

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

Б 30

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

Шартты белгілер:

-  – сұрақтар
-  – жаттығулар
-  – деңгейлік тапсырмалар
-  – практикалық және эксперименттік тапсырмалар
-  – теориялық зерттеу
-  – ғылым мен техниканың даму тарихынан
-  – тереңдетілген 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» курсына толық аяқтайсыңдар. 9-сыныпқа арналған «Физика» оқулығында механиканың негізгі заңдары қарастырылады. Бұл заңдар өртүрлі денелердің, планеталардың, жасанды Жер серіктерінің, 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 деректермен де таныстырады.

Оқулықтың едәуір бөлігі қазіргі заман физикасына арналған. Осыған орай, кванттық теория, атом және атом ядросының құрылымы жайында алғашқы түсініктер беріліп, ядролық (атомдық) энергияны босатып алудың 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, естеріңе түсіріп отыру – сапалы білім алудың кепілі болып табылады.

















Әрбір тараудың бастауында оқушылардың міндетті түрде меңгеруіне арналған бағдарламалық оқу мақсаттары көрсетілген және естеріңде ұзақ сақталуға тиісті ең маңызды терминдердің (заңдар мен ұғымдардың) тізбесі үш тілде берілген. Әр тақырыпты оқыған сайын оқу мақсаттарының орындалғанына үнемі көз жеткізіп отырыңдар. Оқулықтағы түйінді заңдар мен ұғымдар санаулы ғана (олардың біразы әр тараудың соңында берілген). Мұндай түйінді заңдар мен ұғымдарды терең меңгеруге, берілген есептердің шығару амалдарын толығымен игеруге тырысыңдар.

Өмірлеріңдегі 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 БАҒДАРЛАМАЛЫҚ 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;
-  тұзусызықты теңайнымалы қозғалыс кезіндегі жылдамдық және үдеу формулаларын есептер шығаруда қолдану;
-  тұзусызықты теңайнымалы қозғалыс кезіндегі координата мен орын ауыстыру теңдеулерін есептер шығаруда қолдану;
-  теңүдемелі қозғалыс кезіндегі дененің үдеуін эксперименттік жолмен анықтау;
-  эксперименттің нәтижесіне әсер ететін факторларды талдау және экспериментті жүргізуді жақсарту жолдарын ұсыну;
-  теңүдемелі қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың және жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графиктерін тұрғызу және оларды түсіндіру;
-  еркін түсуді сипаттау үшін теңайнымалы қозғалыстың кинематикалық теңдеулерін қолдану;
-  теңайнымалы және бірқалыпты қозғалыстың кинематикалық теңдеулерін қолдана отырып, горизонталь лақтырылған дененің қозғалысын сипаттау;
-  горизонталь лақтырылған дененің қозғалыс жылдамдығын анықтау;
-  горизонталь лақтырылған дененің қозғалыс траекториясын сызу;
-  дененің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысын сызықтық және бұрыштық шамалар арқылы сипаттау;
-  сызықтық 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 ұзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар мен шамалар қарастырылады: «материялық нүкте», «санақ жүйесі», «механикалық қозғалыс», «жылдамдық, үдеу, орын ауыстыру», «векторлық және скалярлық физикалық шамалар», «бірқалыпты қозғалыс, теңайнымалы қозғалыс, теңүдемелі қозғалыс», «еркін түсу», «қозғалыс траекториясы», «шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс», «сызықтық және бұрыштық жылдамдықтар», «центрге тартқыш үдеу».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
Материялық нүкте	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
Теңүдемелі қозғалыс	Равноускоренное движение	Uniformly accelerated motion
Еркін түсу	Свободное падение	Free fall
Қозғалыс траекториясы	Траектория движения	Trajectory of motion
Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс	Равномерное движение по окружности	Uniform circular motion
Сызықтық, бұрыштық жылдамдықтар	Линейные, угловые скорости	Linear, angular velocities
Центрге тартқыш үдеу	Центростремительное ускорение	Centripetal acceleration

§1.

МЕХАНИКАЛЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

1. Біз 7-сынып физикасында *әлемде орын алатын сан алуан өзгерістерді табиғат құбылыстары деп атаған едік*. Табиғат 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: қозғалыстағы дененің кез келген уақыт мезетіндегі орнын анықтау** болып табылады.

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

Динамика – денелерге түсірілген күштерді ескере отырып, олардың қозғалыс заңдылықтарын тағайындайды.

