{1(x)} = -v_1; v_{2(x)} = v_2.$$

Проекциялардың мәндерін (2)-ге қойып, мына теңдеудерді аламыз: $mv_2 = Mv_1$, бұдан $v_2 = \frac{Mv_1}{m}$ (3).

Мұндағы v_1 мәнін анықтау үшін энергияның сақ-

талу заңын пайдаланамыз. Тапанша құндағының кинетикалық энергиясы $\left(E_k = \frac{Mv_1^2}{2} \right)$ серіппенің потенциалдық энергиясына $\left(E_a = \frac{kx^2}{2} \right)$ тең:

$$\frac{Mv_1^2}{2} = \frac{kx^2}{2}. \text{ Бұдан } v_1 = x\sqrt{\frac{k}{M}} \quad (4)$$

(3) және (4) теңдіктерінен v_2 жылдамдығын табамыз:

$$v_2 = \frac{M}{m} \cdot x\sqrt{\frac{k}{M}} = \frac{x}{m}\sqrt{kM}.$$

$$\text{Шешүй: } v_2 = \frac{x}{m}\sqrt{kM} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{4 \cdot 10^3 \cdot 0,4} = 150 \text{ м/с.}$$

Жауабы: $v_2 = 150$ м/с.



Жаттығу 4.2

- Адам мінген арба тұзу жолда 2 м/с жылдамдықпен қозгалып келеді. Адам арбаның қозгалысына қарсы горизонталь бағытта 1 м/с жылдамдықпен секірді. Адам секіріп түскенин кейін арба қандай жылдамдықпен қозгалды? Адамның массасы арбаның массасынан 1,5 есе үлкен. Үйкеліс ескерілмейді.
- Зертханалық зымыранның массасы 200 г, оның ішіндегі жангыш заттың массасы 30 г. Жангыш зат лезде жанып, болінген газ да соплодан 100 м/с жылдамдықпен лезде шықса, зымыран қандай жылдамдық алады?
- Ox* өсінің бойымен массасы 1 кг дене 2 м/с жылдамдықпен қозгалады. Қозғалыс бағытында денеге 2 с бойы 4 Н күш өрекет етеді. Күш өрекеті аяқталғанинан кейінгі дененің жылдамдығын анықтаңдар.
- Зымыранның қозгалтқышына жангыш отын құрамы 200 м/с жылдамдықпен беріледі, ал ыстық газ соплодан 500 м/с жылдамдықпен шыгады. Қозгалтқыш өр секунд сайын 30 кг жангыш отын жұмсаса, оның реактивті күші қандай болады?
- Массасы 10 т гарыш кемесі 9 км/с жылдамдықпен қозгалып келеді. Кемені Жерге оралту мақсатында тежеу үшін қозгалтқыш оның қозгалу бағытына қарай зымыранга қатысты 3 км/с жылдамдықпен 1450 кг жану өнімін шыгарады. Тежелуден кейінгі зымыранның жылдамдығы қандай?



Шығармашылық тапсырма

Фылым мен техниканың даму тарихынан төменде берілген материалдарды және басқа да ақпараттарды пайдаланып мына тақырыптарда мақалалар жазып, мектептің қабырға газеттерінде шығарып тұрындар:

1. «Байқоңыр гарыштық аймагының тарихи орны және болашагы».
2. «Қазақстанның гарыштагы жұмыстарының маңызы».
3. «Фарышкерлердің өмір жолдары».



Фылым мен техниканың даму тарихынан

Кеңес Одағы адамзат тарихында бірінші болып ең алғашқы жасанды Жер серігін Қазақстандағы «Байқоңыр» гарыш айлағынан 1957 жылы 4 қазанда үшіндерди. Жасанды серікке бірінші гарыш жылдамдығын беріп, Жер төнірегіндегі орбитада шығару үшін бес реактивті қозғалтқышы бар көп басқышты құатты зымырандардың бас конструкторы Кеңес Одағының практикалық гарыш кешенінің негізін қалаушы, XX ғасырдың ұлы тұлғаларының бірі Сергей Павлович Королев болатын (1907–1966). Оның басшылығымен арнайы жасалған «Восток-1» зымыраны тұнғыш рет адамзат баласын – орыс азаматы Юрий Алексеевич Гагаринді (1934–1968) Байқоңырдан 1961 жылдың 12 сәуірінде гарышқа аттандырды. Ол гарыш кеңістігінде Жерді бір жарым сағаттай уақытта толық бір айналып, аман-есен тұған еліне оралды.

Гагарин ұшқан «Восток-1» зымыранының толық кешірме макеті Мәскеу қаласындағы көрмемде орналасқан. Оның жалпы ұзындығы 38 м, қозғалтқыштарының әу бастағы қуаты $14,7 \cdot 10^6$ кВт болатын. Ұзындығы 7,35 м болатын зымыранның соңғы басқышына Гагаринге арналған диаметрі 2,3 м шар тәріздес «гарыш кемесі» және оларды Жерге қайыра алып келетін ен соңғы реактивті қозғалтқыш орнатылды. Гагарин ұшқан «Восток-1» гарыш кемесінің макеті Париждегі «Авиация және космонаутика» мұражайында сақтаулы тұр. «Восток» зымыраны кейінірек «Союз» және «Протон» зымырандарымен алмастырылды. Экологияға зардабы молырак «Протон» зымырандарын бірте-бірте «Ангара» (сурет 4.10) зымырандары ығыстыратын болады.



Сурет 4.9.
Ю.А. Гагарин мен
С.П. Королев



Сурет 4.10. «Ангара» ғарыш зымыраны

Кеңес Одағы 1991 жылы ыдырағаннан кейін «Байқоңыр» ғарыш айлағы Қазақстанның мешіншігіне көшті де, 2050 жылға дейін Ресейге жалға беріліп, бірлесе жұмыс істейтін аланға айналды. Содан бері ғарышқа үш қазақ ғарышкери сапар шегіп (сурет 4.11), аса маңызды зерттеулер жүргізді. Бірінші болып 1991 жылдың 2 қазанында КСРО-ның еңбекі сіңген сынақшы-ұшқышы әрі батыры Токтар Әубакіров, Австрияның азаматы Франц Фибек және Ресейдің ұшқыш-ғарышкери Александр Волковтың бастауымен «Союз ТМ-13» зымыранымен ғарышқа аттанған еді. Сол күні Елбасы Нұрсұлтан Назарбаев пресс-конференцияда сейлекен сезінде: «...Менің жарлығыммен Қазақстанда ғарыштық зерттеулер бойынша Агенттік құрылады... Байқоңырдағы жұмыс тоқтап қалмау үшін бар мүмкіндікті жасау қажет», – деген еді.

КСРО ыдырағаннан кейінгі өтпелі кезеңнің ауыр қындығына қарамастан 1991–2001 жылдар аралығында Қазақстан Президентінің Жарлығымен құрылған Ұлттық Аэроғарыш Агенттікін ең алғашқы ғарыштық зерттеу бағдарламасын іске асыруды Т. Әубакіров бастаған болса, екіншісін Талғат Мұсабаев ғарышқа үш рет аттанып (1994, 1998 және 2001 жылдары) бір жылға жуық «Мир» ғарыш стансасында болған кезінде орынады. Ал 2015 жылы ғарыштағы мұндай зерттеудерді қазақстандық үшінші ғарышкер Айданы Айымбетов «ЭП-18» Халық-аралық Ғарыш стансасында жалғастырды.

Кейінгі жылдары зерттеу ауқымы кеңейіп, біртұтас «Қазғарыш» деп аталағын кешенді жүйе құрылды. Оған алты ірі Республикалық мемлекеттік өндіріс енеді. Мысалы: «Ғарыш-Экология» ғылыми-зерттеу орталығы 2001 жылы ашылды. 2004 жылы құрылған Астрофизикалық зерттеулер орталығы үш институтты – Ғарыш зерттеу институтын, Ионосфера институтын және В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институтын біріктіреді. Осы жылы «Қазғарыш» құрылымы аясында «Республикалық ғарыштық байланыс орталығы» ашылды. Атапан салаларға кадрлар даярлау ісі де қолға алынып, 1600-ден астам студенттер әлемдегі ең ірі оқу орындарында білім мен біліктіліктерін шындауда.

2004 жылы Қазақстан мен Ресей «Байқоңыр» ғарыш айлағында «Бәйттерек» ғарыштық зымырандар кешенін құру туралы келісім жасады. 2005 жылы «Қазақстан Ғарыш Сапары» Ұлттық компаниясы Акционерлік қоғамы құрылды.



Сурет 4.11. Елбасы және гарышкерлер

Міне, осындағы ауқымды даярлық жұмыстарын жүргізгеннен кейін 2005 жылы Қазақстан Республикасының Президенті еліміздегі гарыштық қарекеттерді дамытудың мемлекеттік бағдарламасын өз Жарлығымен бекітті; ал 2012 жылы «Гарыштық қарекет туралы» Заңға қол қойды. Аталған тарихи қарекеттердің жемісі ретінде алғашқы отандық «Qazsat» серіктері жасала бастады (сурет 4.12). Қазіргі кезде гарыш кеңістігінде ел мүддесі үшін төрт қазақстандық Жер серігі қызмет етуде (сурет 4.13). Гарыштағы Қазақстанның атқарап жұмысына сенің де қосарың мол, құрметті оқушы!



Сурет 4.12. «Qazsat» Жер серігі құрастыру алаңында



Сурет 4.13. Гарыштағы «Qazsat» Жер серігі

§25.**МЕХАНИКАЛЫҚ ЖҮМЫС ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ**

1. 7-сынып физикасында дененің тұзусызықты қозғалыс бағытында оған тұрақты өрекет ететін күштің механикалық жұмысы тәмендегі қарапайым формуламен анықталатынын көрсеткен едік:

$$A = F \cdot s, \quad (4.10)$$

мұндагы: F – дененің қозғалу бағытында тұрақты өрекет ететін күштің модулі; s – күш өрекетінен жүрілген жол.

Бұл формулаға сүйеніп, Халықаралық бірліктер жүйесінде жұмыстың *джоульмен* өлшенетінін де айтқанбыз. *Бір джоуль деп бір ньютон күштің денені бір метрге жылжытқандагы жұмысын айтады*:

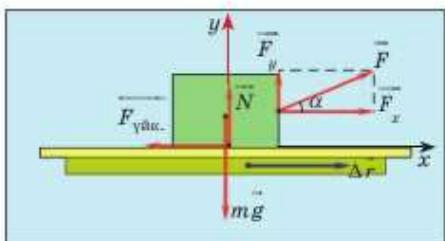
$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механикалық жұмысты атқаратын күштерге мысал ретінде *ауырлық күшін* ($F_a = mg$), *серпімділік күшін* ($F_{\text{сер.}} = k|\Delta x|$) және *цикеліс күшін* ($F_{\text{цик.}} = \mu N$) атаган болатынбыз. Механикалық жұмысты атқара алмайтын күштер де бар. Сондықтан механикалық жұмысты атқара алғатын күштерге қойылатын талаптарды білудің маңызы зор.

2. 7-сынып физикасында айтқанымыздай, механикалық жұмыс істеу үшін, біріншіден, денеге белгілі бір күш өрекет етуі керек; екіншіден, осы күштің өрекетінен дене орын ауыстыруы қажет. Ньютоның екінші заңы механикалық жұмысты атқарудың осы талаптарын толығымен сипаттайты. Мұндай талаптар Ньютоның екінші заңының $\Delta(\vec{m} \vec{v}) = \vec{F} \Delta t$ түріндегі жазылу формасынан туындаиды. Бұл формула, бір жағынан, егер денеге Δt уақыт аралығында \vec{F} күші өрекет ететін болса, онда оның \vec{v} жылдамдығының бағытының да, модулінің де қалай өзгеретінін анықтауга мүмкіндік береді. Екінші жағынан, дененің кеңістіктегі $\Delta \vec{r}$ орын ауыстыруына сәйкес келетін жаңа күйін де айқынайды, яғни координаталарын табуға да жәрдемдеседі. Ендеше, механикалық жұмысқа мынадай анықтама бере аламыз:

Ньютоның екінші заңымен сипатталатын күштердің атқаратын жұмысы механикалық жұмыс деп аталады.

3. Дененің қозғалыс бағытына бұрыш жасай өрекет ететін тұрақты күштің ($\vec{F} = \text{const}$) жұмысын анықтайық. Устел үстіндегі денеге \vec{F} күші қозғалыс бағытына α бұрыш жасап өрекет етсін (сурет 4.14). Қозғалыс



Сурет 4.14. Қозғалыс бағытына бұрыш жасай әрекет ететін күш

нің \vec{F}_x құраушысы, ал екінші – қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытталған үйкеліс күші ($\vec{F}_{\text{үк}}$). Басқа күштер қозғалыс бағытына перпендикуляр болғандықтан, олардың осы бағыттағы проекциялары нөлге тең. Ендеше, істейтін жұмыстары да нөлге тең, яғни олар дененің орын ауыстыруына қатыспайды; сейтіп, механикалық жұмысқа қойылатын талаптың екінші шартын орындаі алмайды.

\vec{F}_x және $\vec{F}_{\text{үк}}$ күштерінен тұзусызықты қозғалыс бағыты бойымен оған тұрақты әрекет ететін күш болғандықтан, олардың істеген жұмысын анықтау үшін (4.10) формуласын қолдана аламыз. Ол үшін бұл екі күштің Ox осіндегі проекцияларын анықтап алу керек.

$\vec{F}_{\text{үк}}$ күшінің Ox осіндегі проекциясы теріс санмен өрнектеледі: $-F_{\text{үк}(x)}$. Сондықтан үйкеліс күшінің істейтін жұмысы да теріс таңбаланады:

$$A = -F_{\text{үк}(x)} \cdot s. \quad (4.11)$$

\vec{F}_x күшінің Ox осіндегі проекциясын тікбұрышты үшбұрыштың α бұрышына іргелес жатқан катеттің гипотенузага қатынасы бойынша анықтай аламыз:

$F_x = F \cos \alpha$, мұндағы F берілген \vec{F} күшінің модулі (сан мәні) болып табылады.

\vec{F}_x күші $\Delta \vec{r}$ орын ауыстыру векторымен бағыттас болғандықтан (сурет 4.14), оның жұмысы он таңбаланады, әрі жүрілген жол орын ауыстыру векторының модуліне тең болады: $s = |\Delta \vec{r}|$.

Сонымен, тұрақты \vec{F}_x күшінің істейтін механикалық жұмысы (4.10) формуласына сәйкес мына формуламен анықталады:

$$A = F_x \cdot |\Delta \vec{r}| \text{ немесе } A = F |\Delta \vec{r}| \cos \alpha. \quad (4.12)$$

Дененің тұзусызықты қозғалыс бағытына бұрыш жасай тұрақты әрекет ететін күштің жұмысы осы күштің және орын ауысты-

ру векторларының модульдері мен олардың арасындағы бұрыштың косинусының көбейтіндісіне тең.

4.10 және 4.12 формулаларымен анықталатын тұрақты күштің ($F = \text{const}$) жұмысы графикте тікбұрышты төртбұрыштың ауданымен анықталады (сурет 4.15).

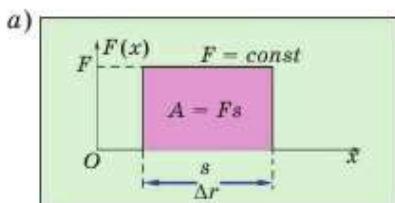
4. Енді модулі үнемі өзгеріп отыратын айнымалы күш ($F \neq \text{const}$) жұмысының аналитикалық өрнегі мен графиктегі көрінісін анықтайық. Күштің модулі үнемі өзгеріп отыратындықтан, оның графиктегі көрінісі қисық сзықпен бейнеленеді (сурет 4.16). Әрбір элементар $|\Delta \vec{r}_i|$ орын ауыстыруды әрекет ететін F_{ri} күшін тұрақты деп алуга болады. Ендеше, (4.12) формуласына сәйкес мұндай өте қысқа аралықта істелетін элементар жұмыс мына өрнекпен анықталады:

$$\Delta A_i = F_{ri} |\Delta \vec{r}_i| \cos \alpha_i, \quad (4.13)$$

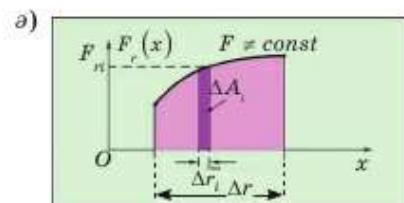
Ал айнымалы күштің $F \neq \text{const}$ А толық жұмысы әрбір ΔA_i элементар жұмыстардың қосындысынан тұрады:

$$A = \sum \Delta A_i = \sum F_{ri} |\Delta \vec{r}_i| \cos \alpha_i. \quad (4.14)$$

(4.14) аналитикалық өрнегімен сипатталатын айнымалы күш жұмысының графиктегі бейнесі жоғарғы жағы қисық сзықпен, ал төменгі жағы Δr орын ауыстырумен шектелген фигураның ауданына тең болады (сурет 4.16).



Сурет 4.15. Тұрақты күш жұмысының графиктегі көрінісі



Сурет 4.16. Айнымалы күш жұмысының графиктегі көрінісі

5. Жұмыс пен энергия үғымдарының арасында тығыз байланыс бар. 7-сыныпта біз егер дәне немесе дәнелер жиесі жұмыс істеуге қабілетті болса, онда олар белгілі бір энергияны иеленеді деп көрсеттік. Сейтіп, дәнениң жұмыс істеуге қабілеттілігінің өлшемі болатын скалярлық шаманы энергия деп атады.

Алайда материяның заттық түрлеріне қатысты айтылған мұндай пайымдаулар энергия үғымының мағынасын толық ашып бере алмайды. Өйткені энергия үғымы – материяның екі түріне де (заттық тү-

ріне де, *өрістік* түріне де) ортақ ұғым. Материяның заттық түріне жататын энергияяға 7-сыныпта оқыған механикалық энергия және 8-сыныпта оқыған жылулық энергия мен *ішкі* энергия мысал бола алады. Механикалық энергия денелердің, ал жылулық энергия мен ішкі энергия молекулалардың қозғалыстары мен өзара әрекеттесулері арқылы көрініс береді.

Солармен қатар материяның өрістік турлери де белгілі бір энергияларды иеленеді. Мысалы: 8-сыныпта оқыған электр *өрісі* мен магнит *өрісі* де, осы оқулықтың 3-тарауында қарастырган гравитациялық *өріс* те энергияяға ие. Энергияның өрістік түріне химиялық байланыс энергиясы мен атомдық (ядролық) энергияны да жатқызады. Сонымен, энергия ұғымына кең мағынада мынадай анықтама бере аламыз:

Энергия деп материяның қозғалысы мен өзара әрекеттесуінің бірегей өмбебап өлшемі болатын физикалық шаманы айтады.

Энергия туралы кең мағынада сез қозғаганда физиканың ғылыми тіліне физикалық жүйе деген терминдік сез тіркесі енгізіледі. Физикалық жүйе материяның заттық турлери де, өрістік турлери де енетін нысандарды қамтиды. Осы түрғыдан алғанда энергия ұғымының тарғы бір қырын аша аламыз:

Энергия деп физикалық жүйенің жұмыс істеу қабілетінің сандық өлшемі болатын скалярлық шаманы айтады.

Бұл анықтама энергия мен жұмыс ұғымдарының арасындағы тығыз байланысты айғақтайты. Мұндай айғақ өздеріңе 7–8-сыныптардан белгілі мына аналитикалық формула арқылы өрнектеледі:

$$A = \Delta E = |E_2 - E_1|. \quad (4.15)$$

Одай есте сақталатын бұл формуланың терең физикалық мағынасы мыналарға саяды:

Біріншіден, бұл өрнек кез келген физикалық жүйенің атқаратын А жұмысы сол жүйенің энергиясының ΔE өзгерісі есебінен істелетінін көрсетеді, сейтіп, жұмыс пен энергияның арасындағы эквиваленттік тепе-тендікті айғақтайты.

Екіншіден, 8-сыныпта «термодинамика негіздері» тарауында айтқанымыздай, егер жүйенің өзі жұмыс істесе оның энергиясы ΔE шамасына кемітіндігін, ал сыртқы күштер жүйеге жұмыс істесе оның энергиясының соншама шамага өсетінін, сейтіп, жұмыс пен энергияның оң немесе теріс сандарды қабылдай алатын скалярлық шамалар екенін білдіреді.

Үшіншіден, өз кезегінде жұмыстың да энергия өзгерісінің өлшемі бола алатындығын, сейтіп, олардың өлшем бірліктерінің де бірдей болатындығын, яғни *джоульмен* өлшенетінін көрсетеді.

Төртіншіден, жұмыс пен энергияның арасындағы (4.15) эквиваленттік формуланы пайдаланып, әрекет ететін күштердің шамалары белгісіз болса да механикалық жұмыстарды табуға болады. Оны төмендегі формулалар айқын дәлелдейді.



Сұрақтар

- Дененің түзусызықты қозгалыс бағытында әрекет ететін күштің жұмысы қандай формуламен анықталады? Жұмыс немен өлшенеді?
- Механикалық жұмыс деп қандай жұмысты айтады?
- Дененің қозгалыс бағытына бұрыш жасай әрекет ететін тұрақты күштің жұмысы қалай анықталады және қандай аналитикалық формуламен өрнектеледі?
- Денеге әрекет ететін айнымалы күштердің жұмысы қалай анықталады және қандай аналитикалық формулалармен өрнектеледі?
- Тұрақты және айнымалы күштердің жұмысы графикте қалай бейнеленеді?
- Энергия деп қандай физикалық шаманы айтады? Не үшін «физикалық жүйе» термині енгізілген?
- Жұмыс пен энергия үгымдарының арасында тығыз байланыс қандай формуламен өрнектеледі және оның физикалық мағынасы қалай ашылады?
- Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндеріндегі.



Есеп шығару мысалдары

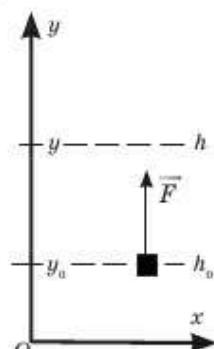
1-есеп. 10 Н күш әрекетінен дене тік жоғары көтеріледі. Уақыттың бастапқы кезеңінде дене Жер бетінен 1 м биіктікте болды. Күштің 100 Дж жұмыс істеген кезінде жүк қандай биіктікте болады?

<i>Bерілгені</i>
$F = 10 \text{ Н}$
$h_0 = 1 \text{ м}$
$A = 100 \text{ Дж}$
$h = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Бас нүктесі Жер бетінде орналасқан Oy осін таңда алайық та, оны тік жоғары бағыттайық (сурет 4.17). Онда жүктің бастапқы координатасы y_0 нүктесінде болады ($y_0 = h_0 = 1 \text{ м}$).

F күші 100 Дж жұмыс істеген кезде жүк $y=h$ нүктесіне көтеріледі.



Сурет 4.17

Күштің Oy осі бағытында істеген жұмысы мына формула бойынша анықталады: $A = F_y \Delta y = F_y \Delta h = F_y(h - h_0)$.

Бұдан:

$$h = h_0 + \frac{A}{F_y}, \quad (1)$$

мұндағы F_y жүкті көтеретін F күшінің Oy осіндегі проекциясы:

$$F_y = F. \quad (2)$$

(1) және (2) теңдіктерінен жүктің қандай биіктікке көтерілгенін анықтаймыз:

$$h = h_0 + \frac{A}{F}.$$

$$\text{Шешуі: } h = h_0 + \frac{A}{F} = 1 \text{ м} + \frac{100 \text{ Дж}}{10 \text{ Н}} = 1 \text{ м} + \frac{100 \text{ Н} \cdot \text{м}}{10 \text{ Н}} = 11 \text{ м.}$$

Жауабы: $h = 11$ м.

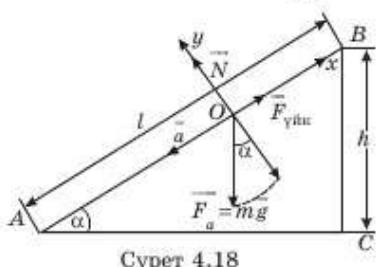
2-есеп. Массасы 3 кг дene биіктігі $h = 0,5$ м, ұзындығы 1 м көлбей жазықтықтан $v_0 = 0$ бастапқы жылдамдықпен сырғанай бастады да, етегінде жеткенде оның жылдамдығы $v = 2,45$ м/с болды. Үйкеліс коэффициентін және үйкеліс кезіндегі белінген жылуды анықтаңдар.

Берілгені

$m = 3 \text{ кг}$
$v_0 = 0$
$v = 2,45 \text{ м/с}$
$h = 0,5 \text{ м}$
$l = 1 \text{ м}$
$g \approx 10 \text{ м/с}^2$
$\mu = ?, Q = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Денені материалық нүктеде ретінде қарастырамыз. Оның \bar{a} үдеу алған кездегі орны O нүктесіне сәйкес келсін (сурет 4.18). Дененің B нүктесіндегі потенциалдық энергиясы: $E_a = mgh$. Дене A нүктесіне жеткенде оның энергиясының біразы кинетикалық энергияға $\left(E_k = \frac{mv^2}{2} \right)$, біразы үйкеліс күшінің жұмысына ($A_{\text{үйк}}$) шығындалады:



$$E_a = E_k + A_{\text{үйк}}, \quad (1)$$

мұндағы $A_{\text{үйк}} = F_{\text{үйк}} \cdot l$; $F_{\text{үйк}} = \mu N$; μ – үйкеліс коэффициенті; N – көлбей беттің реакция (серпімділік) күші. Ньютоның 2-заны бойынша \bar{F}_a ауырлық, үйкеліс және реакция күштерінің векторлық қосындылары массасы m денеге \bar{a} үдеуін береді:

$$\bar{F}_a + \bar{F}_{\text{ұик}} + \bar{N} = m\bar{a}. \quad (2)$$

Бұл теңдеуді векторлардың Oy өсіндегі проекциялары арқылы скалярлық теңдеумен алмастыруға болады:

$$F_{a(y)} + F_{\text{ұик}(y)} + N_y = ma_y. \quad (3)$$

Проекциялардың Oy өсіндегі мәндері: $F_{a(y)} = -mg \cos \alpha$; $F_{\text{ұик}(y)} = 0$; $N_y = N$; $a_y = 0$.

Проекциялардың мәндерін (3)-ке қойып, мына өрнекті аламыз: $-mg \cos \alpha + N = 0$. Бұдан $N = mg \cos \alpha$. Ендеше: $F_{\text{ұик}} = \mu N = \mu mg \cos \alpha$. Мұндағы $\cos \alpha$ шамасын ABC үшбұрышынан табамыз (екі тікбұрышты үшбұрыштың сәйкес қабыргаларының арасындағы а бұрышы өзара тең):

$$\cos \alpha = \frac{AC}{l} = \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}. \text{ Сонымен, } F_{\text{ұик}} = \mu mg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}. \quad (4)$$

Шешуі: Анықталған шамаларды (1)-ге қойып, үйкеліс коэффициентін табамыз: $mgh = \frac{mv^2}{2} + \mu mg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} \cdot l$; $gh = \frac{v^2}{2} + \mu g \sqrt{l^2 - h^2}$.

$$\text{Бұдан } \mu = \frac{2gh - v^2}{2g\sqrt{l^2 - h^2}}. \quad (5)$$

Үйкеліс кезінде бөлініп шыққан Q жылу мөлшері үйкеліс күшінің жұмысына тең: $Q = A_{\text{ұик}} = F_{\text{ұик}} \cdot l = \mu mg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} \cdot l = \mu mg \sqrt{l^2 - h^2}$.

Сонымен,

$$\mu = \frac{2gh - v^2}{2g\sqrt{l^2 - h^2}} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 0,5 - 6,0025}{2 \cdot 10 \sqrt{1 - 0,25}} = 0,23;$$

$$Q = \mu mg \sqrt{l^2 - h^2} = (0,23 \cdot 3 \cdot 10 \cdot 0,87) \text{ Дж} = 6 \text{ Дж.}$$

Жауабы: $\mu = 0,23$; $Q = 6$ Дж.



Жаттығу 4.3

- Жер бетінен 100 км қашықтықта дөңгелек орбита бойымен қозгалып жүрген массасы 1300 кг Жер серігінің кинетикалық энергиясы қандай?
- 10 м биіктікten құлаған массасы 2 кг жүктің потенциалдық энергиясы 1 с-тан кейін қалай өзгереді? Жүктің бастапқы жылдамдығы нөлге тең.
- Егер үйдің әр қабатының биіктігі 3 м болса, онда массасы 75 кг адам жаяу алтыншы қабатқа көтерілгенде қандай жұмыс істейді?

- Бала серіппен 400 Н күшпен созды. Бала қандай жұмыс істеді және қанша істеді? Серіппенің қатаңдығы 10 000 Н/м.
- Жоғарғы ұзындықтағы 18 кг жүк ілгендегі оның ұзындығы 10 см, ал 30 кг жүк ілгендегі 12 см болды. Серіппенің 10 см-ден 15 см-ге дейін созу үшін қандай жұмыс істелді?

§26.

ЭНЕРГИЯНЫҢ САҚТАЛУ ЖӘНЕ АЙНАЛУ ЗАҢЫ

1. Жер шары мен оның бетінен жоғары көтерілген деңеден тұратын түйік жүйенің қарастырайық. Мұндай түйік жүйеде ішкі ауырлық (тартаулыс) күшінің жұмысы ғана ескеріледі. Сондықтан ауаның кедергісін ескермейміз.

Дене ауырлық күші өрекетінен құласын. Ауырлық күшінің жұмысы құлаған деңенің жылдамдығын арттырып, (4.15) формуласына сәйкес оның кинетикалық энергиясын ΔE_k шамасына өсіреді:

$$A = \Delta E_k.$$

Екінші жағынан, бұл жұмыс деңенің потенциалдық энергиясының кемеуіне тең:

$$A = -\Delta E_n.$$

Жоғарыдағы формулалардың сол жақтары тең болғандықтан, оң жақтары да тең:

$$\Delta E_k = -\Delta E_n$$

немесе

$$\Delta E_k + \Delta E_n = 0.$$

Соңғы тенденциядан:

$$\Delta(E_k + E_n) = 0. \quad (4.16)$$

Жақшаша ішіндегі кинетикалық және потенциалдық энергияның қосындысын толық механикалық энергия деп атайды:

$$E = E_k + E_n. \quad (4.17)$$

Олай болса, (4.16) формуласын мына түрде жаза аламыз:

$$\Delta E = 0 \text{ немесе } E_2 - E_1 = 0.$$

Соңғы өрнектен көрініп тұргандай, механикалық энергияның ΔE өсімшесі, яғни әр күйдегі толық энергиялар айырымы ($E_2 - E_1$) нөлге тең болып тұр. Ендеше, толық энергия өсімшесінің нөлге теңелуі, түйік жүйе қандай күйде болса да, оның энергиясының тұрақты сақталатынын дәлелдейді:

$$E = E_k + E_p = \text{const.} \quad (4.18)$$

Сонымен, *түйық жүйеде механикалық энергия өзгермей тұрақты сақталады* деген қорытындыға келеміз. Мұндай қорытынды деңенің потенциалдық энергиясының ($E_p = mgh$) кинетикалық энергияға $\left(E_k = \frac{mv^2}{2} \right)$ айналуына немесе керісінше түрленуіне шек қоймайды.

2. Жер шары мен оның бетіне құлайтын деңеден тұратын түйық жүйе үшін механикалық энергияның сақталу заңының қалай жазылатынын көрсетейік. (4.18) формуласын пайдаланып, бұл жүйе үшін энергияның сақталу заңын мына түрде жаза аламыз:

$$\frac{mv^2}{2} + mgh = \text{const.} \quad (4.18')$$

Мысалы, деңе мен Жер шарының екі күйі үшін механикалық энергияның сақталу заңы былайша жазылады:

$$\frac{m(v_1)^2}{2} + mgh_1 = \frac{m(v_2)^2}{2} + mgh_2. \quad (4.19)$$

Бұл формулаларға түйық жүйеге кіретін деңенің ғана екі түрлі күйдегі кинетикалық және потенциалдық энергияларының өзгерістері енгізілді. Ал осы жүйеде қарастырылып отырган Жер шарының энергиялары енгізілген жоқ. Ойткени Жер шары үшін оның кинетикалық және потенциалдық энергиялары екі күйде де іс жүзінде өзгермейді. Ендеше, жоғарыдағы тендіктің екі жағына да бірдей шамамен жазылып, соңынан қысқартылады. Расында да, Бүкіләлемдік тартылыс заңы бойынша деңе де Жер шарын өзіне қарай тартатыны белгілі. Алайда олардың масса айырмашылықтары орасан үлкен болғандықтан, деңенің жылдамдығы мен орын ауыстыруына қарағанда Жер шары деңеге қарай қозғалмайды десе де болады ($h = 0; v = 0$). Сондықтан қарастырып отырган түйық жүйенің екі күйінде де Жердің кинетикалық энергиясы да, потенциалдық энергиясы да өзгеріссіз сақталады.

3. Енді массасы m деңе мен серіппеден тұратын түйық жүйе үшін энергияның сақталу заңының қалай жазылатынын көрсетейік. Бұндай жүйенің толық энергиясы деңенің кинетикалық энергиясы мен серіппенің потенциалдық энергиясының қосындысынан тұрады. Ендеше, бұл жүйе үшін энергияның сақталу заңы мына түрде жазылады:

$$\frac{mv^2}{2} + \frac{k(\Delta x)^2}{2} = \text{const;} \quad (4.20)$$

немесе жүйенің екі түрлі күйі үшін:

$$\frac{m(v_1)^2}{2} + \frac{k(\Delta x_1)^2}{2} = \frac{m(v_2)^2}{2} + \frac{k(\Delta x_2)^2}{2}. \quad (4.21)$$

Энергияның сақталу заңының (4.18) және (4.19) немесе (4.21) формулалардағы жазылу үлгілері есептер шыгарғанда жиі қолданылады. Тендеулердің сол жағындағы шамалар қарастырып отырган жүйенің бастапқы энергетикалық күйіне, ал оң жағындағы шамалар соңғы күйіне сәйкес келеді. Тендік белгісі энергияның барлық күйлерінде де өзгермей, тұрақты сақталатынын білдіреді. Энергияның сақталу заңын қолданғанда жүйенің қай күйін бастапқы, қай күйін соңғы деп алудың ұтымды жолдарына көніл аудару қажет. Потенциалдық энергияны жазғанда алдын ала оның нөлдік деңгейін таңдап, ыңғайлы формада көрсете білу керек.

4. Егер қарастырып отырган түйік жүйеде үйкеліс күштері жұмыс істейтін болса, онда механикалық энергия сақталмайды. Мысалы, \hbar биіктікten құлаган серпімді доп қайыра сол биіктікке көтеріле алмайды. Оның кинетикалық энергиясы да, потенциалдық энергиясы да біртебірте азайып, нөлге теңеледі. Алайда механикалық энергияның нөлге теңелуі оның із-түзсіз жойылуы деген үғымды білдірмейді, энергияның басқа бір түрлеріне ауысқанын білдіреді. Энергияның мұндай түрлеріне 8-сыныпта оқыған жылулық энергия, *iшкі энергия* және *сәулелік энергиялар* жатады.

Сонымен, доп \hbar биіктікten құлаганда ауаның кедегісі механикалық энергия есебінен жұмыс істеп, деңелер қызды. Бұл жұмыс доптың және оны қоршаған ортаның ішкі энергиясын өсіреді: $A = \Delta U$.

Жоғарыда айтылған пайымдаулардан энергияның сақталу заңы жалпы турде былайша тұжырымдалады:

Материя қозғалысының және өзара әрекеттесуінің бірегей сандық өлшемі болатын энергия кез келген жүйеде жойылмайды және жоқтан пайда болмайды, тек бір түрден екінші түрге ауыса алады.



Сұрақтар

1. Механикалық энергия деп қандай энергияны айтады? Ол қандай жүйеде және қалай сақталады?
2. Жер шары мен оның бетіне құлайтын деңеден тұратын түйік жүйедегі энергияның сақталу заңы қалай жазылады?
3. Дене мен серіппеден тұратын түйік жүйедегі энергияның сақталу заңы қалай жазылады?
4. Қандай жағдайда механикалық энергия сақталмайды? Энергияның сақталу және айналу заңы жалпы турде қалай тұжырымдалады?
5. Төмөндегі мысалдарда көлтірілген есептердің шыгару жолдарын түсініріңдер.

Есеп шыгару мысалдары

1-есеп. Ұзындығы l жіпке жүк ілінген. Жіпті вертикаль күйінен ауытқытып, жүкті h биіктікке көтеріп, бастапқы жылдамдықсыз қоя берген. Жүк жіптің вертикаль күйінен ете бергенде жіптің керілу күші жүктің ауырлық күшінен 2 есе артық болған. Жүкті қандай биіктікке көтерген?

Bерілгені
$R = l$
$v_0 = 0$
$F_k = 2F_a$
$h - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Жүк радиусы $R = l$ болатын шеңбердің дугасы бойымен үдей қозгалады. Бұл үдеу центрге тартқыш үдеу болып табылады:

$$a_{\text{н.т.}} = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{l}. \quad (1)$$

Жүк жіптің вертикаль күйінен ете бергенде оған әрекет ететін ауырлық күші төмен, жіптің керілу күші және центрге тартқыш үдеу жоғары бағытталады (сурет 4.19). Осы сәттегі үдеудің бағытымен бағыттас болатын Oy өсін таңда аламыз. Оның O бас нүктесін және жүктің вертикаль күйден өтетін кезіндегі ауырлық центрін бір деңгейде орналастырамыз.

Ньютоның екінші заңын пайдаланып, жүк қозғалысының динамикалық теңдеуін жазамыз:

$$\vec{F}_a + \vec{F}_k = m\vec{a}. \quad (2)$$

Бұл теңдеуді векторлардың Oy өсіндегі проекцияларының мәндері ($F_{a(y)} = -F_a$; $F_{k(y)} = F_k$; $a_y = a$) бойынша жазамыз:

$$-F_a + F_k = ma. \quad (3)$$

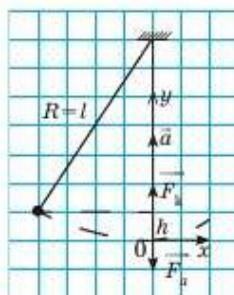
Жүктің h биіктіктері бастапқы жылдамдығы нөлге тең болғандықтан, оның осы күйіне сәйкес келетін энергиясы тек потенциалдық энергиядан тұрады:

$$E_k = mgh. \quad (4)$$

Жүктің төменгі күйіне сәйкес келетін энергиясы тек кинетикалық энергия болып табылады (өйткені $h = 0$):

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (5)$$

Энергияның сақталу заңы бойынша жүктің энергиясы оның екі күйінде де өзгермейді. Сондықтан (4) және (5) формулаларын бір-біріне теңестіре аламыз:



Сурет 4.19

$$mgh = \frac{mv^2}{2} \text{ немесе } v^2 = 2gh. \quad (6)$$

Шешуі. Есепті шешу үшін теориялық талдауларға сүйеніп, төмендегі теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\begin{cases} a_{\text{ц.т.}} = \frac{v^2}{l}; \\ -F_a + F_k = ma_{\text{ц.т.}}; \\ F_a = mg; \\ F_k = 2F_a; \\ v^2 = 2gh. \end{cases}$$

Бес белгісіз бар бес теңдеуге математикалық амалдарды қолданып, белгісіз h биіктіктең $\frac{l}{2}$ шамасына тең болатындығын анықтаймыз.

$$\text{Жауабы: } h = \frac{l}{2}.$$

2-есеп. Массасы m маятник вертикаль күйден a бұрышқа аудықиды. Тепе-тендік күйден өтер кездегі маятник жібінің керілу күші қандай?

Берілгені
m – маятник массасы
a – аудықту бұрышы
$F_k = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Механикалық энергияның сақталу заңы бойынша маятниктің екі күйдегі (A және C нүктесіндегі) потенциалдық және кинетикалық энергияларының қосындысы түрақты сақталады:

$$E_{a1} + E_{k1} = E_{a2} + E_{k2}. \quad (1)$$

Мұндағы $E_{a1} = mgh$; $E_{k1} = 0$; $E_{a2} = 0$; $E_{k2} = \frac{mv^2}{2}$. Ендеше, $mgh = \frac{mv^2}{2}$; бұдан

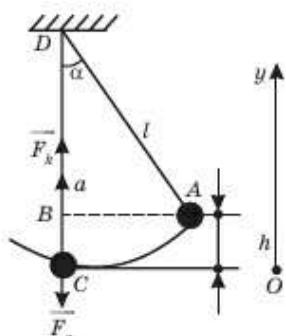
$$v^2 = 2gh. \quad (2)$$

С нүктесінде Ньютоның 2-заңы бойынша \bar{F}_a – аудырлық және \bar{F}_k керілу күштерінің векторлық қосындысы маятникке $\bar{a}_{\text{ц.т.}}$ центрге тартқыш үдеу береді (сурет 4.20):

$$\bar{F}_a + \bar{F}_k = m\bar{a}. \quad (3)$$

Векторлық теңдеуді векторлардың Oy өсіндегі проекциялары арқылы скалярлық теңдеумен алмастырамыз:

$$F_{a(y)} + F_{k(y)} = ma_y, \quad (4)$$



Сурет 4.20

мұндағы проекциялардың мәндері: $F_{a(y)} = -F_a = -mg$; $F_{k(y)} = F_k$; $a_y = a_{\text{н.т.}} = \frac{v^2}{l}$.
Бұл мәндерді (4)-ке қойып мына теңдікті аламыз:

$$-mg + F_k = \frac{mv^2}{l} \text{ немесе } F_k = mg + \frac{mv^2}{l}.$$

Соңғы өрнекті (2) теңдігін пайдаланып, былайша жазамыз:

$$F_k = mg + m \frac{2gh}{l}, \quad (5)$$

мұндағы $h = DC - DB = l - DB$. DB шамасын ABD тікбұрышты үшбұрыштан табамыз: $DB = l \cdot \cos\alpha$. Ендеше, $h = l - l \cdot \cos\alpha = l(1 - \cos\alpha)$. (6)

Шешуі: (6) теңдігін пайдаланып, (5) өрнегінен жіптің керілу күшін анықтаймыз:

$$\begin{aligned} F_k &= mg + \frac{m \cdot 2g \cdot l(1 - \cos\alpha)}{l} = mg + 2mg(1 - \cos\alpha) = \\ &= mg + 2mg - 2mg \cos\alpha = mg(3 - 2\cos\alpha). \end{aligned}$$

Жауабы: $F_k = mg(3 - 2\cos\alpha)$.



Жаттығу 4.4

- Массасы 97 кг жүкті жіпке байлан, горизонталь бетте турақты жылдамдықпен тартып келеді. Жіппен горизонталь беттің арасындағы бұрыш 30° . Үйкеліс коэффициенті 0,2. Жіптің керілу күші 100 м жолда қаша жұмыс атқарады?
- Егер серіппен 1 см-ге сығу үшін 1000 Н күш қажет болса, оны 10 см-ге сыққанда қаша жұмыс атқарылады?
- Горизонталь жолда қозгалып келе жатқан массасы 20 000 кг вагон бөгетке соғылып тоқтаганда оның екі буферінің серіппелері 10 см-ге сығылды. Бір буфердің серіппесін 1 см-ге сығу үшін 10 000 Н күш жұмсалады. Вагон бөгетке соғылғанға дейін қандай жылдамдықпен қозгалды?
- 10 м/с жылдамдықпен қозгалып келе жатқан массасы 500 г қорғасын шары жолында тұрган массасы 200 г балауыз шарына соғылып, одан әрі бірге қозгалады. Соғылғаннан кейінгі шарлардың кинетикалық энергиясы қандай?
- Массасы 1 т жеңіл машина тұрган орынан теңдемелі қозгалып, 2 с-та 20 м жол жүрді. Машинаның қозгалтқышының қуаты қандай?
- Массасы 1 кг тас 1 м биіктікте тұр; массасы 0,5 кг екінші тас 2,5 м/с жылдамдықпен қозгалып келеді. Қайсысының энергиясы көп?
- Денені 4,9 м/с жылдамдықпен тік жогары лақтырган. Қандай биіктікте оның кинетикалық және потенциалдық энергиялары теңеледі?

IV тараудагы ең маңызды түйіндер

1. Дене импульсі – дененің массасының оның жылдамдығына көбейтіндісімен анықталатын физикалық шама:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

2. Импульстің сақталу заңы. Түйік жүйедегі денелер әрекеттескендегі олардың қосынды импульстері тұрақты сақталады:

$$\sum \vec{p}_i = \text{const.}$$

3. Күштің жұмысы. Дененің тұзусызықты қозгалыс бағытына бұрыш жасай тұрақты әрекет ететін күштің жұмысы осы күштің және орын ауыстыру векторларының модульдері мен олардың арасындағы бұрыштың косинусының көбейтіндісіне тең:

$$A = F |\Delta r| \cos \alpha.$$

4. Энергия – материяның қозгалысы мен өзара әрекеттесуінің бірегей әмбебап өлшемі болатын физикалық шама.

5. Кинетикалық энергияның өзгерісі кезінде істелетін жұмыс:

$$A = \Delta E_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

6. Потенциалдық энергия өзгерісі кезінде істелетін жұмыс:

a) Ауырлық күші әрекет еткенде:

$$A = \Delta E_n = -(mgh_2 - mgh_1).$$

ә) Серпімділік күші әрекет еткенде:

$$A = \Delta E_n = - \left[\frac{k(x_2)^2}{2} - \frac{k(x_1)^2}{2} \right].$$

7. Энергияның сақталу заңы. Энергия кез келген жүйеде жойылмайды және жоқтан пайда болмайды, тек бір түрден екінші түрге ауыса алады:

$$E = E_k + E_n = \text{const.}$$

V ТАРАУ**ТЕРБЕЛІСТЕР ЖӘНЕ ТОЛҚЫНДАР**

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- ⇨ еркін және еріксіз тербелістерге мысалдар келтіру;
- ⇨ тербеліс амплитудасын, периодын, жиілігін эксперименттік әдіспен анықтау;
- ⇨ формулаларды қолданып период, жиілік, циклдік жиілікті анықтау;
- ⇨ тербелмелі процесте энергияның сақталу заңын сипаттау;
- ⇨ гармоникалық тербелістердің графтері бойынша координатаның жылдамдықтың және үдеудің тендеулерін жаза білу;
- ⇨ әртүрлі тербелмелі жүйедегі тербелістің пайда болу себептерін түсіндіру;
- ⇨ маятниктер тербелісі периодының әртүрлі параметрлерге тәуелділігін зерттеу;
- ⇨ математикалық маятник периодының формуласынан еркін тұсу үдеуін анықтау;
- ⇨ период квадратының маятник ұзындығына тәуелділік графикін тұрғызу және талдау;
- ⇨ еріксіз тербеліс амплитудасының мәжбүрлеуші күштің жиілігіне тәуелділігін график бойынша сипаттау;
- ⇨ резонанс құбылышын сипаттау;
- ⇨ тербелмелі контурдағы еркін электромагниттік тербелістерді сапалық түрде сипаттау;
- ⇨ толқын жылдамдығы, жиілігі және толқын ұзындығы формулаларын есеп шығаруда қолдану;

- ➡ көлденең және бойлық толқындарды салыстыру;
- ➡ су бетіндегі толқындардың таралу жылдамдығын эксперимент түрінде анықтау;
- ➡ дыбыстың пайда болу және таралу шарттарын атап;
- ➡ дыбыс сипаттамаларын дыбыс толқындарының жиілігі және амплитудасымен сәйкестендіру;
- ➡ резонанстың пайда болу шарттарын атап және оның қолданылуына мысалдар келтіру;
- ➡ жаңғырықтың пайда болу табиғатын және оны қолдану әдістерін сипаттау;
- ➡ табиғатта және техникада ультрадыбыс пен инфрадыбысты қолдануға мысалдар келтіру;
- ➡ механикалық толқындар мен электромагниттік толқындардың ұқсастығы мен айырмашылығын салыстыру;
- ➡ электромагниттік толқындар шкаласын сипаттау және әртүрлі диапазондағы толқындардың қолданылуына мысалдар келтіру;
- ➡ шыны призма арқылы өткен жарықтың дисперсиясына сапалы сипаттама беру.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде ұзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «гармоникалық тербеліс, еріксіз тербеліс», «амплитуда, период, жиілік», «маятник», «резонанс», «тербелмелі контур», «электромагниттік тербеліс», «толқын», «көлденең және бойлық толқындар», «дыбыс», «жаңғырық», «ультрайдыбыс, инфрадыбыс», «толқындар шкаласы».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Гармоникалық тербеліс, еріксіз тербеліс	Гармоническое колебание, вынужденное колебание	Harmonic oscillation, forced oscillation
Амплитуда, период, жиілік	Амплитуда, период, частота	Amplitude, period, frequency
Маятник	Маятник	Pendulum
Резонанс	Резонанс	Resonance
Тербелмелі контур	Колебательный контур	Oscillating circuit
Электромагниттік тербеліс	Электромагнитное колебание	Electromagnetic oscillation
Толқын	Волна	Wave
Көлденең және бойлық толқындар	Поперечные и продольные волны	Transverse and longitudinal waves
Дыбыс	Звук	Sound
Жаңғырық	Эхо	Echo
Ультрайдыбыс, инфрадыбыс	Ультразвук, инфразвук	Ultrasound, infrasound
Толқындар шкаласы	Шкала волн	Scale of waves

§27.