Статика – күш түсетін денелердің тепе-теңдік шарттарын анықтайды.

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

Механикалық қозғалыс деп денелердің кеңістікте уақыт өтуіне қарай бір-бірімен салыстырғандағы орын ауыстыруларын айтады.

2. Механикалық қозғалыстарды 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 өткен материалдарды қайталап, білулерің парыз.

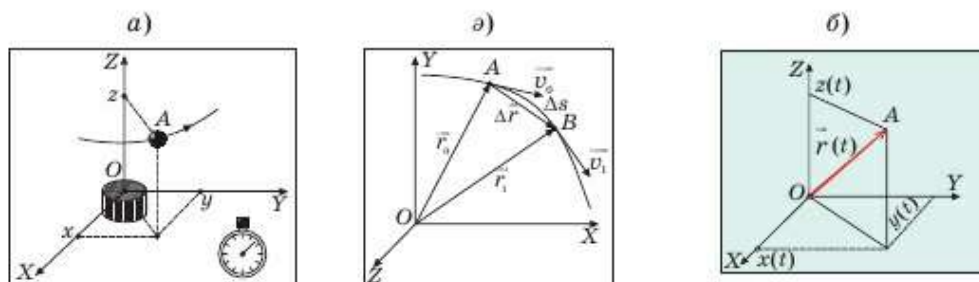
7-сыныпта өте қарапайым қозғалысты – материялық нүктенің Ox өсінің бойымен $\Delta t = t_2 - t_1$ уақыт аралығындағы тұзусыздықты бірқалыпты қозғалысын қарастырдық. Сондықтан орын ауыстыру векторының $|\Delta \vec{x}| = x_2 - x_1$ модулі жүрілген s жолдың ұзындығына тең болады: $|\Delta \vec{x}| = x_2 - x_1 = s$. Мұндай жағдайда *бірқалыпты тұзусыздықты қозғалыстың 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 *қисықсыздықты қозғалыстарды* қарастырамыз.

3. Денелердің кеңістіктегі қозғалыстарын модельдеу әдісімен оңтайлы да ұтымды сипаттау үшін *материялық нүкте* ұғымы енгізіледі.

Материялық нүкте деп қарастырып отырған жағдайда өлшемдерін елемегуге болатын денені айтады.



Сурет 1.1. Санақ жүйелері

Мысал үшін санақ денесі ретінде Күнді алып, оны айнала қозғалатын Жердің қозғалысын қарастырайық. Күн мен Жердің орташа арақашықтығы ($15 \cdot 10^7$ км) өз өлшемдерінен миллиондаған есе үлкен. Сондықтан оларды материялық нүкте ретінде қарастырып, Жердің $\Delta t = t_1 - t_0$ уақыт аралығындағы $\Delta \vec{x}$ орын ауыстыру векторы мен s 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 (материялық нүкте) кеңістікте қисық сызықтың бойымен қозғалатындықтан, оның орын ауыстыруын, 7-сыныптағыдай, Ox түзуінің (өсінің) бойында ғана орналасқан $\Delta \vec{x}$ таңбасымен белгілей алмаймыз. Сондықтан кез келген қозғалыстағы орын ауыстыру векторын таңбалау үшін x, y, z координаталарына ортақ болатын басқа $\Delta \vec{r}$ таңбасын қолданатын боламыз.

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

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

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

Радиус-вектор $\vec{r}(t)$ деп санақ жүйесінің бас нүктесін материалдық нүктемен қосатын бағытталған кесіндіні айтады. Радиус-вектордың OA кесіндісіне тең 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 қозғалыстағы орын ауыстыру векторының $|\Delta \vec{r}|$ ұзындығы (модулі) жүрілген Δs жолға тең болмайды: $|\Delta \vec{r}| \neq \Delta s$. Өйткені A және B нүктелердің арасында дене \overline{AB} доғасының (траекториясының) бойымен қозғалады да, жүрілген Δs жол осы траекторияның ұзындығына тең болады. Ал орын ауыстыру векторының $|\Delta \vec{r}|$ модулі AB кесіндісінің ұзындығына тең.

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 тұр. Келесі тақырыпта көрсететініміздей (сурет 1.1, ә), бұл вектор екі радиус-вектордың айырымына тең:

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

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

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

Дененің кеңістіктегі 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 әр 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 салыстырмалылық принципі деп аталып кеткен мынадай қорытынды жасады:

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

Екінші сөзбен айтқанда, бір-біріне қатысты түзусызықты 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 дене 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 ұғымдар мен шамалар қолданылады? Бірқалыпты тұзусыздықты қозғалыстың теңдеулері қандай өрнектермен сипатталады?
3. Санақ жүйесі деп қандай жүйені айтады? Қозғалыстың салыстырмалылығы қалай түсіндіріледі?
4. Материялық нүкте деп нені айтады? Радиус-вектор деп қандай векторды айтады?
5. Орын ауыстыру векторы деп қандай векторды айтады? Неліктен қысқасыздықты қозғалыста орын ауыстыру тұзусыздықты қозғалыстағыдай жүрілген жолға тең болмайды?
6. Галилейдің салыстырмалылық принципі қалай тұжырымдалады?



§2.

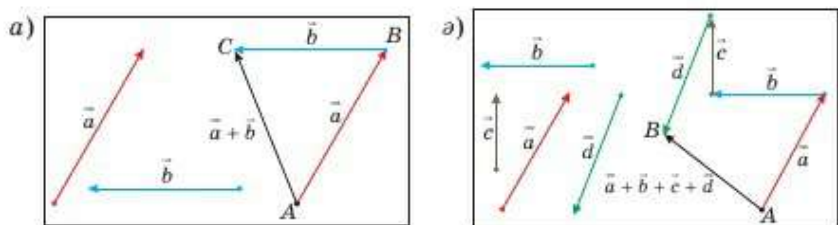
ВЕКТОРЛАР ЖӘНЕ ОЛАРҒА АМАЛДАР ҚОЛДАНУ. ВЕКТОРДЫҢ КООРДИНАТАЛАР ӨСТЕРІНДЕГІ ПРОЕКЦИЯЛАРЫ

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

Векторлар деп сан мәндерімен қоса кеңістіктегі бағыттарымен де сипатталатын шамаларды айтады.

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

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

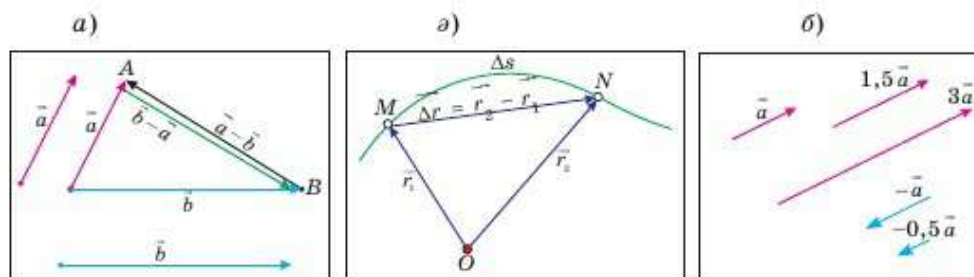


Сурет 1.2. Векторды үшбұрыш ережесімен қосу

Үшбұрыш 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 ұшына, мысалы, \vec{a} -ның ұшына екінші \vec{b} вектордың бас нүктесін түйістіреміз, оның ұшына үшінші \vec{c} вектордың бас нүктесін түйістіреміз, оның ұшына төртінші \vec{d} вектордың бас нүктесін түйістіреміз де, бірінші вектордың бас нүктесінен соңғы вектордың ұшына қарай бағытталған \vec{AB} қосынды векторын аламыз: $\vec{AB} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$.

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

дың бағыттарын өзгертпей бас нүктелерін түйістіреді де, ұштарын қосып үшбұрыш құрайды (сурет 1.3). Егер екі вектордың ұштарын қосқан кесінді \vec{a} векторының ұшына қарай бағытталса, онда ол \vec{a} векторынан \vec{b} векторын алған айырымды береді: $\vec{BA} = \vec{a} - \vec{b}$ (сурет 1.3, а). Ал \vec{b} векторының ұшына қарай бағытталған кесінді \vec{b} векторынан \vec{a} векторын алған айырымды береді: $\vec{AB} = \vec{b} - \vec{a}$. Сол сияқты \vec{r}_2 радиус векторынан \vec{r}_1 радиус-векторын алғандағы екі вектордың айырымы болатын $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ векторының ұшы \vec{r}_2 радиус-векторының ұшымен түйіседі (сурет 1.3, ә).