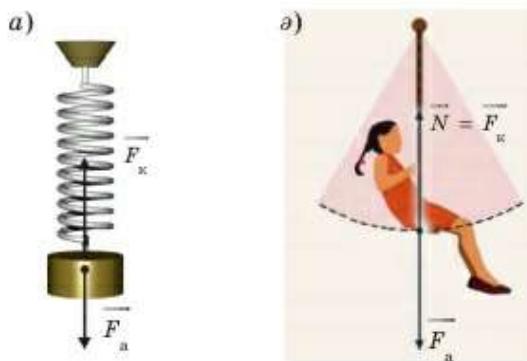
ТЕРБЕЛМЕЛІ ҚОЗГАЛЫС

1. Бірдей уақыт аралығында қайталанып отыратын қозгалыстар тербелмелі қозгалыстар (қысқаша тербелістер) деп аталаады.

Микро және мега әлемдегі қозгалыстар негізінен қайталанып отыратын тербелмелі қозгалыстар қатарына жатады. Мысалы, атомдардың электрондары олардың ядроларын әртүрлі орбиталар бойымен айналып отырады. Күн жүйесіне кіретін макроденелер де Күнді белгілі бір уақыт аралығында айналып шығады. Бізге ең жақын жүлдүз – Күн де 200 миллиардқа жуық жүлдүзы бар Біздің Галактиканың ядросын 180 млн жылда бір рет айналады.

Сол сияқты өмірлік практикада қолданыс тапқан әртүрлі механизмдер мен қозгалтқыштардың жекелеген бөліктегі де тербелмелі қозгалыстар жасайды. Адамның да, үлкенді-кішілі жануарлардың да жүргөті дамылсыз соғып тербеледі. Қазақтың қайталанбас сандуғашы Роза Бағланованың «мені сүйген жүргінің луппілінен айналайын» дейтін үнінде де табиғаттағы шексіз айналыстар мен тербелістердің жаңғырығы жатыр. Осы айтылғандардың барлығы **тербелістердің материяның ажырамас қасиеті – қозгалыстың кең тараган айрықша түрі** екендігін дәлелдейді.

2. Тербеліске қатысадын денелер белгілі бір **тербелмелі жүйені** құрайды. Мысалы, серіппе және оған бекітілген цилиндр **серіппелі маятник** (сурет 5.1, а) деп аталатын **тербелмелі жүйені** құрайды. Өткеншектің керілген арқаны және онда отырган қыз бала да (сурет 5.1, ә) тербелмелі жүйеге жатады.



Сурет 5.1. Тербелмелі жүйелер

Тербелмелі жүйелердегі денелер тербелістер жасай алады. Бұндай жүйелерге Жер шары да қатысады. Алайда Жердің массасы аталған денелердің массаларынан өлшеусіз үлкен болғандықтан, оның тербелмелі жүйелердегі қозгалысы ескерілмейді.

Бір-бірімен байланыса отырып, тербелістер жасауға қабілетті денелер жиынын тербелмелі жүйе деп атайды.

3. Тербелістерді жалпы түрде сипаттау үшін тербелмелі жүйенің орнықты тәпеп-тендік күйі деген үғым енгізіледі.

Тербелмелі жүйенің орнықты тәпеп-тендік күйі деп жүйедегі денелер-ге әрекет ететін ішкі күштердің теңәрекетті күші нөлге теңелетін күйін айтады.

Жоғарыдағы суреттерде денелердің орнықты тәпеп-тендік күйлеріне a) және ә) суреттер сәйкес келеді. Шынында да, суреттерден көріп отырығанымыздай, серіппенің серпімділік күші дененің, ал арқаның керілу күші қызыбаланың ауырлық күштерімен теңгеріліп, олардың теңәрекетті күштері нөлге теңеліп түр ($\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_n = 0$).

Серіппелі маятникті немесе әткеншектегі қызыбаланы тербеліске келтіру үшін оларды ең алдымен сыртқы күштердің әрекетімен орнықты тәпеп-тендік күйлерінен шығару қажет. Мұндай жағдайда қосымша энергия алған әткеншектегі қызыбаланы да, серіппедегі дене де жүйедегі ішкі күштердің әрекетімен тербелмелі қозгалыстар жасайды. Мұндай тербелмелі қозгалыс еркін тербеліс деп аталауды.

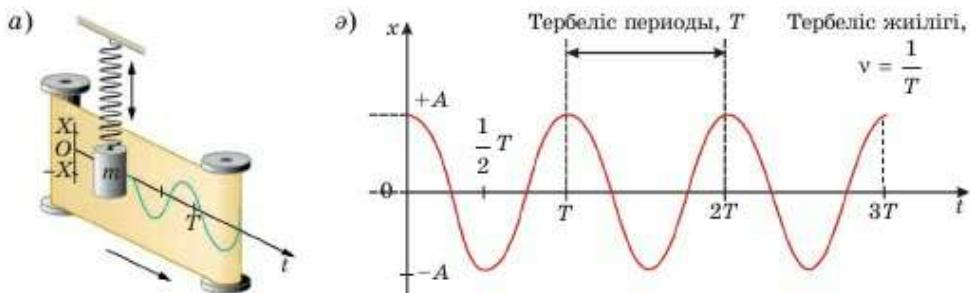
4. Еркін тербелістерді аналитикалық формулалар түрінде де, графикалық сызбалар түрінде де сипаттауға болады. Ол үшін *период, амплитуда, жиілік* деп аталағын арнағы физикалық шамалар енгізіледі. Бұл шамаларға тоқталмас бұрын, еркін тербелістің графикалық көрінісін көрсетейік. Ол үшін горизонталь бағытта бірқалыпты қозгалатын қағаз рулонына серіппеге бекітілген цилиндрді жанастырайық (сурет 5.2). Цилиндрдің қағазбен жанаңсан бетіне нүктелік бояғыш затты орналастырып, жүйені (цилиндр мен серіппені) еркін тербеліске келтірейік.

Тербелістің t уақыт ішінде қағаз бетіне түсken графигі *Ot* горизонталь есінің бойымен тараған толқын тәріздес сызық түрінде көрініс береді (сурет 5.2 және 5.2, a). Мұндай толқындық сызықты *синусоида қисығы* немесе *гармоникалық қисық* деп атайды.

Дененің тербелмелі қозгалысын сипаттайтын шамалар уақыт ағымына қарай периодты өзгеретін синусоидалық заңға $x = A\sin(\omega t + \phi_0)$ сәйкес өзгеретін болса, ондай тербелістер гармоникалық тербелістер деп аталаады. Периодты өзгеретін функциялар келесі тақырыпта қарастырылады.

Еркін тербелістің графигіне сүйеніп (сурет 5.2), оның амплитудасының, периодының және жиілігінің физикалық мағыналарын аша аламыз. Амплитуда деп тербелістің ең үлкен ауытқуын айтады.

Амплитуданы A өрпімен белгілейді және ХБЖ-да метрмен (m) өлшеменеді. Графиктерде амплитуданы $+Ox$ және $-Ox$ кесінділері түрінде (сурет 5.2) немесе A өріптерімен белгіленген вертикаль сызықтар түрінде көрсетеді (сурет 5.2, ə).



Сурет 5.2. Гармоникалық тербелістер

Тербеліс периоды деп тербелмелі қозғалыстар қайталанып отыратын уақыт аралығын, яғни толық бір тербеліс жасауда кеткен уақытты айтады: $T = \frac{t}{n}$. (1) Мұндағы n – толық тербелістер саны, t – тербеліс жасаған уақыт.

Тербеліс периоды ХБЖ-да T өрпімен белгіленіп, секундпен (с) өлшеменеді.

Тербеліс жиілігі дегеніміз уақыт бірлігінде жасалынатын толық тербелістер санына тең физикалық шама:

$$v = \frac{n}{t}. \quad (5.2)$$

Жоғарыдағы графикте (сурет 5.2, ə) толық тербелістер саны үшке тең.

Кинематика тарауында шеңбер бойындағы бірқалыпты қозғалысқа байланысты айтқанымыздай, еркін тербелістер үшін де жиілік пен периодтың арасында кері пропорционалдық байланыс орын алады:

$$v = \frac{1}{T} \text{ немесе } T = \frac{1}{v}. \quad (5.3)$$

Жиіліктің өлшем бірлігіне 1 секундта толық 1 тербеліс жасайтын тербелістер жиілігі алынады. Оны неміс ғалымы Генрих Герцтің құрметіне *bir герц* ($1 \text{ Гц} = 1/\text{с} = 1 \text{ с}^{-1}$) деп атайды.

Сұрақтар

1. Тербелмелі қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
2. Тербелмелі жүйе дегеніміз қандай жүйе?
3. Еркін және еріксіз тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
4. Еркін тербеліс графикте қандай қисықпен бейнеленеді және оны не себептен периодты тербеліс деп атайды?
5. Тербелістің амплитудасы мен периоды және жиілігі деп қандай шамаларды айтады?
6. Төмөндегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Горизонталь жазықтықта қатаңдығы k серіппе көмегімен қырығана бекітілген массасы m кішкене шар жатыр. Шарды тепе-тендік күйінен x_0 қашықтыққа жылжытады да, оған v_0 бастапқы жылдамдық беріп, солға қарай жібереді (сурет 5.3). Тербеліс амплитудасын табу керек. Серіппенің массасы мен үйкелісі ескерілмейді.

Берілгені

k – серіппе қатаңдығы
 m – шардың массасы
 x_0 – шардың ауытқуы
 v_0 – шардың бастапқы жылдамдығы

 $A = ?$

$$E_1 = \frac{kx_0^2}{2} + \frac{mv_0^2}{2}.$$

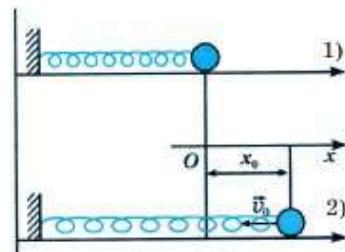
Бұл энергия шардың солға қарай максимал ығысқан кезде ($x = A; v = 0$) серіппенің потенциалдық энергиясына тең:

$$E_2 = \frac{kA^2}{2},$$

мұндағы A – тербеліс амплитудасы.

Энергияның сақталу заңына сәйкес

$$E_1 = E_2 \text{ немесе } \frac{kx_0^2}{2} + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{kA^2}{2}. \text{ Бұдан: } A = \sqrt{x_0^2 + \frac{mv_0^2}{k}}.$$



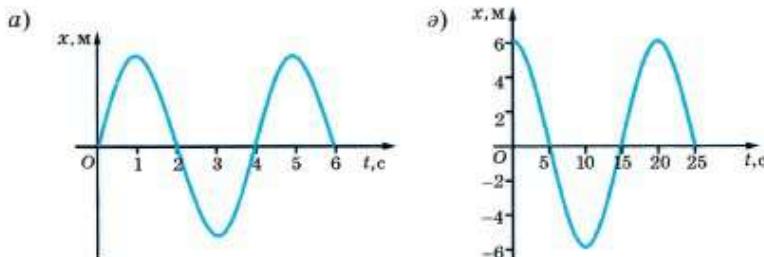
Сурет 5.3

$$\text{Жауабы: } A = \sqrt{x_0^2 + \frac{mv_0^2}{k}}.$$



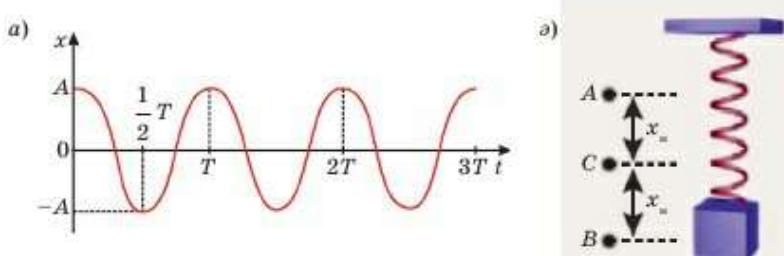
Жаттығу 5.1

1. Денениң x координатасының уақытқа тәуелділік графигінен (сурет 5.4, а) тербеліс периодын және жиілігін анықтаңдар. Бұл қандай тербеліс?



Сурет 5.4

2. Денениң тербелмелі қозғалысының графигінен (сурет 5.4, б) ауытқудың қандай аралықта болатыннын жазып көрсетіңдер, сонымен қатар тербеліс периодын және жиілігін анықтаңдар.
3. Торғай, шыбын және маса қанаттарының тербеліс жиіліктері ретінде қарай 10 Гц, 300 Гц және 450 Гц. Олардың қанаттары 1 минутта қанша тербеліс жасайды?
4. Қымыз пісептің піспектің $t = 3T$ уақыт аралығындағы тербелісі графикте көрсетілген (сурет 5.5, а). Егер піспектің ең үлкен ауытқуы $A = 0,5$ м болса, онда ол $t_1 = T; t_2 = 2T; t_3 = 3T$ уақыт аралықтарында қанша жол жүреді?
5. Серіппеге бекітілген жүктің тербеліс амплитудасы 3 см. Орынды тепе-тендік күйінен санаганда (сурет 5.5, б) жүк мына уақыт аралықтарында қанша жол жүреді: $t_1 = T/4; t_2 = T/2; t_3 = 3T/4; t_4 = T$?



Сурет 5.5



6. 800 Гц жиілікпен тербелетін қобыздың шегі 20 с-те 64 м жол жүреді. Шектің тербеліс амплитудасын анықтаңдар.



Эксперименттік тапсырма

Секундомерді пайдаланып, өздеріңің және аталарың мен әжелеріңің жүрек соғысы тербелістерінің жиілігін, периодын анықтаңдар.



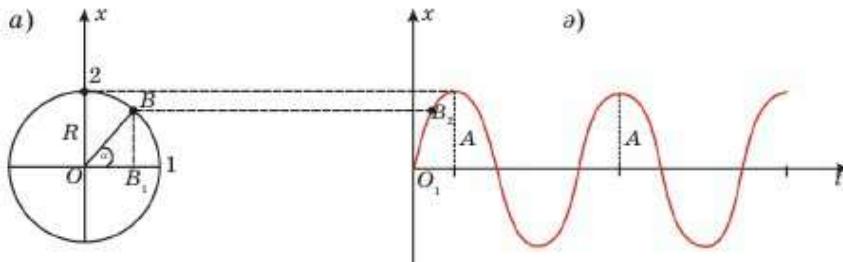
Теориялық зерттеу

Өздеріңің және аталарың мен әжелеріңің жүрек тербелістерінің ең үлкен орташа ауытқуы 3 мм-ге тең болады деп есептеп, әркімнің жүрек тербелісінің туган жылдарынан бастаганда қаша жол жүргенін есептеп шығарыңдар да, оған қандай көмек жасауга болатынын зерделеңдер.

§28.

ТЕРБЕЛМЕЛІ ҚОЗГАЛЫСТЫҢ ТЕНДЕУІ

1. Тербелмелі қозгалыстың тендеуін алу үшін дененің (материялық нұктенің) шеңбер бойымен бірқалыпты қозгалысын қарастырайық. В денесін шеңбер бойымен сағат тілінің жүрісіне қарама-қарсы тұрақты жылдамдықпен қозгалысын дейік (сурет 5.6, а). Қозгалыс кезіндегі дененің Ox өсіндегі проекциясына зер салсақ, дene шеңбер бойымен айналғанда оның осы өстегі проекциясы жоғары-төмен тербелмелі қозгалыс жасайды. Мұндай тербелмелі қозгалыстың t уақыт ағымындағы графигі синусоїда қисығымен бейнеленеді (сурет 5.6, ə). Дененің шеңбер бойымен бірқалыпты қозгалысы кезінде оның t уақыт ағымындағы $x(t)$ координатасын анықтайтын тендеу біз іздең отырған тербелмелі қозгалыстың тендеуі болып табылады. Өйткені **механиканың негізгі есебі** де дененің уақыт ағымындағы кеңістіктегі күйін, яғни $x(t)$ координатасын анықтау болатынын білеміз.



Сурет 5.6. Дененің шеңбер бойымен қозгалысы және оның $x(t)$ тәуелділік графигі

Сонымен, дene $t_0 = T = 0$ уақыт мезетінде горизонталь естегі 1-нүктеден қозғала бастасын да, t уақыт өткеннен кейін B нүктесіне жетсін дейік. Осы уақыт аралығындағы дененің Ox өсіндегі ауытқуы мынаған тең: $x = BB_1$. Графикте (сурет 5.6, а) дененің осы уақыт аралығындағы қозғалысы O_1B_2 қисығымен бейнеленеді. Дененің B нүктедегі $x(t)$ координатасын $OB\bar{B}_1$ тікбұрышты үшбұрышы бойынша анықтай аламыз. Тікбұрышты үшбұрыштың α бұрышына қарсы жатқан катеттің гипотенузага қатынасы синус альфага тең екендігі математикадан белгілі:

$$\sin \alpha = x/OB \text{ немесе } x(t) = OB \sin \alpha, \quad (5.4)$$

мұндағы: $x(t)$ – берілген t уақытқа сәйкес келетін дененің координатасы; α – OB радиусының осы уақыт аралығында бұрылған бұрышы; $\sin \alpha$ – периодты өзгеріп отыратын функция.

Дененің шеңбердің B нүктесіне жеткен кездегі ω бұрыштық жылдамдығы өзімізге кинематика тарауынан белгілі мына формула бойынша табылады:

$$\omega = \alpha/t;$$

бұдан OB радиусының қандай бұрышқа бұрылғанын анықтай аламыз:

$$\alpha = \omega t. \quad (5.5)$$

Дене шеңбер бойымен қозғалысын жалғастырып, $t = T/4$ уақыт аралығында 2-нүктеге жетеді. Бұл кезде $R = OB = A$ радиусы 90° -қа бұрылады: $\alpha = 90^\circ = \pi/2$; $\sin 90^\circ = 1$. Ендеше, уақыт $t = T/4$ болғанда (5.4)-пен анықталатын ауытқу ең үлкен шамага жетеді:

$$x(t) = A \sin \alpha = A \sin 90^\circ = A.$$

Олай болса, (5.4) теңдеуін (5.5) формуласын ескеріп, мына түрде жаза аламыз:

$$x(t) = A \sin \alpha = A \sin \omega t. \quad (5.6)$$

Дененің x ауытқуын уақыттың функциясы ретінде көрсететін **бұл теңдеу гармоникалық (синусоидалық) тербелмелі қозғалыстың теңдеуі деп аталаады**.

2. Егер дene шеңбер бойымен қозғалысын жогарыда айтқанымыздай 1-нүктеден емес, одан да ертерек бастапқан болса, онда OB радиусы дene осы нүктеге жеткенше белгілі бір ϕ бұрышқа бұрылар еді. Бұндай бұрышты тербелмелі қозғалыстың **бастапқы фазасы** деп атайды да, α бұрышына қосып жазады ($\alpha + \phi_0$). Ендеше, (5.6) теңдеуін бастапқы фазасы нөлге тең тербелістер үшін қолданады, ал бастапқы фазасы белгілі бір ϕ_0 бұрышын құрайтын тербелмелі қозғалыстың теңдеуі мына түрде жазылады:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi_0). \quad (5.7)$$

Мұндай тендеудің графигі де периодты өзгеретін синусоида қысырымен бейнеленеді. (5.6) және (5.7) тендеулері амплитудалары да, периодтары да, бұрыштық жылдамдықтары да бірдей болатын тербелмелі қозғалыстарды сипаттайтын.

Алайда (5.7) тендеуіндегі синусоида қысығы ϕ_0 фазасына ығысып салынады (сурет 5.7).

Синус функциясы периодты өзгеретін функция болғандықтан, жоғарыдағы (5.6 және 5.7) формулаларымен сипатталатын қозғалыстарды *периодты* деп те, *гармоникалық* немесе *синусоидалық* қозғалыстар деп те атайды береді.

3. Дененің шеңбер бойымен толық бір айналып шығуына бір период үткізу кетеді ($t = T$). Осы уақытта оның Ox өсіндегі проекциясы толық бір тербеліс жасайды. Бұны *бір цикл* деп атайды. Бір циклде денемен бірге шеңбердің OB радиусы, $\alpha = 360^\circ = 2\pi$ градусқа бұрылады (сурет 5.6). Бір циклге сәйкес келетін дененің бұрыштық жылдамдығын циклдік жиілік деп атайды да, мына формуламен анықтайтын:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{t}. \quad (5.8)$$

Екінші жағынан T периодпен v жиіліктің арасында кері пропорциялық байланыстың бар екенін білеміз:

$$T = 1/v. \quad (5.9)$$

Олай болса, (5.8) формуласы мына түрге келеді:

$$\omega = 2\pi v, \quad (5.10)$$

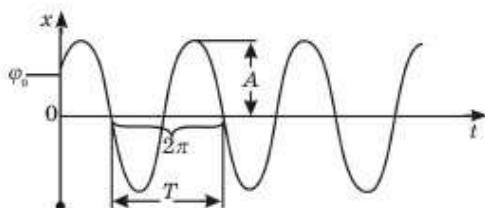
мұндағы v – дененің шеңбер бойымен 1 с ішіндегі айналым саны. Оны *меншікті жиілік* (қысқаша *жиілік*) деп атайды.

4. (5.7) формуласымен сипатталатын тербелмелі қозғалыстың тендеуін циклдік немесе меншікті жиіліктер арқылы да жаза аламыз:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi_0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \phi_0\right) \quad (5.11)$$

немесе

$$x(t) = A \sin(\omega t + \phi_0) = A \sin(2\pi v t + \phi_0). \quad (5.12)$$



Сурет 5.7



Сұрақтар

- Гармоникалық (синусоидалық) тербелмелі қозғалыстың тендеуі деп қандай тендеуді айтады? Ондағы шамалар нені білдіреді? Графикте көрсетіндер.
- Тербелмелі қозғалыстың бастанқы фазасы деп нені атайды? Бастанқы фазасы бар тербелмелі қозғалыстың тендеуі қалай жазылады?
- Синус функциясымен сипатталатын тербелістердің не себептен периодты немесе синусоидалы тербелістер деп атайды?
- Циклдік жиілік деп нені айтады? Циклдік жиілік пен тербеліс жилігінің байланысы қандай формуламен сипатталады?
- Периодты қозғалыстардың тендеулерінде период және жиілік арқылы қалай жазылады?
- Төмөндегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Гармоникалық тербелістің қозғалыс тендеуі $x = 0,06 \cdot \cos \omega t$ (м) өрнегімен берілген. Тербелістің амплитудасын, жиілігін және периодын табыңдар.

Bерілгені
$x = 0,06 \cdot \cos \omega t$ (м)
$A = ?$, $T = ?$, $v = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Гармоникалық тербеліс периодты өзгеретін синус немесе косинус функцияларымен сипатталады. Жалпы алғанда гармоникалық тербелістер мына тендеулермен сипатталады:

$$x = A \sin(\omega t + \phi_0) \text{ немесе } x = A \cos(\omega t + \phi_0). \quad (1)$$

Есептің шарты бойынша $x = 0,06 \cos \omega t$. Бұл өрнекті (1) тендеуімен салыстырып, мына шамалардың мәндерін табамыз:

$$A = 0,06 \text{ м}; \omega = \pi; \phi_0 = 0.$$

Екінші жағынан $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Олай болса $\pi = \frac{2\pi}{T}$, будан $T = 2$ с.

Жиілік периодқа көрі шама: $v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \text{ с}} = 0,5 \text{ с}^{-1} = 0,5 \text{ Гц}$.

Жауабы: $A = 0,06 \text{ м}$; $T = 2 \text{ с}$; $v = 0,5 \text{ Гц}$.



Жаттығу 5.2

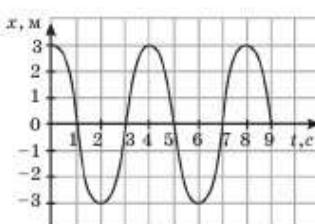
- Амплитудасы 0,1 м, периоды 4 с, бастанқы фазасы нөлге тең гармоникалық тербелістің тендеуін жазыңдар.

2. Көрсетілген графиктегі қисық (сурет 5.8) қандай қозғалысты сипаттайды? Осы қисықпен сипатталатын қозғалыстың тәндесеудін жазындар.

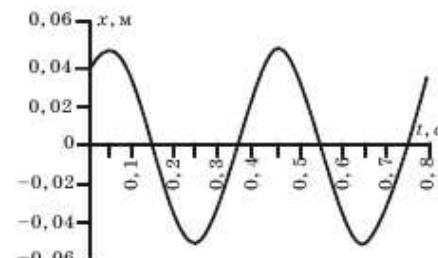
3. Периодты қозғалыстың бір минутында 150 тербеліс жасалады. Тербелістің амплитудасы 5 см, ал бастапқы фазасы $\pi/4$ деп есептеп, тербелмелі қозғалыстың тәндесеудін жазындар. Графигін салып көрсетіңдер.



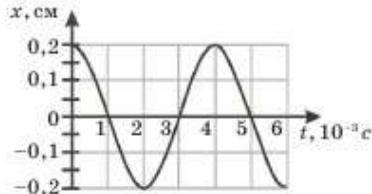
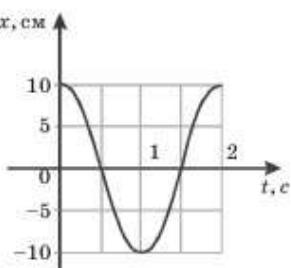
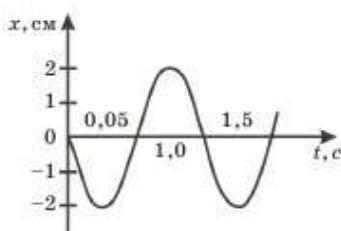
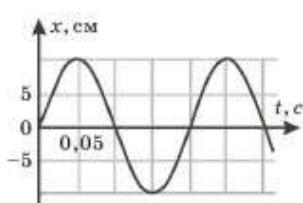
4. Амплитудасы 50 мм, периоды 4 с, бастапқы фазасы $\pi/4$ болатын гармоникалық тербелістің тәндесеудін жазындар. Ұақытты $t_1 = 0$ секундтан бастап жарты секундқа (0,5 с) өсіре отырып, оларға сойкес келетін x ауытқулардың мәндерін анықтаңдар да, тербелістің графигін салындар.
5. Алдыңғы есеп бойынша салған графиктеріндегі осы есепте көрсетілген графикпен (сурет 5.9) салыстырыңдар. Бұл графиктер бір-біріне дәл келулері керек. Дәл келмесе қайсында қате кеткенін анықтаңдар.
6. Төмендегі төрт графикті (сурет 5.10) пайдаланып, гармоникалық тербелістердің амплитудаларын, периодтарын, жиіліктерін, циклдік жиіліктерін және бастапқы фазаларын анықтаңдар. Тербелістердің тәндесеулерін жазып көрсетіңдер.



Сурет 5.8



Сурет 5.9

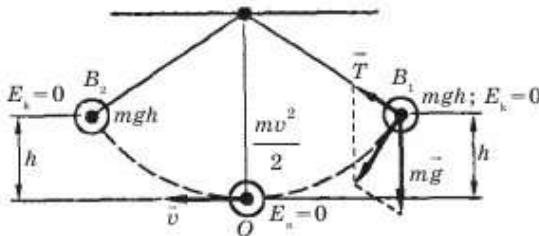


Сурет 5.10

§29.

ТЕРБЕЛІСТЕР КЕЗІНДЕГІ ЭНЕРГИЯНЫҢ ТҮРЛЕНУІ

1. Тербелмелі жүйедегі гармоникалық қозғалыстар кезінде механикалық энергия бір түрден екінші түрге үнемі айналып отырады; алайда жүйенің толық энергиясы өзгеріссіз сақталады. Оған көз жеткізу үшін түйік жүйедегі ауырлыш (сурет 5.11) және серпімді (сурет 5.13) күштердің өрекетінен орындалатын тербелістерді қарастырайық.



Сурет 5.11. Ауырлыш күші өрекетінен орындалатын тербелістердің энергия түрленуі

Ауырлыш күші өрекетінен (сурет 5.11) деңе оц жақтағы ең үлкен ауытқуға сәйкес келетін B_1 нүктесінен тербеле бастасын дейік. Тербелістегі дененің B_1 нүктедегі күйі ауытқудың $x(t)$ графигінде де B_1 (сурет 5.12, жоғарғысы) нүктесімен бейнеленген. B_1 нүктедегі ауытқу $A = +x_{\max}$ максимум амплитудалық шамасына сәйкес келеді. Бұл нүктеде деңе бір сәтке тоқтап ($v = 0$), кері бағытта қозғалыс жасай бастайды. B_1 нүктесінде дененің потенциалдық энергиясы ең үлкен шамага жетеді ($h = h_{\max}$), ал кинетикалық энергия нөлге теңеледі:

$$E_n = mgh_{\max}; E_k = \frac{mv^2}{2} = 0.$$

Сейтіп, жүйенің B_1 нүктедегі толық механикалық энергиясы тек потенциалдық энергиядан тұрады:

$$E = E_n + E_k = mgh_{\max}.$$

Бұдан кейін деңе $t = T/4$ уақыт өткізіп, тепе-тендік күйге сәйкес келетін O нүктесіне жетеді. Тербелістегі дененің бұл нүктедегі күйі синусоидада қысығының горизонталь Ot өсінің бойында жатқан O_1 нүктесіне сәйкес келеді (сурет 5.12, жоғарғысы). Бұл нүктеде жүйенің потенциалдық энергиясы нөлге теңеледі ($h = 0$), оның есесіне кинетикалық энергия ең үлкен шаманы қабылдайды ($v = v_{\max}$):

$$E_n = 0; E_k = \frac{m(v_{\max})^2}{2}.$$

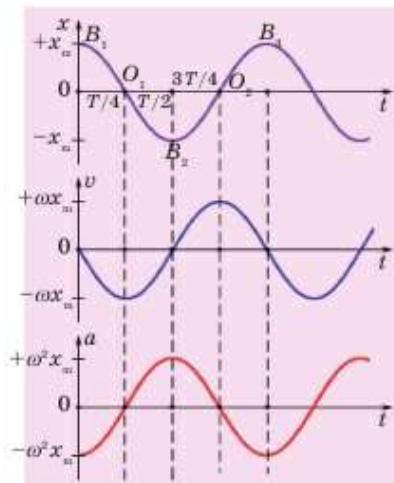
Сейтіп, жүйенің O нүктедегі толық механикалық энергиясы тек кинетикалық энергиядан тұрады:

$$E = E_k + E_n = \frac{m(v_{\max})^2}{2}.$$

Дене қозғалысын жалрастырып, B_1 нүктеден есептегендеге $t = T/2$ уақыт өткенде сол жақтагы ең шеткі B_2 ауытқу нүктесіне жетеді де, бір сәт тоқтап ($v = 0$), қайтадан кері бағытта қозғалыс жасай бастайды. Тербелістегі дене B_2 нүктеде ең үлкен $A = -x_m$ ауытқу жасайды. Дененің бұл нүктедегі күйіне синусоида қисығының да B_2 нүктесінде сәйкес келеді (сурет 5.12). B_2 нүктесінде де дененің потенциалдық энергиясы ең үлкен шамаға жетеді, ал кинетикалық энергия нөлге теңеледі. Дененің бұдан әрі қозғалысында оның потенциалдық энергиясы кеми береді де, кинетикалық энергиясы өсіп, тепе-тендік күйін сипаттайтын O нүктесінде ең үлкен шамасына жетеді. Дененің екінші рет оралған бұл нүктедегі күйіне синусоида қисығының горизонталь өстегі O_2 нүктесі сәйкес келеді (сурет 5.12, жоғарғысы). Дене бұдан кейін тағы да $t = T/4$ уақыт өткізіп, алғашқы орны B_1 нүктесіне оралады. Дененің бұл нүктедегі күйіне синусоида қисығының B_3 нүктесі сәйкес келеді (сурет 5.12, жоғарғысы). B_3 нүктесінде де дененің потенциалдық энергиясы ең үлкен шамаға жетеді, ал кинетикалық энергия нөлге теңеледі. Бұл нүктеге қайыра оралғанда дене бір период (T) уақыт өткізіп толық бір тербеліс жасайды. Дененің бұдан кейінгі тербелістері кезінде де энергия түрленулері жоғарыда сипатталған түрленулерді қайталауды. Міне, осылайша $F_a = mg$ ауырлық қүшінің әрекетінен туындайтын синусоидалық тербеліс кезінде жүйенің механикалық энергиясы бір түрден екінші түрге алмакезек ауысады:

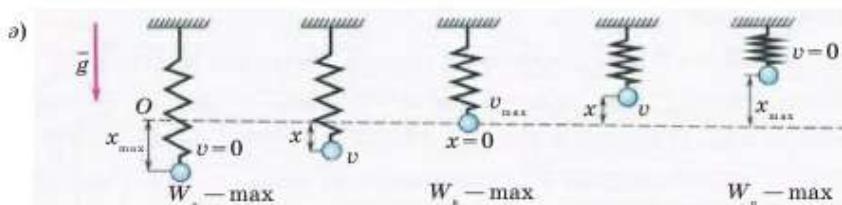
$$mgh_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

2. $F_c = k|x|$ серпімділік қүшінің (сурет 5.13) әрекетінен туындайтын



Сурет 5.12.
 $x(t)$, $v(t)$ және $a(t)$ шамаларының тербеліс графіктегі

синусоидалық тербеліс кезінде де серіппенің E_{p} потенциалдық энергиясы мен дененің E_{k} кинетикалық энергиясы да бір-біріне түрленіп отырады:



Сурет 5.13. Серпімділік күші әрекетінен орындалатын тербелістегі энергия түрленуі

$$\frac{kx_{\max}^2}{2} = \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

Ауырлық және серпімді күштердің әрекетінен орындалатын тербелістердегі энергия түрленулерін қарастыра отырып, мынадай қорытынды жасаймыз: *тербелістер барысында потенциалдық энергия кинетикалық энергияга және керісінше түрлене алады, алайда түйік жүйелердегі механикалық энергия тұрақты сақталады*:

$$E = E_{\text{p}} + E_{\text{k}} = \text{const.}$$

3. Тербелмелі қозғалыс кезінде дененің x ауытқуымен қоса оның v жылдамдығы мен a үдеуінің шамалары да периодты өзгереді (сурет 5.12). Алайда олардың T периодтары да, v жиіліктері де, ω циклдік жиіліктері де бірдей мәндерді қабылдайды да, тек A амплитудалары мен ϕ фазалары ғана әртүрлі болып келеді. Мысалы, гармоникалық тербелістегі x ауытқудың бастапқы фазасы $\Phi_0 = 0^\circ$, ал амплитудасын A деп алсақ, онда тербелістің сәйкес уақыттағы 9 жылдамдығының бастапқы фазасы $\Phi_0 = \frac{\pi}{2}$, амплитудасы $A_v = \omega A$ мәндерімен анықталады. Сол сияқты тербелмелі қозғалыстың a үдеуінің бастапқы фазасы $\phi = \pi$ мәнін, ал амплитудасы $A_a = \omega^2 A$ мәнін қабылдайды.

Міне, сондықтан тербелмелі қозғалыстағы уақыттың t кезеңіне сәйкес келетін x ауытқудың, v жылдамдықтың және a үдеудің тендеулері мына формулалармен сипатталады:

$$x(t) = A \sin \omega t;$$

$$v(t) = \omega A \sin(\omega t + \frac{\pi}{2});$$

$$a(t) = \omega^2 A \sin(\omega t + \pi).$$

Бұл формулалардан мынадай қорытындылар туындайды: біріншіден, графиктерде (сурет 5.12) көрсетілгендей, $x(t)$ синусоидасына қараганда $v(t)$ синусоидасының бастапқы фазасы $\frac{\pi}{2}$ шамасына, ал $a(t)$ синусоида-

сының бастапқы фазасы π шамасына ығысып салынады; екіншіден, ығысдың A амплитудасына қарағанда жылдамдықтың амплитудасы ω есе артық ($A_o = \omega A$), ал үдеудің амплитудасы ω^2 есе артық ($A_a = \omega^2 A$); үшіншіден, циклдік жиіліктері (ω), меншікті жиіліктері (v) және периодтары (T) бірдей шамаларды қабылдайды.

Ауытқу мен жылдамдықтың және үдеудің формулалары бойынша олардың графиктерін салғанда төмендегі кестелердің үлгілерін пайдалану қажет:

$x, \text{ м}$	x_1	x_2	...	$v, \text{ м/с}$	v_1	v_2	...	$a, \text{ м/с}^2$	a_1	a_2	...
$t, \text{ с}$	t_1	t_2	...	$t, \text{ с}$	t_1	t_2	...	$t, \text{ с}$	t_1	t_2	...



Сұрақтар

1. Ауырлық және серпімділік күштері өрекет ететін тербелмелі жүйеде механикалық энергия қалай түрленеді? Энергия түрленулерінен қандай қорытынды туындаиды?
2. Гармоникалық тербелістегі ауытқу мен жылдамдықтың тендеулері қалай жазылады? Неге?
3. Гармоникалық тербелістегі үдеудің тендеуі қалай жазылады? Неге?
4. Гармоникалық тербелістегі ауытқу мен жылдамдықтың және үдеудің амплитудалары қалай анықталады?
5. Гармоникалық тербелістегі ауытқу мен жылдамдықтың және үдеудің графиктері қалай салынады?
6. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шыгару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалы

Есеп. Іғысу модулі амплитуданың жартысына тең болса, онда тербелістің фазасы қандай болады?

Bерілгені
$x = \frac{1}{2} A$
$\phi = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Тербелістің тендеулерінің аналитикалық өрнектері берілмеген. Сондықтан тербелістің бастапқы фазасын $\phi_0 = 0^\circ$ деп алып, периодты функцияның төмендегі екі түрін де пайдаланамыз:

$$x = A \sin \omega t \text{ немесе } x = A \cos \omega t.$$

Есептің шарты бойынша: $\frac{1}{2} A = A \sin \omega t$ немесе $\frac{1}{2} A = A \cos \omega t$. Тербелістің фазасын $\phi = \omega t$ деп белгілен, соңғы тендіктерден периодты функцияның екі түрі үшін ϕ_1 және ϕ_2 мәндерін табамыз.

Шешүй: $\frac{1}{2} = \sin \phi_1$ немесе $\sin 30^\circ = \sin \phi_1$; Олай болса, $\phi_1 = 30^\circ = \frac{\pi}{6}$.

Толық тербеліс жасаган сайын бұған 2π қосылады.

$\frac{1}{2} = \cos \phi_2$ немесе $\cos 60^\circ = \cos \phi_2$; $\phi_2 = 60^\circ = \frac{\pi}{3}$.

Жауабы: $\phi_1 = \frac{\pi}{6}$ т. с. с; $\phi_2 = \frac{\pi}{3}$ т. с. с



Жаттығу 5.3

- Тұрып қалған қабырға сағатының маятнигін тербеліске келтіру үшін оған потенциалдық энергияны және кинетикалық энергияны қалай беру керек?
- Массасы 400 г жүк қатаандығы 250 Н/м серіппеде тербеледі. Тербелістің толық механикалық энергиясын және жүктің ең үлкен қозгалыс жылдамдығын анықтаңдар.
- Қатаандығы 0,4 кН/м серіппеге бекітілген массасы 640 г жүк тәп-тендік күйінен 1 м/с жылдамдықпен өту үшін оны тәп-тендік күйінен қандай қашықтыққа ауытқыту қажет?
- Қатаандығы 0,5 кН/м серіппеде тербеліп тұрган жүк тербеліс амплитудасы 6 см болғанда ең үлкен 3 м/с жылдамдықпен қозгалады. Жүктің массасы қандай?
- Гармоникалық тербеліс $x = 0,3 \sin(\pi t + 0,5\pi)$ м тәндеуімен сипатталады. Мына тапсырманы орындаңдар: 1) тербелістің периодын, амплитудасын және бастапқы фазасын анықтаңдар; 2) қозгалыс жылдамдығы мен үдеуінің тәндеулерін құрындар; 3) гармоникалық тербеліс ауытқуының, жылдамдығының және үдеуінің графиктерін салындар.



§30.

МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ СЕРІППЕЛІ МАЯТНИКТЕРДІҢ ТЕРБЕЛИСТЕРІ

1. Тербелмелі жүйелердің қарапайым түрі – *математикалық маятник* (сурет 5.14). Математикалық **маятник** деп массасын елемеуге болатын созылмайтын жіпке ілінген өлшемдері кішкентай денені айтады.

Маятниктердің қозгалысын бақылай отырып, Галилео Галилей мынадай эксперименттік заңдарды тағайындағы:

1) математикалық маятниктің периоды жүктің массасына тәуелді болмайды;

2) математикалық маятниктің периоды тербеліс амплитудасына тәуелді болмайды;

3) тербеліс периоды маятник ұзындығына ғана тәуелді. Бұл тәуелділік мына формуламен сипатталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad (5.13)$$

мұндағы l – математикалық маятниктің ұзындығы;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ – еркін тұсу үдеуі (Жер үшін тұрақты шама).

Эксперимент нәтижесінен анықталған бұл өрнек Галилей формуласы деп аталады.

2. Маятниктің тербеліс периодының еркін тұсу үдеуіне тәуелділігі тәжірибеде Жер бетінің әртүрлі нүктелеріндегі еркін тұсу үдеуін дәл өлшеу үшін пайдаланылады. Мұндай құралдардың негізгі тетірі маятник болғандықтан, оларды *маятникті құралдар* деп атайды. Жер бетінің қажет аймағындағы еркін тұсу үдеуін өлшеу үшін сол жерге маятникті құралдарды орнатады да, маятниктің T тербеліс периодын өлшейді. Периодтың алынған мәні мен маятниктің белгілі l ұзындығы бойынша сол жердегі еркін тұсу үдеуі есептеледі. Еркін тұсу үдеуін нәтижелері бойынша пайдалы қазба байлықтар жатқан аймақты анықтауға болады. Тығыздығы жер қыртысының орташа тығыздығынан артық болатын пайдалы қазба (мысалы, темір рудасы) бар болса, g -дің мәні жоғары болады. Ал тығыздығы аз мұнай не газ кендері бар жерлерде g -дің мәні төмен болады.

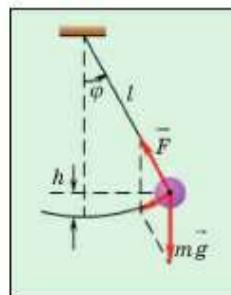
3. Енді серіппеге ілінген жүктің тербелісін (сурет 5.15) қарастырайық. Мұндай қарапайым тербелмелі жүйені *серіппелі маятник* деп атайды. Гюйгенс серіппелі маятниктерді эксперимент жүзінде зерттеп, олардың периодтарының мына формуламен анықталатынын тапты:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (5.14)$$

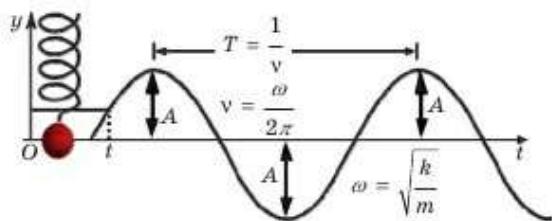
мұндағы m – тербелетін жүктің массасы; k – серіппенің қатаандығы. Бұл формуланың дұрыстығын төмөндегі теориялық зерттеулер де растайды.

Маятниктің серіппесі l ұзындыққа созылса немесе сығылса, онда денені тепе-тендік күйіне қайтаратын F күші туындейды. Үзару шамасы $|x| = |l - l_x|$ аз болса, онда бұл күш Гук заңы бойынша анықталады:

$$F = k|x|.$$



Сурет 5.14.
Математикалық
магнит



Сурет 5.15. Серіппелі маятник тербелісі

Ньютоның 2-засын пайдаланып, дененің қозғалысы тендеуін байлайша жазамыз: $ma = k|x|$. Бұдан:

$$a = \frac{k|x|}{m}.$$

Екінші жағынан, центрге тартқыш a үдеудің шамасын дененің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысын және гармоникалық тербелістердің графиктерін ескере отырып, анықтай аламыз. Дене шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалғанда центрге тартқыш үдеу мына формуламен анықталады:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r = \omega^2 |x|,$$

мұндары: $v = \omega r$ – сыйықтық жылдамдық; ω – бұрыштық жылдамдық; r – шеңбердің радиусы немесе тербелетін дененің тепе-тендік күйінен ауытқуы ($r = |x|$).

Үдеулердің мәндерін тенестіріп, мына өрнекті аламыз:

$$\omega^2 |x| = \frac{k|x|}{m} \text{ немесе } \omega^2 = \frac{k}{m}; \quad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Соңғы өрнекке бұрыштық жылдамдықтың ($\omega = \frac{2\pi}{T}$) мәнін қойып, серіппелі маятниктің тербеліс периодын анықтаймыз:

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}. \text{ Бұдан:}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Гюйгенс формуласынан көрініп түрғандай, серпімділік күші әрекетінен болатын тербелістің периоды амплитудага тәуелді болмайды. Сонымен, серіппелі маятниктің тербеліс периоды тек жүк массасы мен серіппенің қатаандығына тәуелді өзгереді.


Сұрақтар

- 
1. Математикалық маятник деп нені айтады?
 2. Математикалық маятниктің тербеліс периоды қандай шамаларға тәуелді?
 3. Галилей формуласынан қандай қорытындылар туындайды?
 4. Серпімділік күші өрекет еткен дененің тербеліс периоды қандай шамаларға тәуелді?
 5. Гюйгенс формуласының дұрыстығы теорияда қалай дәлелденеді?
 6. Төмөнделгі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.


Фылым мен техниканың даму тарихынан


Галилео Галилей
(1564–1642)



Христиан Гюйгенс
(1629–1695)

Жілкө немесе серіппеге ілінген жүктің тербеліс периодының тербеліс амплитудасына тәуелді болмайтынын 1583 ж. италиялық ұлы физик әрі астроном Галилео Галилей ашқан. Бұл жаңалық денелердің механикалық тербелістерінің алғашқы негізгі зандарының бірі болып табылады. Аныз бойынша Галилей бұл жаңалықты шіркеудегі шырақтың шайқалуын бақылай отырып ашқан екен. Сағат ретінде ол өз тамырының соғуын пайдаланған көрінеді. Құлышылық ету кезінде ол шырақтың тербеліс құлашының біртіндеп кішірейтінін, яғни тербеліс амплитудасының азаятынын, бірак периодтың өзгермей қалатынын байқаған. Галилей маятниктің тербеліс периодының оның амплитудасына тәуелді болмайтынын тәжірибе жүзінде дәлелдей отырып, маятниктерді уақыт өлшеуіші ретінде сағаттарда пайдалануды ұсынды. Алайда тек 70 жылдан астам уақыт өткенде, нидерландық ғалым және өнертапқыш 1656 ж. Христиан Гюйгенс осы идеяны жүзеге асырып, алғаш рет маятникті сағат құрастырып шығарды.