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

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

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

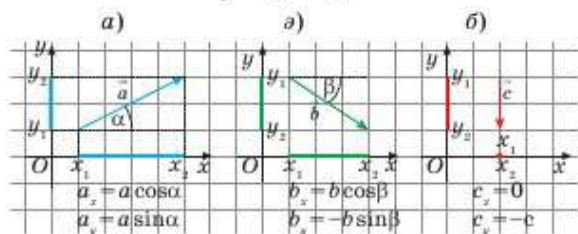
Бұл теңдіктерде: егер $k > 0$ болса, онда \vec{a} және \vec{b} векторлары бағыттас болады. Мысалы, $k_1 = 1,5$ және $k_2 = 3$ болса, онда $\vec{b}_1 = 1,5\vec{a}$ және $\vec{b}_2 = 3\vec{a}$ векторлары \vec{a} векторымен бағыттас орналасады (сурет 1.3, б – қызыл сызықты векторлар). Ал $k < 0$ болса,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

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

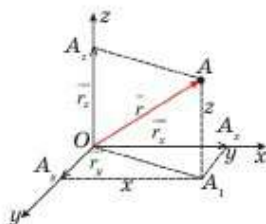
өстеріндегі құраушыларға жіктеу де олардың проекциялары арқылы орындалады. Сондықтан векторлардың проекцияларын анықтауға үлкен мән беріледі.

Берілген вектордың Ox және Oy өстеріндегі проекциясы деп оның модулінің ұштарынан 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, а). 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 формулалармен есептеледі: $a_x = a \cos \alpha$; $a_y = a \sin \alpha$. Ал келесі графикте (сурет 1.4, ә) \vec{b} векторының сәйкес өстердегі проекциялары масштаб бойынша: $b_x = x_2 - x_1 = 20 \text{ мм} - 5 \text{ мм} = 15 \text{ мм}$ -ге; $b_y = y_2 - y_1 = 5 \text{ мм} - 15 \text{ мм} = -10 \text{ мм}$ -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 ұшының проекциясы өстің оң бағытына қарай бағытталса, онда проекцияның таңбасы да оң болады. Ал егер вектордың ұшының проекциясы өстің 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) кеңістіктегі орнын координаталар жүйесінің бас нүктесімен қосатын $\vec{r} = \overline{OA}$ 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. Көрсетілген 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: $\vec{r}_x = \overline{OA_x}$; $\vec{r}_y = \overline{OA_y}$ және $\vec{r}_z = \overline{OA_z}$. Алолардың 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 күрделірек жағдайын қарастырдық. 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 мәндері), суреттен көрініп тұрғандай, 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, а) немесе $b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2}$ (сурет 1.4, ә).

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

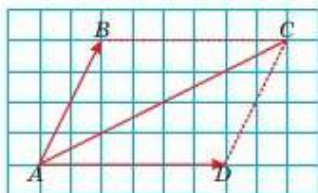
1. Векторлар, скалярлар деп қандай шамаларды айтады?
2. Векторларды үшбұрыш ережесімен қалай қосады? Көп векторларды қалай қосады?
3. Векторларды үшбұрыш ережесімен қалай азайтады?
4. Векторларды санға көбейткенде қандай вектор алынады?

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



Жаттығу 1.1

1. Нүкте Ox өсінің оң бағытында 2 м/с жылдамдықпен түзусызықты бірқалыпты қозғалады. 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 өсінің бойымен 4 м/с жылдамдықпен қозғалған 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 таңдап алыңдар. Ол үшін A нүктесін бастырып, y өсін тік төмен, ал x өсін AD бағытында сызыңдар;
 - 2) әр вектордың модульдерін торкөздің масштабына сәйкес анықтаңдар;
 - 3) әр вектордың Ox және Oy өстеріндегі проекцияларын дәптерлеріңе жеке-жеке салып, сан мәндерін таңбаларымен көрсетіп жазыңдар;
- 4) \overline{AC} векторының екі үшбұрыш бойынша қай векторлардың қосындысы екенін көрсетіп жазыңдар;
- 5) \overline{BC} және \overline{AD} векторларының қай векторлардың айырымы болатынын көрсетіп жазыңдар.

§3.

ТҮЗУСЫЗЫҚТЫ ТЕҢАЙНЫМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС. ҮДЕУ

1. Түзусызықты теңайнымалы қозғалыс деп кез келген тең уақыт аралығында жылдамдығын бірдей шамаға өзгертіп отыратын қозғалысты айтады.

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

уақыттың бірдей өлшемінде бірдей шамаға кеміп отырса, ондай қозғалыс **теңкөлемді (теңбаяулайтын) қозғалыс** деп аталады.



Сурет 1.7. Теңкөлемді қозғалыс

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

2. Теңайнымалы қозғалыстың үдеуін табу үшін оның талаптарын ескеріп, өзара тең уақыт аралықтарын төмендегі таңбалармен белгілейік:

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

Өрбір 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 қатынастарға көңіл аударайық:

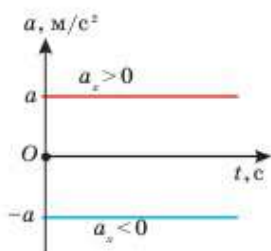
$$\frac{\Delta \bar{v}_1}{\Delta t_1} = \frac{\Delta \bar{v}_2}{\Delta t_2} = \frac{\Delta \bar{v}_3}{\Delta t_3} = \dots = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

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, *үдеу* деп аталады:

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

Үдеу деп жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шаманы айтады.

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



Сурет 1.8. $a(t)$ графигі

аталады (суретте көк сызық).

Үдеу де жылдамдық сияқты векторлық шама болып табылады. Теңайнымалы қозғалыстың (1.4) формуласы бойынша салынған үдеудің уақытқа тәуелділік $\vec{a}(t)$ графигі уақыт өсіне параллель сызық болады (сурет 1.8). Егер жылдамдық пен үдеу векторларының бағыттары бірдей болса ($\vec{a} > 0$; $\vec{v} > 0$), қозғалыс **теңүдемелі қозғалыс** деп (суретте қызыл сызық), ал олардың бағыттары қарама-қарсы болса ($\vec{a} < 0$; $\vec{v} > 0$), онда **теңкемімелі қозғалыс** деп



Сұрақтар

1. Түзусызықты теңайнымалы қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
2. Үдеу деп қандай шаманы айтады? Қандай формуламен сипатталады?
3. Түзусызықты теңүдемелі және теңкемімелі қозғалыстар деп қандай қозғалыстарды айтады? Олардың үдеулерінің уақытқа тәуелділік графиктері қандай сызықтармен бейнеленеді?

§4.

ТҮЗУСЫЗЫҚТЫ ТЕҢАЙНЫМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ ЖЫЛДАМДЫҒЫ. ОРЫН АУЫСТЫРУ

1. Алдыңғы тақырыптағы үдеудің $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}$ формуласынан бастапқы уақытты нөлге теңестіріп ($t_0 = 0$), кез келген уақыт мезетіндегі түзусызықты теңайнымалы қозғалыстың жылдамдығын таба аламыз:

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

Жылдамдықтың бұл векторлық теңдеуін координаталар өстеріндегі проекциялар бойынша үш скалярлық теңдеумен алмастыруға болады:

$$v_x = v_{0x} + a_x t,$$

$$v_y = v_{0y} + a_y t,$$

$$v_z = v_{0z} + a_z t.$$

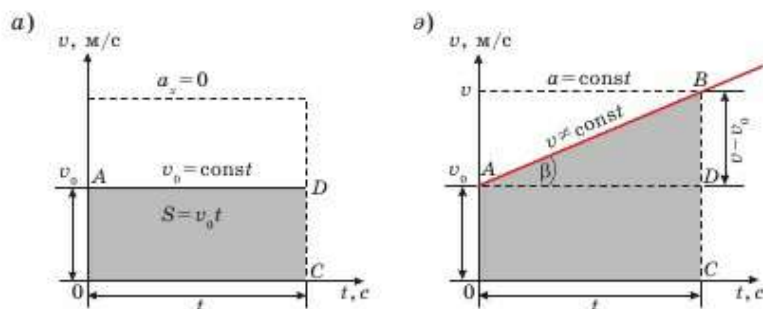
Әдетте, скалярлық теңдеулерді өстердің таңбаларын көрсетпей бір ғана формуламен өрнектеп жазады:

$$v = v_0 \pm at. \tag{1.5}$$

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

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

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



Сурет 1.9: а) түзусызықты бірқалыпты қозғалыс жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі ($v = s/t$), ә) түзусызықты теңүдемелі қозғалыс жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі ($v = v_0 + at$).