Маятниктің бұл қасиеті изохрондилік (изо – «тұрақты», хронос – «уақыт» деген мағынада) деп аталады.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Тік орналасқан серіппеге жүк ілінген. Серіппені $\Delta x = 0,8$ см-ге созса, жүктің еркін тербелісінің жиілігі неге тең?

Берілгені	ХБЖ бойынша
$\Delta x = 0,8 \text{ см}$	$\Delta x \approx 0,8 \cdot 10^{-2} \text{ м}$
$v = ?$	$g \approx 10 \text{ м/с}^2$

Есеп мазмұнын талдау

Гюйгенс формуласы бойынша серіп-пелі маятниктің тербеліс периоды мына формуламен анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1)$$

$$\text{Тербеліс жиілігі периодқа көрі шама: } v = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

Серіппенің қатаандығы Гук заңы бойынша табылады: $F = k|\Delta x|$; $k = \frac{F}{\Delta x}$, мұндағы серпімділік күшінің модулі ауырлық күшінің модуліне тең: $F = F_g = mg$. Ендеше, $k = \frac{mg}{\Delta x}$; $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{mg}} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta x}{g}}$.

$$(2) \text{ тәндіктен } v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{\Delta x}{g}}}.$$

$$\text{Шешуі: } v = \frac{1}{2\pi \sqrt{\frac{\Delta x}{g}}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \sqrt{\frac{0,8 \cdot 10^{-2}}{10}}} \text{ Гц} \approx 5,7 \text{ Гц.}$$

Жауабы: $v = 5,7 \text{ Гц.}$

**Жаттығу 5.4**

- Екі математикалық маятниктердің периодтарының қатынасы 3/2-ке тең болса, онда бірінші маятниктің жібінің ұзындығы екіншісінен неше есе артық?
- Маятниктің Жер бетіндегі тербелісінің периоды 1 с. Оның Ай бетіндегі тербелісінің периоды қандай болады?
- Қатаандығы 250 Н/м серіппеге бекітілген жүк 16 с-та 20 тербеліс жасайды. Жүктің массасы қандай?
- Ұзындығы 37 см ширатылған резеңкенің қатаандығыны анықтау үшін оған массасы 100 г жүк ілген. Егер резенке 90 см-ге ұзарса, онда оның қатаандығы мен тербеліс периоды қандай болғаны?
- Жер бетінен 30 м/с^2 үдеумен көтерілетін зымыранға орнатылған маятниктің периоды неше есе өзгереді?

№3 зертханалық жұмыс

Математикалық маятниктің көмегімен еркін тұсу үдеуін анықтау

Жұмыстың мақсаты: математикалық маятниктің тербеліс периодының

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

формуласы бойынша еркін тұсу үдеуін анықтау.

Ол үшін тербеліс периоды мен маятниктің ұзындығын өлшеп алу қажет. Сонда жоғарыдағы формуладан еркін тұсу үдеуін табуга болады:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}.$$

Құрал-жабдықтар: секундтық тілі бар сағат, өлшеуіш таспа, сақылауы бар шар, жіп, қысқышы мен сақинасы бар түрге (штатив).

Жұмысты орындау: 1. Штативті үстелдің шетіне орнатыңдар. Оның жоғарығы жағына қысқыш арқылы сақина бекітіп, оған жіпке байланған жүкті іліндер. Жүк еденинен 3–5 см жоғары тұруы керек.

2. Маятникті тепе-тендік күйінен 5–8 см-ге ауытқытып, еркін жібересалындар.

3. Маятниктің ұзындығын өлшеуіш таспамен өлшеп алындар.

4. N тербеліс жасауга кеткен Δt уақытты өлшеңдер.

5. Уақыттың қайтадан өлшеп ($\Delta t_{\text{опт}}$ тәжірибе шартын өзгертпей), оның орташа $\Delta t_{\text{опт}}$ мәнін табындар.

6. Уақыттың $\Delta t_{\text{опт}}$ орташа мәні бойынша тербеліс периодының $T_{\text{опт}}$ орташа мәнін анықтандар.

7. $g_{\text{опт}} = \frac{4\pi^2 l}{T_{\text{опт}}^2}$ формуласы бойынша еркін тұсу үдеуінің $g_{\text{опт}}$ орташа мәнін есептеп шыгарындар.

8. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазындар.

Тәжірибе нөмірі	l , м	N	Δt , с	$\Delta t_{\text{опт}}$, с	$T_{\text{опт}} = \frac{\Delta t_{\text{опт}}}{N}$	$g_{\text{опт}}$, м/с ²
1		30				
2		40				
3		50				

9. Еркін тұсу үдеуінің әртүрлі тербеліс санында алғынған $g_{\text{опт}}$ орташа мәнін $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ мәнімен салыстырындар.

10. Математикалық маятниктің ұзындығы өскен сайын периодының да $T \sim \sqrt{l}$ немесе $T^2 \sim l$ заңдылығына сәйкес өсетініне көз жеткізіндер. Ол үшін төмөндегі кестеде көрсетілген ұзындықтар мен тербеліс санына сәйкес келетін периодты экспериментте анықтай, кестені толтырындар.

Тәжірибе нөмірі	1	2	3	4	5
l (см)	5	20	45	80	125
Тербеліс саны	30	30	30	30	30
Уақыт (с)					
Период (с)					

11. Өлшеу нәтижелеріне сүйеніп T_2/T_1 ; T_3/T_1 ; T_4/T_1 ; T_5/T_1 және l_2/l_1 ; l_3/l_1 ; l_4/l_1 ; l_5/l_1 қатынастарын анықтап, оларды бір-бірімен салыстыра отырып қорытынды жасаңдар.

12. Өлшеу нәтижесіне сүйеніп, $T = \sqrt{l}$ немесе $T^2 \sim l$ тәуелділігінің графигін декарттық координаталар жүйесіне салып, қорытынды жасаңдар.

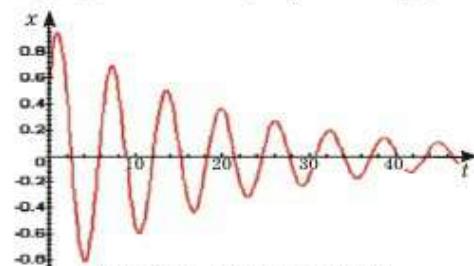
§31.

ЕРКІН ЖӘНЕ ЕРИКСІЗ ТЕРБЕЛІСТЕР. РЕЗОНАНС

1. Еркін тербелістер *деп* дене тәпеп-теңдік күйінен шыгарылған соң сыртқы күштің әрекетінсіз тек ішкі күштердің әрекетімен орындалатын тербелістерді *айтады*.

Алдыңғы тақырыпта қарастырған тербеліс периодтарының формуулалары тек еркін тербелістерді сипаттайты. Еркін тербелістердің жиілігін жүйенің меншікті тербеліс жиілігі немесе меншікті жиілік деп те атайды.

Серіппелі және математикалық маятниктер еркін тербелгенде жүйедегі үйкеліс мейлінше аз болуы керек, олай болмаған жағдайда тербеліс тез өшіп қалады. Себебі үйкеліс күші қозғалысқа қарсы бағытталғандықтан, оның әрекетінен істелген жұмыс механикалық энергияны ΔE шамасына кемітеді ($A=\Delta E$). Энергияның азаюымен амплитуда кеміді де тербеліс өшеді. Өшетін тербелістерді (сурет 5.16) гармоникалық тербелістер деп есептеуге болмайды, өйткені гармоникалық еркін тербелістерде амплитуда тұрақты сақталады. Ал өшетін тербелістерде амплитуда мен период және жиілік тұрақты сақталмайды. Соңықтан өшетін тербелістер үшін гармоникалық еркін тербелістердің заңдары мен формулаларын қолдануға болмайды.



Сурет 5.16. Өшетін тербеліс

2. Еріксіз тербелістер. Тербелісті өшпейтін ету үшін үйкелісті женуғе кететін энергияны толықтырып отыру қажет. Тербелмелі жүйенің энергиясын оған сыртқы периодты түрде өзгеріп отыратын күшпен өрекет ету арқылы толықтыруға болады. Жүйенің энергиясы осы сыртқы күш жұмысының есебінен толығып отырады. Тербелістерді тудыруши периодты түрде өзгеріп отыратын сыртқы күшті *мәжбүр етуші* күш деп атайды да, оның туғызған тербелісін *еріксіз тербеліс* дейді.

Еріксіз тербелістер деп сыртқы периодты күштің өрекетінен туындастын тербелістерді айтады.

3. Периодты күштің тербелмелі жүйеге өрекеті. Тербелмелі жүйенің өзіне тән меншікті тербеліс периоды болады, ал сыртқы күш оған басқа периодпен өрекет етуі мүмкін. Сонда сыртқы күш өрекет ететін тербелмелі жүйенің қозгалыс периоды қандай болмақ? деген сұрақ туындаиды.

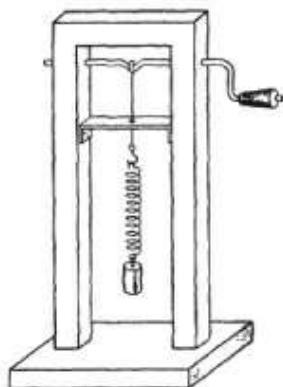
Сұраққа жауап алу үшін тәжірибеге жүргінешік. Тербелмелі жүйе ретінде серіппеге бекітілген жүкті гармоникалық тербелістер алуға арналған механизмнің жібіне ілеміз (сурет 5.17). Тұтқаны бірқалыпты айналдыра бастасақ, жүктің қозгалысы алғашқыда күрделі болады. Бірақ бірнеше айналымнан кейін жүктің периодты қозгалыс жасай бастағанын көреміз. Бұл кезде тұтқаны қандай жылдамдықпен айналдырасақ та, жүктің орныққан тербелісі тұтқаның айналу периодына тең периодпен жүзеге асады. Тәжірибеден мынадай қорытынды жасауға болады.

1) *Периодты күш өрекет ететін тербелмелі жүйеде периодты қозгалыс орныгады. Орнықты периодты қозгалыс кезінде сыртқы периодты күштің жиілігі мен жүйенің ω_0 меншікті тербеліс жиілігі теңеледі ($\omega_{\text{сурт.}} = \omega_0$). Мұндай қозгалысты еріксіз тербелістер деп атайды.*

2) *Еріксіз тербелістердің периоды мәжбүр етуші күштің периодына тең болады.*

4. Резонанс. Орныққан еріксіз тербелістердің жиілігі қашан да сыртқы күштің жиілігіне тең болатындығын тағы бір тәжірибе жасап тексерейік.

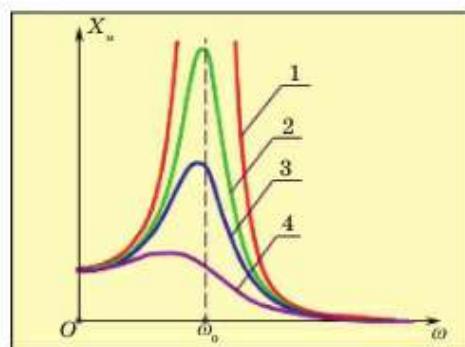
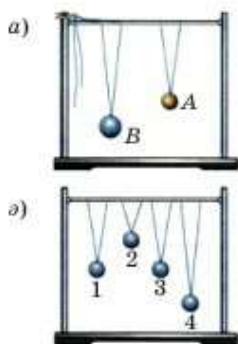
Горизонталь арқалыққа немесе жілкө екі маятник ілеміз (сурет 5.18 а). Мұндағы A маятнигінің ұзындығы өзгермейді. Ал B маятнигінің ұзындығын жілтің бос үшін әрлі-берлі қозгай отырып өзгертуге болады. В маятниктің ұзындығын осылайша азайта отырып, оның тербеліс жиілігін өзгертуге болады. Сонда осы мәжбүр етуші күштің жиілігі A маятник тербелісінің меншікті жиілігіне жақындағанда (маятниктердің ұзын-



Сурет 5.17.
Тербелістер аспабы

дықтары тәцелгенде), А маятниктің тербеліс амплитудасы кенет артып кетеді. Сыртқы мәжбүрлеуші күштің жиілігі тербелмелі жүйенің меншікті жиілігіне жақындағанда оның амплитудасының кенеттен арту құбылысы резонанс деп аталады.

Тәжірибелі арқалыққа ілінген үш одан кейін төрт маятникпен жалғастыруға болады (сурет 5.18, а). Егер мәжбүрлеуші күштердің жиіліктері өртүрлі болатын болса ($\omega_1 \neq \omega_2 \neq \omega_3 \neq \omega_4$), онда маятниктер күрделі қозғалыстар жасайды да, резонанс құбылысы байқалмайды. Төрт маятниктің 3-маятнигінің ұзындығын 4-маятниктің ұзындығына жақындастартын болсақ, онда резонанс құбылысы орын алды, жүйе тербелісінің x ауытқуы ессе бастайды (сурет 5.19 – графіктің оң жақ бөлігіндегі кек сзызық). Бұдан кейін 2-маятниктің ұзындығын, 3-маятник және 4-маятниктердің ұзындығына жақындастасақ, жүйе тербелісінің ауытқуы одан сайын арта түседі (графикте жасыл сзызық). Ең соңында тербелістегі



4 маятниктің де ұзындықтары бірдей болғанда, яғни жиіліктері ω_0 шамасына жеткенде ауытқудың шамасы күрт еседі де (қызыл сзызық), маятниктер байланған штативті тәселтіп құлатуға өкеледі. Бұдан сыртқы күштердің жиіліктері жүйенің меншікті жиілігімен тәцелгенде ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_0$) резонанс құбылысының орын алатындығын көреміз.

5. Резонанстың пайдасы да, зияны да бар. Пайдалы болған кезде оны арттыруға тырысады. Мысалы, жол құрылышында, үйдің іргетасын құйғанда, құйматасты (бетонды) немесе сусыма нәрселерді тығыздау үшін арнайы вибратор-тығыздагыштар пайдаланылады. Ал резонанстың зиянды жақтарын болдырмау үшін өртүрлі шарапалар қолданылады. Мысалы, аяқтарын бірдей жиілікпен басып, сап түзеп келе жатқан сарбаздар

шеруі қандай да бір көпірден өтер кезде «еркін жүріс» деген бүйрық беріледі. Еркін жүріс кезінде әр сарбаздың аяқ алсының жиілігі әртүрлі болады да, көпірдің тербеліс жиілігіне сәйкес келмейді. Сөйтіп, резонанс құбылысы орын алмайды. Сондай-ақ электрқозғалтқыштар, бу және газ турбиналарының табаны іргетасқа бекітілсе, олардың тербелісі біртұтас еден арқылы машина орналасқан үйге беріледі. Соның салдарынан іргетастың еріксіз тербелістерінің амплитудасы үлкен мәнге жетіп, нәтижесінде үйдің құлауы да мүмкін. Мұндай жағдайларда да тербелістердің меншікті жиілігі сыртқы күштің жиілігімен дәл келмейтіндей шараптар жасалады.



Сұрақтар

1. Еркін тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
2. Үйкеліс күші тербеліс амплитудасын неліктен азайтады?
3. Неліктен өшетін тербелістерді гармоникалық тербелістер деп атауга болмайды?
4. Еріксіз тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
5. Еріксіз тербелістердің амплитудасының мәжбурлеуші күштердің жиілігінің өзгерісіне тәуелділігін қалай көрсетуге болады?
6. Қандай құбылысты резонанс деп атайды?
7. Резонанстың пайдалы және зиянды өсеріне мысал келтіріндер және оны жою әдістерін сипаттаңдар.
8. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шыгару жолдарын түсіндіріндер.

Есеп шыгару мысалы

1-есеп. Бірдей уақыт ішінде бірінші математикалық маятник 50, ал екіншісі 30 тербеліс жасайды. Олардың біреуі екіншісінен 32 см қысқа болса, маятниктердің ұзындықтары қандай?

Берілгені	ХБЖ бойынша
$n_1 = 50$	
$n_2 = 30$	$\Delta l = 0,32 \text{ м}$
$\Delta l = l_1 - l_2 =$ $= 32 \text{ см}$	
$t_1 = t_2$	
$l_1 - ?, l_2 - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Математикалық маятниктердің тербеліс периодтары Галилей формуласымен анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (1)$$

Период деп толық бір тербеліс жасауға кеткен уақытты айтады: $T = \frac{t}{n}$, мұндагы

n – берілген t уақыттағы тербеліс саны. Жоғарыдағы теңдіктердің сол жақтары тең, ендеше олардың оң жақтары да тең: $\frac{t}{n} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$. Бұл теңдіктің екі жағын да квадраттап мына өрнекті аламыз: $\frac{t^2}{n^2} = 4\pi^2 \frac{l}{g}$, бұдан

$$t^2 = 4\pi^2 \cdot n^2 \cdot \frac{l}{g}. \quad (2)$$

Бірінші маятник үшін: $t_1^2 = 4\pi^2 \cdot n_1^2 \cdot \frac{l_1}{g}$.

Екінші маятник үшін: $t_2^2 = 4\pi^2 \cdot n_2^2 \cdot \frac{l_2}{g}$.

Есептің шарты бойынша $t_1 = t_2$, ендеше:

$$4\pi^2 \cdot n_1^2 \cdot \frac{l_1}{g} = 4\pi^2 \cdot n_2^2 \cdot \frac{l_2}{g}; \quad n_1^2 \cdot l_1 = n_2^2 \cdot l_2. \quad (3)$$

Есептің шарты бойынша $\Delta l = l_2 - l_1$; $l_2 = l_1 + \Delta l$. l_2 -нің мәнін (3)-ке қойып, l_1 шамасын табамыз: $n_1^2 \cdot l_1 = n_2^2 \cdot (l_1 + \Delta l)$; бұдан $l_1 = \frac{n_2^2 \cdot \Delta l}{n_2^2 - n_1^2}$. (4)

Шешуи: (4) теңдігіне берілген шамаларды қойып, l_1 табамыз:

$$l_1 = \frac{900 \cdot 0,32}{1600} \text{ м} = 0,18 \text{ м}. \quad l_2 = l_1 + \Delta l = 0,18 \text{ м} + 0,32 \text{ м} = 0,5 \text{ м}.$$

Жауабы: $l_1 = 0,18 \text{ м}$; $l_2 = 0,5 \text{ м}$.



Жаттығу 5.5

- Массасы 100 г жүк жиілігі 2 Гц болатын тербеліс жасайды. Серіппенің k қатаандығыны табыңдар.
- Маятникті Жерден Айға апарса, оның тербеліс периоды қалай өзгереді? Айдың массасы Жер массасынан 81 есе кем, ал Жер радиусы Ай радиусынан 3,7 есе үлкен.
- Қатаандығы 16 Н/м серіппеге ілінген массасы 200 г дене горизонталь жазықтықта 2 см амплитудамен тербеледі. Дене тербелісінің циклдік жиілігін жөнө жүйенің энергиясын анықтаңдар.



Эксперименттік тапсырма

- Секундтық тілі бар сағаттың көмегімен әткеншектің тербеліс периодын анықтаңдар. Әткеншектің тербеліс периодын өзелі онда кішкентай

булдіршін отырган жағдай үшін, одан кейін жасөспірім бала отырган жағдай үшін анықтаңдар. Тербеліс периодарының алынған мәндерін салыстырыңдар.

2. Қолдарында бар резеңке жіптің қатандық коэффициентін анықтаңдар. Өздеріце белгілі формула бойынша резеңке жіпкө ілінген массасы белгілі жүктің тербеліс периодын есептеп шығарыңдар. Содан кейін осы маятниктің тербеліс периодын анықтауга ариалған тәжірибе жасаңдар да, алынған нәтижені есептеу нәтижесімен салыстырыңдар.

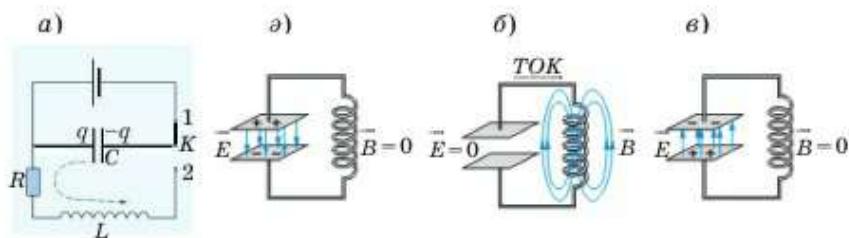
§32.

ЕРКІН ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

1. 8-сынып физикасында (§4) денелердің ішкі энергиясын өзгертудің бір жолы *сәуле шыгару* немесе *сәулелені жұту* деген едік. Сәулелердің электрмагниттік толқындық табигатымен жоғары сыныптарда танысадар дегенбіз. Енді, міне, электрмагниттік тербелістер мен толқындарды қарастырудың кезегі келді. *Физикада сәуле деп электр өрісі мен магнит өрісінің бір-біріне кезектесе түрленіп, кеңістікте электрмагниттік толқын түрінде таралуын айтады.*

Электрмагниттік тербелістердегі электр және магнит өрістерінің бір-біріне түрленуі механикалық тербеліс жүйелеріндегі серпімді немесе математикалық маятниктердің потенциалдық және кинетикалық энергияларының түрленулеріне ұқсас орындалады. Сондықтан электрмагниттік тербелістерді түсіндіру үшін де механикалық тербелістерде қолданған ұғымдар мен терминдерге сүйенеміз; өйткені *тербелмелі жүйе, жайлік, период т.с.с.* ұғымдар барлық тербелістерде де өзгеріссіз бірдей мағынада қолданылады.

Механикалық тербеліс жүйесінің неден тұратынын білетініміз сияқты электрмагниттік тербеліс жүйесінің де неден тұратынын білуіміз шарт. Электрмагниттік тербеліс жүйесі өзімізге 8-сыныптан таныс (қара: §21 және §34) әраттас $\pm q$ зарядтармен зарядталған астарларының арасында кернеулігі \vec{E} электр өрісін тузызатын сыйымдылығы *C конденсатордан* және бойынан I ток өткенде төнірегінде индукциясы \vec{B} магнит өрісін тузызатын индуктивтілігі L шарғыдан тұрады (сурет 5.20).



Сурет 5.20. Электромагниттік тербелмелі жүйе (тербелмелі контур)

Сыйымдылығы С электр конденсаторы мен индуктивтілігі L шарыдан тұратын электромагниттік жүйені тербелмелі контур деп атайды.

Халықаралық бірліктер жүйесінде конденсатордың сыйымдылығы *фарадден* (Φ), ал шарғының индуктивтілігі *генримен* (Gn) өлшенетінін білеміз.

Электромагниттік тербеліс деп тербелмелі контурда пайда болатын электр магнит өрістерінің периодты (немесе шамамен периодты) түрде өзгеріп отыруын айтады.

2. Электромагниттік тербеліс периодының аналитикалық өрнегін эксперименттік және теориялық зерттеулер нәтижелерін қорытындылап, ағылшын физигі У. Томсон анықтады. Ол тербеліс периоды мен тербелмелі контурдың сыйымдылығы және индуктивтілігі арасындағы тәуелділік байланысты былайша түжырымдады.

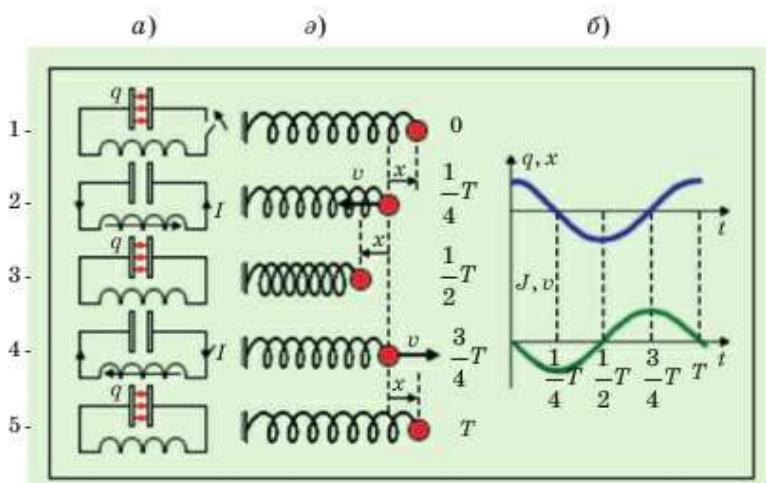
Электромагниттік тербеліс периодының квадраты тербелмелі контурдагы конденсатордың сыйымдылығына және шарғының индуктивтілігіне тұра пропорционал болады:

$$T^2 = (2\pi)^2 LC.$$

Томсон формуласы деп аталатын бұл өрнекті мына түрде де жаза аламыз:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (5.15)$$

3. Енді кедергі күштері әрекет етпейтін түйік механикалық және электромагниттік жүйелерді өзара салыстыра отырып, тербелмелі контурда пайда болатын электромагниттік тербелісті сипаттайық. Ол үшін тербелмелі контурдың конденсаторын тұрақты ток көзіне кілтпен қосып (сурет 5.20, a), зарядтап алайық. Сонда оның астарлары әрттас $\pm q$ зарядтармен зарядталады да, олардың арасында кернеулігі E электр өрісі пайда болады (сурет 5.20, a және 5.21, a, 1-). Сыйымдылығы C конденсатордың электр өрісінің энергиясы $W_E = CU^2/2$ формуласымен анықталатыны 8-сыныптан белгілі. Мұндағы $U = (\phi_1 - \phi_2)$ – конденсатор



Сурет 5.21. Электромагниттік және механикалық тербелістер жүйелері

астарларының арасындағы потенциалдар айрымы кернеу деп атала-
тынын білеміз. Тербелмелі контурдағы бұл құбылыш меканикалық тер-
белістегі серіппені сыртқы күштің өрекетінен x аралығына созып (сурет
5.21, ə, 1-), оған $W_k = kx^2/2$ потенциалдық энергия бергенге үқсайды.

Бұдан кейін серіппені сыртқы күштен айрып, конденсаторды да
ток көзінен ажыратып, шарғыға қосамыз да, тербелмелі контур мен
серіппелі маятнікті өз еріктеріне жібереміз (сурет 5.21, 2-). Сейтіп,
ешқандай кедергі жоқ болса, электромагниттік жүйе де (сурет 5.21, ə),
меканикалық жүйе де (сурет 5.21, ə) еркін гармоникалық тербеліс
жасай бастайды (сурет 5.21, ə).

2-жадайда электромагниттік тербелмелі жүйенің конденсаторын-
дагы зарядтар қарама-қарсы қозғалып, электр контурында сағат тілі
жүрісінің қарсы бағытымен I ток жүреді де, шарғыда магнит өрісі
пайда болады (сурет 5.20, 6 және сурет 5.21, ə, 2-). Сейтіп, $t = T/4$
уақыт өткенде конденсатордың электр өрісінің кернеулік векторы
бірте-бірте нөлге дейін азаяды ($\vec{E} = 0$), оның есесіне шарғының магнит
өрісінің индукция векторының шамасы максимумға жетеді ($\vec{B} = \vec{B_m}$)
де, энергиясы $W_B = LI^2/2$ формуласымен анықталады. Бұл уақытта
серіппеге бекітілген жүктің жылдамдығы да (ендеше, кинетикалық
энергиясы да) максимум шамасына жетеді ($\vartheta = \vartheta_m$). Осылайша серіппенің
потенциалдық энергиясы тұтасымен деңенің $W_k = m\vartheta^2/2$ кинетикалық
энергиясына ауысады (сурет 5.21, ə, 2-).

3-жадайда, яғни $t = T/2$ уақыт өткенде конденсатордың бұрынғы

оң зарядталған астары енді теріс зарядпен, ал екінші астары керісінше оң зарядпен зарядталады (сурет 5.20, в), сейтіп олардың қозғалысы бір сәтке тоқтайды. Бұл кезде конденсатор астарларының арасында бұрынғы өріске қарама-қарсы электр өрісі пайда болады ($\vec{E} = \vec{E}_u$; $W_E = CU^2/2$), ал шарының магнит өрісі нөлге теңеледі ($\vec{B} = 0$; $W_B = LI^2/2 = 0$). Сол сияқты серіппеге бекітілген жүк те бір сәтке тоқтап ($\vartheta = 0$), кинетикалық энергиясы толығымен серіппенің $W_u = kx^2/2$ потенциалдық энергиясына ауысады (сурет 5.21, ә, 3-).

4-жағдайда, яғни $t = 3T/4$ уақыт өткенде 2-жағдайда сипатталған құбылыс кері бағытта қайталанады. Зарядтардың орын ауыстырулары кезінде тербелмелі контурда I электр тогы бұрынғы бағытына қарама-қарсы бағытта жүріп (сурет 5.21, а, 4-), конденсатордагы электр өрісінің кернеулік векторы нөлге теңеледі ($E = 0$; $W_E = CU^2/2 = 0$), оның есесіне шарыдағы магнит өрісінің индукция векторының шамасы максимум өседі ($B = -B_u$; $W_B = LI^2/2$). Осыған үқсас құбылыс механикалық жүйеде де орын алады: серіппенің потенциалдық энергиясы кері бағытта қозгалған дененің $W_u = m\vartheta^2/2$ кинетикалық энергиясына толығымен ауысады (сурет 5.21, ә, 4-).

5-жағдайда, яғни бір периодқа тең уақыт өткенде ($t = T$) 3-жағдайда сипатталған құбылыс кері бағытта қайталанады да, электромагниттік тербелмелі жүйе мен механикалық тербелмелі жүйе ең алғашқы күйлеріне қайта оралады. Міне, осылайша тербеліс екі жүйеде де периодты қайталанып, жалгаса береді. Мұндай периодты қайталанып отыратын тербелістердің графіктері синусоидалық қисықтармен бейнеленеді (сурет 5.21, б).

Сонымен, еркін электромагниттік тербеліс *деп сыртқы ортамен энергия алмаспайтын түйік тербелмелі электр контурында пайда болатын электр және магнит өрістерін сипаттайтын шамалардың тербелістерін айтады.*

4. Біз жоғарыда электромагниттік және механикалық жүйелердегі тербелістерді сипаттағанда оларға өрекет ететін кедергі күштерін ескермейдік. Алайда абсолют түйік жүйе өмірде де, табиги ортада да кездеспейді. Сондықтан механикалық тербеліс жүйелерінде олардың механикалық энергиялары үйкеліс күштерін жөнү жұмыстарына шығындалады да, тербеліс бірте-бірте өшетін болады (сурет 5.16).

Сол сияқты тербелмелі контурда да тізбекке жалғанған өртүрлі өткізгіштер мен құралдардың R электр кедергілерін (сурет 5.20, а) жоқ-қа шыгарға алмаймыз. Мұндай шынайы жағдайда тербелмелі контурда алма-кезек пайда болатын электр өрісі мен магнит өрісінің энергиялары

да тізбектегі кедергіде бөлінетін Джоуль–Ленц жылуына шығындалады. Сейтіп, сырттан энергия толықтырылып отырмаса, тербелмелі контурдагы электромагниттік тербеліс те өшетін болады.

Сұрақтар

1. Тербелмелі контур деп нені айтады және ол қандай физикалық шамалармен сипатталады?
2. Электромагниттік тербеліс деп қандай тербелісті айтады?
3. Электромагниттік тербелістің периоды қандай формуламен анықталады?
4. Еркін электромагниттік тербеліс деп қандай тербелісті айтады және ол қалай алынады?
5. Не себептен электромагниттік тербеліс өшетін тербеліске айналады?
6. Төмөндегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Сыйымдылық 2 мкФ болған кезде 1000 Гц жиілік алу үшін тербелмелі контурға қандай индуктивтілік қосу керек?

Bерілгені	XБЖ бойынша
$C = 2 \text{ мкФ}$	$C = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$
$v = 1000 \text{ Гц}$	
$L = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Контурдағы электромагниттік тербелістер периоды Томсон формуласымен анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{LC}. \quad (1)$$

$$\text{Тербеліс жиілігі } v = \frac{1}{T}. \quad (2)$$

$$(1) \text{ мен } (2) \text{ өрнектерден: } \frac{1}{v} = 2\pi \sqrt{LC}; \quad v = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}. \quad (3)$$

Соңғы теңдеудің екі бөлігін де квадраттап, контурдың индуктивтілігін анықтаймыз: $v^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$; Бұдан $L = \frac{1}{4\pi^2 v^2 C}$.

$$\text{Шешүү: } L = \frac{1}{4 \cdot (3,14)^2 \cdot (1000 \text{ Гц})^2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 12,66 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 12,66 \text{ мГн.}$$

Жауабы: $L = 12,66 \text{ мГн.}$



Жаттығу 5.6

1. Тербелмелі контур сыйымдылығы 50 мкФ конденсатордан және индуктивтілігі 50 Гн шарғыдан тұрады. Контур тербелісінің периоды қандай?
2. Тербелмелі контур сыйымдылығы 2 пФ конденсатордан және индуктивтілігі 10 мкГн шарғыдан тұрады. Контурдың еркін тербелісінің жиілігі қандай?
3. Сыйымдылығы 50 пФ конденсаторы бар тербелмелі контур 10 МГц жиілікте тербеліс жасайды. Оның шарғысының индуктивтілігі қандай?
4. Тербелмелі контур сыйымдылығы 250 пФ конденсатордан және индуктивтілігі 10 мкГн шарғыдан тұрады. Еркін тербелістің жиілігі мен периодын анықтаңдар.
5. Индуктивтілігі 1,3 мГн шарғыны пайдаланып, жиілігі 3 Гц болатын тербелмелі контурды жинау үшін конденсатордың сыйымдылығы қандай болуы керек?

§33.

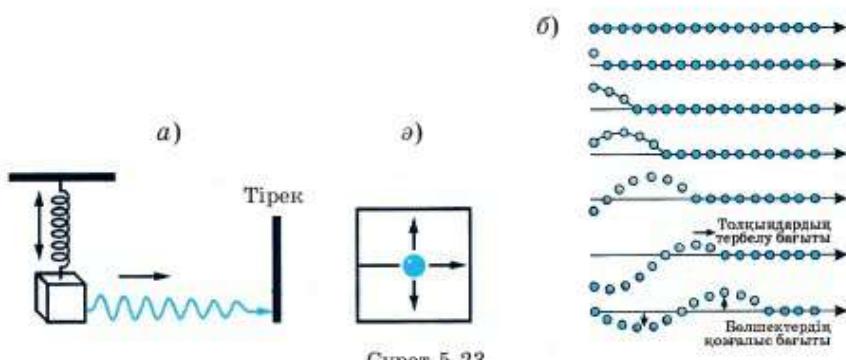
ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

1. Толқындық қозғалыс. Отken тарауда біз жеке тербелмелі жүйелдердегі тербелістерді қарастырдық. Алайда дене тербелетін ортада қандай құбылыс орын алғыны қарастырлмады. Әрине, ортасың да дене тербелісінен тыс қалмайтыны анық.

Мысалы, суға лақтырылған тастың түскен жерінде ойыс пайда болып, оның төңірегінде ығысқан су дөңгелек сақина пішінді өркеш түзеді (сурет 5.22). Бұл өркеш сол мезетте-ақ жанжагына қарай кеңеңе отырып, тастың түскен жерінен алғытай бастайды. Біріншіден кейін екінші, содан соң үшінші т.с.с. өркештер пайда болады. Өркештер бір-бірінен ойыстармен белінеді. Су бетінде байқалған бұл процесс толқындық қозғалыс болып табылады. Мұндағы ең маңызды ерекшелік – су толқынмен бірге ығыспайды. Расында да да, суда қалқып жүретін кез келген дене толқынның өркештеріне келгенде көтеріліп, ойыстарына келгенде төмен түсіп, тербеліп қана тұратынын байқауға болады.



Сурет 5.22.
Су бетіндегі толқын



Сурет 5.23

2. Серпімді ортадағы толқындардың таралуы. Егер серпімді ортадағы қандай да бір жерінде оның бөлшектерінің тербелісін тудырса, онда тербеліс осы ортада v жылдамдықпен тарала бастайды. Тербелістің серпімді ортада таралуына бір үшін вертикаль тірекке бекітілген үзын жіп мысал бола алады (сурет 5.23, а). Жіптің екінші үшін серіппеге ілінген жүкке жалғанып, оның көмегімен тербелмелі қозгалысқа келтіріледі. Бұл кезде жіп бойымен тербелістер тарай бастайды, яғни толқындық қозгалыс туындайды.

Серіппенің тербелісі кезінде жіптің бірінші бөлшегі (түсінуге оңай болу үшін оны біреу деп есептейік) тепе-тендік күйінен шығып, серіппеге ілінген жүк сияқты онымен ілесе жоғары-темен тербеле бастайды (сурет 5.23, ә). Жіптің осылай деформациялануы кезінде туындастыны серпімділік күші әрекетінен бірінші бөлшектен кейін кезекпен жіптің келесі бөлшектері де тербеледі (сурет 5.23, б). Олардың әрқайсысы бір-бірінен кешеуілден жоғары-темен ауытқып, өзінің тепе-тендік күйінің айналасында тербеліс жасайды. Бөлшектердің кешігіүі олардың арасында серпімділік күштерінің пайда болуына белгілі бір уақыттың қажет болуынан туындаиды. Сондықтан жіптің келесі бөлшектері алдыңғыларына қарағанда кешігіп тербеледі.

Тербелістердің серпімді ортандың бір бөлшегінен келесі бөлшегіне беріліп таралу процесі механикалық толқын деп аталады.

3. Ортандың бөлшегі тербеліс жасауды үшін оған энергия берілуі қажет. Бұл энергия толқын көзінен немесе тербелмелі қозгалыс жасап тұрған көршілес бөлшектерден беріледі. Толқынмен бірге бір бөлшектен екінші көршілес бөлшекке тербелмелі қозгалыс күйі және оның энергиясы тана беріледі. Сондықтан барлық толқындардың маңызды қасиетіне олардың табиғатына тәуелсіз бөлшектерді емес, энергияны тасымалдауды жатады.

Сонымен, толқын тек энергияны тана тасымалдайды.

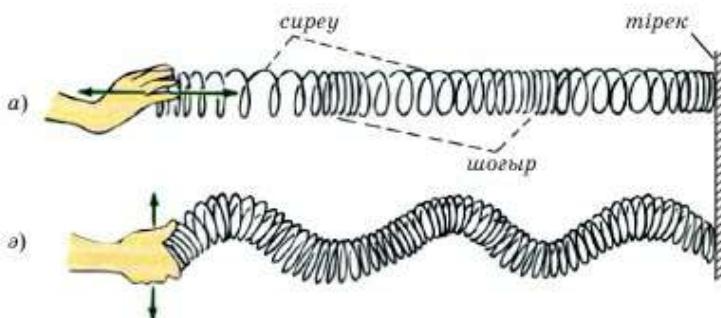
4. Көлденең толқындар. Біз қарастырган мысалдардағы толқындар көлденең толқындар деп аталады, өйткені орта бөлшектері толқынның таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеледі (сурет 5.23, ә және б).

Көлденең толқын деп бөлшектерінің тербелісі толқынның таралу бағытына перпендикуляр болатын толқынды айтады.

Көлденең толқындар серпімділік күштері өрекетінен ғана туындаиды. Мұндай қасиет тек қатты денелерге ғана тән. Сүйыктар мен газдарда олардың аққыштығы салдарынан қабаттардың ығысуы кезінде серпімділік күштері пайда болмайды.

Алайда біз жоғарыда сүйық бетінде де көлденең толқындар пайда болуы мүмкін екенін қарастырық. Бірақ олар серпімділік күші өрекетінен емес, ауырлық және беттік керілу күштері өрекетінен туындаиды, сондықтан да оларды кейде *гравитациялық толқындар* деп те атайды.

5. Бойлық толқындар. Егер толқын тарайтын ортасың бөлшектері толқынның таралу бағыты бойымен тербелсе, онда *бойлық толқындар* пайда болады. Бойлық толқындардың пайда болуын бір ұшы тірекке бекітілген серіппенің көмегімен бақылайық (сурет 5.24). Егер серіппенің бос ұшы жағынан горизонталь бағытта соққы жасасақ (сурет 5.24, а), онда серіппе бойымен *сиреулер* мен *шоғырлануладардан* тұратын толқын жүгіріп өтеді. Ал вертикаль бағытта соққы жасасақ (сурет 5.24, ә), онда көлденең толқын пайда болады.



Бөлшектерінің тербелісі толқынның таралу бағытында жүзеге асатын толқынды бойлық толқын деп атайды.

Бойлық толқындарды құма толқындар деп те атай береді. Бойлық толқындарда бөлшектер бір-біріне жақын келген жерінде қысым біраз артады, бұл бөлік шоғырлар деп аталады (сурет 5.25, а). Бөлшектердің ауытқуы кезінде бір-бірінен алыстайтын бөліктер сиреулер деп аталады, бұл бөлікте қысым біраз кеміді. Әрбір көршілес шоғырлануладың

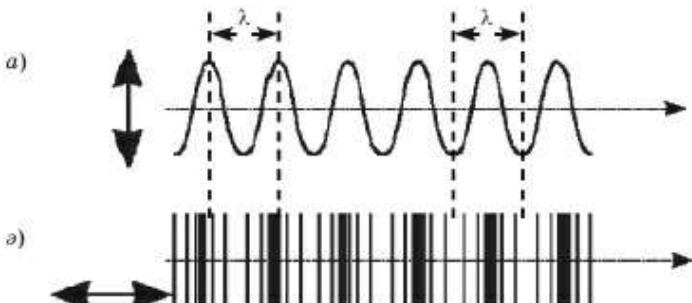
арақашықтыры көршілес сиреулердің арақашықтығында болады және бұл қашықтық λ толқын ұзындығына тең (сурет 5.25).

Толқын жылдамдығын жиілікпен және толқын ұзындығымен байланыстыратын көлденең толқынға қатысты формула бойлық толқын үшін де жарамды. Бойлық толқын кез келген газ тәрізді, сүйік, қатты орталарда пайда болып, тарапады. Ойткені осы орталардың бөрінде сырылу немесе созылу кезінде көршілес қабаттардың арасында өрекет ететін серпімділік күші пайда болады.

6. Толқын ұзындығы. Қарапайым гармоникалық немесе синусоидалық толқындар практикалық жағынан маңызды болып табылады. Олар белшектер тербелісінің T периодымен, v жиілігімен және λ толқын ұзындығымен сипатталады. Толқынның маңызды сипаттамаларының біріне толқын ұзындығы жатады.

Толқын ұзындығы деп бір периодқа тең уақыт аралығындагы толқынның тараган арақашықтығын айтады.

Темендегі көріністе көршілес екі өркештің (немесе ойыстың) арақашықтығы λ толқын ұзындығымен сәйкес келеді (сурет 5.25).



7. Толқынның тарапалу жылдамдығы. Механикалық толқын серпімді ортада тарапатындықтан, оның тарапалу жылдамдығы ортасың қасиетіне байланысты. Толқынның бір ортадан екінші бір ортага өтуі кезінде оның жылдамдығы өзгереді, ал біртекті ортада белгілі бір түрақты v жылдамдықпен тарайды.

Толқын жылдамдығы деп толқын ұзындығының периодқа қатынасын айтады.

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (5.16)$$

Ал T тербеліс периоды v тербеліс жиілігімен $T = \frac{1}{v}$ қатынасы арқылы байланысқан, ендеше толқын жылдамдығы мына өрнекпен де анықталады: $v = \lambda v$.

8. Сейсмикалық толқындар. Үлкен ауқымдағы қатты денелердегі толқындық қозғалысқа жер сілкінің кезіндегі тербелістердің таралуы жатады.

Жер сілкіну ошағынан немесе қандай да бір қышті жарылыстардан кейін Жер астында таралатын толқындар сейсмикалық толқындар деп аталады.

Жер негізінен қатты болғандықтан, онда толқындардың екі түрі – көлденең және құма толқындар бір мезгілде тарала алады. Бұл толқындар әртүрлі жылдамдықпен таралады. Мысалы, 500 км терендікте сейсмикалық көлденең толқындардың жылдамдығы ≈5 км/с, ал құма толқындардың жылдамдығы ≈10 км/с. Жер сілкіну ошағынан алыс орналасқан байқау стансысы алдымен бойлық, ал кейінрек көлденең толқындарды қабылдайды.

Жер сілкіну ошағынан келген тербелістерді тіркейтін сейфсомограф деп аталатын құралдардың көмегімен жер сілкіну ошағына дейінгі қашықтық және тербеліс қарқындылығы анықталады.

Қазақстанның оңтүстік шығыс аймақтары жоғары сейсмикалық аймақтарға жатады. Соңғы жүз жыл аралығында бұл аймақта екі рет күші (Риҳтер шкаласы бойынша) 9–10 балдық, екі рет 7–8 балдық, жүзден астам 6 балл шамасындағы жер сілкінің болды. 6–7 балдық жер сілкінің өзі көптеген шығындарға ұшыратады. Қазіргі кезде Қазақстанда 41 сейсмикалық стансы Жер сілкіністерін үзбей бақылайды.



Сұрақтар

1. Толқын немесе толқындық қозғалыс дегеніміз не? Оның қандай ерекшелігі бар?
2. Көлденең толқын қандай ортада қалай пайда болады? Бойлық толқын ше?
3. Су бетінде не себептен көлденең толқындар пайда болады? Сүйықтарда негізінен бойлық толқындар туындауды деген қагида сүйықтың қандай қасиетіне негізделген?
4. Толқын ұзындығы дегеніміз не?
5. Сейсмикалық толқын деп қандай толқындарды айтады?
6. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.



Есеп шығару мысалы

Есеп. Балықшы су айдыннындағы толқынды бақылай отырып, қалтқысының жанынан 10 с ішінде толқындардың 3 өркеші өткенін байқады. Толқынның ұзындығы мен оның тербеліс жиілігі қандай? Толқынның таралу жылдамдығын 2 м/с-қа тең деп есептendir.

Bерілгені
$t = 10 \text{ с}$
$N = 3 \text{ өркеш}$
$v = 2 \text{ м/с}$
$\lambda = ? \text{; } v = ?$

Eсеп мазмұнын талдау

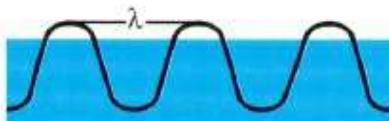
Толқын ұзындығы

$$\lambda = vT = \frac{v}{v} \quad (1)$$

формуласымен анықталады, мұндағы v – толқын жылдамдығы, $v = 1/T$ – тербеліс жиілігі және T – тербеліс периоды.

5.26-суреттен 3 өркешке 2 толқын ұзындығы сәйкес келетінін байқаймыз, яғни толық тербелістер саны да 2-ге тең: $n_2 = 2$. Олай болса, тербеліс периоды $T = \frac{t}{n_2}$ өрнегімен анықталады.

$$\text{Шешүі: } v = \frac{1}{T} = \frac{n_2}{t}; \quad v = \frac{2}{10 \text{ с}} = 0,2 \frac{1}{\text{с}} = 0,2 \text{ Гц}; \quad \lambda = \frac{2 \text{ м/с}}{0,2 \text{ Гц}} = 10 \text{ м.}$$



Сурет 5.26

Жауабы: $\lambda = 10 \text{ м}$; $v = 0,2 \text{ Гц}$.

**Жаттығу 5.7**

- Су айдынына тас тастағанда толқындар пайда болды. Су бетінде қалқып жүрген кішкене деңе 15 с ішінде 6 рет жогары көтеріліп, төмен түсті. Егер толқын өркештерінің арақашықтығы бір-бірінен 40 см қашықтықта болса, онда су айдынында тарайтын толқын жылдамдығы неге тең болады?
- Теңіз бетіндегі қатар екі толқынның арақашықтығы 4 м. Толқында тербелген қайық тербелісінің периоды 1,5 с. Толқын жылдамдығы неге тең?
- Серпімді жіпті бойлай 20 м/с жылдамдықпен көлденең толқындар таралады. Тербеліс периоды 0,5 с. Толқын ұзындығы қандай?

№4 зертханалық жұмыс

Беттік толқындардың таралу жылдамдығының анықтау

Жұмыстың мақсаты: судагы беттік толқындардың таралу жылдамдығының анықтау.

Құрал-жабдықтар: зертханалық жұмыстарға арналған ұзындығы 0,5–1 м болатын кең ыдыс, қалтқы, пластилин, секундтық бөліктері бар сағат немесе секундомер, сызығыш.

Жұмысты орындау.