Түзусызықты бірқалыпты қозғалыс жылдамдығының уақытқа тәуелділік $v(t)$ графигін сызып көрсетейік. Ол үшін горизонталь өске уақыттың, ал вертикаль өске жылдамдықтың шамаларын саламыз. Сонда $v(t)$ тәуелділігі горизонталь өске параллель AD кесіндісімен сипатталады (сурет 1.9, а). Өйткені дене түзусызықты бірқалыпты қозғалыс кезінде өзінің бастапқы v_0 жылдамдығын уақыттың барлық кезеңінде өзгеріссіз сақтайды ($v_0 = \text{const}$). Енді жылдамдықтың уақытқа тәуелділігін сипаттайтын AD кесіндісінің ұштарынан горизонталь өске перпендикулярлар түсірсек, $OADC$ тіктөртбұрышын аламыз. Бұдан мынадай қорытынды туындайды: *жылдамдықтың уақытқа тәуелділігін сипаттайтын кесіндімен және осы кесіндінің ұштарынан горизонталь өске түсірілген перпендикулярлармен шектелген фигураның ауданы орын ауыстырудың модуліне тең.*

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

3. Жоғарыдағы қорытынды түзусызықты теңайнымалы қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың модулін анықтау үшін де қолданылады. Ол

үшін мысал ретінде түзусызықты теңүдемелі қозғалыстың $v = v_0 + at$ формуласымен сипатталатын жылдамдықтың уақытқа тәуелділік 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, $v(t)$ тәуелділік кесіндісінің де түзу сызық (AB) болатынына көз жеткіземіз. Алайда түзусызықты бірқалыпты қозғалыс үшін $v(t)$ тәуелділік сызығы (AD) горизонталь өске параллель болса (сурет 1.9, а), түзусызықты теңүдемелі қозғалыста жылдамдықтың уақытқа тәуелділік кесіндісі (AB) горизонталь өске β көлбеу бұрыш жаппа орналасады (сурет 1.9, ә).

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

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 құрайды:

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

$S_{\text{үмб}} = \frac{at^2}{2}$. Сонымен, трапецияның ауданы:

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

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

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

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

1. Түзусызықты теңайнымалы қозғалыстың жылдамдығы қалай және қандай векторлық-скалярлық формулалармен анықталады?
2. Түзусызықты бірқалыпты қозғалыстың жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі қандай сызықпен сипатталады және осы график негізінде қандай қорытынды жасалады?
3. Түзусызықты теңүдемелі қозғалыстың жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигі қандай сызықпен сипатталады және осы график негізінде қандай қорытынды жасалады?
4. Түзусызықты теңайнымалы қозғалыс кезіндегі орын ауыстырудың модулі қалай анықталады және қандай формулалармен сипатталады?
5. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Ox өсінің бойымен қозғалып бара жатқан материалдық нүкте үшін координатаның уақытқа тәуелділігі

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

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

Берілгені
$x = 6 - 4t + t^2$
$t_1 = 5 \text{ с}$
$x_1 - ?$
$v_{1x} - ?$
$s - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Есептің шартындағы теңдеуде уақыт квадратпен (t^2) берілген. Ендеше, материалдық нүкте Ox өсінің бойында тұрақты үдеумен теңайнымалы қозғалыс жасаған. Теңайнымалы қозғалыстың скалярлық теңдеулері жалпы түрде төмендегі формулалармен өрнектеледі:

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

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

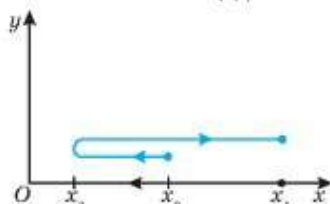
(1) және (2) теңдеулерді салыстыра отырып, мына шамаларды табамыз: $x_0 = 6 \text{ м}$, $v_{0x} = -4 \text{ м/с}$, $a_x = 2 \text{ м/с}^2$. Анықталған шамаларды (3) теңдеуге қойып, мына өрнекті аламыз:

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

Уақыттың $t_1 = 5$ с мәнін (1) және (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 кездегі дене қозғалысы жылдамдығының Ox өсіндегі проекциясы теріс сан ($v_{0x} = -4$ м/с), ал $t_1 = 5$ с болған кездегі проекциясы оң сан ($v_{1x} = 6$ м/с) екенін көреміз. Сол сияқты $t = 0$ болған кездегі дененің координаты $x_0 = 6 - 4t_0 + t_0^2 = 6$ м болғанына көз жеткізіміз. Олай болса, дене алғашқыда x_0 нүктесінен бастап Ox өсінің бағытына



Сурет 1.10

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 дененің координатасы мына теңдеуден анықталады:

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

Материялық нүктенің жүрген жолы сурет 1.10-тен көріп отырғанымыздай, Ox өсіне қарсы бағыттағы жүрген $s_1 = |x_2 - x_0| = 4$ м жолы мен өске бағыттас қозғалғандағы $s_2 = |x_1 - x_2| = 1$ м жолының қосындысына тең:

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

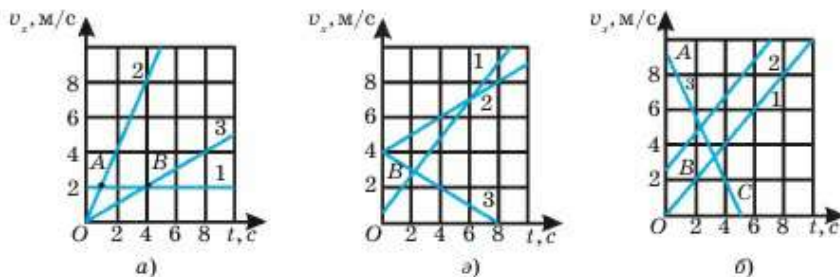
$$\text{Жауабы: } x_1 = 1 \text{ м}; v_{1x} = 6 \text{ м/с}; s = 5 \text{ м}.$$



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. Денені биіктігі 25 м балконнан жоғары қарай 20 м/с жылдамдықпен лақтырды. Оның $2,0$; $4,0$; $5,0$ с өткеннен кейінгі орын ауыстыруы қандай? Үдеу $a_x = -10 \text{ м/с}^2$ -қа тең.
3. Бекетке жақындағанда электр пойызының жүргізушісі қозғалтқышты сөндірді, одан кейін пойыз үдеуі $0,1 \text{ м/с}^2$ -қа бірқалыпты кеміп отыратын қозғалысқа түсті. Егер тежегішті іске қосқан кездегі пойыздың жылдамдығы 54 км/сағ болса, тоқтағанға дейін ол қандай арақашықтықты жүріп өтті?
4. Зымыран старт алып, 5 мин ішінде 8 км/с жылдамдықпен тік жоғары көтерілді. Осы кездегі үдеу қалай бағытталған және оның мәні неге тең?

5. Бала 2 м/с жылдамдықпен бірқалыпты қозғала отырып, тепловоздың тұсынан жүгіріп өткен кезде тепловоз теңүдемелі қозғала бастайды. Тепловоздың баланы қуып жеткен мезеттегі жылдамдығы қандай?
6. Үш дененің (сурет 1.11, а) қозғалыс жылдамдықтары проекцияларының графиктерін пайдаланып, мына сұрақтарға жауап беріңдер: Денелер қозғалыстарының сипаты қандай? Графиктің А және В нүктелеріне



Сурет 1.11

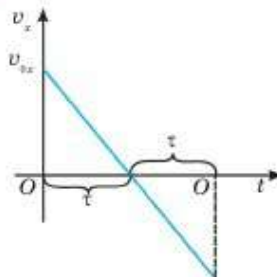
сәйкес уақыт мезеттеріндегі денелер қозғалыстарының жылдамдықтары туралы не айтуға болады?

7. Үш дене үшін берілген жылдамдық проекцияларының графиктерін (сурет 1.11, а) пайдаланып, мына тапсырмаларды орындаңдар: а) осы денелердің үдеулерін анықтаңдар; ә) әрбір дене үшін жылдамдықтың уақытқа тәуелділігінің формуласын жазыңдар; б) 2 және 3-графиктерге сәйкес келетін қозғалыстардың ұқсастығы мен айырмашылығын табыңдар.
8. Үш дененің қозғалыс жылдамдықтары проекцияларының графиктері (сурет 1.11, б) бойынша: а) координаталар өстеріндегі OA , OB және OC кесінділері неге сәйкес келетінін анықтаңдар; ә) денелердің қандай үдеумен қозғалатынын табыңдар; б) әрбір дене үшін жылдамдық пен орын ауыстыру өрнектерін жазыңдар.