- Іздесті үстінен қойып, оның ішінен су құйындар.

2. Ыдыс ернеуінің бір шетіне қалтқы салындар, ал оның қарсы шетінен су бетіне кішірек тасты тастап жіберіндер.
3. Осы кезде пайда болатын толқулардың қалтқыға дейін таралу уақытын елшеңдер.
4. Мұндай тәжірибелі бірнеше рет қайталап, толқынның l қашықтыққа тарайтын уақытының орташа мөнін анықтаңдар.
5. Толқынның таралу жылдамдығын есептендер.
6. Алынған нәтижелерді кестеге жазындар.

Тәжірибе реті	Уақыт $t, \text{с}$	Уақыттың орташа мөні $t_{\text{опт}}, \text{с}$	Қашықтық, $l, \text{м}$	Толқын жылдамдығы, $v, \text{м/с}$
1				
2				
3				
4				
5				

7. Өлшеу дәлдігін бағалаңдар.

§34.

ДЫБЫС ЖӘНЕ ОНЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

1. Тербеліс жиілігі 16 Гц-тен 20 000 Гц-ке дейінгі механикалық толқындар адамда дыбыс өсерін тудырады. Сондықтан мұндай толқындарды дыбыс толқындары немесе акустикалық толқындар (грек. akustikos – дыбыс) деп атайды.

Жиілігі 20 000 Гц-тен жоғары толқындар *ультрадыбыстар*, 16 Гц-тен төменгі *инфрадыбыстар* деп аталауды. Бұл дыбыстарды адам құлагы қабылдамайды. Кейбір тіршілік иелері 20–30 мың Гц-ке (мысалы, жарғанаттар 21 мың Гц-ке, дельфиндер 28 мың Гц-ке дейінгі тербелістерді) қабылдай алады.

Дыбыс таралу үшін дыбыс көздері (сурет 5.27) мен дыбыс қабылдағыш арасында серпімділік қасиеті бар қандай да бір орта болуға тиіс. Ауасы жоқ бостықта дыбыс толқындары тарала алмайды, өйткені ондай ортада тербелістерді жеткізетін зат болшектері жоқ. Өдette, дыбыс біздің құлагымызға ауа арқылы жетеді. Өйткені ауа серпімді орта болып табылады. Серпімді ортада дыбыс көздерінен тарайтын тербелістер өзінің таралу



Сурет 5.27. Дыбыс көзі. Құрманғазы атындағы халық аспаптар оркестрі

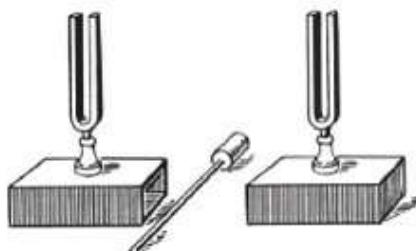
бағытында орта бөлшектерін ығыстырады, сөйтіп ол жерде ауа тығыздалады. Ауа молекулалары арасындағы серпімділік күштерінің әрекетінен тығыздалу аймагы сиреу аймагына алмасады. Осылайша тығыздалу мен сиреу құбылыстары қайталана отырып, ауада бойлық дыбыс толқындары тарайды.

2. Қарапайым бақылаулар дыбыс өртүрлі ортада белгілі бір жылдамдықпен таралатынын көрсетеді. Дыбыстың таралу жылдамдығы зат бөлшектері бір-бірімен күштірек байланысқан орталарда үлкенірек болады, ейткені ондай орталардың деформациясы кезінде туындайтын серпімділік күштері де үлкен мәнге ие болады. Мысалы, ауада дыбыс 340 м/с жылдамдықпен тарайды. Ал суда дыбыс ауадағы қараганда шамамен 4,5 есе тез тарайды. Қатты денелерде дыбыс одан да үшқыр 6000 м/с-қа жуық жылдамдықпен тарайды.

Дыбыс ауада баяуырақ таралатындықтан, найзагай жарқылынан соң күннің күркіреуі кейінірек естіледі. Найзагай жарқылы мен күн күркіреуі бір мезгілде болады. Жарық аса зор 300 000 км/с жылдамдықпен тарайды, сондықтан найзагай жарқылын біз сол мезетте-ақ көреміз, ал күннің күркіреуі бізге сөл кешігінкіреп жетеді.

3. Дыбысты сипаттау үшін дыбыс қаттылығы, дыбыстық тонның биіктігі, тембр сияқты арнайы физикалық шамалар енгізіледі.

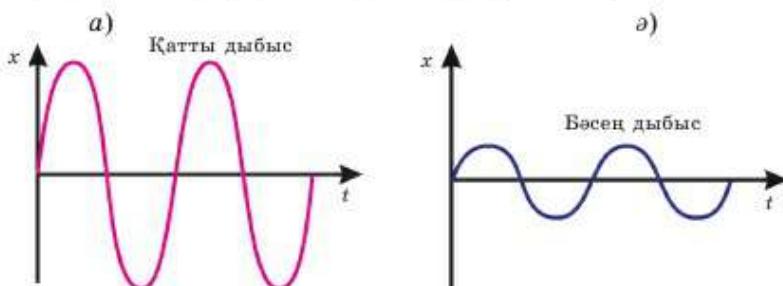
Дыбыстың қаттылығын анықтау үшін камертонды пайдаланады. **Камертон** – екі ашалы айыр төрізді металдан жасалған аспап (сурет 5.28).



Сурет 5.28. Камертондар

Камертондардың немесе басқа гармоникалық тербеліс жасайтын денелердің шыгаратын дыбыстары мұзыкалық дыбыстар деп аталады.

Камертонның бір тармағын таяқшамен үрсак, екі тармағы да тербеліп, қоршаган ауада дыбыс толқынын тудырады. Өдetteтте мектеп камертондары бірінші оқтаваның «ля» нотасына сәйкес келетін дыбыс шыгарады. Енді оның тармақтарының біріне инені bekітіп, оны қарайтылған әйнек үстімен жүргісек, дыбыс шыгарып тұрған камертонның синусоидалық тербелісінің графигін аламыз (сурет 5.29).



Сурет 5.29: а) қатты және ә) бәсек дыбыстар графиктері

Камертонды таяқшамен негұрлым қаттырақ үрсак, ол соғұрлым қаттырақ дыбыс шыгарады және камертонның тармақтары едәуір үлкендеу амплитудамен тербелетін болады (сурет 5.29, а). Камертонды ақырын үрганда амплитудасы кіші тербеліс тудырып (сурет 5.29, ә), бәсек дыбыс шыгарады.

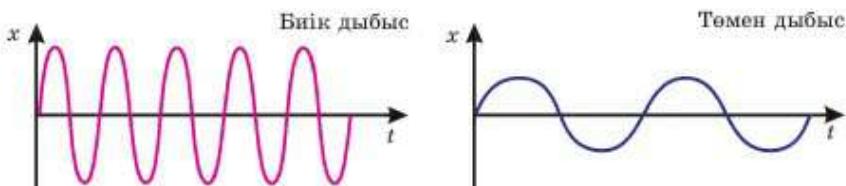
Сонымен, дыбыс қаттылығының деңгейі Халықаралық бірліктер жүйесінде белмен (B) өлшенеді. Бір бел 10 децибелге (dB) тең. Бұл өлшем 1847–1922 жылдары өмір сүрген, телефонды ойладап тапқан америкалық өнертапқыш А. Бельдің құрметіне берілген.

16 Гц-тен 20 000 Гц-ке дейінгі адамдар қабылдайтын дыбыстар диапазоны 0-ден 140 дБ-ге дейінгі аралықта жатады. Мысалы, ұшақ қозғалтқышы гүліндегі дыбыс қаттылығы 120 дБ, жапырақ сыйдыры 10 дБ шамасында естіледі. 180 дБ-ден артық болатын дыбыс құлақ жарғарын зақымдауы мүмкін.

4. Дыбыстың биіктігі неге тәуелді болатынын анықтау үшін екі камертон алып, оларды дыбыс шыгаруға мәжбүр етеді. Егер олардың тербеліс графиктерін салса, онда кішірек камертонның тербеліс жиілігі уақыт бірлігінде тығыз (сурет 5.30, а), ал үлкен камертонның сол уақыт бірлігінде жиілігі сирек (сурек 5.30, ә) орналасатынын байқаура болады. Демек, дыбыс биіктігі тербеліс жиілігімен анықталады.

Белгілі бір жиіліктегі дыбыс толқынын **тон** деп те атайды. Сондықтан көбінесе дыбыс биіктігін дыбыс тоны деп айтады.

Сонымен, **тон биіктігі тербеліс жиілігімен анықталады, яғни тербеліс жиілігі цлкен болса, тон да биігірек болады.**



Сурет 5.30: а) биік және ә) темен дыбыстар графиктері

Адам дауысын тон биіктігі бойынша бірнеше диапозанға бөледі: **бас** (80–150 Гц), **баритон** (110–149 Гц), **тёнор** (130–520 Гц), **дискант** (260–1050 Гц), **колоратуралық сопрано** (1400 Гц-ке дейін).

5. Дыбыстың тағы да бір маңызды сипаттамасы оның бояуы немесе музыканштардың айтуынша, оның **тембрі** болып табылады.

Тембр деп адамның дауысына немесе аспаптың үніне өзіндік бояу беретін дыбыстың сапасын айтады.

Дыбыстың тембрі бойынша біз кімнің сейлем жатқанын немесе қандай аспапта ойнап жатқанын анықтай аламыз, яғни дыбыс тембрі бойынша дыбыс көзі анықталады. Мысалы, қаттылығы да, жиілігі де бірдей дыбыстардың әртүрлі музыкалық аспаптардағы үні түрліше шыгады, бірдей нота түрліше орындалады.



Сұрақтар

1. Дыбыс дегеніміз не?
2. Дыбыс қалай таралады? Вакуумде дыбыс тарала ала ма?
3. Дыбыс жылдамдығы таралатын ортага байланысты ма?
4. Дыбыстың қандай сипаттамаларын білесіңдер?
5. Қандай дыбыстар музыкалық деп аталады?
6. Дыбыс қаттылығы немен анықталады?
7. Дыбыс тембрі дегенді қалай түсінсіңдер?
8. Теменде мысалда көлтірілген есептің шыгару жолын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалы

Есеп. Адам құлагы 16 Гц-тен 20 000 Гц жиілікке дейінгі дыбыстарды қабылдай алады. Дыбыс тербелісінің естілу аралығы қандай толқын ұзындықтарының арасында жатыр? Аудағы дыбыстың таралу жылдамдығын 340 м/с деп есептеңдер.

Берілгені

$$v_1 = 16 \text{ Гц}$$

$$v_1 = 20\,000 \text{ Гц}$$

$$v = 340 \text{ м/с}$$

$$\lambda_1 - ? \quad \lambda_2 - ?$$

Есеп мазмұнын талдау

Дыбыс тербелістерінің толқын ұзындығын $\lambda = \frac{v}{\nu}$ формуласы бойынша есептеуге болады, мұндағы v – дыбыс жылдамдығы, ν – тербеліс жиілігі.

Дыбыс тербелістерінің естілу аралығы $\lambda_1 = \frac{v}{v_1}$ және $\lambda_2 = \frac{v}{v_2}$ толқын ұзындықтарының арасында жатыр.

$$\text{Шешүі: } \lambda_1 = \frac{340 \text{ м/с}}{16 \text{ Гц}} \approx 21 \text{ м} \text{ және } \lambda_2 = \frac{340 \text{ м/с}}{20000 \text{ Гц}} \approx 0,017 \text{ м.}$$

Жауабы: 0,017 м – 21 м аралықта.

**Жаттығу 5.8**

- Кез келген тербелетін деңе ауда механикалық толқын тудырады. Неліктен онда олардың барлығы да дыбыс толқындарын таратпайды?
- Жиілігі 510 Гц дыбыс көзінен толқын ауда 340 м/с жылдамдықпен тарапады. Толқын ұзындығын табындар.
- Бақылаушы найзагайдың жарқылын көрген мезеті мен күннің күркіреуін есту арасындағы уақыт 10 с болғанын байқады. Найзагай бақылаушыдан қандай қашықтықта жарқылдаган? Аудадагы дыбыстың тарапу жылдамдығы 343 м/с деп есептеді.
- Дыбыс аудадан суга откенде толқын ұзындығы қалай өзгереді? Аудадагы дыбыстың тарапу жылдамдығы 340 м/с, ал суда 1480 м/с деп алындар.
- Судагы дыбыс толқынының ұзындығын анықтаңдар. Оның жылдамдығы 1480 м/с, ал жиілігі 740 Гц.

§35.**АКУСТИКАЛЫҚ РЕЗОНАНС. ЖАҢҒЫРЫҚ**

- Жоғарыда (§31) механикалық тербеліс көзінде байқалатын резонанс құбылысын қарастырган болатынбыз. Осындай резонанс құбылысы дыбыс тербелісі көзінде де орын алады. Оған көз жеткізу үшін камертондарды пайдаланып, тәжірибелер жасайық.

Меншікті тербеліс жиіліктері бірдей екі камертонды бір-біріне жақынырақ қойып, олардың бірін тербелтсек, екіншісі де тербеліске келеді (сурет 5.28). Ал екінші камертонды ешкім тербеліске келтірмегендіктен, оның тербелуіне бірінші камертоннан ауа арқылы берілген тербеліс ықпал етті деген қорытындыра келеміз.

Енді екінші камертонның тербеліс жиілігі бөлек басқа камертонмен алмастырып, тәжірибені қайталайық. Бұл кезде екінші камертонның дыбыс шыгармайтынын байқауга болады. Бірінші жағдайда камертондардың меншікті тербеліс жиіліктері сөйкес келгендейді, резонанс құбылысы байқалды. Екінші жағдайда камертондардың меншікті тербеліс жиіліктері сөйкес келмегендіктен, резонанс туындаған жоқ. Бірінші жағдайда қарастырылған құбылыс *акустикалық резонанс* деп аталады.

2. Акустикалық резонанс құбылысын пайдаланып, тербелетін денеден шыратын дыбысты күшетуге болады. Сондықтан камертондар арналы жәшіктерге орнатылады. Жәшіктің меншікті тербеліс жиілігі камертонның шыгаратын дыбыс жиілігіне үндестіріледі. Мұндай үндестік *унисон*, яғни *бірдей жиілікпен тербелу* деп, ал резонанс тудыра алатын жәшіктер *резонаторлар* деп аталады.

Резонаторлар музикалық аспаптардың (роаль, домбыра, гитара, қобыз, сыйызы т.б.) дыбысын күшету үшін кеңінен қолданылады. Мысалы, домбыра немесе қобыз (сурет 5.31) шанағының меншікті тербелісі оның ішектерінің тербелісімен сәйкестендіріледі. Сондықтан шанақ резонатор болып табылады. Дыбысты тек домбыра шанағы ғана емес, оның қуысының ішіндегі аяда да күшетеді. Сондықтан домбыра немесе қобыз шанағындағы ойықтың пішіні мен өлшемі де кездейсоқ жасалынбайды. Шанақ тербелісі аспап үнінің өзіндік бояуын – тембрін анықтайды. Аспап үні тембрге байланысты *жагымды* немесе *жагымсыз* болып шыгады. Музикалық аспап үнінің сапалы шығуы оның арналы ағаштан білікті шебердің жасауына байланысты болады.



Сурет 5.31. Домбыра мен қобыздың шанақтары мен ойықтары бірдей емес

Резонаторлар дыбыс аппаратында да бар. Адамның және жануарлардың дыбыс көзі дауыс желбезегі болып табылады. Дауыс желбезегі кеү-

дедегі ауа ағыны өсерінен тербеліп, әлсіз дыбыс шығарады. Бұл дыбыс резонаторлар болып табылатын көмей мен ауыз қуысы арқылы етіп, ерін мен тілдің қатысуы арқылы әр адамның дауысына тән тембрмен күшійеді.

3. Дыбыс көзінен шықкан дыбыс толқындары өзінің жолында қандай да бір бөгетті көзіктірсе, онда олар шағылады. Дыбыс толқынының таралуы материалың бөлшектердің қозғалысына үксас болғандықтан, оның шағылуы жарық сөулелерінің шағылуына немесе қабыргаға соғылған доптың кері серпілуіне үқсайды. Қарапайым бақылау 8-сыныпта қарастырған жарықтың шағылуы сияқты дыбыстың шағылуы кезінде де α түсү бұрышы оның бөгеттен шағылған β бұрышына тең болатынын көрсетеді. Аудада тараған дыбыстардың жолындағы бөгеттерден шағылу барысында жаңғырық деп аталатын қайтарымды дыбыстар пайда болады.

Жаңғырық деп қандай да бір кедергіден шағылған және бастапқы таралған орнына қайта оралған дыбыс толқындарын айтады.

Бақылаушының тұрған орнынан аудада тараған дыбыс кедергілерден шағыла отырып, оған сөл кідіріп жетеді. Шағылған дыбыстың барлығын біз жаңғырық ретінде қабылдай бермейміз. Адам қулагы алғашқы дыбыс пен шағылған дыбысты жеке-жеке қабылдаған кездеғана жаңғырық пайда болады. Бұл екі дыбыстың қабылдану уақытының арасы 0,1 с-тан кем болмаған кездеғана дыбыстар жеке-жеке қабылданады. Бұдан біз жаңғырықты дыбыс көзі мен бөгеттің арасы едәуір алыс болған кездеғана ести алатынымыз байқалады. Егер аудада дыбыс жылдамдығы 340 м/с болса, онда дыбыс 0,1 с аралығында бөгетке дейін және одан қайтып оралғанша 2s-ке тең жол жүреді. Онда бұл қашықтық шамамен

$$s = \frac{vt}{2}; \quad s = \frac{\frac{340 \cdot 0,1}{\text{с}} \cdot 0,1 \text{ с}}{2} \approx 17 \text{ м}-ге \text{ тең болады.}$$

4. Жоғарыда, тербеліс жиілігі 16 Гц-тен төмен дыбыс толқындары инфрадыбыстар, ал 20 000 Гц-тен жоғарысы ультрадыбыстар деп атайдық. Бұл дыбыстар белгілі бір дәрежеде адам организміне өсер етеді. Мысалы, 5 Гц-тен 9 Гц-ке дейінгі жиілік аралығында инфрадыбыстар бауырдың, асқазанның, көкбауырдың тербеліс амплитудаларын арттырады, кекірек қуысында ауыртпалық туғызады, ал 12–14 Гц жиіліктерде құлақта шуыл пайда болады. Инфрадыбыстардың адам организміне кері өсері болғандықтан, олар техникада кеңінен қолданыс таппаған. Алайда инфрадыбыстардың бірнеше жүздеген километрге таралу мүмкіндігі оның өскери мақсатта, балық аулау көсібіне пайдаланылуына жол ашты. Теңізде туындастын инфрадыбыстарды медуза, су шаяны тәріздес теңіз жәндіктері жақсы қабылдайды.

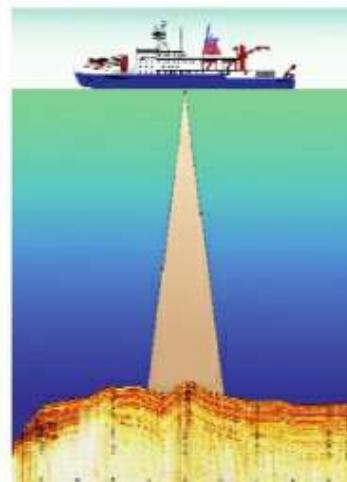
Инфрадыбыстардың әсерінен қорғану жолдарының бірі – дыбысты естілетін жиіліктер аймагына көшіру. Ол үшін әртүрлі құрылғылардың қатаңдығы арттырылады, резонанстық, камералық сөндіргіштер пайдаланылады.

5. Ультрадыбыстар, керісінше, физикалық және технологиялық зерттеу салаларында кеңінен қолданыс тауып отыр. Бұл дыбыстарды адамдар арнағы құралдардың көмегімен естиді және қабылдай алады. Ультрадыбыс толқындарының басты ерекшелігі – оларды дыбыс көзінен белгілі бір бағытта таратуға болады.

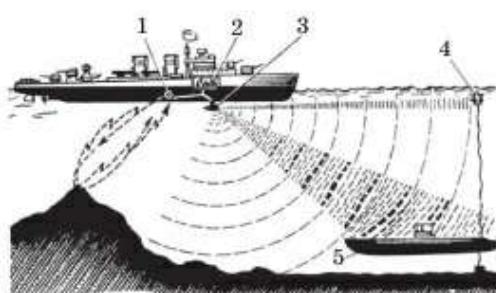
Ультрадыбыстың тарапу және шағылу құбылысына теңіз тереңдігін өлшеуге және шөгінді жыныстардың күйін анықтауға арналған құрал әхолоттың (сурет 5.32) жұмыс істеу принципі негізделген. Сонымен қатар су астындағы нысаналарды (сурет 5.33) табу үшін қолданылатын *сонарлар да* (*sound navigation and ranging* – «дыбыстық навигация және қашықтықты өлшеу» деген сөздерден) бағытталған ультрадыбыс пайдаланады.

Шағылған ультрадыбысты пайдаланып, нысанның орнын анықтау тәсілі **әхолакция** деп аталады. Кеме табанына орнатылған құралдардың көмегімен белгілі бір бағытта ультрадыбыстар жіберіледі. Бұл дыбыстар теңіз түбінен немесе ізделінді нысаннан шағылып, кемеге қайта оралады. Кемедегі ете сезімтал аспаптардың көмегімен тіркеletін бұл толқындар электр импульстеріне түрлендіріледі де, экранда белгілі бір нысанның, мысалы, сунгуір қайықтың кескіні пайда болады (сурет 5.33, нысан 5). Теңіз суындағы дыбыс жылдамдығын және дыбыстың жіберілген мезеті мен қабылданған мезеті арасында өткен уақытты біле отырып, теңіз тереңдігі немесе су астындағы нысанға дейінгі қашықтық анықталады.

Медицинада ультрадыбыс адам денесін ультрадыбыстық тексеру



Сурет 5.32. Эхолотпен теңіз түбін зерттеу



Сурет 5.33. Эхолокация:
1 және 3-ултрадыбыс көздері;
2-кабина; 4-мина; 5-сунгуір қайық

(сканерлеу) ушін пайдаланылады. Сүйек, май және бұлшық еттер ультрадыбысты түрліше шағылдырады. Электр импульстеріне түрлендірілген бұл шағылған толқындар экранда кескін береді. Ультрадыбыстық тексеру жолымен сырқат адамның денесіндегі өртүрлі ауытқулар – қатерлі ісіктер, дene мүшелері пішінінде өзгерулері анықталады.

Ультрадыбыстың көмегімен тастар үнтақталады, металдарды және аса қатты материалдарды кесу және дәнекерлеу жүзеге асырылады.

Алайда ультрадыбысты ұзақ уақыт қабылдау адамның нерв жүйесіне өсер етеді: қанның құрамы, сапасы және қысымын өзгерти; бас ауруын тудырады, есту қабілетін нашарлатады.

Ультрадыбыстарды дельфиндер, иттер, жарғанаттар және басқа да тіршілік иелері шығарады. Мысалы, жарғанаттың ультрадыбыстың гидролокаторлары адам жасаған ең күшті деп есептелеғін радио және гидролокаторлармен салыстырғанда мұлтікіз жетілген. Олар ультрадыбыстарды шығару арқылы өзінің ұшу бағытын және қажетті қорегін таба алады.



Сұрақтар

1. Акустикалық резонанс дегеніміз не? Акустикалық резонансты қалай байқауга болады?
2. Камертон орнатылған жөшікті неліктен резонатор деп атайды? Неліктен домбыра шанагында немесе басқа ішекті аспаптарда ойық жасалады?
3. Жаңғырық дегеніміз не?
4. Ультрадыбыстың қандай ерекшелігі оны эколокацияда қолдануға мүмкіндік береді?
5. Ультрадыбыс пен инфрадыбыстың пайдалы және зиянды жақтары қандай?



Жаттығу 5.9

1. Бақылаушы биік таудың баурайынан 200 м қашықтықта тұр. Қанша уақыттан кейін ол өзінің қатты дауыстаган сезінің жаңғырығын естиді? Дыбыстың таралу жылдамдығын 340 м/с деп есептеңдер.
2. Аңшы мылтық дауысының жаңғырығын 4,5 с өткен соң естиді. Мылтық дауысын шағылдыратын бөгет одан қандай қашықтықта орналасқан? Дыбыстың таралу жылдамдығын 340 м/с деп есептеңдер.
3. Жақын орналасқан екі жартастың ортасында тұрган адам қатты дауыстады. Ол екі жаңғырықтың бірін 1 с, екіншісін 1,5 с өткен соң естиді. Дыбыстың жылдамдығын 340 м/с. Жартастардың арақашықтығы қандай?
4. Негізгі «ля» музикалық тонның толқын ұзындығын табындар. Бұл тонның жиілігі 435 Гц. Дыбыстың ауада таралу жылдамдығы 340 м/с.

5. Теңіз түбіне жіберілген және одан шағылған ультрадыбыс 0,8 с өткен соң қайтып оралды. Теңіз суындағы дыбыс жылдамдығы 1490 м/с. Теңіздің тереңдігі қандай?

§36.

ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР

1. Электрлік және магниттік құбылыстарға байланысты 8-сынып материалдарынан мынадай қорытынды жасауга болады. Электр өрісін электр заряды бар денелер тұғызады. Бойымен электр тогы (зарядтары) өтетін өткізгіштің төңірегінде магнит өрісі пайда болады. Қозгалмайтын зарядтың электр өрісі барлық уақытта да өзгеріссіз қалады. Бірқалыпты қозгалатын зарядтардың, яғни тұрақты электр токтарының төңірегінде пайда болатын магнит өрісі де өзгермейді.

9-сыныпта электр заряды бар бөлшектердің айнымалы қозгалыстары қарастырылады. Осыған орай *зарядтар айнымалы қозгалыс жасаса, онда олардың төңірегінде қандай өріс пайда болады?* деген сұрақ туындаиды. Бұл сұрақтың жауабын ағылшының ұлы ғалымы Максвелл тапты.

Электр зарядтары айнымалы қозгалыс жасаса, яғни кез келген айнымалы токта электр өрісі де, магнит өрісі де уақыт өтуіне қарай өзгеріп отырады. Сонымен қатар бұл айнымалы өрістер, Максвеллдің 1865 жылғы теориялық пайымдауынша, өздерін біртұтас *электрмагниттік өріс* түрінде көрсетеді.

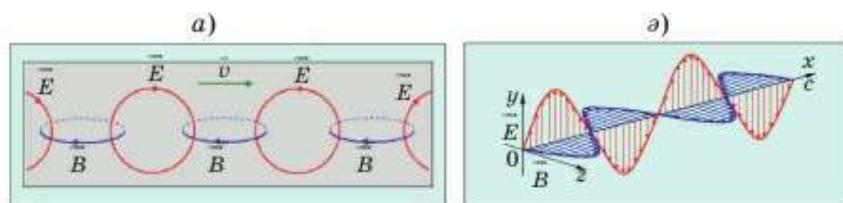
Максвелл сегіз жыл бойы тынбай жүргізген теориялық талдауларын 1873 жылы қорытындылап, электрмагниттік өрістің теориясын жасады. Ол өз теориясында біртұтас электрмагниттік өрістің бос кеңістікте де толқын түрінде тараї алатынын дәлелдеді. Максвеллдің электрмагниттік өріс теориясы былайша тұжырымдалады:

- 1) *айнымалы электр өрісі магнит өрісін тудырады;*
- 2) *айнымалы магнит өрісі электр өрісін тудырады;*
- 3) *бір-біріне алма-кезек түрленіп отыратын, айнымалы электр және магнит өрістерінің ажырамас бірлігін электрмагниттік өріс дейді.*

Электрмагниттік өрісті (сурет 5.34, а) көрнекі түрде бейнелеу үшін x , y , z координаталар жүйесін пайдаланады. Электр өрісінің \vec{E} кернеу-лік векторын y осінің бойына салады, ал магнит өрісінің \vec{B} индукция векторын z осінің бойына салып кескіндейді (сурет 5.34, а).

Электромагниттік өріс – ақиқат нәрсе. Бізді қоршаған материя өзін екі түрлі формада: *өрістік* және *заттық* формаларда көрсетеді. Электромагниттік өріс материяның өрістік формасындағы көрінісі болып табылады. Материя формасының екінші түрі зат екенін біз 7-сыныптан білеміз.

2. Электр зарядтары айнымалы қозғалыс (мысалы, тербеліс) жасағанда, олардың туғызынатын айнымалы электромагниттік өрісі барлық бағытта тарайды (сурет 5.34, а).



Сурет 5.34: а) өзара байланысқан айнымалы электромагниттік өріс;
б) электромагниттік өрістің таралуы

Айнымалы электромагниттік өрістің кеңістікте таралуын электромагниттік толқын деп атайды.

Электромагниттік толқынның пайда болуы туралы Максвеллдің болжамын кейінрек эксперимент дөлелдеді. 1887–1888 жж. Г. Герц жасаған тәжірибелер айнымалы электромагниттік өрістің кеңістікте толқын түрінде тарайтынын көрсетті.

3. Электромагниттік толқын мен механикалық толқындардың ұқсастықтары да, өзгешеліктері де бар. Солардың негізгілерін атап өтейік.

1) Электромагниттік толқын *эртірлі заттарда да, затсыз ортада да (вакуумде де) тарай алады*. Ал механикалық толқындар тек заттардың бөлшектері қатысады орталардаған (қатты денеде, сүйықта және газда) тарайды. Механикалық толқында ортанды құрайтын заттардың бөлшектері тербеледі. Ал электромагниттік толқында өрістің \vec{E} және \vec{B} векторларының бағыттары мен шамалары тербеледі. Міне, сондықтан электромагниттік тербеліс вакуумде де толқын түрінде тарай алады.

2) Электромагниттік толқындар тек көлденең толқындар болып табылады. Шынында да, \vec{B} индукция және \vec{E} кернеулік векторлары бір-біріне перпендикуляр бағытта тербеледі. Ал механикалық толқындар көлденең толқындар да, бойлық толқындар да бола алады.

3) Максвеллдің теориялық есептеулері бойынша вакуумдегі электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы $c = 2,99792458 \cdot 10^8$ м/с = $= 3 \cdot 10^8$ м/с түрақты шама.

Электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы (\vec{c} векторы) кернеулік \vec{E} және индукция \vec{B} векторына перпендикуляр болады (сурет 5.34).

Максвелл көрінетін ақ жарықты $c = 3 \cdot 10^8$ м/с жылдамдықпен таралын электромагниттік толқын деп жорыды. Кейінірек, жарықтың таралу жылдамдығы эксперимент жүзінде үлкен дәлдікпен өлшенген соң, Максвеллдің бұл болжамы да шындыққа айналды. Тәжірибеде өлшенген жарықтың таралу жылдамдығы Максвеллдің теорияда анықтаған жылдамдығымен дәлме-дәл келіп, оның *электромагниттік табигаты* толық дәлелденді.

4) Вакуумге қараганда заттагы электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы аз болады және ол мына өрнекпен анықталады:

$$v = \frac{c}{n}, \quad (5.17)$$

Әйткені ортасыңынан көрсеткіші $n > 1$, ал вакуумде $n = 1$.

5) Механикалық толқындар сияқты *электромагниттік толқындар да энергия тасиды*. Жер бетіндегі органикалық отындардың (ағаштың, көмірдің, мұнайдың, газдың, шымтезектің т.б.) пайда болуы күн сәуле-сімен миллиардтаған жылдар бойы келетін, яғни электромагниттік толқындармен жететін энергия арқылы түсіндіріледі.

4. Электромагниттік толқындардың λ толқын ұзындығы, T периоды, c жылдамдығы, v тербеліс жиілігі арасындағы қатынастар механикалық толқындардағы сияқты өрнектеледі:

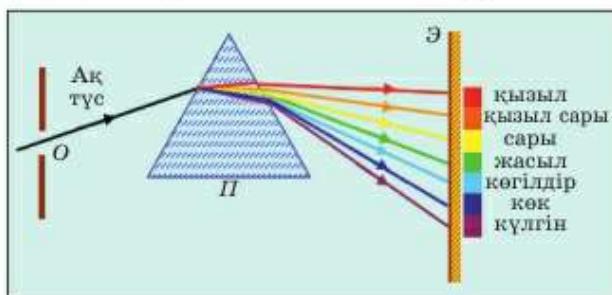
$$\lambda = cT = \frac{c}{v}. \quad (5.18)$$

Электромагниттік толқындардың вакуумнен затқа өткенде жиілігі өзгермейді. Әйткені толқындардың жиілігі оларды туғызатын алғашқы көздердің жиілігіне ғана байланысты болады. Ал толқындардың зат ішіндегі λ жылдамдығы өзгеретіндіктен, оның толқын ұзындығы да өзгереді. Вакуумдегі толқын ұзындығын λ , ал заттағы шамасын λ' деп белгілесек, онда жоғарыдағы формулаларды ескере отырып, мына өрнектерді аламыз:

$$\lambda' = vT = \frac{v}{v} = \frac{c}{\frac{n}{\lambda}} = \frac{\lambda}{n}. \quad (5.19)$$

Барлық сәулелердің (мысалы, ақ жарықтың, рентген сәулелерінің т.с.с.) *вакуумдегі таралу жылдамдығы* $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Олай болса, барлық сәулелердің табигаты бірдей, яғни олар *электромагниттік толқындар болып табылады* деген қорытындыға келеміз.

Сөүле жиілігі жоғары болған сайын, оның таситын энергиясының мәлшері де арта түседі, әрі организмге тигізетін биологиялық және химиялық әрекеті де ерекше болады. Ультракүлгін сөүлесінің үлкен дозасы көз бен теріні зақымдаса, ал рентгендік және гамма-сөүлелер өмірге қауіпті. Адам өміріне ең қолайлы нұр – ақ жарық. Ол жеті түсті біртекті (монохроматты) сөүлелердің қосындысынан тұрады.



Сурет 5.35. Ақ жарықтың түстерге жіктелуі

5. Ақ жарық мәлдір призмадан өткенде жеті түске ажырайды (сурет 5.35). Әр түске белгілі бір жиілігі (толқын ұзындығы) бар сөүле сәйкес келеді. Мұндай сөүлелерді монохроматты сөүлелер деп атайды. Ал жарықтың жеке түстерге жіктелуін жарық дисперсиясы деп атайды. Жарық дисперсиясының пайда болуы әр түске сәйкес келетін сөүлелердің мәлдір заттың ішінде әртүрлі жылдамдықтармен қозғалытындығы арқылы түсіндіріледі. Расында да, ақ жарық вакуумнен заттық ортаға өткенде, жоғарыда айтқанымыздай, оның жиілігі (демек, периоды да) өзгермейді ($v = 1/T = \text{const}$). Бірақ зат ішінде әр түсті сөүленің толқын ұзындығы да, жылдамдығы да түрліше болады. Мысалы, қызыл және жасыл түсті сөүлелердің толқын ұзындықтары мен жылдамдықтары бір-біріне сәйкес келмейді ($\lambda_{\text{к}} \neq \lambda_{\text{ж}}$; $v_{\text{к}} \neq v_{\text{ж}}$). Сондықтан әр түсті сөүлелер үшін $v = \frac{c}{n}$ формуласына сәйкес мәлдір заттардың n сыну көрсеткіштері де әртүрлі болады ($n_{\text{к}} \neq n_{\text{ж}}$). Олай болса, әр түсті сөүле заттан өткенде әртүрлі бұрышқа бұрылады да жарық дисперсиясы құбылысы (сурет 5.35) орын алады.

6. Әртүрлі электрмагниттік сөүлелер практикада кең қолданыс табады. Мысалы, радиотолқындарды байланыс салаларында қолдану мүмкіндігін орыс ғалымы А.С. Попов ашты. Ол XIX ғасыр соңында әлемде бірінші рет 250 м қашықтыққа сымсыз радиограмма арқылы «Генрих Герц» деген екі сезіді жеткізді. Сейтіп, радиобайланыс қоғамдық өмірдің барлық саласында жедел дами бастанды. Осыған орай

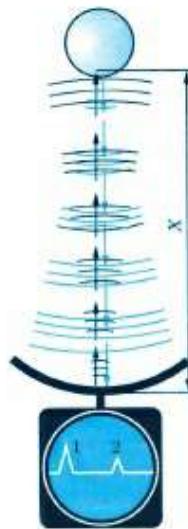
электромагниттік тербелістер көзі – тербелмелі контурлар да жан-жақты зерттеліп, олардың ашық тербелмелі түрлері (сурет 5.36) пайда болды. Жабық тербелмелі контурда (§32, сурет 5.20) электромагниттік тербеліс түйік контурдың ішінде туындала, кеңістікте тарай алмайды. Ашық контурдағы тербеліс кеңістікте электромагниттік толқын түрінде тарай алады. Мысалы, антenna ашық тербелмелі контур болып табылады. Оның тузызатын электромагниттік өрісі кеңістіктің үлкен бөлігін қамтып тарай алады. Сондықтан antenna электромагниттік толқындарды жақсы шығарады да, қабылдай да алады.

Тұрмыста және техникада, сондай-ақ ғылыми мақсаттар үшін antenna-налардың көптеген түрі қолданылады. Олардың параболоидалық табак түрінде жасалған құрылғылары Галамның алыс аймақтарынан электромагниттік толқындарды қабылдай алатын радиотелескоптарда пайдаланылады.

7. Кез келген электромагниттік сәулелер сиякты радиотолқындар да өздері түскен беттен кері шағыла алады. Бұл құбылысты алыстағы денелерді радиотолқындар арқылы анықтай алатын радиолокацияда қолданылады (сурет 5.37). Радиолокация арқылы нысанның қозғалу жылдамдығын және одан бақылаушыға дейінгі арақашықтықты табуға болады. Ол үшін кеңістіктің белгілі бір аймагына бағытталған электромагниттік сигнал тарататын арнайы радиотелескоптың антеннасы қолданылады. Осындай сигналдың импульсі (1) электрондық сәулелік аппараттың экранында жазылып алынады (сурет 5.37). Бұдан кейін радиотелескоп сигналдарды қабылдау амалына көшеді. Егер радиосигналдың жолында қандай да бір нысан кездессе, оның бетінен кері шағылған радиотолқынның әлсіреген сигналы (2) экранда қайта тіркеледі. Электромагниттік толқынның с таралу жылдамдығын және 1-мен 2-импульстің тіркелу уақыттарын $\Delta t = t_2 - t_1$ біле отырып, x арақашықтықты таба аламыз: $x = c\Delta t$.



Сурет 5.36.
Ашық тербелмелі контур



Сурет 5.37



Сұрақтар

1. Электромагниттік өрісті Maxwell теориясы қалай түсіндіреді?
2. Электромагниттік тербелістің кеңістік нүктелеріне беріліп, толқын түрінде таралуын қалай түсіндіруге болады?

3. Электромагниттік және серпімді (механикалық) толқындардың үқсас-тықтары мен айырмашылықтары қандай?
4. Электромагниттік толқындардың қасиеттері қандай?
5. Жарықтың және басқа да сөзулелердің табигаты туралы не деуге болады?
6. Бірінші рет радиобайланыс қашан жасалды?
7. Жабық тербелмелі контур мен ашық тербелмелі контурдың ерекшеліктері қандай?
8. Радиолокация не үшін қажет?
9. Төмендегі мысалда көлтірілген есептің шығару жолын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Радиоқабылдағыштың контуры ұзындығы 50 м толқынды қабылдайды. Ұзындығы 25 м толқынды қабылдау үшін оның конденсаторының сыйымдылығын неше есе кеміту керек?

Bерілгені
$\lambda_1 = 50 \text{ м}$
$\lambda_2 = 25 \text{ м}$
$L_1 = L_2 = L$
<hr/>
$C_1/C_2 - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Қабылданатын электромагниттік толқынның ұзындығы:

$$\lambda = \frac{c}{v}; \quad (1) \text{ мұндағы } c - \text{толқынның жылдамдығы; } v = \frac{1}{T} - \text{толқынның жиілігі. Томсон формуласын } (T = 2\pi\sqrt{LC}) \text{ ескеріп, жиілікті анықтаймыз: } v = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}. \text{ Жиіліктің}$$

мөнін (1)-ге қойып, электромагниттік толқын ұзындығының жалпы өрнегін аламыз: $\lambda = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C}$.

$$\text{Бірінші контурдың толқын ұзындығы: } \lambda_1 = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C_1};$$

$$\text{Екінші контурдың толқын ұзындығы: } \lambda_2 = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C_2};$$

Соғыс екі теңдікті бір-біріне мушелей бөліп, мына қатынастарды аламыз: $\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}}$ немесе $\frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} = \frac{C_1}{C_2}$.

$$\text{Шешуи: } \frac{C_1}{C_2} = \frac{2500}{625} = 4.$$

Жауабы: екінші контурдың сыйымдылығын
4 есе кеміту керек.

**Жаттығу 5.10**

- Радиоқабылдағыштың тербелмелі контур конденсаторының сыйымдылығы 50 пФ-дан 500 пФ-га дейін жайлап өзгереді. Егер индуктивтілік 20 мкГн болса, онда қабылдағыш қандай толқындар аралығында жұмыс істейді?
- Вакуумдегі толқын ұзындығы 0,76 мкм болатын жарық үшін судың сыну көрсеткіші 1,329, ал толқын ұзындығы 0,4 мкм жарық үшін ол көрсеткіш 1,344 болады. Қай сөүле үшін жарықтың судагы жылдамдығы кіші?
- Радиолокатордың антеннасынан багыттала тарайтын радиотолқын нысаннан кері шағылып, 200 мкс-та кейін оралды. Нысан радиолокатордан қандай қашықтықта орналасқан?

§37.**ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР ШКАЛАСЫ**

1. Электромагниттік құбылыстарға арналған Джеймс Максвеллдің теориясы табигатта ақ жарықтан басқа да электромагниттік толқындардың болатындығы туралы берік байлам жасауға негіз болды. Мұндай байлам электромагниттік толқындардың көзі болып табылатын тербелмелі контурлар жасалғаннан кейін бекін түсті. Расында да, тербелмелі контурдағы L индуктивтілік пен C сыйымдылықты өзгерте отырып, электромагниттік тербелістер мен толқындардың периодын Томсон формуласына ($T = 2\pi\sqrt{LC}$) сәйкес қалауымызша өзгерте аламыз. Ал жиілік пен толқын ұзындықтары периодпен байланысты болғандықтан ($v = 1/T$; $\lambda = cT$), табигатта жиілігі мен толқын ұзындықтары үздіксіз өзгеретін электромагниттік толқындар шкаласы бар деген тұжырым жасаймыз.

Максвелл теориясы жарияланғаннан кейінгі зерттеулер өсіреле XIX гасырдың соны мен XX гасырда ашылған ұлы жаңалықтар әрбір атомда, жеке жүлдіз да сан алуан жиіліктегі (толқын ұзындығындағы) электромагниттік толқындардың көзі – тербелмелі контурдың релдерін атқаратындығын дәлелдеді. Сөйтіп, ең ұзын радиотолқындардан бастап, ең қысқа толқынды гамма сөулелері араларында орналасқан ақ жарықтан өзге де табиғи электромагниттік толқындар шкаласы анықталды (сурет 5.38).



Сурет 5.38. Электрмагниттік толқындар шкаласы

Электрмагниттік толқындар шкаласы деп кеңістікте таралатын айнымалы электр және магнит өрістерінің қздіксіз өзгеретін жиіліктері мен толқын ұзындықтарының тізбесін айтады.

2. Электрмагниттік толқындарды алу тәсілдеріне қарай олардың жиіліктері (толқын ұзындықтары) бірнеше аймақтарға бөлінеді (сурет 5.38). Бұл аймақтардың нақты шегаралары тағайындалмagan, олар бір-біріне жайлап ауысады. Әр аймақтағы толқындар табиғатының бір-бірінен ерекше айырмашылығы жоқ, олардың барлығы да зарядталған бөлшектердің тербелмелі қозғалыстарынан туындайтын электрмагниттік толқындар болып табылады. Электрмагниттік сөулелер ішінде Жер бетіндегі тіршілік үшін өсіресе ақ жарықтың орны ерекше. Мысалы, адам кезіне түскен жарық сөулелері арқылы өзін қоршаған ортадан келіп тусетін бар ақпараттың 80%-дан астамын қабылдайды.

Қызыл түстің сыртында көзге көрінбейтін инфрақызыл сүзле де электрмагниттік толқын болып табылады; оны қатты қызбаса да, кез келген жылы дene шығарады. Инфрақызыл сөулені сезініп, тіркей алатын аспаптарды түнгі көру қуралдары деп атайды. Олардың жәрдемімен қарағы түнде аңдар мен малдарды немесе жасырынған ұрыларды бақылауга болады.

Электрмагниттік толқындар шкаласында инфрақызыл сөуледен кейін әртүрлі жиіліктері қысқа, орта және ұзын толқынды радиотолқындар орналасады. Сөз бен ән-күй немесе әртүрлі бейнекөзгалыс түріндегі ақпараттарды алысқа жеткізуде радиотолқындар қолданылады.

Көзге көрінбейтін ультракүлгін сүзле ақ жарық спектрінің қысқа толқынды күлгін түсті белгімен шегаралас орналасқан. Бұл сөулелер кейір химиялық қосылыстармен әрекеттеседі. Сондықтан белгілі мөлшерде қолданғанда адам терісінің бетінде қорғаныс туғызатын пайдалы D дәрүмені сияқты және пигменттік дақ түзеді. Жалпы алғанда оның

аз мөлшері пайдалы: ағзаны сауықтырады, әртурлі микробтар мен бактерияларға қарсы қорғаныс қабілетін арттырады, жүйкеге жағымды әсер береді. Алайда оның көп мөлшері зиянды: көздің торлы қабықшасын бұзады, теріні де күйдіріп жарапайды.

Ультракүлгін сөулелерінен кейін жиіліктері одан да жоғары *рентген* және *гамма сөулелері* орналасады. Бұл сөулелердің өтімділік қасиеттері өте жоғары, сондықтан да олар тірі ағзалар үшін аса қауіпті, ал көлемді денелердің құрылымын анықтау үшін аса тиімді сөулелер болып табылады. Сонымен қатар басқа да электромагниттік сөулелер сияқты бұл сөулелер де ақпаратты (есіреке Фаламның алыс түкпірінен келетін ақпараттарды) жеткізіп отырады. Осыған орай басқа *телескоптар* қабылдай алмайтын ақпараттарды тіркең отыратын *рентгендік телескоптар* да жасалған. Рентген және гамма сөулелерінің ашылуы мен басқа да қасиеттері туралы келесі тарауларда толығырақ айтатын боламыз.



Сұрақтар

1. Электромагниттік толқындар шкаласы деп нені айтады?
2. Табигаттагы электромагниттік сөулелерге қандай сөулелер жатады және оларды қандай көздер шығарады?
3. Электромагниттік толқындар шкаласына кіретін сөулелердің бірлігі мен айырмашылықтары қандай?
4. Электромагниттік сөулелердің қасиеттері мен қолданыс аясы жөнінде қандай деректерді білесіңдер?



Эксперименттік тапсырма

1. Су айдынына тас лақтырып көріңдер. Тарапған толқынның жылдамдығын анықтаңдар.
2. Екі оқушы бір-бірінен 150–200 м қашықтықта темір құбыр немесе рельс бойына орналасын. Егер оқушының біреуі балгамен құбырды немесе рельсті үрса, онда екінші оқушы екі дыбыс естітін болады: қаттырақ естілетін бірінші дыбыс құбыр немесе рельс арқылы, ал ақырын естілетін екінші дыбыс ауа арқылы жетеді. Дыбыстың металл және ауа арқылы таралуын есептөндөр. Неліктен дыбыс жылдамдығы әртүрлі ортада түрлішпе таралатынын түсіндіріңдер.

V тараудагы ең маңызды түйіндер

- Еркін механикалық тербелістердің периоды:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad \text{— серіппелі маятник үшін (Гюйгенс формуласы);}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad \text{— математикалық маятник үшін (Галилей формуласы).}$$

- Еркін электромагниттік тербелістің периоды Томсон формуласы арқылы табылады: $T = 2\pi \sqrt{LC}$.

- Толқын ұзындығы:

$$\lambda = vT.$$

- Толқын жылдамдығы:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda v.$$

- Электромагниттік толқын деп айнымалы электромагниттік өрістің ауасыз кеңістікте (вакуумде) немесе әртүрлі заттың ортада таралуын айтады.

- Электромагниттік толқынның таралу жылдамдығы:

$$v = \frac{c}{n}.$$

- Электромагниттік толқынның вакуумдегі толқын ұзындығы:

$$\lambda = cT = \frac{c}{v}.$$

- Электромагниттік толқынның әртүрлі заттардагы толқын ұзындығы:

$$\lambda' = cT = \frac{v}{v} = \frac{c}{nv} = \frac{\lambda}{n}.$$

VI ТАРАУ

АТОМ ҚҰРЫЛЫСЫ. АТОМДЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАР

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- ➡ жылулық сәуле шығару энергиясының температураға тәуелділігін сипаттау;
- ➡ Планк формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ➡ фотоэффект құбылышын сипаттау және фотоэффект құбылышының техникада пайдаланылуына мысалдар көлтіру;
- ➡ фотоэффект үшін Эйнштейн формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ➡ рентген сәулесін электромагниттік сәулелердің басқа түрлерімен салыстыру;
- ➡ рентген сәулесін қолдануға мысалдар көлтіру;
- ➡ α , β және γ – сәулеленудің табиғаты мен қасиеттерін түсіндіру;
- ➡ α -бөлшегінің шашырауы бойынша Резерфорд тәжірибесін сипаттау.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде ұзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «жылулық сауле шығару», «Планк формуласы», «фотоэффект», «фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы», «рентген сәулесі», «Резерфорд тәжірибесі», « α , β және γ – саулелену».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Атом	Атом	Atom
Жылулық саулелену	Тепловое излучение	Thermal radiation
Планк формуласы	Формула Планка	Planck's formula
Фотоэффект	Фотоэффект	Photoelectric effect
Фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы	Формула Эйнштейна для фотоэффекта	Einstein's formula for the photoelectric effect
Рентген сәулесі	Рентгеновское излучение	X-ray radiation
α , β және γ – саулелену	α , β и γ – излучение	α , β and γ – radiation
α -бөлшегі	α -частица	α -particle
Резерфорд тәжірибесі	Опыт Резерфорда	The experiment of Rutherford

§38.**ЖЫЛУЛЫҚ СӘУЛЕ ШЫГАРУ**

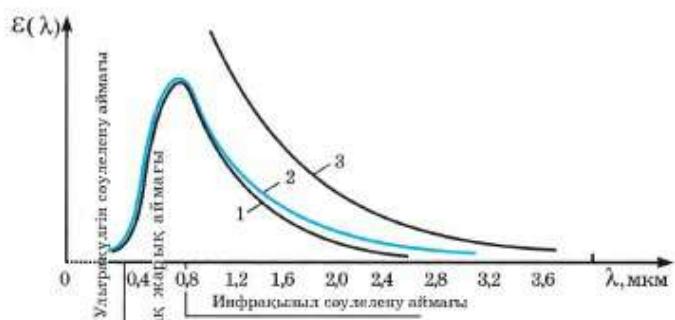
1. XX ғасырдағы ғылыми ойдың ұлы жеңісі атомның құрылышын түсіндіріп, микрөлемде орын алғатын физикалық құбылыстарды сипаттайдын жаңа теорияның жасалуы еді. Физикада *кванттық теория* деп аталатын мүлдем жаңа көзқарасты қалыптастыруды қызған дененің сәуле шығаруын эксперименттік зерттеу үлкен рөл атқарды. Жоғары температурага дейін қыздырганда дене әртүрлі түске еніп, сәуле шығара бастайтынын білеміз. Мысалы, темірді қыздырганда, ол әуелі қызыл, одан кейін қызыл сары, одан әрі ақ сары түске боленеді. Электр шамының вольфрам қылын 3000°C -қа дейін қыздырганда, ол ақ жарық сәуле шығарады. Күннің жарығы, жұлдыздардың шығаратын сәулелері де олардың температурасының өте жоғары болуына байланысты.

Қызған денелердің ішкі энергия есебінен сәуле шығарып, электромагниттік энергия таратуын жылулық сәулелену деп атайды.

Жылулық сәулелену құбылысы тек қызған денелерде ғана емес, салқын денелерде де орын алады. Электр шамының вольфрам қылы 3000°C -қа дейін қыздыранда көзге көрінетін ақ жарық шығарса, температурасы төмендеген сайын денелер жиілігі төмен көрінбейтін *инфрақызыл сәулелер* шығарады. Сондай-ақ денелердің температурасы тым жоғары болса, олар көрінбейтін жиілігі өте үлкен *ультракүлгін сәулелер* шығарады.

Жылулық сәулелердің барлық түрлерінің табигаты бірдей, яғни жарық сияқты электромагниттік толқындар болып табылады. Олар бір-бірін, тек жиіліктеріне немесе толқын ұзындықтарына қарай ажырайды.

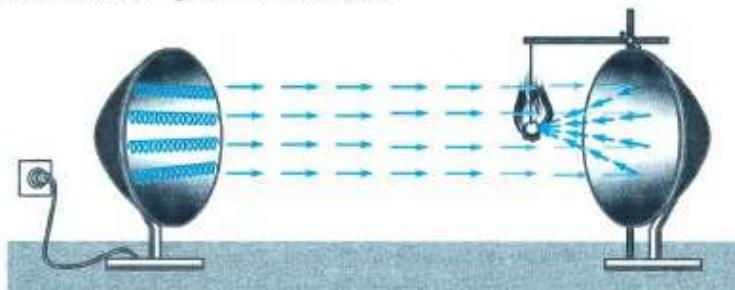
2. Денелердің нақты температурадағы әртүрлі толқын ұзындығында (жиілігінде) шығаратын сәулелерінің энергияларын өлшей отырып, галымдар XIX ғасырдың аяғында аса мол эксперименттік мәлімет жинады. Алайда тәжірибеден алынған жылулық сәулеленулердің энергиясының олардың λ толқын ұзындығына тәуелді өзгеретінін көрсететін қисық (сурет 6.1, 1-қисық) Ньютоның да, Максвеллдің де классикалық теориялары түсіндіре алмады. Классикалық теорияға негіздел салынған $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділігінің қисығы (3) ультракүлгін аймагында шексіз биіктей береді. Ал эксперименттік қисық (1) ақ жарық маңайындағы максимумге жеткеннен кейін ультракүлгін аймагында, керісінше, минимумге құлдырайды. Эксперименттік нәтиже мен классикалық теория



Сурет 6.1. Сәуле энергиясының толқын ұзындығына тәуелділік қисығы

арасындағы мүндай керегар қарама-қайшылық *ультракүлгін апарты* деген атақта ие болды. Сейтіп, жылулық сөулелену құбылышын түсіндіру классикалық физика түрғысынан түйиқта тірелді.

3. Эксперименттік зерттеулер денелердің жылулық сөулелерді шыгарумен қатар, оларды жұта да алатынын көрсетті. Оны көптеген тәжірибелер растайды. Мысалы, параболоидтық айнага вольфрам қылы бар қуатты электр шамын орнатып, оны инфрақызыл сөүлесін шығаратында етіп қыздырайық. Оған қарама-қарсы қойылған екінші айнаның фокусына қара түске боялған құрғак мақтаны іліп қойсақ, ол белгілі бір уақыттан кейін «өз-өзінен» тұтандып жана бастайды (сурет 6.2). Бұл тәжірибе электромагниттік толқындардың энергия таситынына және қара денелердің сөулелік энергияны жақсы жүтатынына көзімізді жеткізеді. Физикада денелердің сөулелерді жұту қабілетін салыстыру үшін «абсолют қара дene» деген үғым енгізіледі.



Сурет 6.2. Сөулелер энергия тасиды

Озіне түскен әртүрлі жиіліктегі сөулелерді толық жұтып алғын денені абсолют қара дene деп атайды.

Күн сыртқы ортага жарық шыгарумен қатар өзіне сырттан келіп түсетін әртүрлі жиіліктегі сөулелерді де толық жұтып алады. Сондықтан ол абсолют қара дene қатарына жатады.

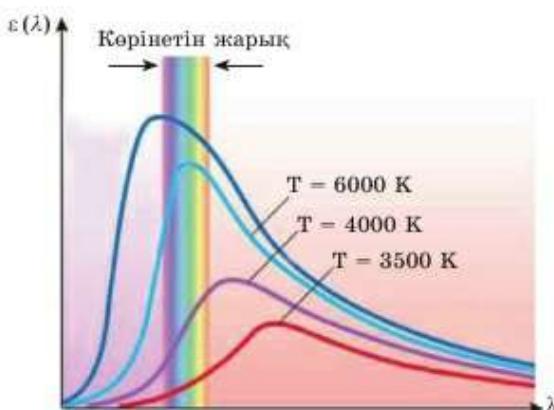
Сыртқы ортамен тар саңылау арқылы жалғасқан қуыс ыдыс (сурет 6.3) абсолют қара дененің идеал моделі болып табылады. Иші қуыс ыдысқа тар саңылаудан түскен сөule шекіз мәрте шағылады да, толық жүтылады.

4. Эксперименттік зерттеулер дененің температуры көтерілген ($T_1 > T_2$) сайын қысқа толқындағы сөule шығарулардың да үлесі арта беретінін көрсетеді (сурет 6.4). Температура жоғары болған сайын сөулелік энергияның жалпы мөлшері де есеп түседі ($\varepsilon_{T_1} > \varepsilon_{T_2}$), яғни қисық барған сайын биігірек орналасады. Мұндай жағдайда көрінетін ақ жарықтың да үлесі арта береді. Ендеше, бөлмелерді жарықтандыру үшін электр шамының қылын жоғары температурага дейін көтеру пайдалы. Төменгі температурада, яғни қыл қоңыр қызығылт түске енгенде, оның ішкі энергиясы, негізінен, үзын толқынды инфрақызыл сөule шығаруга жүмсалады.

Абсолют қара дене үшін $\varepsilon(\lambda)$ қисығының максимум күйі сөule шығаратын дененің T_1 , T_2 т.с.с. температурасына ғана байланысты болады (сурет 6.4). Бұл заңдылық сөule шығаратын денелердің температурасын анықтау үшін қолданылады. Мысалы, Күннің сөule шығаруының максимумы бойынша оның бетіндегі температуралы анықтауға болады. Күн сөулелерінің $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділік қисығының максимумы 5400°K температурага сәйкес келеді. Бұл Күннің сыртқы қабатының *беттік эффективтік температурасы* деп аталады, ал оның ішкі қабаттарындағы температура ондаған миллион градусқа жетеді.



Сурет 6.3. Абсолют қара дене моделі



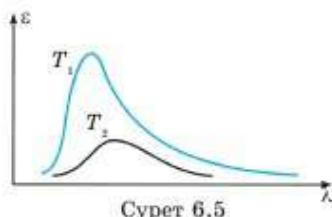
Сурет 6.4. Абсолют қара дененің $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділік қисығы максимумының T -га байланысты ырыса есүі

**Сұрақтар**

1. Жылулық сөулелену (сөуле шыгару) деп қандай құбылышты айтады?
2. Денелердің температурасына байланысты сөуле шыгаруы қалай өзгереді?
3. Жылулық сөулелердің табигаты қандай, оларды бір-бірінен қалай ажыратуға болады?
4. Физикадағы «ультракүлгін апарты» қалайша туындалады?
5. Денелер сөулелердің жұта ала ма? Оған өмірдегі тәжірибеден қандай мысалдар келтіре аласыңдар?
6. Абсолют қара дене дегеніміз қандай дene?
7. Күн бетінің температурасын қалай анықтаған? Графикпен түсіндіріңдер.

**Жаттығу 6.1**

1. 6.5-суретте қызған дененің өртүрлі T_1 және T_2 температурадағы жылулық энергиясының $\varepsilon(\lambda)$ төуелділік графиктері көрсетілген. Абсциссалар өсіне толқын ұзындықтары, ал ординаталар өсіне оларға сойкес келетін жылулық энергия салынған. Қай график ең томенгі температурага сойкес келеді және ол қалай түсіндіріледі?
2. Кернеуді төмендеткенде неліктен электр шамының жарықталынуы нашарлайды да, ал сөулелену қызығылт түске ауысады?
3. Не себепті электр шамының қылын балқу температурасы жоғары металл қоспаларынан жасайды? Жауаптарынды Джоуль-Ленц заңына сүйене отырып дайындаңдар.



Сурет 6.5

§39.**ЖАРЫҚ КВАНТТАРЫ ТУРАЛЫ ПЛАНК ГИПОТЕЗАСЫ**

1. Жылулық сөулелердің эксперименттік нәтижесін түсіндірудегі тығырықтан шығу жолын немістің ұлы физигі Макс Планк тапты. Ол 1900 жылы сөүлелік энергия қздіксіз шыгады деген классикалық физика түсінігіне мұлдем қайшы келетін батыл гипотеза ұсынды. Ол гипотеза былай оқылады:

Абсолют қара дене жылулық сөулелердің қздіксіз шыгарада, жұтада алмайды; оларды тек жекелеген үзікті (дискретті) чесе түрінде

гана шыгарады немесе жұтады. Сәуле арқылы тарайтын немесе жұтылатын ең аз бір үлес энергия квант деп аталады.

Квант – лат. *quantum* – «мөлшер», яғни «үлес» деген сөздің мағынасын береді.

Макс Планк дененің үзікті шыгаратын немесе жұтатын бір үлес энергиясы үшін

$$E_0 = h\nu \quad (6.1)$$

формуласын ұсынды, мұндағы E_0 – ең кіші энергия үлесі, яғни бір квант, ν – сәуленің жиілігі, h – **Планк тұрақтысы**:

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с.}$$

Сонымен, сәуле шыгаратын немесе жұтатын дене өзінің энергиясын үзікті түрде 1 квантқа, 2 квантқа т.с.с. өзгерте алады, яғни $1E_0$; $2E_0$; $3E_0$; ... ; nE_0 шамасына үзік-үзік өзгереді. Екінші сөзben айтқанда, дененің энергиясы бір квантқа ($E_0 = h\nu$) бүтін n санына еселеніп қана өзгереді:

$$E_n = n \cdot E_0 = nh\nu. \quad (6.1')$$

Мұндағы n – электромагниттік сәуле энергиясын таситын фотондар саны (**фотон** – 1 квантқа тең энергия таситын тыныштық массасы нөлге тең элементар бөлшек); E_0 – жиілігі ν болатын әрбір фотонға тиесілі ең кіші бір үлес энергия, яғни бір квант.

2. Классикалық теория бойынша энергия үздіксіз өзгереді және нөлден бастап шексіздікке дейін кез келген мәнді қабылдай алады. Ал Планк, керісінше, энергияның үзікті өзгеретінін және белгілі бір нақтылы мәндерді қабылдайтынын болжады. Бұл болжам эксперимент нәтижесіне негізделіп жасалды.

Планктың ғылыми болжами абсолют қара денелердің тәжірибеде байқалған жылулық сәуле шыгару құбылысын толық түсіндіріп берді. Планк гипотезасы негізінде салынған $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділігіндегі 2-қисық эксперимент жүзінде алынған 1-қисықпен дәлме-дәл келеді (сурет 6.1). Тәжірибеде дәлелденген Планк гипотезасы *қазіргі физика* деп аталатын жаңа **кванттық физиканың** негізін қалауға зор көмегін тигізді.



Сұрақтар

1. Классикалық физика бойынша денелер сәулелерді қалай шыгарады немесе жұтады? Эксперименттен қандай қорытынды туындаиды?
2. Планк гипотезасы қалай оқылады? Ол неліктен классикалық пайымдау-ларға қайшы келеді?
3. Квант дегеніміз не? Жарты квантты алуға бола ма?

4. Шыгатын немесе жұтылатын сөүле дene энергиясын өзгерте ала ма? Ол энергияның қай түріне жатады?
5. Жылулық сәулемену қандай энергияның есебінен орын алады?
6. Төмөндегі мысалда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Қуаты 1 Вт электр шамы орташа толқын ұзындығы 1 мкм электрмагниттік сөүле шыгарса, онда шамның қылышы 1 с-та неше фотон шығарады?

<i>Берілгені</i>	
$P = 1 \text{ Вт}$	
$\lambda = 1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$	
$t = 1 \text{ с}$	
<hr/>	
$n = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Электр шамының тұтынатын энергиясы $Q = Pt$. Бұл энергия шамның қызған қылышан шыгатын барлық фотондардың $E = nE_0 = n \cdot h\nu$ энергиясына тең. Сондықтан $Pt = n \cdot h\nu$.

Орбір фотон бір квант (үлес) $E_0 = h\nu$ энергияны иеленеді, мұндағы $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – жарық жылдамдығы), $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – Планк тұрақтысы.

Шамның қызған қылышының шығаратын фотондарының саны:

$$n = \frac{Pt}{h\nu} = \frac{Pt\lambda}{hc}.$$

$$\text{Шешүи: } n = \frac{Pt\lambda}{hc} = \frac{1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 5 \cdot 10^{18} \text{ фотон.}$$

Жауабы: $n = 5 \cdot 10^{18}$.

2-есеп. Толқын ұзындығы 5000 \AA (ангстрем) болатын сәуленің ең кіші энергия үлесі қандай?

<i>Берілгені</i>	
$\lambda = 5000 \text{ \AA} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	
$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$	
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	
<hr/>	
$E = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Сәуленің ең кіші энергия үлесі Планк формуласы бойынша бір квант энергияга тең:

$$E = h\nu, \text{ мұндағы } \nu = \frac{c}{\lambda}.$$

$$\text{Ендеше, } E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}.$$

$$\text{Шешүй: } E = h \frac{c}{\lambda} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \times \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$\text{Жауабы: } E = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

3-есеп. Толқын ұзындығы 620 нм болатын фотонның массасы мен энергиясы қандай?

Берілгені
$\lambda = 620 \text{ нм} = 6,2 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$
$m - ?, E - ?$

Шешүй: $E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$ – фотонның жиілігі.
Планк тұрақтысы; $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – фотонның жиілігі.

Жоғарыдағы өрнектерден фотонның энергиясы мен массасын анықтаймыз: $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, $m = \frac{E}{c^2}$.

$$\text{Шешүй: } E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{6,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$m = \frac{E}{c^2} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2} = 0,35 \cdot 10^{-35} \text{ кг.}$ Бұл – фотонның қозғалыстағы массасы.

Фотон қозғалыстағанда өмір сүреді, тыныштықтағайып болады, сондықтан фотонның тыныштық массасы нөлге теңеледі.

$$\text{Жауабы: } E = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; m = 0,35 \cdot 10^{-35} \text{ кг.}$$

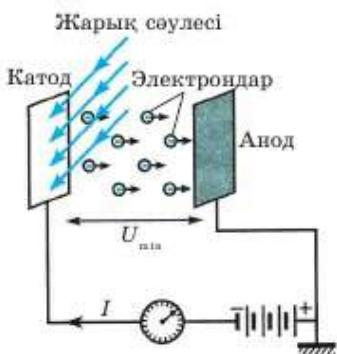


Жаттығу 6.2

1. Фотонның энергиясы $2,8 \cdot 10^{-19}$ Дж. Электрмагниттік сөulenің толқын ұзындығы қандай?
2. Ультракүлгін, рентген немесе инфрақызыл сөулелерінің қайсысы электрмагниттік энергияны басқаларынан көп тасиды? Неге? Жауаптарынды электрмагниттік толқындардың шкаласы бойынша негіздендер.
3. Қуаты 100 Вт жарық көзі 1 с-та $5 \cdot 10^{20}$ фотон шығарады. Сөulenің орташа толқын ұзындығы қандай?

§40.

ФОТОЭФФЕКТ ҚҰБЫЛЫСЫ



Сурет 6.6.
Столетов тәжірибесі

1. 1887 жылы Ресей ғалымдары Генрих Герц пен А.Г. Столетов электродтардың арасындағы үшқынды разрядты зерттеу кезінде мына құбылысқа көніл аударды.

Үшқынды разряд (газдағы электр тогы), әдетте, электродтар арасындан U көрнеу белгілі U_{\min} шамасынан асқанда гана байқала бастайды. Ал олар электродтардың біріне (катодқа) ультракүлгін сауле түсіргенде, U көрнеу U_{\min} шамасынан кіші ($U < U_{\min}$) болса да разряд үшқынының (I ток күшінің) пайда болғанын байқады (сурет 6.6). Бұның сырын қалай түсіндіруге болады?

Разряд деп газдардағы электр тогын айтады. Ендеше, ультракүлгін сауле электродқа түскенде оның бетінен электр тогын таситын зарядталған бөлшектердің жүзіп шыгарады деп жори аламыз. Шынында да, жарық түскен кезде металл беттерінен теріс зарядталған бөлшектердің босап шыратыны тәжірибеден белгілі болды. Кейінірек ондай бөлшектердің металдан босап шыққан электрондар ағыны екені аныкталды. Сонымен қатар электрондардың жарық түскен сүйық беттерінен де босап шыратыны байқалды.

Түскен жарықтың асерінен металл бетінен электрондардың ыршып шыгу құбылысының фотоэффект деп атайды.

2. Фотоэффект құбылысын жарықтың классикалық толқындық теориясы бойынша түсіндіруге тырысайық. Бұл теория бойынша электромагниттік толқын металл бетіне түскенде, ондағы электрондарды тербеліске келтіреді. Түскен толқынның тербеліс амплитудасы артқан сайын, еріксіз тербелетін электрондардың ауытқуы да өссе түседі. Көбірек ауытқыған электрондар дене бетінен ыршып сыртқа шыгады. Босап шыққан электрондардың жылдамдығы түскен толқынның λ ұзындығы есекен сайын үнемі артып отыруы керек.

Алайда тәжірибе нәтижелері керісінше болып шықты. Шындығында, босап шыққан электрондардың жылдамдығы түскен сәулелердің толқын ұзындығы кеміген сайын арта береді. Сейтіп, фотоэффект құбылысын жарықтың классикалық толқындық теориясы негізінде түсіндіру талабы сәтсіз аяқталды.

3. Фотоэффект құбылысын түсіндіру жолын Планк идеясына сүйеніп, А. Эйнштейн тапты. Ол фотоэффект құбылысын түсіндіру үшін жарықтың бөлшектік, әрі кванттық қасиетіне сүйенді.

Кванттық көзқарас бойынша жарықты таситын әрбір бөлшек, яғни фотон бір квант энергияға ие болады:

$$E_0 = h\nu.$$

Металл бетіне түскен жарық фотонының энергиясын бетке жақын жатқан электрон жұтады. Қосымша энергияға ие болған электрон белгілі жұмыс істеп, металдан босап шығу мүмкіндігін алады.

Электронның металдан босап шыгуы үшін оған берілетін ең аз энергияны электронның шығу жұмысы деп атайды.

Электронның металл бетінен $A_{\text{шыгу}}$ жұмысы жұтылған ν фотон энергиясының есебінен өндіріледі. Босап шықкан электрон бір орында тұрып қалмай, белгілі бір v жылдамдықпен қозгалып, кинетикалық энергияға да ие болады. Сөйтіп, энергияның сақталу заңы бойынша жұтылған жарық фотонының ν энергиясы электронның шыгу $A_{\text{шыгу}}$ жұмысына және оның $E_k = \frac{m_e v^2}{2}$ кинетикалық энергиясына жұмсалады:

$$\nu = A_{\text{шыгу}} + \frac{m_e v^2}{2}. \quad (6.2)$$

Бұл өрнек *Эйнштейн формуласы* деп аталады. Мұндағы m_e – босап шықкан электронның массасы, v – оның жылдамдығы, h – Планк тұрақтысы, ν – жұтылған фотонның жиілігі, $A_{\text{шыгу}}$ – электронның шығу жұмысы.

4. Эйнштейн формуласынан фотоэффект құбылысының туу шартын анықтауга болады. Фотоэффект құбылысы мына шарт орындалсаға байқала бастайды:

$$\nu_0 \geq A_{\text{шыгу}}. \quad (6.3)$$

Эйнштейн формуласынан туындастын бұл шарт бойынша электронның шығу жұмысы жарықтың v жиілігіне немесе $\lambda = c/v$ толқын ұзындығынаға байқалады. Түскен жарықтың жиілігі тек белгілі бір v_0 шамага жеткенде байқалады. Түскен жарықтың жиілігі бұл шамадан кіші болса ($v < v_0$), онда энергияның аздығынан электрон металл бетінен босап шыға алмайды, яғни фотоэффект байқалмайды.

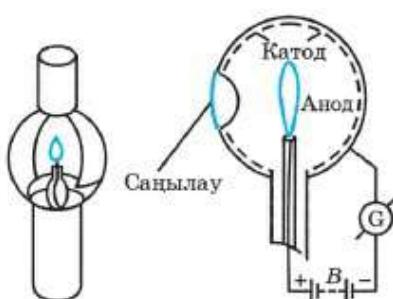
Фотоэффект байқалатын жарықтың ең аз шекті жиілігін немесе оған сәйкес келетін толқын ұзындығын фотоэффектінің қызыл шегарасы деп атайды.

Әр зат үшін фотоэффекттің қызыл шегарасы әртүрлі. Мысалы, мырыш үшін фотоэффект тудыратын жарық толқынының ұзындығы (қызыл шегарасы) 370 мкм, калий үшін 450 мкм, натрий үшін 680 мкм т.с.с. (форзаңтағы қосымшаны қарандар).

Эйнштейн формуласының мағынасы мынаған саяды: электронның шығу жұмысы мен кинетикалық энергиясы тек түскен жарықтың жиілігімен (толқын ұзындығымен) ғана анықталады. Олар жарық ағынының қуатына, яғни жарықты таситын фотондардың санына төуелді емес. Электрондардың босап шығуы, тек металл бетіне түсетін жарықтың жиілігі жоғары болған сайын немесе толқын ұзындығы кеміген сайын $\left(\lambda = \frac{1}{v}\right)$ арта түседі. Бұл қорытынды тәжірибе нәтижесімен де дәлме-дәл келеді. Фотоэффект құбылысы – жарықтың бөлшектік қасиетінің айрагы. Сонымен, жарық кейде толқын түрінде, кейде бөлшек – корпұскула (фотон) түрінде көрініс береді.

Жарықтың толқындық және бөлшектік қасиеттерінің бірлігі – табиги заңдылық. Бұл бірлікті **жарықтың корпұскулалық-толқындық дуализмі** деп атайды. Дуализм барлық элементар бөлшектерге тән құбылыс.

5. Фотоэффект құбылысына негізделіп жасалған құралды фотоэлемент дейді, ол техникада көптең қолданылады.



Сурет 6.7. Фотоэлемент

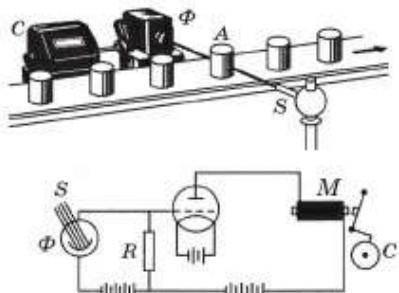
Ең алғашқы фотоэлементтің сыртқы түрі мен құрылышы қаралған болатын (сурет 6.7). Мысал ретінде өнімдерді фотоэлемент жәрдемімен санайтын құрылғыларды атауга болады. Ауасы сорып алынған шыны баллонның ішкі беті (сөүле түсетін санылаудан басқасы) жарық сезгіш қабатпен қапталған. Бұл қабат катод (ұзік сызықпен көрсетілген) қызметін, ал анод қызметін баллон ішіне бекітілген сым сақина атқарады.

Анод тұрақты ток көзінің (батареяның) оң полюсімен, ал катод тेңіз полюсімен жалғасқан. Санылаудан жарық түскенде, катод бетінен электрондар жұлынып шығып, анодқа қарай қозғалады да, тізбекте ток пайда болады. Оны *G* сезгіш гальванометр көрсетеді. Сырттан жарық түспесе, электрондар ағыны тоқталады да, тізбектегі ток үзіледі.

6. Фотоэффект өндірісте, түрмистық техникада және гарыш аппараттарында кең қолданылады. Оның дәстүрлі қолданылатын орындары фототелеграф (кескіндерді сым арқылы алысқа беру), теледидар және дыбысты кино болып табылады.

Сонымен қатар фотоэлементтер өндірісті автоматтандыруда айрықша рөл атқарады. Сурет 6.8-де санағыш тетікті жұмысқа қосып отыратын фотоэлементтік релеңің сұлбасы көрсетілген: Φ – фотоэлемент, S – жарық көзі, C – санағыш тетік, A – саналатын бүйім, M – электромагнит. Фотоэлементтердің қолданатын реле (айрығыш) фотореле деп аталады.

Суреттен көріп отырганымыздай, A нәрсе сөүле жолына тап болғанда, тізбегеге ток үзіледі. Ал нәрсе сөүле жолынан өткен соң фотореле токтың қайтадан қосып, санағыш тетік өрбір нәрсе сөүле жолынан өткен сайын оларды тіркеп, санақтан өткізіп отырады.



Сурет 6.8. Санагыш құрал

Сұрақтар

1. Фотоэффект деп қандай құбылысты айтады? Оның ашылуы қандай тәжірибелеге негізделген?
2. Фотоэффект құбылысының электромагниттік толқындық теорияға сүйеніп түсіндіруде қандай қайшылықтар туды?
3. Фотоэффект құбылысының сүйеніп жарықтың электромагниттік толқындық табиғатын теріс деуге бола ма? Неге?
4. А. Эйнштейн фотоэффект құбылысының түсіндіру үшін қандай жолды таңдап алды?
5. Фотоэффект туралы Эйнштейн формуласы қалай жазылады және қалай оқылады? Электронның шығу жұмысы дегеніміз не?
6. Фотоэффект құбылысының басталу шарты қандай? Фотоэффекттің қызыл шегарасы деп нені айтамыз?
7. Фотоэффект жарықтың қандай қасиетін сипаттайты? Жарық дуализмі дегеніміз не?
8. Фотоэффект қайда қолданылады? Фотореле деп нені айтамыз және ол қандай қызмет атқарады?
9. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шыгару жолын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалдары

1-есеп. Электронның белгісіз материал бетінен шығу жұмысы $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Егер материал бетіне толқын ұзындығы $0,589 \text{ мкм}$ болатын сөүле түссе, фотоэффект байқала ма?

<i>Берілгені</i>
$A_{\text{шығу}} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
$\lambda = 0,589 \text{ мкм} \approx 0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$E_0 - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Сөүле фотонының энергиясы Планк формуласымен анықталады: $E_0 = h\nu$, мұндағы $\nu = \frac{c}{\lambda}$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$;
 $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$.

Планк формуласына сөүленің ν жиілігінің $\frac{c}{\lambda}$ шамасын қойып, оның энергиясын анықтаймыз: $E_0 = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$.

$$\text{Шешуі: } E_0 = h \frac{c}{\lambda} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{0,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}} = 3,3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Жауабы: фотоэффект байқалады, өйткені $E_0 > A_{\text{шығу}}$.

2-есеп. Цезийден жасалған катодқа сөүле түсіргенде, жылдамдығы 500 км/с-қа жететін электрондар ұшып шығады. Катодқа түсірілген сөүле фотонының энергиясы мен толқын ұзындығы қандай? Цезий үшін электрондарды шығару жұмысы: $1,9 \text{ эВ} = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

<i>Берілгені</i>
$v = 500 \text{ км/с} = 5 \cdot 10^5 \text{ м/с.}$
$A = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$
$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
$E - ?, \lambda - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Эйнштейннің формуласы бойынша фотонның $E = h\nu$ энергиясы электронды металдан шығару жұмысына жұмсалады, ал артығы электронға кинетикалық энергия береді:

$$E = h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

мұндағы $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – сөүленің жиілігі. Ендеше,

$$h \frac{c}{\lambda} = A + \frac{mv^2}{2} \quad (m – \text{электрон массасы}). \quad \text{Бұдан: } \lambda = \frac{hc}{A + \frac{mv^2}{2}}.$$

$$\text{Шешуі: } E = A + \frac{mv^2}{2} = 3,04 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} + \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 25 \cdot 10^{10} \text{ Дж}}{2} = 4,18 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$\lambda = \frac{hc}{A + \frac{mv^2}{2}} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{4,18 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}} = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Жауабы: $E = 4,18 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}; \lambda = 4,7 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$



Жаттығу 6.3

- Калий үшін электронның шығу жұмысы 1,92 әВ. Калий үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы қандай?
- Тантал үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы $\lambda = 0,2974$ мкм. Электронның танталдан шығу жұмысын анықтаңдар.
- Фотоэлектрондардың максимал жылдамдығы 3000 км/с болу үшін платина бетіне қандай жиіліктегі сөүле түсү керек? Платина үшін шығу жұмысы 6,3 әВ.
- Энергиясы 4,5 әВ болатын жарық квантты металдың бетінен электронды ұрып шығарады. Металл бетінен ұшып шықкан электронның ең үлкен табіліс күшінің импульсы қандай?
- Ақ жарық дисперсиясының корінетін ең шеткі түсті сөулелерінің толқын ұзындықтары $\lambda_{\text{уза}} = 0,4$ мкм; $\lambda_{\text{кам}} = 0,76$ мкм. Олардың фотондардың энергиялары қандай?
- Жарық көзі $1 \text{ с-те } 5 \cdot 10^{20}$ фотон шығарады. Жарық көзі сөүлесінің толқын ұзындығы 99 мкм болса, оның қуаты қанша болады?

§41.

РЕНТГЕН СӨУЛЕЛЕРІ

1. 1895 жылы неміс ғалымы В. Рентген ауасы сорылған тұтіктердегі электр тогын зерттеу үстінде ерекше сөулелердің пайда болатынын байқаган. Бұл сөулелер көзге көрінбейді, бірақ кейір заттарда жарқыл туғызады және жабық фотография пластинкасын қарайтады. Осы екі қасиетіне қарай бұл ерекше сөулелерді Рентген *X-сөулелер* деп атады (сурет 6.10). Бұл сөулелер кейінірек оны ашқан ғалымның құрметіне *рентген сөулелері* деп аталатын болды.

Рентген сөулелері де электромагниттік сөулелерге жатады. Жиілігі бойынша рентгендік сөулелер ультракүлгін сөулелер мен гамма-сөулелердің аралығында орналасқан.

2. Жарық фотондары металдардағы электрондармен соқтырысқанда, оларды жұлдып шығарып, фотоэффект құбылысын туғызатынын білдік. Ал, керісінше, сыртқы электрондар үлкен жылдамдықпен металга согылса, онда қандай құбылыс байқалар еді? деген сұрақ туындайды. Бұл сұрақтың жауабы рентгендік сөулелердің пайда болуын түсіндіруге жәрдемдеседі.

Кванттық пайымдау бойынша электрон үлкен жылдамдықпен металл атомына соғылғанда, оның ядроның негұрлым жақынырақ деңгейлердегі электрондарын жұлып шығарады. Сейтіп, босаған электрондардың орнына ядродан алышырақ энергетикалық деңгейлерде орналасқан электрондар ауысады. Электрондардың m энергетикалық деңгейден n энергетикалық деңгейге өтуі кезінде атомның ішкі энергиясы $\Delta E = E_m - E_n$ шамасына кемиді. Атом кеміген энергия есебінен энергиясы $\Delta E = E_m - E_n = h\nu_{mn}$ болатын фотондар ағынын шығарады. Осы фотондар ағыны жиілігі үлкен *рентгендік сәулелер* болып табылады. Мұндағы ν_{mn} – рентген сәулесінің жиілігі.

3. Рентгендік сәулелердің пайда болуын классикалық электромагниттік теория негізінде де түсіндіруге болады. Жылдам электрондар металл атомдарына соғылғанда, олар ядроларды қоршаган электрондың қабаттардың кулондық өрістерімен өзара өрекеттесуі салдарынан төжеледі. Тежелу барысында жылдам электрондар біраз мөлшерде кинетикалық энергияларынан айырылады:

$$\Delta E = E_1 - E_2.$$

Мұндағы E_1 және E_2 – электронның әртүрлі күйлеріндегі кинетикалық энергиялары, ΔE – электронның жоғалтқан энергиясы. Бұл энергия рентгендік сәулелер фотонының энергиясына түрленеді:

$$\Delta E = h\nu.$$

Рентгендік сәулелердің пайда болуы туралы кванттық көзқарас пен классикалық электромагниттік көзқарас бұл арада бір-біріне қайшы келмейді. Айырмашылық тек мынаган саяды: *электромагниттік теория электрондардың тежелуі барысында туындастырылған сәулелену* цәдікесіз шығады деп түсіндіреді, ал *кванттық теория сәулелер* үзілісті шығады, яғни оны $h\nu$ дискреттік энергиясы бар жекелеген фотондар ағыны шығарады деп есептейді.

4. Рентгендік сәулелер мәлдір емес денелердің көпшілігінен опояй өтіп кетеді. Заттың тығыздығы жоғарылаған сайын, рентгендік сәулелердің өтімділігі кеми түседі. Мысалы, рентгендік сәулелердің қалындығы 5–10 см алюминий пластинкасынан бөгелмей өтетін болса, ал қалындығы 1 см қорғасын пластинкасында толығымен жұтылады. Сонымен қатар олар заттарда химиялық өзгерістер түгизады (мысалы, фотоқағазды қарайтады). Рентгендік фотосуреттер алу осы құбылысқа негізделген.

Рентгендік сәулелердің денелерден өту қасиеті практикалық мақсатта кеңінен пайдаланылады. Медицинада рентгендік сәулелер ауруға

диагноз қою үшін қолданылады. Мысалы, рентгендік сәулелер сынған сүйекті, адам денесіндегі бөгде заттарды (оқты, инені, шегені т.б.), іш құрылышындағы кеселді анықтауды жеңілдетеді (сурет 6.9). Рентгендік сәулелерді қолдану арқылы өндіріс пен түрмиста қолданылатын жабдықтар мен бұйымдардың ішкі ақауларын, қыстар мен жарықшақтарын табуға болады. Рентгендік сәулелердің етімділік қабілетін, химиялық әрекетін, энергияны тасымалдаш жеткізу мүмкіндіктерін сырқат органдарды емдеу үшін кеңінен қолданады.

Сонымен қатар рентгендік сәулелердің тірі организмге тигізетін за- лалын да білу қажет. Рентгендік сәулелердің әсерінде ұзақ болу өте зиян. Теледидар және компьютер мониторының экрандарына электрондар ағыны соғылғанда да рентгендік сәулелер пайда болады. Мұндай құралдардың қасында өте жақын өрі ұзақ отыру деңсаулыққа нұксан келтіретінін естен шығармау керек.

5. Рентгендік сәулелер рентгендік түтіктер деп аталатын арнаулы қондырғыда алынады (сурет 6.10). Ауасы сорып алынған түтіктің ішіне анод пен катод орналастырылған. Оларға бірнеше мың вольт $U_{ак}$ кернеу беру арқылы электродтардың арасында күшті электр өрісін түркізуға болады. Мұндай өріс U айнымалы токпен қызған катодтан ұшып шықкан электрондарды

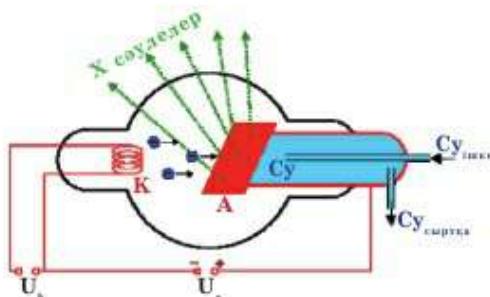
үлкен жылдамдықпен анодқа қарай үдете қозғайды. Электрондар ағындарының анод атомдарымен соқтырысын нәтижесінде рентгендік X-сәулелер пайда болады.

Зарядталған бөлшектерді бір нүктеден екінші нүктеге дейін қозғалту үшін электр өрісі жұмыс атқарады. Ол жұмыс өріс нүктелері арасындағы кернеу ($U_{ак}$) мен белшек зарядының (q) көбейтіндісіне тең болатынын 8-сынып физикасынан білеміз:

$$A = qU_{ак}. \quad (6.4)$$



Сурет 6.9. Рентгендік бейне-суреттер



Сурет 6.10. Рентген түтігі

Электрондарды рентгендік тұтіктерде немесе *ұдеткіштер* деп аталатын қондырыларда үдеть құпиясы электр өрісінің атқаратын жұмысы арқылы түсіндіріледі. Расында да, өрістің істейтін жұмысы есебінен электронның кинетикалық энергиясы еседі, яғни жылдамдығы артады:

$$A = eU_{ax} = \frac{m_e v^2}{2}. \quad (6.5)$$

Мұндағы U_{ax} – электродтарға түсірілген кернеу, v – электронның жылдамдығы, m_e – электронның массасы, e – электронның заряды.



Сұрақтар



- Рентгендік сөулелердің табигаты қандай? Оның басқа сөулелермен салыстыргандағы ұқсастығы және айырмашылығы неде?
- Рентген сөулелерінің пайда болуын қалай түсіндіреміз?
- Рентген сөулелерінің оң және теріс қырларын сипаттаңдар.
- Рентгендік тұтікшениң және зарядталған бөлшектердің ұдеткіштердің жұмысы істеу принципі қандай физикалық құбылысқа негізделген?
- Рентгендік астрономияның астрофизикалық зерттеулердегі мәнділігін немен түсіндіруге болады?
- Төмендегі мысалда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Егер рентгендік сөулелердің ең үлкен жиілігі 10^{19} Гц болса, онда рентген тұтігі қандай кернеуде жұмыс істейді?

Берілгені
$v = 10^{19}$ Гц
$U = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Рентген тұтігінде катод пен анод арасындағы электр өрісінде үдей қозгалатын электрон өрістің істейтін жұмысы есебінен ($A = W_e$) мына энергияны қабылдайды: $W_e = e \cdot U$, мұндағы $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – элементар заряд деп аталатын электронның заряды, U – рентген тұтігіндегі электродтарға берілген кернеу.

Егер электрон анод бетімен соқтығысып тежелгенде өзінің барлық энергиясынан айырылса, онда ол энергия тұтастай $E_0 = h\nu$ фотон энергиясына айналады. Бұл жағдайда жиілігі ең жоғары, яғни «қатаң» рентгендік сөулелер шығады. Сонымен,

$$eU = h\nu, \text{ бұдан } U = \frac{h\nu}{e},$$

мұндағы $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с. Формулаға енетін барлық шамалар Халықаралық бірліктер жүйесінде (ХБЖ) берілген, ендеше кернеудің өлшем бірлігі де осы жүйе бірлігінде, яғни *вольтпен* өлшеді.

$$\text{Шешуи: } U = \frac{hv}{e} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 10^{10} \text{ Гц}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 41000 \text{ В} = 41 \text{ кВ.}$$

Жауабы: $U = 41 \text{ кВ.}$

2-есеп. Егер рентгендік түтіктे электрондарды үдететін кернеу 50 кВ-ка жетсе, рентгендік сөулелердің ең қысқа толқын ұзындығы қандай?

Bерілгені
$U = 50 \text{ кВ} = 5 \cdot 10^4 \text{ В}$
$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
$\lambda - ?$

Eсеп мазмұнын талдау

Рентгендік түтіктегі электр өрісінің электронды үдету кезінде істейтін жұмысы $A = e (\phi_1 - \phi_2) = eU$ толығынан электронның E кинетикалық энергиясына айналады.

Электрон антикатодқа соғылғанда оның энергиясы түгелдей рентгендік фотонның $E = hv$ энергиясына айналды деп есептейміз: $eU = hv$. Мұндағы e – электронның заряды; $v = \frac{c}{\lambda}$ ($c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – жарық жылдамдығы); $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – Планк тұрақтысы. $eU = hv$ болғандағанда сөулелердің v жиілігі ең үлкен шамага, ал λ толқын ұзындығы, керісінше, ең қысқа шамага жетеді.

Сонымен, жоғарыдағы тепе-теңдікке жиіліктің $v = \frac{c}{\lambda}$ мәнін қойып, рентген сөүлесінің ең қысқа толқын ұзындығын анықтаймыз:

$$eU = hv = \frac{hc}{\lambda}, \text{ бұдан } \lambda = \frac{hc}{eU}.$$

$$\text{Шешуи: } \lambda = \frac{hc}{eU} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ В}} = 0,25 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,25 \text{ } \overset{\circ}{\text{А}}$$

Жауабы: $\lambda = 0,25$ ангстрэм.



Жаттығу 6.4

- Егер рентгендік түтіктің электродтарының арасындағы кернеуді өзгертпей, катод қылышың қызуын арттырысак, онда рентгендік сөулелердің қатаандығы (жиілігі) өзгерे ме? Неге?
- Егер рентгендік түтік 150 кВ кернеуде жұмыс істесе, онда электронның кинетикалық энергиясы неге тең болар еді?

3. Егер рентген түтігінің анодтық кернеуі 30 кВ болса, онда рентген сәулесінің ең қысқа толқының ұзындығы қандай болады?
4. Рентген сәулелерінің спектріндегі ең кіші толқының ұзындығы 1 нм болса, онда анодқа согылатын электронның жылдамдығы қандай болады?
5. Тежелу рентгендік сәулесінің спектріндегі ең қысқа толқынның ұзындығы 15,5 пм болса, онда рентген түтігі қандай кернеуде жұмыс істейді?

§42.

**РАДИОАКТИВТІЛІК.
РАДИОАКТИВТІ СӘУЛЕЛЕНУДІҢ ТАБИГАТЫ**

1. Атомдар, ертедегі грек галымдарының болжағанындей, заттардың химиялық қасиетін сақтайдын ең кішкентай белігі. Алайда атом бөлінбейтін бөлшек деген олардың пайымдаулары XX ғасырдың басында тәжірибе жүзінде теріске шығарылды.

Иондалған атомдар зарядтарының дискреттілігі, жылулық сәуле шыгару, фотоэффект, рентгендік сәулелер, электронның ашылуы және басқа да құбылыстар атомның құрылымы күрделі екенін айғақтайды.

Расында да, атом оң зарядты ядродан және теріс зарядты электрондардан тұратынын ағылшының ұлы галымы Резерфорд пен оның шекірттері эксперимент жүзінде дәлелдеді. Ол туралы келесі параграфта толық айтылады. Бұл арада сөз атомның өзі ғана емес, тіпті оның ядроның да құрылымы күрделі екенін айғақтайтын *радиоактивтік құбылыс* туралы болады.

2. XIX ғасырдың аяғында (1896 ж.) француз галымы Беккерель табиғаты ерекше тағы бір сәулеге тап болды. Менделеев кестесінің соынна қарай орналасқан уран элементінің өз-өзінен көзге көрінбейтін бөлшектер мен сәулелерді шығарып жататыны анықталды.

1898 жылы Пьер Кюри және Мария Склодовская уран кенинен екі жаңа химиялық элемент *радий* мен *полоний*ді бөліп алды. «Радий» сөзі гректің radiare – «сәулелену», «сәуле шыгару» деген сөзінен алғынған, ал «полоний» сөзі поляк қызы М. Склодовскаяның құрметіне берілген. Бұл екі элементтің ерекше сәуле шыгару белсенділігі уранға қарағанда бірнеше мың есе артық болып шықты.

Радий немесе уран сияқты өздігінен ерекше сәуле шыгарып тұратын химиялық элементтерді радиоактивті элементтер деп атайды.

Радиоактивті элементтердің ерекше сәуле шыгаруын радиоактивті сәулелену дейді.

Радиоактивті элементтердің шығаратын сәулесін магнит өрісінде зерттегендеге, оның үш түрге жіктелетіні белгілі болды (сурет 6.11). Оларды *альфа*-*, бета*- және *гамма*-сәулелер дейді де, гректің α , β , γ өріптерімен белгілейді. Альфа- және бета-сәулелерінің магнит өрісінде қарама-қарсы бағыттарға бұрылуы, олардың оң және теріс зарядты бөлшектер екенін аңғартты. Шынында да, β -сәуле дегеніміз теріс зарядты электрондар, ал α -сәуле дегеніміз он зарядталған бөлшектер ағыны болып шықты. Сондықтан оларды кейде α - және β -бөлшектері деп те атайды. Оның үстінен, β -бөлшектің массасы α -бөлшектің массасына қарағанда мындаған есе кіші екені, олардың магнит өрісіндегі бұрылу бұрыштарын салыстыру арқылы анықталады. Кейінірек α -бөлшегінің гелий атомының ядросы екені белгілі болды.

Гамма-сәуле магнит өрісінде өзінің алғашқы бағытын өзгертуейді. Ол жиілігі рентгендік сәуле жиілігінен де жоғары ең қысқа толқынды электрмагниттік сәулелер ағыны болып табылады. Сондықтан гамма-сәуленің денелерден өтімділігі рентгендік сәулелердің интенсивтілігін де артық.

Радиоактивтік – атомдардың гана емес, олардың ядроларының да күрделі құрылымын айқақтайтын бірден-бір құбылыш. Жоғарыда айтылған радиоактивті элементтердің шығаратын сәулелері атом ядросы ыдырауының нәтижесі болып табылады.

Кейір химиялық элементтердің ядроларының α , β және γ -сәулелерін шыгару құбылышын радиоактивтік, ал сәулелердің өздерін радиоактивті сәулелер деп атайды.



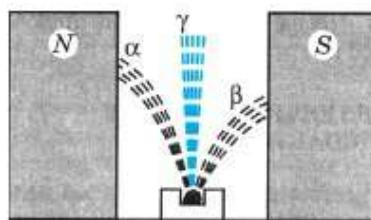
Сұрақтар

- Атомның күрделі құрылым екенін көрсететін қандай эксперименттік нәтижелерді білесіңдер?
- Радиоактивті элемент және радиоактивті сәулелену дегеніміз не?
- Магнит өрісінің радиоактивті сәулелерді зерттеудегі рөлі қандай?
- Радиоактивтік дегеніміз қандай құбылыш?



Жаттығу 6.5

- Зарядталған бөлшектердің ауыткуы 6.11-суретте көрсетілгендей болу үшін магнит өрісінің индукция векторы қалай бағытталуы керек? Мұндай жағдайда бөлшектерге қандай күш өрекет етеді?
- Радиоактивті препаратты не себепten алюминий контейнерлерде емес, қалың қабырғалы қорғасын контейнерлерде сақтайды?



Сурет 6.11.
Радиоактивті сәулелер



Теориялық зерттеу

1. Электромагниттік толқындар шкаласындағы мәліметтерді пайдаланып, радиоактивті заттардан шығатын гамма сөүлесінің энергиясын анытандар да, оны рентген және ақ жарықтың энергияларымен салыстырып, корытынды жасаңдар.
2. Зарядтардың, тогы бар өткізгіштің магнит өрісіндегі қозғалысы туралы 8-сынып физикасындағы білімдерінді еске түсіріп, қайталап оқындар.

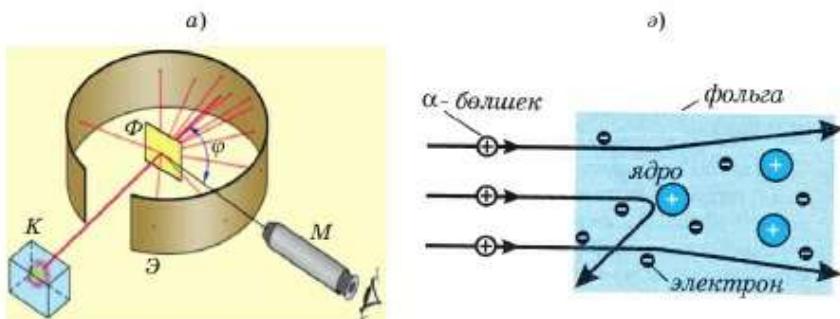
§43.

РЕЗЕРФОРД ТӘЖІРИБЕСІ. АТОМНЫҢ ҚҰРАМЫ

1. XX ғасырдың басында ғалымдардың алдына мынадай мәселелер қойылды: атом құрделі болса, оның құрамы қандай? Атом қандай бөлшектерден тұрады және олар қалай орналасқан?

Бұл сұрақтардың жауабы эксперименттік және теориялық зерттеу нәтижесінде табылды. Атом құрылышы туралы қазіргі көзқарастың қалыптасуына α -бөлшектердің өте жұқа металл үлпасынан өтуін зерттеген Резерфорд тәжірибесінің маңызы өте зор болды.

1911 жылы Эрнест Резерфорд және оның шәкірттері α -бөлшектерінің өте жұқа алтын және платина үлпаларынан өтуін зерттеді (сурет 6.12).



Сурет 6.12. Резерфорд тәжірибесінің сұлбасы

K контейнердегі радий элементі α -бөлшектерін шығарады. Саңылаудан өткен α -бөлшектері жолына қойылған алтын үлпасына (фольгасына) жеткен кезде олардың біразы алғашқы бағытын өзгертіп, ϕ бүрышына

шашырайтыны белгілі болды. Кейбір бөлшектердің, сирек те болса, тік-бұрыштан да үлкен бұрыштарға бұрылатыны экранда анық байқалды.

2. Бөлшектердің жұқа металл жарғақшаларынан шашырауын зерттей отырып, Резерфорд атом массасы үлкен оң зарядталған ядродан және теріс зарядталған жеңіл электрондардан тұрады деген қорытынды жасады. Расында да, массасы аса үлкен және атомның өте шағын көлемін алатын белігі ғана α -бөлшектерінің кейде үлкен бұрышпен көрі шашырауына себепкер болады. Оның үстінен атомның бұл кішкене белігінің заряды оң, ал массасы α -бөлшектің массасына қарағанда тым үлкен болуға тиіс (сурет 6.12, ә). Сонда ғана оң зарядты α -бөлшектер сирек те болса, үлкен бұрыштарға бұрыла алады. Ал электрондардың зарядтары теріс, массалары өте аз болғандықтан, массасы үлкен α -бөлшектердің бағытын өзгертуге олардың ықпалы онша болмайды.

3. Көптеген тәжірибе нәтижесін талдай келіп, 1911 жылы Резерфорд Күн жүйесіне үқсас атомның планетарлық моделін ұсынды. Ондай модель бойынша атом оң зарядталған ядродан және оны айналыш жүретін теріс зарядты электрондардан тұрады (сурет 6.13). Ядро тенірегіндегі мұндай электрондарды орбиталық электрондар деп атайды, ал олардың жиынын электрондық қабықша дейді.

Ядро атом көлемінің өте кішкене орталық белігін алғып тұрады. Ядроның диаметрі $10^{-12} - 10^{-13}$ см, ал атомның диаметрі 10^{-8} см шамасында. Егер атомның көлемін футбол алаңының аумағына дейін үлкейтетін болсақ, атом ядросының көлемі футбол алаңының ортасында түсіп қалған шие дәніндегі ғана болар еді.

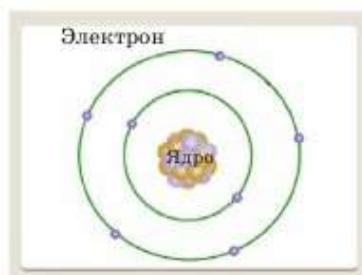
Фалымдардың зерттеуі бойынша, атом ядроларының заряды:

$$q_a = +Z \cdot e \quad (6.6)$$

шамасына тең. Мұндағы Z – Менделеев кестесіндегі элементтің реттік саны, e – экспериментте анықталған зарядтың ең аз мөлшері, оны «элементар заряд» деп атайды.

Ядро зарядының бүтін Z санына еселеңетіні оның біртұтас бөлшек емес, бірнеше бөлшектерден тұратынын аңғартады. Расында да, атомның өзі сияқты оның ядросы да құрамдас бөлшек болып шықты.

Ядроның құрамына кіретін оң зарядты бөлшектердің протондар деп атайды.



Сурет 6.13. Атомның планетарлық моделі

Бейтарап (нейтраль) атом ядроның оң зарядын орбиталдық электрондардың теріс заряды теңгеріп тұрады. Сондықтан электрондың қабықшадагы теріс зарядтардың қосындысы кері таңбамен алғынган ядро зарядына тең:

$$q_s = -Z \cdot e. \quad (6.7)$$

Жоғарыдағы (6.6) және (6.7) өрнектерінен мынадай қорытынды шығады:

– *әрбір электронның немесе протонның зарядын бір элементар заряд деп атайды ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл);*

– *кез келген элемент атомының ядроныңдағы протондар саны сол элементтің Менделеев кестесіндегі Z реттік санына тең болады.*

Мысалы, сутектің кестедегі реттік саны бірге тең ($Z = 1$), ендеше оның ядронында бір гана протон бар. Олай болса, бір протон бір оң элементар зарядты иеленеді. Сондықтан сутек атомының жалғыз электроны да бір теріс элементар зарядты иеленеді. Уранның реттік саны $Z = 92$ болғандықтан, оның ядронында 92 протон бар.

Сондықтан бейтарап уран атомының ядроның заряды 92 элементар зарядқа тең ($q_s = 92 \cdot e$). Ендеше, уран ядронын айнала қоршаган 92 электронның да зарядтары қарсы таңбамен алғынган осыншама зарядқа тең ($q_s = -92 \cdot e$).



Сұрақтар

1. Резерфорд тәжіриbesінің мәнділігі қалай сипатталады?
 2. Атом қандай бөлшектерден тұрады?
 3. Атомның планетарлық моделі дегеніміз қандай құрылым?
 4. Протонның, электронның және атом ядроның зарядтары неге тең?
- Атомның және оның ядроның мөлшері туралы не білесіндер?



Жаттығу 6.6

1. Бейтарап бор элементінің атомында қанша протон, қанша электрон бар?
2. Бейтарап көміртек элементінің атомындағы бөлшектердің зарядтары бар ма? Бар болса шамалары қандай?
3. Атомның құрамында 15 протон, 13 электрон бар. Бұл қандай химиялық элементтің атомы? Бұл атомның заряды бар ма? Бар болса, ол қандай заряд? Шамасы қанша?
4. Зарядталған жазық конденсатордың астарларының арасындағы газдың бейтарап екі атомы соқтығысып, біреуі екі электронынан айырылды.

Босаган электрондардың бірін екінші атом өзіне қосып алды. Жеке қалған электрон және пайда болған иондар конденсатордың электр өрісінде қалай қозгалады? Суреттерін салып түсіндіріңдер.

- Босаган электрондардың бірін екінші атом өзіне қосып алды. Жеке қалған электрон және пайда болған иондар конденсатордың электр өрісінде қалай қозгалады? Суреттерін салып түсіндіріңдер.
- Алдыңғы есептің шартында көрсетілген жеке электрон мен пайда болған екі ионның өркайсысы конденсатор астарларының арасында потенциалдар айырымы 10 В болатын аралықтан өтсе, онда оларды қозгалту үшін электр өрісі қаша жұмыс атқарған?

VI тараудагы ең маңызды түйіндер

- Планк гипотезасы: *абсолют қара дене жылулық сәулелердің үздіксіз шыгара да, жұта да алмайды; олардың қызметі (дискретті) цес – квант түрінде ғана шыгарады немесе жұтады. Сәулелер арқылы тарайтын ең кіші бір цес энергия квант деп аталады.*

- Энергияның ең кіші бір үлесі *Планк формуласымен* анықталады:

$$E_0 = h\nu,$$

мұндагы ν – сөуленің жиілігі, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – Планк тұрақтысы.

- Фотоэффект үшін *Эйнштейн формуласы*:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

мұндагы $h\nu$ – энергия квантты, A – электронның шыру жұмысы, m және v – шыққан электронның массасы мен жылдамдығы.

- Бейтарап *атомның ядросының заряды мен электрондарының заряды*:

$$q_a = +Z \cdot e,$$

$$q_e = -Z \cdot e,$$

мұндагы Z – элементтің Менделеев кестесіндегі реттік саны, e – элементар заряд.

VII ТАРАУ

АТОМ ЯДРОСЫ

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- ⇒ ядролық күштердің қасиеттерін сипаттау;
- ⇒ атом ядроның масса ақауын анықтау;
- ⇒ атом ядроның байланыс энергиясы формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ⇒ ядролық реакцияның тендеуін шешуде зарядтық және массалық сандардың сақталу заңын қолдану;
- ⇒ радиоактивті ыдыраудың ықтималдық сипатын түсіндіру;
- ⇒ радиоактивті ыдырау заңын есеп шығаруда қолдану;
- ⇒ тізбекті ядролық реакциялардың өту шарттарын сипаттау;
- ⇒ ядролық реактордың жұмыс істеу принципін сипаттау;
- ⇒ ядролық ыдырау мен ядролық синтезді салыстыру;
- ⇒ радиоактивті изотоптарды қолданудың мысалдарын көлтіру;
- ⇒ радиациядан қорғану әдістерін сипаттау.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсөтілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде үзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «ядролық күштер», «масса ақаулары», «байланыс энергиясы», «массалық сан, зарядтық сан», «массалық және зарядтық сандардың сақталу заңы», «радиоактивті ыдырау», «радиоактивті ыдырау заңы», «тізбекті ядролық реакция», «ядролық реактор», «ядролық ыдырау, ядролық синтез», «радиоактивті изотоптар», «радиациядан қорғану».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Ядролық күштер	Ядерные силы	Nuclear Forces
Масса ақауы	Дефект массы	Defect of masses
Байланыс энергиясы	Энергия связи	Binding energy
Массалық сан, зарядтық сан	Массовое число, зарядовое число	Mass number, charge number
Массалық және зарядтық сандардың сақталу заңы	Закон сохранения массового и зарядового чисел	The law of conservation of the mass and charge numbers
Радиоактивті ыдырау	Радиоактивный распад	Radioactive decay
Радиоактивті ыдырау заңы	Закон радиоактивного распада	The law of radioactive decay
Тізбекті ядролық реакция	Цепная ядерная реакция	Chain nuclear reaction
Ядролық реактор	Ядерный реактор	Nuclear reactor
Ядролық ыдырау, ядролық синтез	Ядерный распад, ядерный синтез	Nuclear decay, fission nuclear fusion
Радиоактивті изотоптар	Радиоактивные изотопы	Radioactive Isotopes
Радиациядан қорғану	Защита от радиации	Radiation protection

§44.

АТОМ ЯДРОСЫ. ЯДРОЛЫҚ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУ.
ЯДРОЛЫҚ КУШТЕР

1. Резерфорд 1920 жылы атом ядроның құрамына оң зарядталған протондардан басқа массасы үлкен бейтарап бөлшек «нейтрон» бар деп болжаган еді. 1932 жылы Резерфордтың шәкірті Д. Чэдвик ядро құрамына кіретін жаңа бөлшек **нейтронды** ашты. Енді кез келген элемент атомының ядроны екі түрлі бөлшектен протондар мен нейтрондардан тұратыны белгілі болды. Оларды жалпылап **нуклондар** деп атайды, ал тұтас ядроны **нуклид** дейді.

Ядродары протондар мен нейтрондардың жалпы санын *A* әрпімен белгілейді. *A* санын **массалық сан** деп атайды, ейткені атомының массасы, негізінен нуклидте (ядрода), яғни протондар мен нейтрондарда жинақталған. Расында да, әрбір протонның массасы электронның массасынан қарағанда 1836 есе, ал нейтронның массасы 1841 еседей үлкен.

Элементтердің ядроларын сол элементтердің периодтық кестедегі таңбаларымен белгілейді. Мысалы, сутек ядроны *H*, ал уран ядроны *U* таңбаларымен белгіленеді. *Нақты бір элементтің ядроларындағы протондар саны (Z) өзгермейді, нейтрондар саны әртүрлі болып кездеседі. Осыған сәйкес химиялық элементтің ядронындағы нуклондар саны (A) өзгеріп отырады.*

Элементтердің ядролары реттік санына қарай да, нуклондар санына қарай да бір-бірінен ажыратылады. Ядролардың осындай ерекшеліктерін дәл көрсету үшін олардың таңбаларының тәменгі жағына реттік нөмірі (*Z*), ал жоғарғы жағына нуклондар саны (*A*) жазылады. Мысалы, сутек ядроны ${}_2^1H$ немесе ${}_1^1H$ таңбаларымен, ал уран ядроны ${}_92^{235}U$ немесе ${}_92^A U = {}_{92}^{235}U$ таңбаларымен белгіленеді.

2. Химиялық элементтердің *Z* реттік санының да, *A* нуклондар санының да үлкен физикалық мағынасы бар. *Z* саны, яғни элементтің реттік нөмірі, сол элемент атомының ядронындағы протондардың санына тең. Ол арқылы ядроның заряды ($q_z = +Z \cdot e$) анықталады. Сондықтан *Z* санын **зарядтық сан** деп атайды.

Мысалы, гелий атомы ядронының (${}_2^4He$) заряды $q_z = +2e$, ал заряд саны $Z_{He} = 2$. Сутек атомы ядронының (${}_1^1H$) заряды $q_z = +1e$, заряд саны $Z_H = 1$. Уран ядронының (${}_92^{238}U$) заряды $q_z = +92e$, ал заряд саны $Z_U = 92$.

Нақты бір элемент атомының ядронындағы нуклондар саны *A* әртүрлі болып келеді дедік. Мысалы, сутек атомдарын алатын болсақ, олардың

ядроларындағы нуклондар саны 1, 2 немесе 3 болып келеді. Осыған сәйкес сутек атомының әртүрлі ядроларын былайша белгілейді: ^1H , ^2H , ^3H . Ал уранды алатын болсақ, оның ядроларындығы нуклондар саны көбінесе 238; 235; 233 болып кездеседі. Уран атомының әртүрлі ядроларын $^{238}_{92}\text{U}$, $^{235}_{92}\text{U}$, $^{233}_{92}\text{U}$ таңбаларымен белгілейді.

3. А массалық санмен Z заряд санын біле отырып, ядродагы N нейтрондар санын таба аламыз:

$$N = A - Z. \quad (7.1)$$

Кез келген атомның ядронындағы нейтрондар саны әртүрлі болғанымен протондар саны өзгермейді. Мысалы, сутек атомының әртүрлі ядронында 1 немесе 2 нейтрон бар. Көбінесе сутек ядроның қасында нейтроны жоқ жалғыз протоннан ғана тұрады. Уран атомын алсақ, оның ядронында кестедегі орнына сәйкес 92 протон бар. Ал оның әртүрлі ядронында 238 – 92 = 146 немесе 235 – 92 = 143, ал кейде 233 – 92 = 141 нейтрон болады.

Бір-бірінен тек нейтрондар санына қарай ажыратылатын бір элементтің әртүрлі ядроларын изотоптар деп атайды.

Мысалы, сутектің үш түрлі изотопы бар. Табиғатта жеңіл сутектің изотопы $^1\text{H}^1$ ете көп, ал ауыр сутектің изотоптары дейтерий $^2\text{H}^2$ сирек кездеседі және тритий $^3\text{H}^3$ кездеспейді.

Менделеев кестесіндегі әр элементтің изотоптарының химиялық қасиеттері бірдей, сондықтан оларды химиялық тәсілмен ажыратуға болмайды. Изотоптарды тек массалық сандарына қарай ажыратып, сезімтал құралдардың жәрдемімен бөліп алады. Протон мен нейтронның массалары бір-біріне шамалас болғандықтан, олардың массалық сандарын «1» деп алады. Ал электронның массасы протонның немесе нейтронның массасынан 1840 еседей кем болғандықтан, электронның массалық саны «нөлге тең» деп алғынады.

4. Көп жағдайда сутек атомның ядроны бір ғана оң зарядталған бөлшектен тұрады. Ол бөлшекті Резерфорд *протон* деп атады. Ядролық физикада оны 1_p таңбасымен белгілейді. Расында да, протонның массалық саны да, заряд саны да сутектің ^1H изотопына үқсас бірге тең ($A = 1, Z = 1$). Нейтронның массалық саны бірге, ал заряд саны нөлге тең болғандықтан, оны 0_n таңбасымен белгілейді. Атом құрамына кіретін үшінші бөлшек – электронның массалық саны нөлге тең, ал заряд саны, протон зарядының санындай, бірге тең, тек теріс таңбалы болады. Сондықтан оны 0_e таңбасымен белгілейді. Атомның құрамындағы *протонды, нейтронды және электронды элементтар* бөлшектер деп атайды.

5. Кез келген химиялық элемент атомының ядроны протондардан және нейтрондардан тұратынын білдік. Қөптеген тәжірибе бойынша атомының радиусы $R_a \approx 10^{-10}$ м, ал ядроның радиусы $R_n \approx 10^{-14} - 10^{-15}$ м шамасындағы. Мысалы, алюминий атомының радиусы $R_a \approx 2,6 \cdot 10^{-10}$ м, ал оның ядронының радиусы жуықташ алғанда $R_n \approx 4,5 \cdot 10^{-15}$ м.

Бұдан ядроның радиусы атомының радиусымен салыстырғанда $10^4 - 10^5$ еседей кіші болатынын көреміз. Демек, атомның азгана көлемінде протондар мен нейтрондар өте тығыз әрі берік орналасқан. Сонда бір-бірінен тебілетін оң зарядталған протондарды ядрода қандай құш үстап тұрады? Бұл жүмбақ құشتің тартылысы құші екені аян. Мүмкін, ол нуклондар арасындағы бүкіләлемдік тартылысы құші болар? Алайда нақты есептеулерге жүгінсек, оң зарядталған $q_1 = q_2 = e$ екі протонның арасындағы $F_k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{R^2}$ кулондық тебіліс құші, олардың ньютондық $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$ тартылысы құшінен 1036 есе үлкен болатынын көреміз. Ендеше, ядродагы нуклондарды шашыратпай үстап тұрган құш ньютондық гравитациялық құшке жатпайды. Олай болса, ядро аймагында нуклондарды үстап тұратын табиғаты белек алапат зор құشتің бар екендігі айқын.

6. Ядролық әрекеттесу құші электрлік және гравитациялық әрекеттесулердің заңдарына бағынбайтын табиғаты мүлдем өзгеше құш болып табылады.

Ядрода нуклондарды берік байланыста үстап тұратын құшті ядролық құш деп атайды.

Ядролық құшті сипаттайтын аналитикалық өрнек әлі табылған жок. Алайда тәжірибелерден **ядролық құштердің қасиеттері** туралы мынадай деректер жинақталды:

1) **Ядролық құштер – қысқа әрекетті құштер.** Өйткені ядролық құштердің әрекет аймагының радиусы нуклонның мөлшерімен (10^{-15} м) шамалас. Осыншама қысқа аралықта ядролық тартылысы құштері кулондық тербеліс құштерінен жүздеген есе артық болады. Ал алыс аралықтарда ядролық құш әрекеттесулерге қатыспайды.

2) **Ядролық құштер – зарядтарға тәуелсіз.** Ядролық құш зарядтардың бар-жорына, олардың таңбаларына тәуелді емес. Сондықтан ядродагы протондарды да, нейтрондарды да ядролық құштер біріктіріп үстап тұрады.

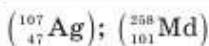
3) **Ядролық құштер – қаныққыш құштер.** Ядролық құштердің қанығу қасиеті олардың қысқа әрекеттігімен түсіндіріледі, яғни әрбір нуклон тек өз көршілерімен ғана әрекеттеседі.


Сұрақтар

- Ядро қандай бөлшектерден тұрады? Ядроны қалай белгілейді және оның массалық саны нені білдіреді?
- Ядроның заряд саны дегеніміз қандай сан? Оның физикалық мағынасы қандай?
- Нуклондар, нуклиидтер деп нені айтамыз?
- Изотоптар дегеніміз не? Изотоптарды қалай ажыратады және қалай белгілеп жазады?
- Атомның құрамындағы бөлшектерді қандай бөлшектер деп атайды және оларды қалай белгілейді?
- Ядролық күш дегеніміз қандай күш?
- Ядролық күштердің қасиеттері қандай?
- Төмөндеғі мысалдарда келтірілген есептердің шыгару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалдары

1-есеп. Күміс және менделевий атомдары ядроларының құрамы қандай?

Берілгені

$$(Z + N) = ?$$

Есеп мазмұнын талдау

Кез келген химиялық элемент атомының ядросындағы протондар саны сол элементтің Менделеев кестесіндегі реттік санымен (Z) анықталады. Ендеше, күміс атомының ядросында $Z_1 = 47$ протон (47p) бар, ал менделевий атомының ядросында $Z_2 = 101$ протон (101p) бар.

Ядролардағы нейтрондар санын мына өрнектен анықтаймыз: $N = A - Z$, мұндағы A – ядролардағы нуклондар саны. Күміс үшін $A_1 = 107$, менделевий үшін $A_2 = 258$. Күміс үшін $N_1 = 107 - 47 = 60$ нейтрон (60n), менделевий үшін $N_2 = 258 - 101 = 157$ (157n). Күміс ядросының құрамы $(Z_1 + N_1) = 47p + 60n$; Менделевий ядросының құрамы $(Z_2 + N_2) = 101p + 157n$.

Жауабы: $(47p + 60n); (101p + 157n)$.

2-есеп. Құрамы $79p + 118n$ болатын ядроны анықтаңдар.

Берілгені

$$79p + 118n$$

$${}_Z^A X - ?$$

Есеп мазмұнын талдау

Ядроның құрамы $A = Z + N$ өрнегі бойынша анықталады. Ендеше, $(79p + 118n)$ ядросы үшін $Z = 79$, $N = 118$, $A = 79 + 118 = 197$.

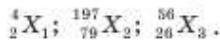
Шешуі: ${}_Z^A X = {}_{79}^{197}\text{Au}$. Бұл – алтын атомының ядросы.

Жауабы: алтын.

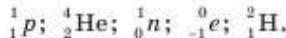


Жаттығу 7.1

1. Химиялық элементтердің Менделеев кестесін пайдалана отырып, төмөндегі ядролардың қандай элементтерге жататынын анықтаңдар:



2. Мына белгілеулерде қандай бөлшектер және қай атомдардың ядролары көрсетілген?



Олардың зарядтарын, массалық және заряд сандарын анықтаңдар.

3. Ядро гамма-кванттың шыгарса, онда химиялық элементтің массалық саны, массасы және заряд саны өзгере ме? Егер α -бөлшегі шықса қалай болады? Мысалдармен түсіндіріңдер.
4. Гелий ядронындағы екі протонның арасындағы тебілу күші қандай?
5. Сутек атомы ядронының радиусы $5 \cdot 10^{-16}$ м. Ядроның тығыздығы қандай? Ядроның тығыздығы темірдің тығыздығынан қашша есе көп?
6. Сутек атомының радиусы $0,5 \cdot 10^{-8}$ см, ал оның ядронының радиусы $5 \cdot 10^{-14}$ см шамасындаи. Егер ядроның мелшерін шие жемісінің өлшеміне ($r_1 = 1$ см) дейін ұлкейтсек, онда атомының радиусы қандай болар еді?



Ғылым мен техниканың даму тарихынан

Протондар мен нейтрондарды өте қысқа аралықта ұстал тұратын ядролық күштер табиғаттың іргелі күштері қатарынан орын алады. 1932 жылы нейтрон ашылғаннан кейін атом ядроның, Резерфорд болжагандай, он зарядты протондар мен «заряды жоқ» нейтрондардан тұратыны толық дәлелденді. «Протондар мен нейтрондарды аядай ғана ядрода қандай күштер және қалай ұстал тұрады?» деген сұрақтар туындағы. Бұн-дай сұрақтардың жауабын 1935 жылы 28 жасар Жапонияның жас түлегі Хидэки Юкава тапты.

Ол p протон мен π нейтронның арасындағы өзара байланыс олардың бір-бірімен π мезон деп аталған кішігірім бөлшектермен ядролық өрісте алма-кеzek алмасулары арқылы жүзеге асатынын теория жүзінде дәлелдеді: $p \leftarrow \pi \rightarrow p$. Мұндай байланыс екі шебер футболшының бір-біріне доп беріп, өзара берік байланыс жасағандарына ұқсайды. Юкава, сонымен қатар мезонның массасынан 200 еседей үлкен болатынын да болжады. Ол болжаган мезон 1947 жылы ғарыштан келетін саулелер арасынан табылды. 1949 жылы Юкавага ядролық күштерге арналған теориялық зерттеулері мен белгісіз мезон бөлшектерінің бар екендігін болжаганы үшін Нобель сыйлығы берілді.



Хидэки Юкава
(1907–1981)

§45.

МАССА АҚАУЫ. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ
БАЙЛАНЫС ЭНЕРГИЯСЫ

1. Ядролық физика элементар бөлшектердің қасиеттерін зерттейтін тылым болғандықтан, микроәлем үшін физикалық шамалардың ерте-ректе қалыптасқан бірліктерін пайдалану көнтеген қолайсыздықтар ту-дырады. Мысалы, ядроның және ондағы нуклондардың мөлшері мен мас-сасы туралы айтқанда, олардың радиустарын метрмен, ал массаларын килограмммен анықтау ұтымды болмайды. Сол сияқты нуклондардың да өзара әрекеттесу күшін ньютонмен, ал энергияларын джоульмен анық-тау тым қолайсыз. Сондықтан ядролық физикада, бірліктердің халық-аралық жүйесімен қоса, арнағы бірліктер де қолданылады. Оларға тө-менде көрсетілген қызындық, **масса және энергия** бірліктері жатады.

Ядролық физикада қызындық *бірлігі* ретінде **фемтометр** (fm) алы-нады: $1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ м}$. Бұл бірлік Италия физигі Э. Фермидің құрметіне **ферми** деп те аталады.

Атомдар, ядролар және элементар бөлшектер үшін **массаның бірлігі** ретінде **массаның атомдық бірлігі (м.а.б.)** қолданылады. Массаның атомдық бірлігі (м.а.б.) деп көміртек-12 изотопы атомы массасының $1/12$ бөлігін айтады:

$$1 \text{ м.а.б.} = 1,6605406 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Атом физикасында энергияның *бірлігі* ретінде **электрон-вольт (эВ)** алынады.

Бір электрон-вольт заряды $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл болатын электронның потенциалдар айырымы *бір вольт* ($\Delta\phi = U = 1 \text{ В}$) аралықтан өткенде өрістің істейтін ($A = eU$) жұмысына тәң.

$$1 \text{ электрон-вольт (1 эВ)} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

2. Атомдық ядролық физикада элементар бөлшектердің массаларының бірліктерін көбіне энергия бірлігімен атай береді. Оған масса мен энергия арасындағы пропорционалдық байланыстың ашылуы себеп болды. 1905 жылы А. Эйнштейн массасы m бөлшектің (жүйенің) және оның E_0 тыныштық энергиясының арасында тұра пропорционалдық байланыс барын ашты. Бұл байланыс мына формуламен өрнектеледі:

$$E_0 = mc^2, \quad (7.2)$$

мұндағы $c = 2,9979 \cdot 10^8 \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – вакуумдегі жарық жылдамдығы. **Эйнштейн формуласы** деп аталатын бұл өрнектен мынадай қорытынды туады: *егер белгілі бір жүйенің тыныштық энергиясы ΔE шамасы-*

на өзгерсе, онда оның массасы да $\Delta m = \Delta E_0/c^2$ шамасына пропорционал өзгереді. Бұдан:

$$\Delta E_0 = \Delta m c^2.$$

Мысалы, жүйе массасы $\Delta m = 1$ м.а.б. шамасына өзгергенде, оның ішкі энергиясы жуықтап алғанда $\Delta E = 931,5$ МэВ шамасына өзгеретінін көреміз:

$$1 \text{ м.а.б.} = 931,5 \text{ МэВ.}$$

Масса мен энергия арасындағы осындай байланысқа сүйеніп, микро-әлемдегі бөлшектердің массаларын энергия бірліктерімен (электрон-вольт, килоэлектронвольт, мегаэлектронвольт деп) атайды. Мысалы, электронның массасын $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг демей $0,511$ МэВ деп, протонның массасын $1,6724 \cdot 10^{-27}$ кг демей, $938,27$ МэВ деп жиі атайды.

3. Ядролар түрленгенде нуклондар жүйесіндегі ΔE энергия өзгерісі үлкен шамага жетеді. Сондықтан олардың Δm массасының өзгерісі де үлкен болады. Ондай масса өзгерісін есептеп қана қоймай, аса сезімтал құралдармен өлшеу де мүмкін болып отыр.

Ядроны құрайтын жекелеген нуклондардың массаларының қосындысы олардың ядроға біріккендегі массасынан артық болатынын эксперимент нәтижесі көрсетті:

$$M_a < (Zm_p + Nm_n).$$

Жеке бөлшектердің массаларының қосындысынан сол бөлшектерден құралған ядро массасын алып тастасақ, қалған Δm қалдық **масса ақауы** деп аталауды:

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - M_a, \quad (7.3)$$

мұндағы M_a – ядроның массасы, m_p мен m_n – протон мен нейтронның массалары, Z – протондар саны, N – нейтрондар саны.

Ядро массасының өзгерісін мына өрнекпен де анықтауга болады: $\Delta m = (ZM_n + NM_p) - M_a$, мұндағы M_n – сутек атомының тыныштық массасы, M_p – зерттейтін атомның тыныштық массасы.

Атомдардың ядролары түзілгенде пайда болатын масса ақауларын табу үшін форзацтагы қосымшаларда берілген кейбір бөлшектер мен элементтердің бейтарап атомдарының тыныштық массалары мен энергияларын пайдаланады.

Масса ақауының пайда болуы былайша түсіндіріледі. Ядроға бірігу барысында бөлшектер жоғары энергетикалық күйден төменгі энергетикалық күйге ауысады да, біраз энергия босап шығады. Энергетикалық күйлердің айырымы ретінде босап шыққан ($E_1 - E_2 = \Delta E = h\nu$) сөүлелік энергия сыртқы ортага тарайды. Кванттық сөүлеленуге шығындалған ΔE энергия ($\Delta E = \Delta m c^2$ өрнегіне сәйкес) ядрода Δm массасын ақауын туғызады.

4. Ядроның беріктігін Δm массаның ақауына сәйкес келетін энергия шамасымен сипаттайды. Оны ядроның байланыс энергиясы дейді. Ядроның байланыс энергиясы деп жеке бөлшектер бірігіп, ядроның құраганда пайдаланып болатын массаның ақауы есебінен белініп шығатын энергияны айтады:

$$E_{\text{байл.}} = \Delta E = \Delta m c^2.$$

Ядроның байланыс энергиясын анықтау үшін массаның Δm ақауы көрсетілген (7.3) өрнегін пайдаланады:

$$E_{\text{байл.}} = \Delta m c^2 = [(Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - M_a] c^2 \text{ немесе}$$

$$[(Z \cdot M_H + N \cdot m_n) - M_a] c^2.$$

Ядроның байланыс энергиясын табу үшін мына қарапайым формула жиі қолданылады:

$$E_{\text{байл.}} = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ}, \quad (7.4)$$

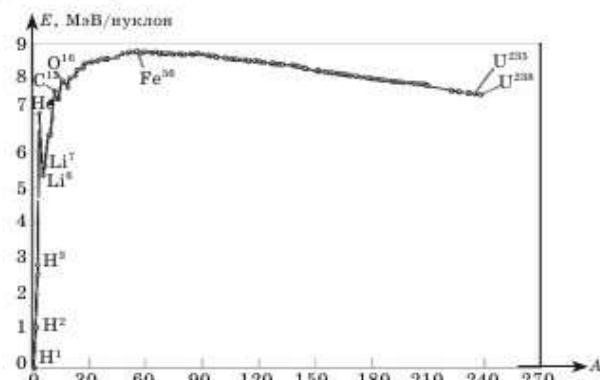
мұндағы Δm – ядро массасының ақауы.

5. Ядролардың орнықтылығын сипаттау үшін меншікті байланыс энергиясы деген шама енгізіледі. Бір нуклонга келетін байланыс энергиясының ядроның меншікті байланыс энергиясы деп атайды:

$$E_{\text{менш.}} = \frac{E_{\text{байл.}}}{A}, \quad (7.5)$$

мұндағы A – ядродары нуклондардың саны.

Табигатта кездесетін химиялық элементтердің меншікті байланыс энергияларын график түрінде бейнелеуге болады (сурет 7.1). Суреттегі абсолютсалар өсінде элементтердің массалық сандары, ал ординаталар өсінде бір нуклонга келетін меншікті байланыс энергиялары мегаэлектрон-вольтпен (МэВ) көрсетілген.



Сурет 7.1. Ядролардың меншікті байланыс энергиялары

Графиктегі қисықтың бастапқы, ортанғы, соңғы бөліктеріне көніл аударайық. Оның бастапқы бөлігінде массалық санының ($A = Z + N$) өсуіне қарай ядролардың меншікті байланыс энергиясы нөлден бастап күрт артады. Мысалы, массалық саны $A = Z + N = 1 + 0 = 1$ болатын ең жеңіл сутек ядроның меншікті байланыс энергиясы нөлге тең. Шынында да, бұл ядро тек бір гана протоннан тұрады, сондықтан энергия шығындағы алдырып алатындағы онымен байланысып тұрган басқа нуклондар жок.

Ал сутектің дейтерий деп аталатын изотопының (2_1H) меншікті байланыс энергиясы 1 МэВ/нуклон шамасындағы екенін көреміз. Дейтерий ядроның екі бөлшектен (протон мен нейтроннан) тұрады:

$$A = Z + N = 1 + 1 = 2.$$

Енді массалық саны $A = Z + N = 2 + 2 = 4$ болатын гелий ядронын (4_2He) алайық. Оның меншікті байланыс энергиясы бірден үлкен шамага (7,1 МэВ/нуклон) көтеріледі. Қисықтың ортасына қарай меншікті байланыс энергиялары баюу өсіп, массалық саны $A = 56$ болатын темір ядронының ($^{56}_{26}Fe$) түсінде максимум шамага (8,7 МэВ/нуклон) жетеді. Ядролардың массалық сандары одан ері өскенде нуклондардың меншікті байланыс энергияларының жайлап кемітіні суреттеп көрініп тұр. Элементтердің периодтық жүйесінің соңында тұрган уран ядронының $^{238}_{92}U$ меншікті байланыс энергиясы 7,6 МэВ/нуклон шамасына дейін азаяды.

Темірге $^{56}_{26}Fe$ дейінгі элементтер массалық сандарына қарай салыстырмалы түрде «жеңіл» элементтер, ал темірден кейінгілері «ауыр» элементтер қатарына жатады. Ауыр элементтердің соңында тұрган уран ядронының байланыс энергиясы ең аз шаманы құрайды. Сондықтан оның ядроның ез бетімен ыдырауға бейім тұрады.



Сұрақтар

1. Ядролық физикада ұзындықтың, массаның және энергияның бірліктері ретінде не алғынады?
2. Бөлшектер жүйесінің ішкі энергиясы мен массасы өзгерісінің арасында қандай байланыс бар? Атом бөлшегінің массасын неге энергия бірліктерімен береді?
3. Масса ақауы дегеніміз не және оны қалай есептеуге болады?
4. Байланыс энергиясы дегеніміз қандай энергия?
5. Байланыс энергиясы мен массаның ақауы арасында қандай төуелділік бар?
6. Меншікті байланыс энергиясы деп қандай энергияны айтамыз?
7. Меншікті байланыс энергияның массалық санға төуелділік графигінің ерекшелігі қандай?
8. Уран элементінен де ауыр элементтер Жер шарында неге кездеспейді?
9. Тәмендегі мысалдарда көлтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шыгару мысалдары

1-есеп. Гелий-4 және гелий-3 атомдарының тыныштық массалары тиісінше 4,002603 м.а.б. және 3,010642 м.а.б. Олардың массалар айрымын мегаэлектронвольтпен (МэВ) анықтаңдар. Гелий изотоптары атомдарының массалар айрымы неге туындалған түсіндіріңдер.

<i>Берілгені</i>
$m_1 = 4,002603$ м.а.б.
$m_2 = 3,010642$ м.а.б.
$\Delta m - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Массалар айрымын МэВ-пен көрсету үшін мына өрнекті пайдаланамыз:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ},$$

$$\text{мұндағы } \Delta m = m_1 - m_2 = (4,002603 - 3,010642) \text{ м.а.б.} = \\ = 0,986561 \text{ м.а.б.}$$

$$\text{Шешүү: } E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 0,986561 \cdot 931,5 \text{ МэВ} \approx 918,9 \text{ МэВ.}$$

$$\text{Жауабы: } E = 918,9 \text{ МэВ.}$$

Гелий изотоптарының арасындағы массалар айрымының пайда болуы былайша түсіндіріледі. Гелий-4 атомының ядросында екі протон, екі нейтрон бар. Оның массалық саны $A_1 = 2 + 2 = 4$, ал заряд саны $Z = 2$. Гелий-3 атомының ядросында екі протон, бір нейтрон бар. Оның массалық саны $A_2 = 2 + 1 = 3$, ал заряд саны $Z = 2$. Көріп отырганымыздай, гелий-3 ядросындағы нуклондар саны гелий-4 ядросына қарағанда бір нейтронға кем. Міне, сондықтан гелий изотоптары атомдарының массалары әртурлі болып келеді.

2-есеп. Көміртек-13 атомы ядросын протондар мен нейтрондарға ыдырату үшін қандай ең аз энергия шығындау керек? Ядроның меншікті байланыс энергиясы қандай?

<i>Берілгені</i>
$^{13}_{6}\text{C}; A = 13$
$E_{\text{байл}} - ?$
$E_{\text{менш}} - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Көміртектің Менделеев кестесіндегі реттік саны 6. Демек, оның атомының ядросында $Z = 6$ протон бар. Ал нейтрондар саны:

$$N = A - Z = 13 - 6 = 7.$$

Көміртек-13 атомының ядросын толық ыдыратуға жүмсалатын ең аз энергия зарядтың байланыс энергиясына тең:

$$E_{\text{байл}} = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ} = [(6m_p + 7m_n) - M_a] \cdot 931,5 \text{ МэВ}$$

немесе

$$E_{\text{байл}} = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ} = [(6M_p + 7M_n) - M_a] \cdot 931,5 \text{ МэВ},$$

мұндағы m_p , m_n – протон мен нейтронның массалары, M_a – көміртек-13

атомы ядроның массасы, $M_{\text{н}}$ – сүтек-1 атомының, ал $M_{\text{а}}$ көміртек-13 атомының массасы, Δm – көміртек-13 атомы ядроны массасының ақауы.

Шешуі: Екінші формуладагы бөлшектер үшін форзацтагы 6-кестеде көрсетілген мәндерін пайдаланамыз:

$$E_{\text{байл}} = [(6 \cdot 1,007825 + 7 \cdot 1,008665) - 13,003354] \cdot 931,5 \text{ МэВ} \approx 97,06 \text{ МэВ}.$$

$$E_{\text{менш}} = E_{\text{байл}} / A = 97,06 \text{ МэВ} / 13 \approx 7,47 \text{ МэВ бір нуклонға.}$$

Жауабы: $E_{\text{байл}} \approx 97,06 \text{ МэВ.}$

$E_{\text{менш}} \approx 7,47 \text{ МэВ/нуклон}$



Жаттығу 7.2

1. Электронның массасы $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, протонның массасы $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг. Бұл шамаларды массаның атомдық бірлігінде және мегаэлектронвольт бойынша анықтаңдар.
2. Дайтерий мен тритий атомдары массасының ақауын табыңдар.
3. Массасы 1 г дененің тыныштық энергиясы қандай?
4. Сүтек-3 (тритий) атомы ядроның байланыс энергиясы, менишкіті байланыс энергиясы қандай?
5. $^{239}_{93}\text{Np}$ нептуний изотопының атомдық ядроның байланыс энергиясы қандай?
6. $^{239}_{94}\text{Pu}$ плутоний изотопы ядроның менишкіті байланыс энергиясы қандай?

§46.

ЯДРОЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР

1. Ядролық реакциялар деп атом ядроның құрамы мен құрылымын өзгертетін реакцияларды айтады. Атом ядроның құрамы мен құрылымы өзгеретін болса, онда оның A массалық саны мен Z заряд саны да өзгереді. Олай болса, ядролық реакциялар кезінде бір химиялық элемент екінші химиялық элементке түрленеді. Ядролық реакциялар арқылы химиялық элементтерді түрлендірудің екі жолы бар: біріншісі – ауыр ядроны (мысалы, уран ядроны) екі-үш жарықшаққа бөліп, екі немесе үш жеңіллірек элементтердің ядроларын алу; екіншісі – ете жеңіл элементтердің (мысалы, сүтек пен гелий және литий) ядроларын

біріктіру арқылы ауырырақ элементтердің ядроларын алу. Ядролық реакциялардың бірінші түрін **бөлу реакциясы**, ал екінші түрін **біріктіру (синтез) реакциясы** деп атайды.

2. Бөлу ядролық реакцияларының магынасын тереңірек тусіну үшін уран атомының ядросына байланысты мынадай маңызды қорытынды шығаруға болады.

Біріншіден, уран ядросындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы аз болғандықтан, оның ядросын аз энергия шығындан бірнеше беліктерге ыдырау жеңілдеу.

Екіншіден, уран ядросындағы оң зарядты протондардың саны басқа элементтердікінен көп. Ендеше, олардың кулондық тебілу күштері үлкен шамага жетіп, белінуді жеңілдетеді.

Үшіншіден, жоғарыда көрсетілген екі жағдай біріге келіп, уран ядро-сының табиғи ыдырауына себепкер болады.

Төртіншіден, уран ядросы бірнеше беліктеге беліне қалса, олардың массаларының қосындысы белінген ядроның массасынан едеуір кіші болады да, Δm массалар ақауы туындейді. Оның есебінен аса мол ядролық энергия босап шығады:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

Қазіргі кезде ауыр ядролардың (уран, торий изотоптары) белінуі арқылы өндірілетін энергия атомдық реакторлар мен атом электрстан-сыларында (АЭС) алынады. Ал атомдық бомбада ядролық энергия басқаруызың қопарылыс түрінде босайды. АЭС-тар үшін жер қойнауындағы ядролық отынның қоры 2-3 мың жылға жетеді деп болжам жасалған.

3. Байланыс энергиясының массалық санға тәуелділік графигі ядролардың ішкі энергияларын босатудың басқа да жолын көрсетеді. Ол – **жеңіл элементтердің ядроларын біріктіру жолы**. Жұлдыздар мен Құннің орасан зор энергия шығаруы нақ осы жеңіл элементтер ядроларының бір-біріне бірігуіне байланысты туындейді. Бірігетін ядролар массаларының қосындысы түзілген жаңа ядроның массасынан үлкен болғандықтан, жеңіл ядролардың бірігуі кезінде туындаитын Δm массасының өзгерісі есебінен орасан зор **термоядролық энергия** алынады:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

Жеңіл ядролардың бірігуі (синтезделуі) барысында алынатын энергияны адам мүддесіне сай басқару жолы өзірше табылмай отыр. Ядролық энергияның бұл түрі қазіргі жағдайда басқаруызы, тек сутек бомбасы жарылғандаған алынады. Жеңіл ядроларды бір-біріне біріктіру реакциясы аса жоғары миллиондаған (градус) температурада орындала-тындықтан, ондай ядролық реакцияны **термоядролық синтез** деп атайды.

Фалымдардың алдында энергияның таусылмас кезі қолдан басқарылатын термоядролық реакторларды жасау міндегі түр. Бұл мәселе шешіле-тін болса, Жер бетіндегі сутектің энергетикалық қоры 20 млрд жылға жететіні есептелген.

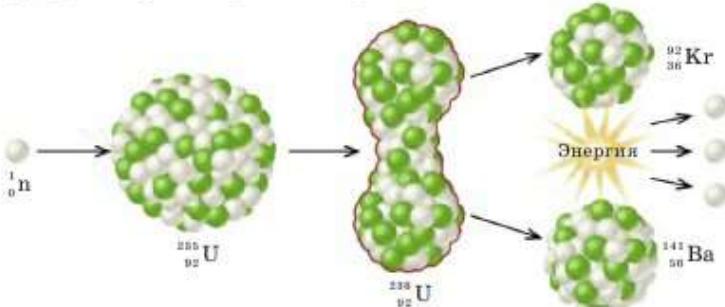
4. ХХ ғасырдың 30-жылдары ауыр ядроларды басқа бөлшектермен атқылау арқылы ірі жарықшақтарға бөлу туралы ой туды. Ондай ойдың тууына уран ядроларындағы бір нуклонға келетін байланыс энергиясының аздығы және бір-бірінен тебілетін оң зарядты протондардың молдығы себепкөр болды.

Сейтіп, уран ядросын бөлу үшін жаңадан ашылған нейтронды пайдалану көзделді. Өйткені оң зарядты протондар мен α -бөлшектерге қарағанда, бейтарап нейтрон ядроларға оңай өте алады. Шынында да, 1938 жылдың 18 желтоқсанында уран ядроларын нейтрондармен атқылаганда, олардың екі үлкен беліктеге бөлініп, басқа химиялық элементтерге айналатынын неміс ғалымдары О. Ган мен Ф. Штрасман тәжірибе жүзінде ашты. Бұл күнді ядролық энергетика заманының бастау күні десе де болады.

Ядроларды бөлу деп оны нейтрондармен атқылау арқылы жекелеген екі немесе үш жарықшақтарға ажыратуды айтады.

Расында да, уран-235 ядросын нейтронмен атқылау барысында (сурет 7.2) оның екі химиялық элементке (барий мен криptonға) түрленгені ашылды.

Бөліну барысында уран ядросы жарықшақтармен қоса 2-3 нейтронды шығарады. Бұл нейтрондар ядролардың бөліну реациясын одан әрі жалғастыру үшін ерекше рөл атқарады.



Сурет 7.2. Уран ядросының бөлінуі

Түннди нейтрондардың қатысуымен ядролардың тасқынды жарылуы тізбекті ядролық реакция деп аталады.

Ядролық энергияны босатып практикада қолдану үшін $^{235}_{92}\text{U}$, $^{238}_{92}\text{U}$ уран изотоптары мен $^{239}_{94}\text{Pu}$ плутоний ядроларының маңызы өте зор.

Уран-235 пен плутонийдің ядролары энергиялары 0,1 эВ шамасында (жылдамдығы 2000–3000 м/с) болатын *баяу нейтрондармен* соқтығысқанда оңай бөлінетін белгілі болды. Баяу нейтрондарды кейде *жылулық нейтрондар* деп те атайды.

5. Ядролық реакциялар орын алғанда, яғни ауыр ядролар түрленіп бөлінгенде немесе ыдырағанда, женіл ядролар қосылып біріккенде мына екі заң үнемі сақталады:

1) *бөлінетін (бірігетін) ядролардың (бөлшектердің) зарядтық сандарының қосындысы туынды бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысының тәң болады* (зарядтық санның сақталу заңы):

$$\Sigma Z_{n \text{ (алғашқы бөлшектер)}} = \Sigma Z_{k \text{ (туынды бөлшектер)}} = \text{const}; \quad (7.6)$$

2) *бөлінетін (бірігетін) ядролардың (бөлшектердің) массалық сандарының қосындысы туынды бөлшектердің массалық сандарының қосындысының тәң болады* (массалық санның сақталу заңы):

$$\Sigma A_{n \text{ (алғашқы бөлшектер)}} = \Sigma A_{k \text{ (туынды бөлшектер)}} = \text{const}. \quad (7.7)$$

Мұндағы: ΣZ_n – ядролық реакцияларға қатысадын алғашқы « n » бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысы; ΣZ_k – ядролық реакциядан кейін пайда болған туынды « k » бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысы; ΣA_n – ядролық реакцияларға қатысадын алғашқы « n » бөлшектердің массалық сандарының қосындысы; ΣA_k – ядролық реакциядан кейін пайда болған туынды « k » бөлшектердің массалық сандарының қосындысы.

Мысалы, бөлінуге дейінгі бөлшектердің Z зарядтық және A массалық сандары қандай болса, жаңадан пайда болған бөлшектердің зарядтық және массалық сандарының қосындылары да сондай болатыннын уран-235 ядроның бөліну реакциясынан анық байқаймыз:

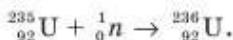


Расында да:

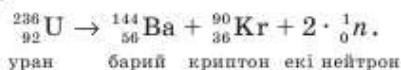
$$Z = 0_{\text{нейт.}} + 92_{\text{урал}} = 92 = 36_{\text{барий}} + 56_{\text{криpton}} + 0_{\text{нейтрон}} = 92;$$

$$A = 1_{\text{нейт.}} + 235_{\text{урал}} = 236 = 141_{\text{барий}} + 92_{\text{криpton}} + 3_{\text{нейтрон}} = 236.$$

6. Уран-235 ядроның бөліну мысалында тізбекті ядролық реакциясының (7.3-сурет) ету барысын сипаттайық. Уран изотопы ${}_{92}^{235} U$ баяу нейтрондармен соқтығысқан кезде оны ядроның қосып алады да, түрақсыз уран-236 изотопына айналады:



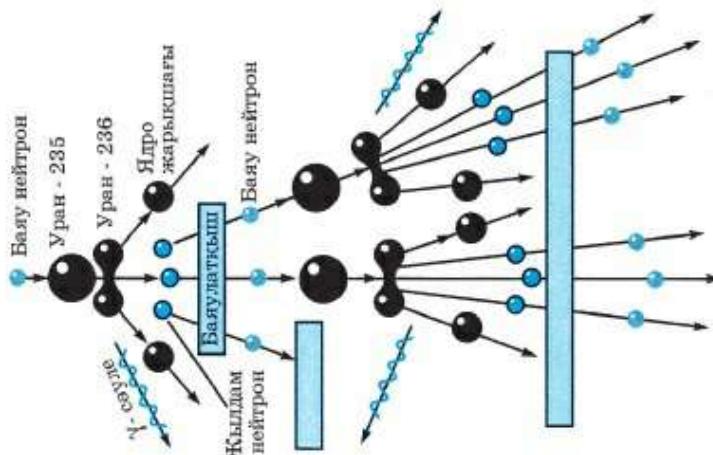
Алайда жаңа нейтронды ядросына қосып алған уран-236 изотопы ете орнықсыз қозған күйге ауысады. Соның салдарынан ол бірнеше жарықшактарға бөлінеді:



Жарықшактардағы, яғни жаңадан пайда болған жеңіл ядролардағы нейтрондар саны олардың табиги нормаларынан артық болып шыгады. Сондықтан қозған ядролар бірден артық нейтрондардан арылуға тырысады. Осылайша ядро бөлінгенде 2–3 **жылдам нейтрондар** босап шыгады. Тұынды нейтрондардың жылдамдығы аса үлкен болғандықтан, уранның жарылмаган ядролары оларды өздеріне қосып алуға үлгере алмайды. Сондықтан тізбекті бөліну реакциясы жалғасын табу үшін жылдам нейтрондарды тежең, бағу (жылулық) нейтрондарға айналдыруға тұра келеді.

Жылдам нейтрондардың кинетикалық энергиясын азайтып, жылдамдықтарын кемітеп алатын материалдарды тежегіштер (баулат-қыштар) дег атайды.

Жақсы тежегіштер қатарына графит түріндегі көміртек, су және бериллий жатады. Тежегіштерден откен нейтрондардың жылдамдығы кеміп, жылу нейтрондарына айналады. Олар өз кезегінде жолындағы уран-235 ядроларына соғылып, тізбекті бөліну реакциясы жалғасын табады. Алғашқы ядро жарылғанда 2–3 нейтрон босайды да, олар келесі ядроларды жарады. Осылайша тұынды нейтрондардың қатысуымен ядролардың тасқынды белінуі жалғаса береді (сурет 7.3).



Сурет 7.3. Тізбекті ядролық реакция

Уранның әр ядроны бөлінгенде аса мол энергия (200 МэВ) босап шығатынына көз жеткізейік. Уранның меншікті байланыс энергиясы 7,6 МэВ/нуклон шамасына тең. Ал уран сынықтарының массалары одан екі есе кіші десек, олардың орташа меншікті байланыс энергиясы 8,5 МэВ/нуклон болады (сурет 7.1). Сонда бөлінетін ядро мен бөліну жарықшактарының (туынды ядролардың) арасындағы бір нуклонға шаққандағы энергия айырымы $\Delta E = (8,5 - 7,6)$ МэВ = 0,9 МэВ болады. Уран-236 изотопының бір ядроында 236 нуклон бар. Ендеше, уранның бір ядроны бөлінгенде $0,9 \text{ МэВ} \cdot 236 = 200 \text{ МэВ}$ энергия босайды.

Босаган энергия туынды бөлшектердің (ядролардың, нейтрондардың) кинетикалық энергиясынан және гамма-кванттардың электромагниттік энергияларынан тұрады.



Сұрақтар

1. Ядролық реакциялар деп қандай реакцияларды айтады? Оның қандай түрлері бар?
2. Уран ядроның ерекшеліктері қандай?
3. Бөліну және біріктіру (синтездеу) реакцияларында не себептен аса мол энергия босап шыгады?
4. Ядролардың бөлінуі деп нені айтамыз? Ядро бөлінгенде қандай бөлшектер пайда болады?
5. Ядроны болуға неліктен нейtron таңдал алғынған? Ядро бөлінгенде не себептен туынды нейтрондар пайда болады?
6. Текегіштер дегеніміз не? Олар қандай мақсатта және не себептен қолданылады?
7. Тізбекті болыну реакциясы деп қандай реакцияны айтады?
8. Уран ядроны бөлінгенде қаша энергия босайды? Оны массалар ақауы арқылы есептеп көріндер.
9. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

1-есеп. $B^{11} + He^4 \rightarrow N^{14} + X$ реакциясын толықтырып жазыңдар.

<i>Берілгені</i>
^{11}B ; 4He ; ^{14}N
$Z_X = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Менделеев кестесін пайдаланып, B^{11} ; He^4 ; N^{14} элементтерінің зарядтық санын (реттік нөмірін) анықтауға болады. Олар аталған элементтер үшін мынаған тең:

$$Z_1 = 5; Z_2 = 2; Z_3 = 7.$$

Белгісіз X бөлшегінің зарядтық санын Z деп белгілейік. Жоғарыда көрсетілген үш элементтің массалық сандары есеп шарты бойынша мынаган тең: $A_1 = 11$; $A_2 = 4$; $A_3 = 14$. Белгісіз X бөлшектің массалық санын A деп белгілейік.

Енгізілген белгілеудерді пайдаланып, реакция формуласын мына түрде жазамыз:



Массалық санның сақталу заңын ($A_1 + A_2 = A_3 + A$) осы реакцияға қолданып, мына теңдікті аламыз: $11 + 4 = 14 + A$. Бұдан $A = 1$. Сол сияқты зарядтық санын сақталу заңын ($Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z$) осы реакцияға қолданып, мына теңдікті аламыз: $5 + 2 = 7 + Z$. Бұдан $Z = 0$.

Белгісіз бөлшек мына таңбамен белгіленеді: ${}_0\text{X}^1$.

$$\text{Шешуі: } {}_z\text{X}^A = {}_0\text{X}^1 = {}_0n^1$$

Ізделінді бөлшек нейтрон болып шықты.

Жауабы: нейтрон.

§47.

РАДИОАКТИВТІ ҮДЫРАУ ЗАҢЫ

1. Біз жоғарыда ауыр ядролардың *бөлінуі* туралы баяндаған едік. Ал енді ядролардың үдýрауы дегеніміз не деп сұрауымызға болады. Ядролардың үдýрауы мен бөлінуінің арасында қандай үқсастықтар мен айырмашылықтар бар?

Олардың ең басты үқсастығы ретінде екі жағдайда да ядролардың түрленетінін айтуға болады. Екі жағдайда да ядролар түрленгенде зарядтық сандар мен массалық сандардың заңдары қатаң сақталады. Ал айырмашылықтарын айттар болсақ, ядролардың үдýрауы табиғи процесс болса, бөлінуі оларды нейтрондармен атқылау арқылы орындалады. Сонымен қатар ядролардың табиғи түрленуі «радиоактивті үдýрау заңы» деп аталатын заңға бағынады, ал олардың бөлінуі бұл заңға бағынбайды.

2. *Ядролардың өз бетімен альфа, бета және басқа да бөлшектер мен сәулелерді шыгарып түрленулерін олардың радиоактивті үдýрауы деп атайды.*

Ауыр элементтер ядроларының үдýрау жылдамдықтарын сипаттау үшін *жартылай үдýрау периоды* деген шама енгізіледі. Оны T әрпімен белгілейді.

Радиоактивті изотоп ядроларының тек жартысы ыдырайтын уақыт осы изотоптың жартылай ыдырау периоды деп аталады.

Мысалы, жартылай ыдырау периодтары: Висмут-209 изотопы үшін ол $T = 2 \cdot 10^{18}$ жыл, висмут-210 изотопы үшін $T = 5$ тәул., көміртек-14 үшін $T = 5600$ жыл, криpton-85 үшін $T = 10,6$ жыл, лантан-140 үшін $T = 40,2$ сағ, барий-140 үшін $T = 12,8$ тәул.

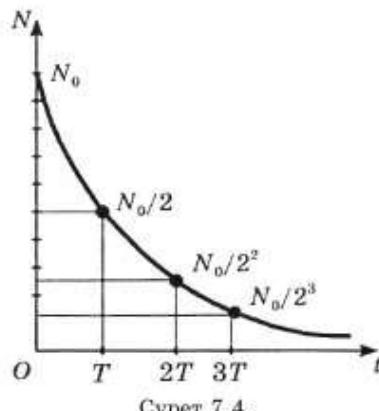
Жартылай ыдырау периодының анықтамасына сәйкес изотоптың алгашқы N_0 ядроларынан $t = 1T$ уақыт өткенде $\frac{N_0}{2}$ ядро, $t = 2T$ уақыт өткенде $\frac{N_0}{2} : 2 = \frac{N_0}{2^2}$ ядро, ал $t = 10T$, яғни он жарты периодқа тең уақыт өткенде $\frac{N_0}{2^{10}}$ ядро қалады. Қорыта келгенде, n жарты периодқа тең $t = nT$ уақыт өткенде ыдырамай қалған ядролардың санын жоғарыдағы заңдылықтарға сүйене отырып, жалпы түрде былай жазамыз:

$$N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n} \text{ немесе } n = t/T \text{ ескеріп, } N = N_0 \cdot \frac{1}{2^{t/T}}. \quad (7.8)$$

Мұндағы N_0 – ең алғашқы ядролардың саны, N – ыдырамаган ядролар саны, t – ыдырау уақыты, T – жартылай ыдырау периоды, n – жартылай ыдырау периодының t уақыт ішіндегі саны.

1902 ж. Э. Резерфорд пен Ф. Содди ашқан бұл өрнек *радиоактивті ыдырау заңы* деп аталады. Өрнекке кіретін шамалардың тәуелділік сыйбасы математикада экспоненциалдық қисық деп аталады (сурет 7.4). Сонымен, радиоактивті элементтердің ядролары экспоненциалдық қисық бойынша ыдырап, басқа элементтердің ядроларына түрленеді.

3. Радиоактивті ыдырау заңы нақты атомның да немесе азын-аулақ атомдардың да ядроларының ыдырауларын сипаттай алмайды. Бұл заң аса көп атомдардың ядроларының ыдырауларын ғана сипаттайты. Өйткені атом ядросының ыдырауы *кездейсоқ* оқиға болып табылады: мысалы, қазір ыдырайды деп отырган ядро мындаған жылдардан кейін ыдырап, ал оның есесіне ыдырауы күтілмеген басқа бір ядро әп-сәтте ыдырауы мүмкін. Міне, осындай кездейсоқ орындалатын құбылыстарды сипаттау үшін математикалық *ықтималдық теориясы* қолданылады. Іштималдық теориясына не-



Сурет 7.4.
Ядролардың ыдырау графигі

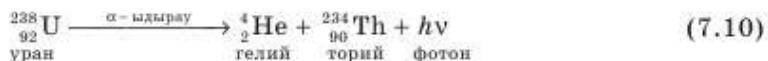
гізделген заңдылықтар тек аса көп бөлшектерден туратын жүйелердеғанда орын алғатын кездейсоқ құбыльстыарды жалпы түрде сипаттай алады.

4. Тәжірибелің көрсетуі бойынша, өз бетімен табиги ыдырайтын ядролар қатарын, массалық сандары 200-ден асатын химиялық элементтердің ядролары түзеді. Бұл элементтердің ядроларындағы нуклондардың байланыс энергиясы периодтық кестенің орта түсіндағы элементтердің байланыс энергияларынан аз (сурет 7.1). Сондықтан олардың ядролары байланыс энергиясы үлкендеу болатын бөліктерге (жеңілірек ядроларға) ыдырауга бейім түрады. Мысалы, ондай бөліктерге Резерфорд тәжірибесінде ашылған альфа-бөлшегі, яғни гелий элементінің ядроны (${}_2^4\text{He}^4$) және басқа элементтердің ядролары жатады. Ядролар өз бетімен ыдырағанда да зарядтың және массалық сандардың сакталу заңдары қатаң сакталады. Осылай орай α -ыдыраудың жалпы формуласы былай жазылады:



мұндағы X – ыдырайтын ядро, A – массалық сан (нуклондар саны), Z – ыдырайтын элементтің зарядтық саны (периодтық кестедегі реттік нөмірі), ${}_{2}^4\text{He}$ – туынды гелий ядроны (α -бөлшегі), Y – туынды ядро.

Жоғарыдағы формулаға және зарядтық ері массалық сандардың сакталу заңдарына сүйеніп, уран-238 изотопы ядроның α -ыдырау реакциясын жаза аламыз.



Уранның α -ыдырау реакциясында зарядтық сандардың (төменгі индекстер) сакталу заңының да ($92 = 2 + 90$), массалық сандардың (жоғары индекстер) сакталу заңының да ($238 = 4 + 234$) орындалатынын көреміз.

Альфа-ыдырауга қуатты ядролық күштер қарсы түрады. Сондықтан элементтердің өз бетімен α -ыдырауы ете баюу жүреді.

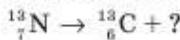


Сұрақтар

1. Радиоактивті ыдырау деп қандай ыдырауды айтады? Оның ядроның белінүү реакциясымен қандай үқсастықтары мен айырмашылықтары бар?
2. Жартылай ыдырау периоды деп қандай уақыт аралығын атайды?
3. Радиоактивті ыдырау заңын кімдер ашты және оның формуласы мен графигі қалай өрнектеледі?
4. α -ыдыраудың өрнектерін қалай жазамыз? Мұндай ыдырау не себептен туындейді?
5. Төмендегі мысалдарда көлтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

1-есеп. Азот изотопы $^{13}_{7}\text{N}$ – радиоактивті элемент. Осы изотоптың ядроның ыдыраганда, ядролық реакция мына сипатта жүреді:

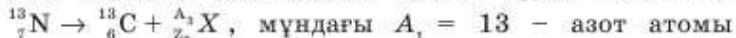


Массалық және зарядтық сандардың сақталу заңдарын пайдаланып, белгісіз бөлшекті анықтандар. Ядроның мұндай түрленуі ыдыраудың қандай түріне жатады?

<i>Берілгені</i>
$^{13}_{7}\text{N}; A_2 = 13; Z_2 = 7$
$^{A_3}_{Z_3} X - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Белгісіз туынды бөлшекті X деп белгілейік. Оның массалық саны A_3 , ал заряд саны Z_3 болсын. Көрсетілген белгілеудерді ескере отырып, азот ядроның ыдырау реакциясын мына түрде жазайық:



ядронының массалық саны, $A_2 = 13$ – көміртек атомы ядронының массалық саны, $Z_1 = 7$ – азот атомы ядронының зарядтық саны, $Z_2 = 6$ – көміртек атомы ядронының зарядтық саны. Массалық сандардың сақталу заңы бойынша мыналарды аламыз:

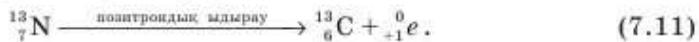
$$A_1 = A_2 + A_3 \text{ немесе } 13 = 13 + A_3, \text{ бұдан } A_3 = 0.$$

Зарядтың сақталу заңы бойынша мыналарды аламыз:

$$Z_1 = Z_2 + Z_3 \text{ немесе } 7 = 6 + Z_3, \text{ бұдан } Z_3 = 1.$$

Шешуі: Белгісіз бөлшектің массалық саны нөлге ($A_3 = 0$), ал зарядтың саны бірге ($Z_3 = 1$) тең, яғни $^0_{+1}\text{X}$. Эксперименттік зерттеулер мұндай бөлшектің электронга ($^{-1}_-e$) кері бөлшек ($^0_{+1}e$) екенін анықтады. Олардың массалары да, зарядтары (e) да бірдей, алайда заряд таңбалары қарама-қарсы болып келеді. Бөлшектердің мұндай жүптарын *антибөлшектер* деп атайды. Электронның ($^{-1}_-e$) антибөлшегін *позитрон* ($^0_{+1}e$) деп атайды.

Корытынды жауап: Азот атомының ядроны $^{13}_{7}\text{N}$ ыдыраганда, көміртек атомының ядроны $^{13}_{6}\text{C}$ және позитрон $^0_{+1}e$ пайда болады. Сондықтан мұндай ыдырау *позитрондық ыдырау* болып табылады:



2-есеп. Радиоактивті элементтің ядроларының саны 8 тәуліктे 4 есе азаяды. Оның жартылай ыдырау периодын табыңдар.

Берілгені
$\left(N = \frac{N_0}{4} \right)$
$t = 8$ тәулік
$T - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Радиоактивті ыдыраудың жартылай периодын анықтау үшін Резерфорд-Содди формуласын қолданамыз:

$$N = N_0 \cdot \frac{1}{2^{t/T}}. \quad (1)$$

Есептің шартын ескеріп, бұл занды былай жазамыз:

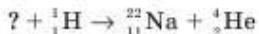
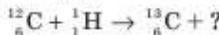
$$\frac{N_0}{4} = N_0 \cdot \frac{1}{2^{t/T}}; \frac{1}{4} = \frac{1}{2^{t/T}} \text{ немесе } \frac{1}{2^2} = \frac{1}{2^{8/T}}. \quad (2)$$

Шешуі: Соңғы өрнектегі теңдік белгісінің екі жағы өзара тепе-тең болғандықтан, бөлшектердің бөліміндегі 2 санының дәреже көрсеткіштері де өзара тең болады: $2=8/T$; бұдан $T = 4$ тәул.

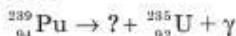
Жауабы: 4 тәул.

**Жаттығу 7.3**

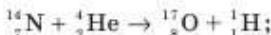
1. Мына ядролық реакциялардагы белгісіз бөлшектерді анықтаңдар.



2. Мына ядролық реакциялардагы белгісіз бөлшектерді анықтаңдар. Олар қандай ыдырауга жатады:



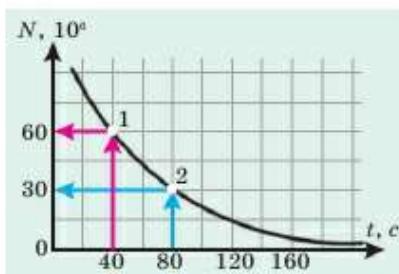
3. Мына ядролық реакцияларда энергия босай ма, өлде жұтыла ма?



Ескерту: Реакциялардың сол жағындағы бөлшектердің массаларының қосындысы ($\sum m_{\text{коэ}}$) оц жағындағы бөлшектердің массаларының қосындысынан ($\sum m_{\text{оц}}$) артық болса ($\sum m_{\text{коэ}} > \sum m_{\text{оц}}$), онда энергия босайды; кері жағдайда ($\sum m_{\text{коэ}} < \sum m_{\text{оц}}$) энергия жұтылады.

4. Уран ядроны болінгенде пайда болған жарықшақтардың жиынтық массасы ядроның массасынан 0,25 протон массасына кіші. Ураниң бір ядроны болінгенде қанша энергия босап шыгады? Егер ураниң тығыздығы 19,04 г/см³ болса, онда оның 1 см көлеміндегі ядро болінгенде қанша энергия босап шыгады?

5. Графикте (сурет 7.5) белгісіз химиялық элементтің ядроларының ыдырау қисығы корсетілген. Бұл элементтің ыдырау периоды қандай шаманы құрайды? 1 мен 2 және 3-нүктелерінде берілген элементтің қанша ядролары ыдыраған?



Сурет 7.5

§48.

ЯДРОЛЫҚ РЕАКТОРЛАР

1. Ауыр элементтердің (уран, торий) ядроларын бөлу реакцияларын басқару жолымен жүзеге асыратын қондырғыларды *атомдық (ядролық) реакторлар* деп атайды.

Атомдық реакторлардағы ядролық реакциялар басқарылатын жолмен іске асырылады, ал атом бомбаларында басқарылмайтын қопарылыс түрінде орындалады (сурет 7.6).



Сурет 7.6. Атом бомбасының жарылсы

Ең бірінші қолдан басқарылатын ядролық реактор АҚШ-тың Чикаго қаласының іргесінде италиялық ұлы физик Э. Фермидің басшылығымен 1942 жылдың 2 желтоқсанында іске қосылды. Екінші реактор, бұдан үш

жыл өткен соң, КСРО-да Мәскеу түбіндегі Серпухов қаласында ресейлік ұлы физик И.В. Курчатовтың басшылығымен салынды.

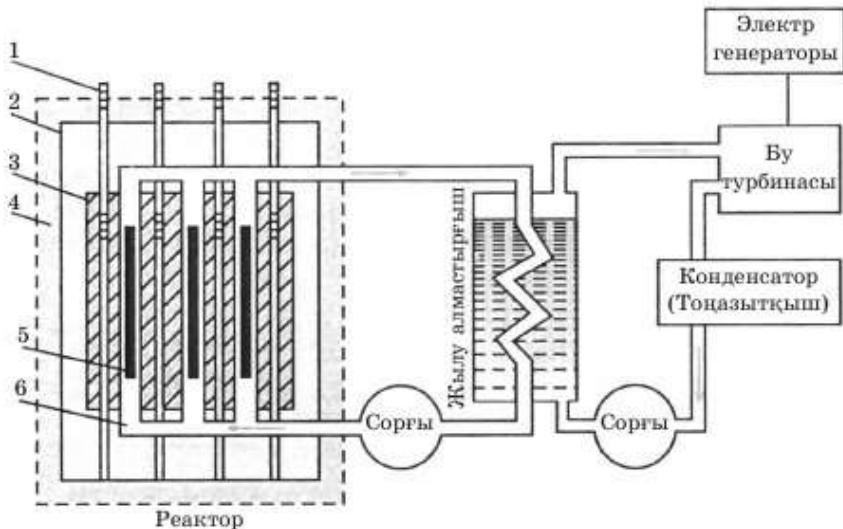
2. Реактордагы немесе атом бомбасындағы тізбекті реакция үздіксіз орындалуы үшін ядролық материалдың (уран, плутоний т.с.с.) белгілі бір массасы болуы керек. Егер ядролық отынның массасы аз болса, онда нейтрондар өз жолында жеткілікті мөлшерде жарылатын ядроларды кездестірмейді де, сыртқы ортаға тараپ кетеді. Сондықтан ядролық тізбекті реакция жүрмей қалады.

Тізбекті боліну реакциясына қажетті ядролық материалдың ең аз массасын сындық масса дейді.

Уран-235 изотопы үшін сындық масса 23 килограмдай болады. Бұл – диаметрі 13 см болатын біртұтас уран кесегі. Атом бомбасында ядролық жарылыс затын біртұтас етіп жасамайды. Оны жеке-жеке бөлік түрінде орналастырады. Өр бөліктің массасы сындық массадан кіші болады. Атом бомбасын жару үшін арнайы тетік арқылы ядролық зарядтың жеке бөліктері біріктіріліп, олардың біртұтас массасы сындық массага жеткенде ядролық жарылыс іске асырылады.

3. Қазір көптеген елдерде әртүрлі ядролық реакторлар бар. Олар практикалық мақсаттарда, ғылыми-зерттеу жұмыстарында қолданылумен қатар, атом электр стансыларының (АЭС-тардың) да негізі болып табылады.

Ядролық реактордың негізгі белгін белсенді аумақ (активті зона) құрайды (сурет 7.7). Белсенді аумақ **жылу шыгарғыш элементтер**



Сурет 7.7. Ядролық реактордың сұлбасы

(ЖШЭ) деп аталатын ядролық отынмен толтырылған таяқшалардан (5), оларды айнала қоршап тұрған графит тежегіштерден (3) тұрады. ЖШЭ-ді айнала жылу тасығыш (6) сүйықтар ағып өтетін тұтіктер орналасқан. Жылу тасығыш қызметін су немесе сүйық металл, мысалы, натрий атқарады.

Нейтрондардың сыртқы ортаға ұшып шығуын азайту үшін белсенді аумақты нейтрон қайтарғышпен (2) қаптайды. Сыртқы ортаны аса қауіпті сөулелерден қорғау үшін нейтрон қайтарғыштың сыртын қалың болат сауытпен және биологиялық бетон қорғанмен (4) қоршайды.

Тізбекті реакцияны копарылсықа жеткізбей басқарып отыру үшін белсенді аумаққа дер кезінде енгізуге болатын басқарушы және апаттық жағдайда қолданылатын апаттық таяқшалар (1) да реактордың негізгі құрамдас бөлігі болады. Апаттық таяқшалар нейтрондарды жүтүп алатын заттардан жасалады. Мұндай таяқшаларды белсенді аумаққа енгізгенде бомбалашу нейтрондар саны кемиді де, ядролық реакция баяулайды немесе тоқтайды.

4. Атом электр стансыларында (АЭС-тарда) ауыр элементтердің (урал, плутоний) ядроларын реакторларда бөлу арқылы энергия өндіру тәсілі қолданылады.

Теориялық және эксперименттік зерттеулер бөлінуге дейінгі уран ядросы мен нейтрон массаларының қосындысы бөлінуден кейінгі бөлшектер массаларының қосындысынан үлкен екенін көрсетеді (сурет 7.8). Сейтіп, уран ядросы бөлінгенде өзінің біраз массасын «жогалтады». Сонда «жогалған» Δm масса ақауы қайда кетеді?



Сурет 7.8. Бөлінуге дейінгі бөлшектердің массасы бөлінуден кейінгі бөлшектердің массаларынан артық

Массаның Δm ақауы Эйнштейннің $\Delta E = \Delta m c^2$ формуласына сәйкес энергияға түрленеді. Бұл энергия мегазлектронвольтпен мына формула арқылы анықталады:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

5. Реактордың ЖШЭ таяқшаларындағы ауыр элементтердің (уранның, плутонийдің т.с.с.) ядролары бөлінгенде босап шығатын ΔE атом энергиясы туынды бөлшектердің кинетикалық энергиясына айналады. Сондай-ақ ядроның босаған энергиясының біраз бөлігі γ -кванттардың электромагниттік энергиясына түрленеді. Бұл бөлшектер белсенді аумақта сұытқыш сұйықтың молекулаларымен бейберекет соқтығысуы салдарынан бірте-бірте тежеліп, олардың ішкі энергиясын молайтады. Сейтіп, туынды бөлшектердің кинетикалық энергиясы мен γ -кванттарының сәулелік энергиясы реактордағы сұытқыш сұйықтың жылу энергиясына айналады.

Реактордың белсенді аумағындағы артық жылу мөлшері екінші контурдағы жылу алмастырышқа сорғылар арқылы беріліп, оларды буландырады. Жоғары қысымдағы бу электр энергиясын өндіретін бу турбиналары мен генераторларға беріледі. Осылайша АЭС-тардың реакторларында бөлінген атом ядросының ішкі энергиясы туынды бөлшектердің кинетикалық және электромагниттік энергиясына, ал ол энергия жылу энергиясына, жылу энергиясы электр энергиясына айналады.



Сұрақтар

1. Ядролық реактор деп қандай қондыргыны айтады? Оның негізгі бөліктерін және жұмыс принциптерін түсіндіріңдер.
2. Сындық масса деп қандай массаны айтады?
3. Атом бомбасында ядролық зарядты (материалды) неге біртұтас етіп жасамайды?
4. Неліктен ауыр ядролардың энергиясын оларды бөлу арқылы ғана болатуга болады? Оның шамасын қандай өрнек арқылы анықтаймыз?
5. Ядролық реакцияларда энергияның сақталу және айналу заңы орындала ма?
6. АЭС-тарда атомдардың ішкі энергиясы энергияның басқа түрлеріне қандай ретпен түрлендіреді?



Жаттығу 7.4

1. $^{235}_{92}\text{U}$ уранның бір ядросы екі жарықшаққа бөлінгенде, 220 МэВ шамасында энергия алғынады. Осы изотоптың 1 г-ы ядролық реакторда «жанранда» қандай мөлшерде энергия босайды?
2. Төулігіне 220 г уран $^{235}_{92}\text{U}$ изотопын шығындастын ПӘК-і 25% атом электрстансысының электрлік қуаты қандай?

§49.

ТЕРМОЯДРОЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР

1. Жеңіл элементтерді (сүтек, гелий, литий т. б.) жүздеген миллион градусқа дейін қыздырғанда, олардың байтарап атомдары тутастығын жойып, ядролар мен электрондарға ыдырайды. Нәтижесінде оң зарядты ядролардан, теріс зарядты электрондардан тұратын ерекше орта **жогарғы температуралық плазма** пайда болады. Мұндай ыстық плазмада жылдамдықтары аса үлкен шамага жеткен оң зарядты ядролар кулондық тебіліс бөгетін (барьерін) жеңе алатын кинетикалық энергияға ие болады:

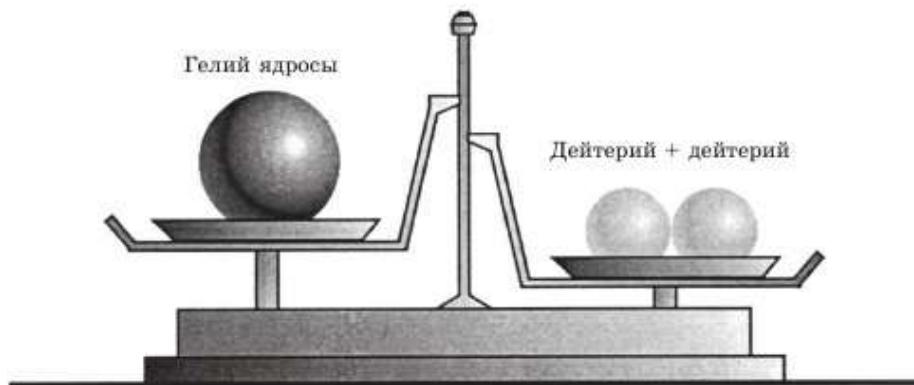
$$E_u = \frac{3}{2} kT = \frac{mv^2}{2},$$

мұндағы k – Больцман тұрақтысы, T – плазманың температурасы, m және v – бөлшектің массасы мен жылдамдығы.

Температурасы жүздеген миллион градус болатын ыстық плазмадағы ядролар аса үлкен жылдамдықпен бір-біріне жақындалап, ядролық күштердің өрекет аймагына енеді. Сол сәтте-ақ тегеуірінді ядролық күш оларды біріктіріп, жаңа ядроны тұздеді. Бұл кезде пайда болған Δm масса ақауы есебінен аса мол $\Delta E = \Delta mc^2$ энергия босап шыгады.

Теориялық және эксперименттік зерттеулер екі дейтерий ядросының косынды масасы, олардың бірігүінен турған гелий ядросының масасынан үлкен болатынын көрсетеді (сурет 7.9). Жеңіл ядролардың бірігүі кезіндегі Δm масса ақауын оңай табуға болады. Масса ақауын біле отырып, босап шығатын термоядролық энергияны анықтай аламыз:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.} \quad (7.12)$$



Сурет 7.9. Ядролар біріккенде Δm масса ақауы пайда болады

Миллиондаган градус температурада жүзеге асатын ядролық бірігу реакциясы термоядролық реакция немесе термоядролық синтез деп аталады.

2. Жер бетінде алғаш рет термоядролық реакциялар 1953 жылы Қазақстанда (Семей полигоны) *сүтек бомбасын* жару арқылы жүзеге асырылды. Термоядролық бомбаның ішіне жоғары температура алу үшін атом бомбасының заряды және жеткілікті мөлшерде сүтек изотоптары (мысалы, дайтерий) орналастырылады. Термоядролық жарылыста әуелі атом бомбасының заряды іске қосылады да, температура миллиондаган градусқа көтеріліп, сүтек изотоптарының ядролары жаппай біріге бастайды. Осылайша әп-сөтте атом бомбасының жарылысы сүтек бомбасының жарылысына ұласады.

3. Қолдан басқарылатын термоядролық реакцияларды іске асыру зор қындықтарға кезікті. Оларды жүзеге асыру үшін, негізінен, үш мәселені ғылыми-техникалық тұргыда шешу керек.

Біріншіден, сүтек газын қыздыру арқылы ыстық плазманың температурасын ондаған миллион градусқа көтеру қажет.

Екіншіден, термоядролық реакцияны тұтандыру үшін ыстық плазманы сұйтпай, белгілі бір көлемде кем дегенде $10^{-1} - 10^{-2}$ с үстап тұру қажет.

Үшіншіден, термоядролық реакция қарқынды жүріп, энергия шығымы қажетінше мол болуы үшін ыстық плазмадағы дайтерий ядроларының тығыздығы белгілі бір шамадан кем болмауга тиіс, яғни 1 m^3 көлемде кем дегенде 10^{22} белшек болуы керек.

Осы үш шарт қатарынан орындалса гана басқарылатын термоядролық реакцияны іске асыруға болады. Алайда плазма заттың ең орнықсыз құбылмалы күйі болып табылады. Сондықтан жоғарыда айтылған үш шартты бір мезгілде орындау мәселесі әлі күнге шешуін таппай отыр.

Басқарылатын термоядролық реакцияларды жүзеге асыра алған жағдайда оның адамзат қогамын мәңгі бақи рақатқа бөлейтін екі ұлы артықшылығы бар. Біріншіден, жеңіл элементтердің ядроларының бірігүй реакциясында ауыр элементтердің ядроларын белетін реакциядағыдай аса зиянды қалдықтар мен қоқыстардың орнына кәдімгі таза су түзіледі. Екіншіден, термоядролық энергияның «отыны» – жеңіл элементтің (сүтектің) қоры ғаламда да, Жер бетінде де шексіз мол. Ал әндируі қын әрі зардапты ауыр элементтердің (уранның) қоры 2–3 мың жылға гана жетеді.

4. Термоядролық плазманы үстап тұрудың бір тәсілін Нобель сыйлықтарының иегерлері ресейлік А.Д. Сахаров пен И.Е. Тамм 1950 ж.

ұсынды. Бұл тәсіл бойынша ыстық плазманы салқын қабыргаларға ти-гізбей, аса қуатты магнит өрісінде ұстап түруға болады. Расында да, Лоренц күші плазмандың зарядталған бөлшектерін термоядролық реактордың ішкі өзегіндегі магнит өрісінің күш сзықтарына «байлан», оларды ұстап тұра алады.

Ыстық плазманы магний өрісінде ұстап түруға негізделіп жасалған қондырығыны *токамак* деп атайды. Оның аты *тор*, *камера*, *магниттік катушка* сөздерінің алғашқы буындарынан құралған. Токамак болашақ *термоядролық реактордың* негізі болады деген үміт бар.

5. Күн мен жұлдыздардагы энергияның негізгі көзі сутек ядроларын гелий ядроларына айналдыратын термоядролық реакциялар болып



Сурет 7.10. Сутек ядроларының бірігу реакциясы

табылады. Жұлдыздарда термоядролық реакциялар үшін қажетті жадайлардың бәрі де бар. Жалпы алғанда, Фаламдагы заттардың 99%-ын сутек құрайды. Сондықтан жұлдыздар қойнаудың мол сутек ядролары жоғары қысым мен температуралың салдарынан бір-бірімен бірін, гелий ядросына айналады (сурет 7.10). Сутек изотоптарын гелийге айналдыратын термоядролық реакциялар мына ретпен орындалады:

- 1) ${}_1^1\text{H} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_1^2\text{H} + {}_1^0e + \gamma;$
- 2) ${}_1^2\text{H} + {}_1^1\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + \gamma;$
- 3) ${}_2^3\text{H} + {}_2^3\text{He} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_1^1\text{H} + {}_1^1\text{H}.$

Мұндағы ${}_1^1\text{H}$ және ${}_2^3\text{He}$ – сутек изотоптары (сутек және дейтерий), 0_1e – позитрон (антиэлектрон), γ – нейтрино, ${}_2^4\text{He}$ және ${}_1^1\text{H}$ – гелий изотоптары.

Осылайша орындалатын протон – протондық термоядролық реакцияда тұрақты гелий изотопы ^4He пайда болады. Гелийді түзуге төрт сутек атомы қатысады және реакция барысында 28,5 МэВ энергия босайды. Күн әрбір секунд сайын өзіндегі термоядролық реакцияға 564 млн т сутек жұмсалып, 560 млн т гелий өндіреді. Сондагы туындастының $\Delta m = 4$ млн тонна масса ақауы есебінен (бұл алғашқы массасынан 0,7%-ы) күн энергиясы өндіріледі, ол мына өрнек бойынша анықталады:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ}.$$



Сұрақтар



1. Заттың қандай күйін плазма дейміз?
2. Термоядролық реакциялар дегеніміз қандай реакциялар?
3. Басқарылатын термоядролық реакция алу үшін қандай проблемаларды шешу керек?
4. Басқарылатын термоядролық реакциялардың қандай артықшылықтары бар?



Жаттығу 7.5

$E = \Delta m \cdot 931,5$ МэВ формуласын пайдаланып, төмендегі есептерді шыгарыңдар. Формуладағы $\Delta m = \sum m_{\text{сол}} - \sum m_{\text{оц}}$ айырымы бойынша анықталады.

1. Бөлшектер мен атомдардың тыныштық массалары мен энергиялары көрсетілген кестелердегі мәндерін пайдаланып, мына $^7_3\text{Li} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^8_4\text{Be} + ^1_0\text{n}$ ядролық реакцияда қаша энергия босап шығатынын анықтаңдар.
2. Мына $^2_1\text{H} + ^3_1\text{H} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^1_0\text{n}$ термоядролық реакцияда қаша энергия босайды?



Семей ядролық полигоны тарихынан

Кеңес Одағында ядролық қару бірінші рет Семей полигонында 1949 жылы 29 тамыз айында сыналды. Оның жарылыс қуаты 22 килотоннаның күрады. 1953 жылдың 12 тамызында қуаты 400 килотонна болатын термоядролық (сүтек) бомба Жер бетінде сынақтан өтті. Ал 1955 жылдың 2 қарашада қуаты бұдан да жоғары термоядролық бомба Жер бетінен 2 км биіктікте ауда жарылды. Ядролық қаруды сынау қарқының артқандығы сондай, тек алғашқы 14 жылдың ішінде Семей полигонында жарылған ядролық қарудың жалпы қуаты Жапонияның Хиросима қаласын 1945 жылы түрғындарымен бірге жермен-жексен еткен Американың атом бомбасының қуатынан 2500 есе асып түсті. Міне, осылайша Қазақстан аймағында атом қаруын Жер бетінде де, атмосфера



Сурет 7.11. а) Полигондағы қондырғы; б) «Атом» көлі

мен жер қойнауында да сынау үзіліссіз 40 жылға үласты. Олардан қалған «ескерткіштер» де жетерлік (сурет 7.11). Суреттегі «Атом» көлі құаты 140 килотонна болатын сутек бомбасының жарылысынан кейін 1965 жылы пайда болды. Мұндай қуат 2000 вагон тротилдің бір мезгілдегі жарылысына пара-пар еді. «Атом» көлінің диаметрі 500 м, терендейті 80 м. Көл жиегіндегі радиация қазірдің өзінде қалыпты нормадан 114 есе асып түседі.

Осы жылдар аралығында Семей полигонында ғана кем дегенде 468 ядролық жарылыс орын алды. Бұндай алапат ядролық жарылыстардың ауыр зардабын Қазақстанның бүкіл батыс және орталық аймақтары ғана тартып қойған жоқ, сонымен қатар көрші елдер де сезінді. Әйткені жарылыста пайда болған радиоактивті сәулелер мен тозандарды, тіпті сонау алыста жатқан Скандинавия елдерінің де ғалымдары өз аймақтарында тіркеп отырған. Еуропаның бірнеше елдерінің байтағын қамтуға жараптық 18500 км² аумақты алып жатқан бұл полигонның 300 км² белігі аса қауіпті аймаққа жатады. Әйткені бұл аймақта шашылған радиоактивті элемент плутонийдің толық ыдырауы үшін 100000 жылдан аса уақыт қажет. Алайда соған қарамастан әлемдегі ядролық полигондардың ішінде адамдар сүйнішіп, жерін басып тұрып жатқан бірден-бір полигон Семей ядролық полигоны болып табылады.

Халқымызға аса мол қасірет әкелген бұл полигон ел тәуелсіздігі қарсанында Қазақстанның Тұңғыш Президенті Нұрсұлтан Әбішұлы Назарбаевтың жарлығымен 1991 жылы 29 тамызда жабылды. Оны жабуға ядролық қаруға қарсы Олжас Сүлейменов басқарған «Невада-Семей» халық қозғалысы зор үлес қосты. Қазірдің өзінде де (2009 жылғы деректер бойынша) оның қауіпті аймақтарында радиоактивті саулеленулердің дозасы сағатына 10–20 миллирентгеннен асады.

§50.

РАДИОАКТИВТІ ИЗОТОПТАР.
РАДИАЦИЯДАН ҚОРҒАНУ

1. Радиоактивті изотоптарды ғылыми зерттеулерде, өнеркәсіпте, ауылшаруашылығында, медицинада, басқа да салаларда қолдану күннен-күнге артып келеді. Алайда табиғи радиоактивті изотоптарды пайдалану көптеген қолайсыздықтар тұрызады. Оның себебін түсіндіру де қын емес.

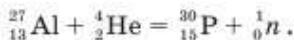
Табиғи радиоактивті нуклиидтердің (мысалы, уран, радий ядролары т.с.с.) массалық сандары жоғары болып келеді. Сонымен қатар олардың жартылай ыдырау периодтары да 4,5 млрд жыл құрайды. Оның үстінен ауыр элементтер табиғатта шашыранды түрде сирек кездеседі.

Сонымен, *әрі арзан, әрі жеңіл және жартылай ыдырау периоды өтеп қысқа жасанды радиоактивті изотоптар шыгаруга болмас па?* деген сұрақ туды. Ондай радиоактивті изотоптар қоршаган ортага да көп зиян келтірмейді. Қолданыс тапқаннан кейін оның радиоактивті нуклиидтері тез ыдырап, қауіпті сөулелер шығармайды.

Зерттеулер жеңіл элементтерді әртурлі бөлшектермен атқылау арқылы жасанды радиоактивті изотоптарды алуға болатынын көрсетті.

Жасанды жолмен алынатын радиоактивті изотоптарды радиоизотоптар деп атайды.

Радиоизотоп 1934 жылы алғаш рет алюминийді α -бөлшегімен атқылаап, ядролық реакция тұрызу арқылы алынды:



Бұл реакцияда пайда болған жаңа изотоп фосфор ядросының жартылай ыдырау периоды 3 минуттан аспайды.

Сол сияқты магнийді нейтрондармен атқылағанда, натрий изотопы пайда болады:

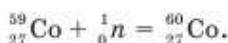


Мұндай ядролық реакциялардан таза сутек өндіруге болатыны көрінеді. Сутек термоядролық отынғана емес, тамаша химиялық та отын болып табылады. Ол оттекпен қосылып жанғанда (химиялық реакцияға түскенде), күл немесе тұтін-күйе орнына қоршаган ортаны ластамайтын, тап-таза мөлдір су түзеді. Осылайша жер қойнауындағы қоры азайып келе жатқан органикалық отын орнына сутекті пайдалану идеясы туындейды.

Жасанды радиоактивтікі тұңғыш ашқан Ирен Жолио-Кюриге және оның күйеуі Фредерик Жолио-Кюриге 1935 жылы Нобель сыйлығы тапсырылды.

2. Изотоптардың атомдары белгілі бір ортада қозғала отырып, радиациялық сөулелері арқылы сол ортаның жай-күйі туралы үнемі хабар беріп тұрады. Сондыктан *радиоактивті изотоптардың атомдарын таңбалы атомдар* деп атайды. Өйткені олардың белгілі ортадағы қозғалысын және мөлшерін (концентрациясын) радиоактивті сөулелерді тіркейтін сезгіш аспаптар арқылы біліп отыруға болады.

Жерасты құбырларымен ағатын сұйықтарға таңбалы атомдардан аз-ғана қосып, олардың қозғалысын арнағы детектор арқылы бақылап, құбырдың жарылған жерін тез тауып алуға болады. Радиоактивті изотоптарды медицинада әртүрлі ауруларды емдеу үшін қолданады. Кобальт-60 шығаратын гамма-сөулелерді рак ісіктеріне қарсы пайдаланады. Кобальт-60 радиоизотопын қалыпты кобальт-59 изотопын нейтрондармен атқылау арқылы алғынады:



Гамма-сөулелер бүйымдардағы ақау мен жарықшактарды анықтауға да қолданылады. Электр энергиясымен жумыс істейтін рентгендік аппаратурға қарағанда шағын кобальт-60 изотопы алып жүргуге ыңғайлы және тұрақты электр көзін қажет етпейді. Әрине, аса өткіш гамма-сөулелдерден сақтану ережелерін қатаң орындаپ отыру керек.

Фосфор-32 және йод-131 радиоизотоптары ішкі ақауларды анықтауға, өсімдік бойындағы және адам мен жануар ағзаларындағы тамырлар мен ішек-қарындағы заттардың қозғалысын бақылауға қолданылады. Сейтіп, ішкі органдардың күйін біліп, ондагы жара мен ісіктердің диагностикасы жасалады.

Таңбалы атомдар бағалы заттарды, қымбат бүйымдарды, сондай-ақ ақша банкноттарын сараптау үшін де қолданылады. Радиоизотоптардың таңбалы атомдарын механизмдердің подшипниктеріне, қажалатын басқа да бөліктеріне алдын ала енгізіп, олардың бұзылу жылдамдығын радиоактивті үгінділер арқылы біле аламыз.

3. Табиги және жасанды радиоактивті изотоптарда ядролардың өздігінен ыдырау процесі үздіксіз жүріп жатады. Демек, олар сыртқы ортага α және β -бөлшектері мен гамма кванттарын үнемі атқылаумен болады. *Мұндай радиоактивті сөулелерді радиация немесе иондагыш сөулелер* деп атайды. Олардың кинетикалық және электромагниттік

энергиялары үлкен шамага жетеді. Сондықтан ондай бөлшектер жолындағы денелердің атомдары мен молекулаларының химиялық-физикалық қасиеттерін өзгертіп, олардың араларындағы қалыпты байланыстарды үзеді. Осылайша биологиялық денелер де, басқа табигати денелер де өзгеріске ұшырайды. Өсіреле тірі табигат, яғни адам мен жан-жануарлар, есімдіктер мен басқа да тіршілік иелері зор зардан шегеді.

Атом бомбалары мен уран кеңіштерін айтпағанның өзінде, атомдық реакторлар мен атом электрстансылары да радиацияның көзі болып табылады. Сондай-ақ Құн радиациясының, гарыштан келетін басқа да бөлшектердің зиянды әсерін де білуіміз қажет. Ол үшін изотоптардың сөүле атқылау белсенділігін, сондай-ақ радиацияға душар болған денелердің алған сөулелерінің мөлшер-дозасын нақты білу қажет. Қандай доза шегінде жұмыс істеуге болады, қандай доза денсаулыққа зиян немесе адам өміріне қауіпті? деген сұрақтарға да жауап беруіміз керек.

4. Иондағыш сөулелерден қорғау үшін олардың өтімділік қасиеттерін білген жөн. Радиоактивті изотоптармен жұмыс істегендегі, олардың өтімділігіне орай тиісті қауіпсіздік ережесін бұлжытпай орындау керек.

Альфа-бөлшек парақ қағаздан ете алмайды. Алайда адамның ішкі органдарына тыныс жолымен немесе жеген тағамы арқылы өтіп кетсе ете қауіпти.

Бета-бөлшектердің өтімділік қабілеті үлкенірек. Олар адам ағзасына 1–2 см теренде ене алады. Ал бірнеше миллиметр алюминий қаңылтыры оны толық жұтып алады.

Гамма-сәуленің өтімділік қабілеті аса күшті. Сондықтан одан қорғану үшін қорғасынның немесе бетон плиталардың қалың қабаты пайдаланылады.

Изотоптардың активтілігі (белсенділігі) деп олардың бір секундаға ыдыраған ядроларының санын айтады.

Активтіліктің өлшем бірлігіне беккерель (Бк) алынды. Бұл бірлік активтілікті ашқан Беккерельдің құрметіне аталған. Мысалы, қандай да бір заттың 1 с ішінде 504 ядросы ыдыраса, оның активтілігі 504 Бк болады. Ертеректе активтілік бірлігіне кюри (Ки) алынған еді:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}.$$

5. Тірі ағзаның радиациядан алған энергиясы мол болған сайын биофизикалық қасиеттері өзгеріп, тіпті генетикалық деңгейдегі бұзылуы арта береді. Сондықтан радиацияның организмге беретін энергия мөлшерін бағалай білудің маңызы зор.

Радиацияның организмге берген энергия мөлшері сәулелену дозасы деп аталады. «Күн өтіпті» деген халық диагностикасы мен «сәулелік ауру» деген қазіргі медицина диагностикасы арасында тұра байланыс бар. Жаздың ыстық күндерінде білмеген адамға ерсі көрінгенімен, өзбек пен тәжіктің ала шапан киоінде, қыргыз бен түркменнің ақ киіз қалпағы мен елтірі бөрігін, дала қазагының түйежүн шекпенін тастамауында халықтың радиациядан қорғануының ғасырлық тәжірибесі жатыр.

Шынында да, Күн бетінен келетін радиация біркелкі емес. Алапат қысым, ғаламат температура жағдайында Күн төсінен ыстық плазма оқтын-оқтын буырқана атқылап, жұздеген мың километрге шашып, төңірегіне тарайды. Осындаға өте өтімді күн радиациясынан денені қорғамау денсаулыққа зиян келтіреді.

Дененің бір килограмында жүтылған радиация энергиясының мөлшері жүтылған доза деп аталады: $D = \frac{E}{m}$, мұндағы E – (организмде) денеде жүтылған радиация энергиясы, яғни сәулелену дозасы, m – дененің массасы. Жүтылған дозаның бірлігіне *грей (Гр)* алынады: $1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Бұрын жүтылған доза рад бірлігімен өлшенген:

$$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}.$$

Қоршаган ортада табиги радиация (гарыш сәулесі, радиоактивті элементтердің шығаратын сәулелері) әрқашан болған, бар және бола да бермек. Оны радиацияның табиги фоны дейді. Ондай фон қоршаган ортадағы барлық денелерде, соның ішінде адамда да бар. Табиги фонның есебінен бір адам жылына $2 \cdot 10^{-3}$ Гр радиация алады.

Радиоизотоптармен жұмыс істейтін адамдар үшін бір жылдық *шекті босатылған доза* (ШБД) $5 \cdot 10^{-2}$ Гр = 50 мГр, ал тұрғындар үшін $5 \cdot 10^{-3}$ Гр = 5 мГр. Қысқа уақытта алынған 3–10 Гр радиация адам өміріне аса қауіпті.

Практикада сәулелену дозасының бірлігіне *рентген (Р)* қолданылады. $1 \text{ Р} = 8,4 \cdot 10^{-3}$ Гр = 8,4 мГр. Тұрғындар үшін ШБД 0,6 Р, ал изотоптармен жұмыс істейтін адамдарға ШБД 6 Р шамасында болады.

Радиация деңгейін өлшептін арнайы құралдарды *дозиметр* деп атайды. Олардың жан қалтага салып жүретін түрлері де бар. Өкінішке қарай, ондай дозиметрлер радиациялық қоқыстардың көптігіне қарамастан, біздің елімізде кең қолданылмай келеді.

6. Айналады ортаны радиация қалдықтарымен ластау адамға да, табигатқа да жасалған зиянкестік. Сондықтан атомдық реакторлар мен

атом электрстансыларын салуда, уран өндіруде жеті рет өлшеп, бір рет кескен жөн. Атом энергиясын қауіпсіз өндіру адамзатқа қойылып отырған үлкен сын, онсыз өркениеттің өрге басуы мүмкін емес. Алайда радиоактивті қалдықтарды залалсыздандыру немесе қауіп келтірмestей етіп сақтау адамзат алдындағы ең курделі мәселелердің біріне айналып отыр. Бұл мәселелерді оңтайлы шешу үшін ұлттық деңгейде арнағы радиациялық қауіпсіздік шарапарды қабылданап, іске асырылуы керек. Кері жағдайда табигатта үздіксіз жүріп жататын зат алмасулары салдарынан, радиоактивті бөлшектер жер беті мен су көздерін ластап, тіршілікті бірте-бірте жоютын болады. Міне, сондықтан қоршаган табиғи ортаның тазалығын сақтауда әр адамға зор жауапкершілік жүктеледі.



Сұрақтар

1. Радиоизотоптар дегеніміз не және олар қалай алынады?
2. Таңбалы атомдар деп қандай атомдарды айтады?
3. Радиациялық сөулелер, таңбалы атомдар қай жерде және қандай мақсатта қолданылады?
4. Радиоактивті сөулелердің етімділік қасиеттері қандай?
5. Изотоптардың активтілігі дегеніміз не және ол қандай бірлікпен өлшеменеді?
6. Сөулелену дозасы және жұтылған доза деп қандай шамаларды айтады?
7. Шекті босатылған доза мен адам өміріне қауіпті доза мөлшері қандай? Грей мен рентген бірліктерінің арақатынасын мысалдармен туғындар.
8. Халықты, қоршаган ортаны радиациядан қорғау үшін қандай шарапар атқару қажет?



Практикалық тапсырма

«Қазақстанда атом бомбалары сыналғанда пайда болған радиоактивті қалдықтардың жартылай ыдырау периодтары» тақырыбында зерттеу жобасын жүргізіп, қорытынды жасаңдар.

VII тараудағы ең маңызды түйіндер

- *Массалық сан:*

$$A = Z + N.$$

- *Масса ақауы:*

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - M_A.$$

- *Ядроның байланыс энергиясы:*

$$E_6 = \Delta m c^2 \text{ немесе } E_6 = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

- *Ядроның мешікті байланыс энергиясы:*

$$E_u = E_6 / A.$$

- *Заряд сандарының сақталу заңы:*

$$\Sigma Z_p = \Sigma Z_n = \text{const.}$$

- *Массалық сандардың сақталу заңы:*

$$\Sigma A_p = \Sigma A_n = \text{const.}$$

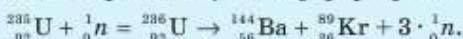
- *Альфа және бета ыдыраулардың формулалары:*



- *Ядролардың радиоактивті ыдырау заңы* (Резерфорд пен Содди формуласы):

$$N = \frac{N_0}{2^n} = \frac{N_0}{2^{t/T}}.$$

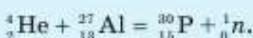
- *Уран-235 изотопы ядросының боліну формуласы:*



- *Сутек изотоптары ядроларының бірігу формуласы:*



- Алюминийді α -бөлшекпен атқылап, фосфор радиоизотопын алу формуласы:



- Нейтрондармен кобальт-59 изотопын атқылап, кобальт-60 радиоизотопын алу формуласы:



- *Радиацияның жұтылған дозасы:*

$$D = E/m,$$

мұндагы E – дене жүтқан сөүлениң энергиясы, m – дененің массасы.

VIII ТАРАУ

ӘЛЕМНІҢ ҚАЗІРГІ ФИЗИКАЛЫҚ БЕЙНЕСІ

ОҚУШЫЛАР МЕНГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- ➡ элементар бөлшектерді жіктеу;
- ➡ адамның дүниетанымдық көзқарасының қалыптасуына физика және астрономияның дамуының ықпалын түсіндіру;
- ➡ жаңа технологиялардың қоршаған ортаға ықпалының артықшылығы мен қауіптілігін бағалау.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті жогарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде үзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұфымдар қарастырылады: «Дүниетаным», «Жаңа технология», «Қоршаған орта», «Экология», «Экологиялық мәдениет».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қазақша	Орысша	Ағылшынша
Дүниетаным	Мировоззрение	Worldview
Жаңа технология	Новая технология	New technology
Қоршаған орта	Окружающая среда	Environment
Экология	Экология	Ecology
Экологиялық мәдениет	Экологическая культура	Ecological Culture

§51.

ЭЛЕМЕНТАР БӨЛШЕКТЕР –
ДҮНИЕНИҢ КІРПІШІ

1. Өз құрылымы мен құрамы болмайтын бөлшектің элементар бөлшек деп атайды. Атомның құрамдас бөлшектері электрон, протон және нейтрон элементар бөлшектер деп аталады. Элементар бөлшектер қатарына фотон және антибөлшектер де кіреді. Электронның антибөлшегін позитрон, ал протонның антибөлшегін антипротон деп атайды. Олар бір-бірінен зарядтарының таңбасымен гана ерекшеленеді. Мысалы, электронның бір теріс элементар заряды бар болса (e^-), позитрон бір оң элементар зарядты иеленеді (e^+). Дәл осылай протон (p^+) бір оң элементар зарядты, ал антипротон (p^-) бір теріс элементар зарядты иеленеді. Ал олардың массалары бірдей болып келеді.

Бір кездері молекулаларды, одан кейін атомдарды дүниенің бөлінбейтін кірпіши, яғни элементар бөлшегі деп айтқан болатын. Ал қазір элементар бөлшектер қатарында олардың антибөлшектерін қоса есептегенде 400-ден аса бөлшектер бар. Алайда олардың көпшілігінің құрылымы күрделірек болып шықты.

2. Элементар бөлшектердің жіктең топтастырудың көптеген түрлері қарастырылада. Тәменде элементар бөлшектердің бес параметр бойынша жіктеудің түрлеріне қысқаша тоқталамыз. Мұндай параметрлерге бөлшектердің тыныштық **массасы**, электр **заряды**, айналмалы қозғалысы **импульсінің моменті** (қысқаша спині деп аталады), **өмірлік уақыты** және әртүрлі **әрекеттесулерге қатысуы** жатады. Сонымен, элементар бөлшектер тәмендергіш жіктеледі.

Біріншіден, «элементар» бөлшектер электронның тыныштық **массасымен** (m_e) салыстырыла жіктеледі. Мысалы: протонның массасы $m_p = 1836 m_e$; нейтронның массасы $m_n = 1841 m_e$; пи-мезонның массасы $m_{\pi} = 270 m_e$; мюонның массасы $m_{\mu} = 207 m_e$ т.с.с.

Екіншіден, электр заряды бойынша жіктеледі. Бөлшектердің оң немесе теріс зарядтары электрон мен протонның бойындағы элементар заряд бірлігіне ($\pm e$) еселене көрсетіледі. Кейбір бөлшектердің (мысалы, фотон мен нейтронның) зарядтары байқалмайды.

Үшіншіден, спиндері бойынша жіктеледі. Мысалы: протон мен электронның спині жартыға $\left(\frac{1}{2}\right)$, ал фотонның спині бірге (1) тең. Спиндері екіден (2) үлкен болатын бөлшектер жоқ. Спиндері бойынша барлық бөлшектер бүтін санды спиндері бар **бозондық** бөлшектерге және жар-

тылай немесе жартылай толық $\left(\frac{1}{2}; \frac{3}{2}\right)$ спиндері бар **фермиондық** бөлшектерге жіктеледі.

Төртіншіден, өмірлік **уақыттарына** қарай **орнықты** **бөлшектерге** және **орнықсыз** **бөлшектерге** жіктеледі. Орнықты бөлшектерге **электрон**, **протон**, **фотон** және **нейтрино** жатады. Қалған бөлшектердің бәрі де орнықсыз бөлшектер болып табылады. Олардың өмірлік уақыттарының ең көбі бірнеше микросекундтан аспайды. Олар өте қысқа уақыт аралықтарында басқа бөлшектерге ыдырап кетеді.

Бесіншіден, бөлшектерді әртүрлі өрекеттесулерге қатысуларына қарай жіктейді. Мысалы, ядродагы нуклондардың арасындағы құшті өрекеттесуге қатысатын бөлшектерді **адрондар** деп атайды. Ал тек әлсіз (мысалы, электромагниттік) өрекеттесулерге қатысатын бөлшектерді **лептондар** дейді (сурет 8.1).

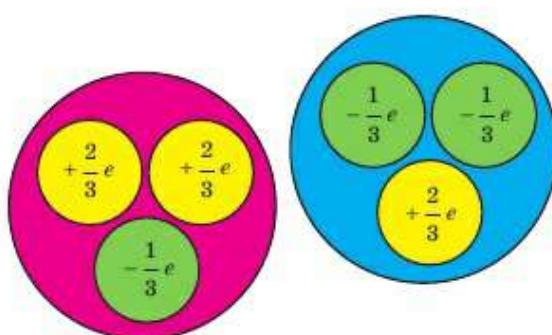


Сурет 8.1. Элементар бөлшектердің жіктелуі

3. Адрондар деп аталатын ауыр бөлшектердің көптеп ашылуына байланысты 1964 жылы америкалық физик М. Гелл-Ман олардың құрылымы туралы жаңа гипотеза ұсынды. Бұл гипотеза бойынша адрондар «нагыз іргелі элементар бөлшектер» деуге болатын үш түрлі **кварк** пен үш түрлі **антинварк** деп жорта аталған бөлшектерден тұрады.

Бір қызығы, олардың зарядтары элементар зарядқа (e) бүтін санға еселеңбей, бөлшек түрінде (мысалы: $-\frac{1}{3}e$; $+\frac{2}{3}e$) еселеңеді. Үш түрлі кварктің үш түрлі антиварктері болады. Гелл-Манның теориясы бойынша үш түрлі кварктер орналасуларына қарай әртүрлі адрондық немесе лептондық бөлшектердің құрайды.

Мысалы, адрондар тобына кіретін протон мен нейтрон үш кварктің жиынтығынан тұратын құрделі құрылым болып табылады (сурет 8.2). Ал кварктер құрылымсыз нагыз элементар бөлшектер ретінде қарасты-



Сурет 8.2. Протон мен нейтронның кварктік құрылымы

рылады. Өз кезеңінде адрондарға жататын мезондар кварк пен антикварк жүбынан тұрады. Соңғы жылдардағы зерттеулер Гелл-Ман болжамының дүрыстығын теорияда дамытып, экспериментте де дәлелдеу үстінде.



Сұрақтар

1. Элементар бөлшектер деп қандай бөлшектерді айтады?
2. Бөлшек пен антибөлшек бір-бірінен қалай ерекшеленеді?
3. Элементар бөлшектер адрондар мен лептондарға қандай параметрлері бойынша жіктеледі?
4. Элементар бөлшектер кварктік құрылым бойынша қалай жіктеледі? Мысал көлтіріңдер.

§52.

ФИЗИКА МЕН АСТРОНОМИЯНЫҢ ДУНИЕТАНЫМДЫҚ МАҢЫЗЫ

1. Бізді қоршаған барша ғаламның адам санасындағы шынайы бей-некөрінісі оның *ғылыми дүниетанымын* анықтайды. Ғылымның әр саласы адамның біртұтас дүниетанымын қалыптастыруға өз үлесін қосады. Солардың ішінде ең жетекші орынды физика мен астрономияның ақырат заңдары және теориялары иеленеді. Өйткені дүниенің физикалық-астрономиялық көрініс оның адам санасындағы ең жалпы және ең нақты бейнелік формасы (түрі) болып табылады.

Ғылыми теориялардың жетіліп дамуына сәйкес дүниенің адам сана-сындағы көрінісі де терендеп, жетіле туспін отырады. Мысалы, меха-никалық физика мен астрономияның алгаашқы даму кезеңінде Ньютоңның классикалық теориялары қанат жайып, адамзат санасында *дүни-*

niң механикалық көрініс-бейнесі қалыптасты. Мұндай кезқарастың ең басты тірегі $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$ формуласымен өрнектелетін **Бүкіләлемдік тартылыс заңы** еді. Мұндағы $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$ барлық Фаламға ортақ іргелі әмбебап гравитациялық тұрақты деп аталады.

Сейтіп, массасы m кез келген денелердің төңірегінде олардың бір-біріне тартылысын туғызатын **гравитациялық өріс** деп аталатын айрықша өрістің пайда болатындығы белгілі болды.

2. Әлемнің механикалық көрінісі кейінірек **әлемнің электродинамикалық көрінісімен жетіле** түсті. Әлемнің жаңа физикалық көрінісі гравитациялық өріске мүлде үқсамайтын **электромагниттік өріс** деп аталатын тағы бір айрықша өрісті сипаттайтын Максвелл теорияларына негізделеді. Расында да, физика ғылымының дамуы барысында денелердің қасиеті тек массаларымен ғана емес, олардың бойындағы екі түрлі $\pm q$ зарядтарымен де сипатталатындығы анықталды. Оның үстіне заряды бар қозғалмайтын денениң төңірегінде **магнит өрісінің** пайда болатындығы ашылды. Сонымен қатар айнымалы электр және айнымалы магнит өрістері алма-кезек бірін-бірі туғызып, **электромагниттік** деп аталатын айрықша өріс пайда болады.

Электромагниттік өрістің қеністікте толқын түрінде тарайтындырын Максвелл теория жүзінде дөлелдеді. Ол Күннен және басқа да қызған денелерден тарайтын жарық сөулелері қеністікте тараган электромагниттік толқын деп жорыды. Жарықтың таралу жылдамдығын да $c = \lambda \cdot v = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ Максвелл есептеп берді.

Оның теориялық болжамдары кейінірек эксперименттерде толығымен дөлелденді.

Сейтіп, бізді қоршаған дүниенің негізін құрайтын материяның екі түрі: **заттық** және **өрістік** формалары белгілі болды.

Жарық жылдамдығы да (c) гравитациялық тұрақты (G) сияқты *iргелі әмбебап тұрақты* болып табылады. Ол масса мен энергияның байланысын беретін Эйнштейн формуласында да ($\Delta E = \Delta t \cdot c^2$) көрініс тапты. Осылайша адамзат санаасында дүниенің жетіле түскен жаңа физикалық бейнесі – **әлемнің электродинамикалық көрінісі** қалыптасты.

3. Физика ғылымының дамуындағы үшінші бетбұрысты кезең жылулық сөулеленулердің эксперименттік зандалықтарын Ньютон мен Максвеллдің теориялары түсіндіре алмауынан, яғни «ультракүлгін апатынан» басталады. Қындықтан шығудың амалын Планк тапты. Ол энергия үзілісті үлес түрінде сөулеленіп шығады немесе жұтылады деп болжады. Ең кіші бір үлес энергияны бір «квант» деп атап, оның

шамасы $E = h\nu$ формуласымен анықталатындығын көрсетті. Мұндағы $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с түрақты шама. Осылайша бүкіл Фаламға ортақ әмбебап **Планк түрақтысы** (h) деп аталатын үшінші іргелі түрақты шама белгілі болды.

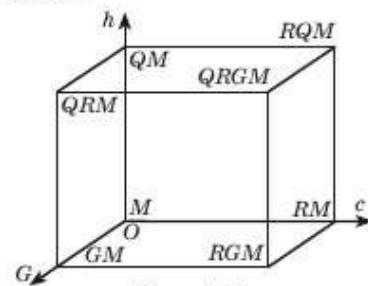
Энергия үздіксіз және үзіліссіз тарайды дейтін классикалық теория үғымдарына мүлде қайшы келетін Планктың үзілісті кванттық көзқарасы кейінгі эксперименттік зерттеулерде толық дәлелденді. Осылайша **кванттық физика** деп аталатын жаңа физиканың іргетасы қаланды. Сөйтіп, адамзат санасында әлемнің тереңдей түскен жаңа бейнесі – **дүниегінің кванттық-өрістік көрінісі** қалыптаса бастады.

4. Дүниеге физикалық көзқарастың бетбұрысты үш даму кезеңінде үш іргелі әмбебап түрақты ашылды. Олар: **гравитациялық түрақты** (G), **жарық түрақтысы** (c) және **Планк түрақтысы** (h). Физикадағы болашақ зерттеулер, сондай-ақ олардан туындастын жаңа дүниетанымдық көзқарастар осы әмбебап түрақтылардың арасындағы қатынастар мен байланыстарды анықтау бағытында дамиды деп күтілуде. Көрнекілік үшін осы үш іргелі түрақтылардың қатысуларымен ашылған немесе болашақта ашылуға тиісті физикалық теориялардың біртұтас модельдік көрінісін бейнелеуге болады (сурет 8.3).

Суреттегі модельде біртұтас дүниетанымдық көзқарасты сипаттайтын физиканың **сегіз іргелі теориясы** бейнеленген. Олар физиканың өткенін, бүгінгісін және болашақтағы теориялардың зерттеулерін елестетеді.

Сонымен, суреттегі Әлемнің біртұтас физикалық бейнесінің теориялық моделі үшөлшемді куб төріздес болып келеді де, оның үш қырына, яғни координаталар өстеріне әлемнің үш іргелі түрақтысы: G – гравитациялық түрақты, c – жарық жылдамдығы, h – Планк түрақтысы орналасқан. Біздерге таныс және болашақта дамитын іргелі физикалық теориялардың барлығы да аталаған үш түрақтыға негізделмек. Модель ашылған және ашылуға тиісті сегіз іргелі физикалық теориялардың араларындағы жүйелі байланысты, қатынасты олардың тарихи дамуымен үштастырып, көрнекті түрде көрсетеді. Оларға дүниетанымдық маңызы зор мына теориялар жатады.

1) $F = ma$ формуласына негізделген классикалық ньютондық **механика** (M) іргелі физикалық теориялардың бірі болып табылады. Ол әлемдік әмбебап түрақтылардың қамтымагандықтан, суреттен көрініп түргандай, координаталар жүйесінің бас нүктесінде орналасқан.



Сурет 8.3.
Физикалық теориялардың
моделі

2) Сондай-ақ G гравитациялық тұрақтыны қамтитын және осы есте орналасқан Бүкіләлемдік тартылыс заңына негізделген классикалық ньютондық гравитациялық механика да (GM) іргелі физикалық теория қатарына қосылады.

3) Электромагниттік толқынның (жарықтың) таралу жылдамдығын, яғни c тұрақтысын қамтитын Максвеллдің электродинамикасы мен салыстырмалылықтың арнайы теориясы, яғни релятивтік механика (ағылшынша белгіленеуі RM) үшінші іргелі физикалық теорияны құрап, c өсінің бойында орналасқан.

4) Ашылуына кванттар туралы Планк гипотезасы мен Бор постулаттары себеп болған және әлемдік h – Планк тұрақтысын қамтитын төртінші іргелі физикалық теория – кванттық механика (QM) h өсінің бойында орналасқан.

5) Екі әлемдік тұрақтыны (c және G) бірдей қамтыған релятивтік гравитациялық механика (RGM) бесінші іргелі физикалық теорияны құрайды.

6) Сол сияқты қос әлемдік тұрақтыға (c және h) негізделген релятивтік кванттық механика (RQM) алтыншы іргелі физикалық теорияға жатады.

7) G және h әлемдік тұрақтыны қоса қамтитын кванттық гравитациялық механика (QGM) теориясы жетінші іргелі физикалық теорияның санатына қосылады.

8) Сонымен қатар үш бірдей әлемдік тұрақтыларды (h , c және G) қамтитын кванттық релятивтік гравитациялық механика ($QRGM$) серізінші іргелі физикалық теорияның жүргін көтереді.

Жоғарыдағы модельді сипаттай отырып, физика ғылымының үнемі даму үстінде екендігіне, физикалық теориялардың ашылуы мен жетіліү толастамайтын үздіксіз процесс екендігіне көз жеткізе аламыз. Енде-ше, дүниенің ғылыми көрінісіне деген адамзаттың көзқарасы да жетіліп кеңейе бермек. Оған физикамен тығыз байланысты астрономия да мол үлесін қосып келеді.



Сұрақтар

1. Ғылыми дүниетаным деп иені айтамыз? Дүниетанымдың көзқарасты қалыптастыру не себепті физика мен астрономияда жетекші орын алады?
2. Физика ғылымының дамуының қай кезеңінде қоршаган орта туралы қандай дүниетанымдық көрініс қалыптасты?
3. Не себепті адамзат қоршаган әлем туралы дүниетанымдың көзқарасы өзгеріп отырады? Біртұтас дүниетанымдың көзқарастың дамуына қандай физикалық теориялар өз үлестерін қости немесе қосады деп күтілуде?

4. Әлемнің біртұтас теориялық физикалық көрінісін қалыптастыруға қандай іргелі әмбебап тұрақтылар қатысады және қандай арақатынаста қатысады? Жауаптарынды плакат бетінде сыйылған көрнекі модельдің жөрдемімен түсіндіріңдер.

§53.

ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МӘДЕНИЕТ

1. Физика мен астрономияның ғылым мен техникаға қосқан үшандығындағы үлесі мен жетістіктері туралы біз 7-9-сынып оқулықтарында көп теген деректер көлтірдік. Бұл пәндер ғылым мен техникада соңғы XX ғасыр ішінде түбекейлі төңкеріс жасады. Оның әсерін барлық ғылымдар, солардың ішінде, қоғамдық және гуманитарлық бағыттарғы ғылымдар да қүшті сезінді.

Физика мен астрономияның, әсіресе макро- және микроәлемдегі құбылыстарды түсіндірудегі жетістігі адамдардың дүниетанымдық ерісін кеңейтті. Бұл құбылыстар, сонымен қатар ғылыми-техникалық прогресске негізделген өркениеттің дамуына аса қажетті энергияның жаңа көздерін ашуға жөрдемдесті. Атом ядроларындағы энергияның мол қорын босату бұрын-соңды болмаған алып қондырыларды, қуатты қозғалтыштарды жасауға мүмкіндік берді. Бұлар қоғамның өндіргіш күшін еселеп арттырып, өлеуметтік-экономикалық салага иті әсерін тигізді.

Ғылыми-техникалық прогресске негізделген өндіріс күшінің еселеп артуы, өкінішке қарай, жаңа проблемалар туғызды. Бұлар ғылым мен техниканың жетістігін орынсыз қолданудан тұган биоэкологиялық проблемалар болып табылады.

Адамзаттың ұжымдық қарекетіне душар болған табиги орта ноосфера деп аталады.

Қазіргі кезде ноосфера өзінің табиги үйлесімді дамуынан ауытқып, техногендік апат алаңына айналуда. Ең өкініштісі, осының бәрі адамзаттың өзіне кесірін тигізіп отыр.

2. Адам мен табиғаттың үндестігі экологиялық мәдениеттің негізін құрайды. Бұндай үндестік пен жарасымды үйлесім қоғамдық сананың ескелеңдігін сипаттайтын.

Қоғамдық санаға қаяу түскенде табиги орта да, өлеуметтік орта да үлкен зардал шегеді. Өкінішке қарай, экологиялық дағдарысты жайтарға аяқ басқан сайын кез боламыз.

Сұлулығы мен табиги көркіне саф таза ауасы, көусар бұлақтары мен өзен-көлдері жарасқан қазақтың Ұлы Даласы 1949 жылдардан бастап

атомдық және басқа да жойқын қарулардың сынақ алаңына айналды. Арап теңізі мен басқа да өзен-көлдердің суалуы; жүздеген атомдық, сұтектік бомбалардың жарылуы; химиялық және бактериологиялық жаппай қырып жоятын қарулардың сыналуы; жан-жануарлар мен өсімдіктердің көптеген түрлерінің жойылуы, адамдардың ағзаларындағы ауытқулардың молауы – міне, осылардың бәрі экологиялық апат болып табылады.

Рухани және экологиялық мәдениеті биік қоғам гана адамзат пен табиғаттың цилесіміне қол жеткізе алады.

Экологиялық мәдениеттің білігіне жету үшін жалаң білім жеткіліксіз. Білім байлығына рухани байлықтың қосылуы гана адамды шынайы мәдениетті етеді. Ондай адамның экологиялық мәдениеті де биік болады. Экологиялық мәдениеті жоғары адам, мамандық түріне қарамастан, табиғи органдардың да, әлеуметтік органдардың да тазалығы үшін күрескер бола алады. Міне, нақ осындай көкейтесті мәселелерді шешуге бағыттайтын ұлы жолды Елбасы Н.Ә. Назарбаев 2017 жылы жарық көрген **Болашақ-қа бағдар: Рухани жаңғыру** деген тарихи еңбегінде айқындалап берді. Халқымыздың санасын асқаңтатып, рухын көкке көтеретін осы ұлы жолды әр азamat өзінің өмірлік мұраты деп қабылдауды қажет.

3. Білім байлығына рухани байлығы жарасқан ұлы тұлғалар отандық тарихымызда болған, бола да береді. Экологиялық мәдениеті биік сондай тұлғалардың тарихи көш басында адамзаттың екінші үстазы, қазақ топырағының ұлы перзенті Өбу Насыр әл-Фараби мен әйгілі физик, Нобель сыйлығының лауреаты А.Д. Сахаров тұр.

Әл-Фараби бұдан 1100 жылдай бұрын талай ғасыр үрпақтарына қолдан түспес оқулық болған көптеген кітаптар жазды. Солардың ішінде «Физиканың кейір принциптері туралы», «Вакуум жайында», «Химия өнеріне қажеттілік туралы», «Адам (денесі) мүшелері хақында», «Ақылдылық негіздері», «Философтардың сұрақтарына жауап» сияқты ғылыми-жаратылыштың трактаттары, «Қайырлы қала тұрғындарының көзқарасы» деген еңбегі рухани азбауышылыққа арналып, адамгершілік парасаттың биік белестеріне жетелейді. Ол: «Білім мен тәрбие жас үрпақтың қос қанаты, тәрбиесіз білім адамзатқа қасірет әкеледі», – деп ескертті. Біз ұлы гуманисттің: «Бақытқа кенелу үшін халықтар бір-біріне көмектесетін болса, онда барша Жер қайырымдылық мекеніне айналады», – деген өміршең өсietін есте сақтап, Қазақстанның мемлекеттік саясатының алтын арқауына айналғанын мақтан етуіміз қажет.

Сутек бомбасының «атасы» оның қазақ даласындағы жарылысын көріп, адамға да, табиғатқа да өлшеусіз апат әкелетінін сезінген А.Д. Сахаров өмірінің соңғы жылдарын қоғамдық сананы тазартуга, экологиялық ахуалды түзеуге арнады.

Тұңғыш Президент Н.Ә. Назарбаев «Жасыл желек – жасыл ел» бастамасы да белгілі қоғам қайраткерлері құрған «Семей – Невада», «Табиғат» бірлестіктері де еліміздегі экологиялық жағдай мен қоғамдық сананы рухани жаңартуға бағытталған. Міне, осындағы күрескерлердің арқасында қоғамдық сана түзеліп, табиги орта да, әлеуметтік орта да сауығу жолына түседі. Экологиялық зардалтардың көзін тауып, себеп-салдарын ашып, оларды үнемі сауықтырып отыру – қазақстанның таралығында, әсірепе Отанымыздың келешегі – жастардың алдында тұрған зор міндеп.



Сұрақтар

1. Физика мен астрономия саласындағы қандай жетістіктер гылым мен техниканың дамуына тәңкерең жасады?
2. Ноосфера туралы не білесіндер? Ноосферадағы экологиялық дагдарыс дегеніміз не?
3. Экологиялық мәдениеттің және рухани жаңғырулардың негізін қандай галымдар мен қайраткерлердің еңбектері құрайды?
4. Өзінің тұган жерінің, өскен ортаңың экологиялық күйі қандай?
5. Табиғатты қалпына келтіру үшін не істеу керек?

VIII тараудагы ең маңызды түйіндер

- *Элементар бөлшек* – өз құрамы мен құрылымы болмайтын бөлшек.
- *Антибөлшек* – массалары бірдей, зарядтары қарама-қарсы бөлшек.
- *Фарыш сәулелері* – Фалам кеңістігінен Жер бетіне келетін энергиясы аса үлкен бөлшектер.
- *Дүниетаным* – физика мен астрономия заңдары негізінде адам санауда қалыптасатын көзқарас.
- *Ноосфера* – адамзаттың ұжымдық қарекеттері өтетін табиги орта.
- *Экологиялық мәдениет* – адам қарекетінің табигат заңдарымен үндестігі.

ЖАТТЫҒУЛАРДЫҢ ЖАУАПТАРЫ

Жаттығу 1.1. 1) $x = 0$; $s = 10$ м. 2) 4 с; 16 м.

Жаттығу 1.3. 1) 20 м; 20 м/с. 2) 1 с; 7,5 м/с. 3) 80 м; 4 с. 4) 50 м/с; 80 м; 120 м. 5) 1,4 с; 28 м; 24,5 м/с. 6) 1,4 м. 39 м. 14,5 м/с. 8 м; 28 м.

Жаттығу 2.1. 1) $\approx 2,5$ есе. 2) Вега; $\approx 6,25$ есе.

Жаттығу 2.2. 1) Теріс. 2) 96° ; $280^\circ 45'$; 3) 6 сағ 2 мин; 7 сағ 2 мин 52 с.

Жаттығу 2.3. 1) $\lambda = 75^\circ$ шығыс бойлықта. 2) 2 сағ 43 мин 20 с. 3) 17 сағ 9 мин 40 с; 17 сағ 31 мин 40 с.

Жаттығу 2.4. 1) 19 есе. 2) 11,5 жыл.

Жаттығу 2.5. 1) 384680 км. 2) ≈ 400 есе. 3) $2,5 \cdot 10^6$ км. 4) 0,009 а.б. 5) 6800 км. 6) $4 \cdot 10^5$ есе. 7) 5 пс = 16,3 жар. жыл.

Жаттығу 3.3. 1) 150 Н. 2) 4 кН. 3) 10 см. 5) $a = \frac{F_T - mg(\mu \cos\alpha + \sin\alpha)}{m}$.

Жаттығу 3.4. 2) 0,9 кг. 3) 0,2 Н; 0,5 кг. 4) $-0,4$ м/с²; 0,4 Н. 5) $1,2 \cdot 10^{-1}$ м.

Жаттығу 3.5. 1) 1 м. 2) ≈ 2630 км. 3) 15 т.

Жаттығу 3.6. 1) 7,35 кН; 1,22 кН. 2) 2380 Н. 3) $a_1 = g$; $a_2 = -g/2$; 4) 1,7.

Жаттығу 3.7. 1) 120 м.

Жаттығу 3.8. 1) 1,6 м/с². 3) $1,99 \cdot 10^{30}$ кг. 4) $2 \cdot 10^{30}$ Н. 5) $6,6 \cdot 10^{23}$ кг.

Жаттығу 4.1. 1) 10^5 кг·м/с; $2,5 \cdot 10^4$ кг·м/с. 2) қорғасын импульсі 1,5 есе үлкен. 3) $2 \cdot 10^7$ кг·м/с. 4) 0,02 м/с. 5) $-0,75$ м/с.

Жаттығу 4.2. 1) 6,5 м/с. 2) 33 м/с. 3) 10 м/с. 4) 9000 Н. 5) 8,5 км/с.

Жаттығу 4.3. 1) $4 \cdot 10^{10}$ Дж. 2) 120 Дж. 3) $-1,1 \cdot 10^4$ Дж. 4) 8 Дж. 5) 16 Дж.

Жаттығу 4.4. 1) 17460 Дж. 2) 500 Дж. 3) 1 м/с. 4) 18 Дж. 5) 200 кВт. 6) бірінші тас. 7) 1,2 м.

Жаттығу 5.1. 4) 2 м; 4 м; 6 м. 5) 3 см; 6 см; 9 см; 12 см. 6) 1 мм.

Жаттығу 5.3. 2) 2,8 Дж; 3,8 м/с. 3) 4 см. 4) 200 г. 5) 2 с; 0,3 м; $\pi/2$.

Жаттығу 5.4. 1) 2,25. 2) 2,5 с. 3) 4,05 кг. 4) 1,887 Н/м; 1,44 с. 5) 2 есе.

Жаттығу 5.5. 1) $\approx 15,8$ Н/м. 2) 2,4 есе өседі. 3) ≈ 9 рад/с; $3,2 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Жаттығу 5.6. 1) 0,314 с. 2) 36 МГц. 3) 5 мкГн. 4) 0,314 мкс, 3 мГц. 5) $\approx 2,5$, Ф.

Жаттығу 5.7. 1) 0,16 м/с. 2) 2,7 м/с. 3) 10 м.

Жаттығу 5.8. 3) 3430 м. 4) 4,35. 5) 2 м.

Жаттығу 5.9. 1) 1,2 с. 2) 765 м. 3) 425 м. 4) 0,78 м. 5) 596 м.

Жаттығу 5.10. 1) 60–190 м. 2) көгілдір сәуле үшін ($\lambda = 0,4$ мкм). 3) 30 км.

Жаттығу 6.2. 1) 0,71 мкм. 2) рентген сәулесі. 3) 0,99 мкм.

Жаттығу 6.3. 1) $\approx 0,65$ мкм. 2) $\approx 6,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. 3) $7,7 \cdot 10^{15}$ Гц. 4) $3,45 \cdot 10^{-25}$ кг · м/с. 5) $5 \cdot 10^{-15}$ Дж; $2,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. 6) 100 ВТ.

Жаттығу 6.4. 1) Өзгермейді. 2) $2,4 \cdot 10^{-14}$ Дж. 3) $41 \cdot 10^{-12}$ м. 4) $2,1 \cdot 10^7$ м/с. 5) 79,8 кВ.

Жаттығу 7.1. 1) X_1 – гелий; X_2 – алтын; X_3 – темір; 2) Бірінші бөлшек – протон ($q = +1e$; $A = 1$; $Z = 1$). Екінші бөлшек – гелий атомының ядросы, яғни γ -бөлшегі ($q = +2e$; $A = 4$; $Z = 2$). Үшінші бөлшек нейтрон ($q = 0$; $A = 1$; $Z = 1$). Төртінші бөлшек – электрон ($q = -1e$; $A = 0$; $Z = 1$). 3) Гамма сәулесі шығатын болса, онда A мен Z сандары өзгермейді, массасы γ -кванттың массасына кемиді. Ал α -бөлшегі шығатын болса, онда ядроның массасы α -бөлшегінің (${}^4_2\text{He}$) массасына кемиді; массалық сан төртке ($A = 4$), ол заряд саны екіге ($Z = 2$) кемиді. 4) $\approx 11,38$ Н. 5) $3 \cdot 10^{18}$ кг/м³; 10^6 есе. 6) ≈ 1 км.

Жаттығу 7.2. 1) $5,5 \cdot 10^{-4}$ м.а.б.; 1,0060 м.а.б.; 5,12 Мэв; 937,1 Мэв. 2) 0,00736 м.а.б.; 0,01403 м.а.б. 3) $9 \cdot 10^{13}$ Дж. 4) 7,96 Мэв; 2,65 Мэв. 5) 1,9 Гэв. 6) 7,75 Мэв/нуклон.

Жаттығу 7.3. 1) Натрий; позитрон; магний. 2) Гелий; электрон; тиісінше альфа және бета – ыдыраулар. 3) Жұтылады; болінеді; жұтылады.

Жаттығу 7.4. 1) 23 МВт-сағат. 2) 53 МВт.

Жаттығу 7.5. 1) 2,7 Мэв. 2) 15 Мэв.

МАЗМУНЫ

Алғы сөз.....	3
---------------	---

I таралу. Кинематика негіздері

§1. Механикалық қозғалыс.....	6
§2. Векторлар және оларға амалдар қолдану. Вектордың координаталар өстеріндегі проекциялары.....	9
§3. Тұзусызықты теңбайналымы қозғалыс. Үдеу.....	14
§4. Тұзусызықты теңбайналымы қозғалыстың жылдамдығы. Орын аудиостыру	16
№1 зертханалық жұмыс. «Теңдемелі қозғалыс кезіндегі дененің үдеуін анықтау»	22
§5. Дененің еркін түсі. Еркін түсү үдеу	23
№2 зертханалық жұмыс. «Горизонталь лактырылған дененің қозғалысын зерттеу»	28
§6. Қисықсызықты қозғалыс. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы. Центрге тартқыш үдеу	29
§7. Сызықтық және бұрыштық жылдамдықтар	34

II таралу. Астрономия негіздері

§8. Жұлдызды аспан. Аспан сферасы.....	42
§9. Аспан координаталарының жүйелері.....	48
§10. Өртүрлі географиялық ендіктегі аспан шырақтарының корінерлік қозғалысы	53
§11. Жергілікті, белдеулік және бүкіләлемдік уақыт	55
§12. Күн жүйесіндегі планеталар қозғалысының заңдары	58
§13. Күн жүйесі денесіне дейінгі арақашықтықты параллакс әдісімен анықтау	60

III таралу. Динамика негіздері

§14. Ньютоның бірінші заңы. Инерциялық санақ жүйелері	66
§15. Механикадағы күштер	69
§16. Ньютоның екінші заңы. Масса	73
§17. Ньютоның үшінші заңы	78
§18. Бүкіләлемдік тартылыс заңы	82
§19. Дененің салмагы. Салмақсыздық	87
§20. Денелердің ауырлық күшінің әрекетінен қозғалуы	91
§21. Жердің жасанды серіктерінің қозғалысы	96

IV таралу. Сақталу заңдары

§22. Дене импульсі және күш импульсі	106
§23. Импульстің сақталу заңы	109
§24. Реактивті қозғалыс	115

§25. Механикалық жұмыс және энергия	123
§26. Энергияның сақталу және айналу заңы.....	130
V таралу. Тербелістер және толқындар	
§27. Тербелмелі қозғалыс	140
§28. Тербелмелі қозғалыстың теңдеуі	145
§29. Тербелістер кезіндегі энергияның түрленуі.....	150
§30. Математикалық және серіппелі маятниктердің тербелістері	154
№ 3 зертханалық жұмыс. «Математикалық маятниктің көмегімен еркін тұсу үдеуін анықтау»	159
§31. Еркін және еріксіз тербелістер. Резонанс	160
§32. Еркін электромагниттік тербелістер	165
§33. Толқындық қозғалыс	170
№ 4 зертханалық жұмыс. «Беттік толқындардың таралу жылдамдығын анықтау»	175
§34. Дыбыс және оның сипаттамалары	176
§35. Акустикалық резонанс. Жаңғырық	180
§36. Электромагниттік толқындар	185
§37. Электромагниттік толқындар шкаласы.....	191
VI таралу. Атом құрылымы. Атомдық құбылыстар	
§38. Жылуулық сөule шығару.....	197
§39. Жарық кванттары туралы Планк гипотезасы	200
§40. Фотоэффект құбылысы.....	204
§41. Рентген сөулелері	209
§42. Радиоактивтілік. Радиоактивті сөулеленудің табиғаты	214
§43. Резерфорд тәжірибесі. Атомның құрамы	216
VII таралу. Атом ядроны	
§44. Атом ядроны. Ядролық өзара әрекеттесу. Ядролық құштер.....	222
§45. Масса ақауы. Атом ядроның байланыс энергиясы	227
§46. Ядролық реакциялар	232
§47. Радиоактивті ыдырау заңы	238
§48. Ядролық реакторлар	243
§49. Термоядролық реакциялар	247
§50. Радиоактивті изотоптар. Радиациядан қорғану	252
VIII таралу. Әлемнің қазіргі физикалық бейнесі	
§51. Элементар бөлшектер – дүниенің кірпіші	259
§52. Физика мен астрономияның дүниетанымдық маңызы	261
§53. Экологиялық мәдениет.....	265
Жаттыгулардың жауаптары	268

Оқу басылымы
Башарұлы Рахметолла
Шүйіншина Шолпан
Сейфоллина Күлжан

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің 9-сыныбына арналған

Редакторы *Ү.Әмірзак*
Көркемдеуші редакторы *А.Искаков*
Техникалық редакторы *Ү.Рысалиева*
Корректоры *Е.Амангелді*
Компьютерде беттеген *Ж.Есетова*

ИБ №083

Теруте 10.02.2019 берілді. Басуға 10.06.2019 қол койылды. Пішімі 70×90^1 .
Офсеттік қағаз. Мектептік арн. Офсеттік басылыш. Шартты баспа табагы 19,89.

Есентік баспа табагы 16,66. Таралымы 40000 дана. Тапсырыс №4356.

Атамұра корпорациясы* ЖШС-1, 050000, Алматы қаласы, Абылай хан даңғылы, 75.

Қазақстан Республикасы *Атамұра* корпорациясы* ЖШС-нің
Полиграфкомбинаты, 050002, Алматы қаласы, М.Макатаев көшесі, 41.