Практикалық тапсырма

- $s_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} \cdot t$ формуласын $\vec{s} = \vec{v} \cdot t$ формуласымен салыстырып, $\frac{v_{0x} + v_x}{2}$ өрнегі теңүдемелі қозғалыс жылдамдығының x өсіндегі проекциясы екендігін дәлелдеңдер.
- Жылдамдық проекциясының графигі (сурет 1.12) бойынша жылдамдық модулінің графигін сызыңдар.



Сурет 1.12

№1 зертханалық жұмыс

Теңүдемелі қозғалыс кезіндегі дененің үдеуін анықтау

Жұмыстың мақсаты: көлбеу науамен домалайтын кішкене шардың үдеуін есептеу.

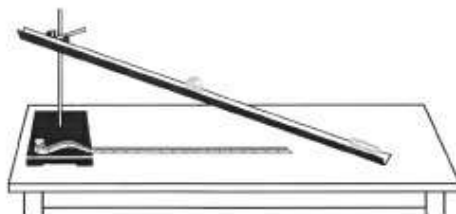
Ол үшін шардың белгілі бір t уақытта жүріп өтетін s орын ауыстыруының ұзындығын өлшейді. Бастапқы жылдамдықсыз ($v_0 = 0$) теңүдемелі қозғалыс кезінде $s = \frac{at^2}{2}$ болатындықтан, s пен t -ны өлшеп алып, шардың үдеуін анықтауға болады:

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

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

Жұмысты орындау.

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



Сурет 1.13

2. Метроном дыбыс берген бойда шарды науаның жоғарғы басынан жіберіп, ол цилиндрге барып соғылғанға дейін метрономның неше рет соққанын санаңдар. Тәжірибе жүргізерде метрономды минутына 120 рет соғатын етіп қойыңдар.

3. Науаның көкжиекке көлбеулік бұрышын өзгерте отырып, шарды жіберген мезеттен бастап, оның цилиндрге барып соғылуына дейін метроном 4 рет соғатындай етуге болады (соғу арасы – үш толас).

4. Шардың қозғалыс уақытын есептеңдер.

5. Өлшеуіш таспаның көмегімен шарды s орын ауыстыруының ұзындығын табыңдар. Науаның көлбеулігін өзгертпей (тәжірибе шарты өзгермеуі тиіс), метрономның төртінші соғуы мен шардың металл цилиндрге соғылуы дәл келетіндей етіп алып (ол үшін цилиндрді аздап қозғауға болады), тәжірибені бес рет қайталау керек.

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

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

7. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазыңдар.

Ешбір өлшеу абсолют 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 ұсынылады.

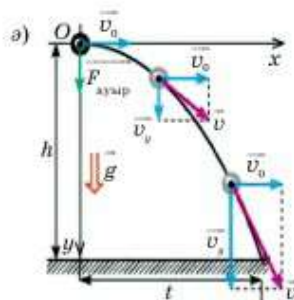
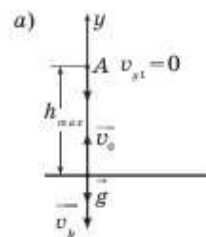
§5.

ДЕНЕНІҢ ЕРКІН ТҮСУІ. ЕРКІН ТҮСУ ҮДЕУІ

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

Дененің еркін түсуі деп ауырлық күші әрекетінен туындайтын теңайнымалы қозғалыстарды айтады.

Еркін түсу қозғалыстарына дененің ауасыз кеңістіктегі вертикаль бойымен құлағандағы немесе тік жоғары лақтырған кездегі қозғалыстары (сурет 1.14, а),



Сурет 1.14. Дененің ауырлық күші әрекетінен 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 әрекет етеді.

2. Еркін түсу үдеуі деп ауырлық күші әрекетінен туындайтын айнымалы қозғалыстың үдеуін айтады.

Ауырлық күші ғана әрекет ететін барлық еркін қозғалыс түрлерінде дене 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 түсудің ең қарапайым түріне дененің вертикаль бойымен h биіктіктен құлау немесе h биіктікке көтерілу қозғалыстары жатады (сурет 1.14, а). Мұндай қозғалыс үш түрлі жағдайда өтуі мүмкін. Бірінші жағдайда дене бастапқы жылдамдықсыз еркін түседі ($v_{0y} = 0$, $a_y = -g$, $s = h$). Бірінші жағдай үшін кинематиканың негізгі теңдеуі былайша жазылады (y есі жоғары бағытталған):

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

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

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

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

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

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

болу 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 теңүдемелі қозғалыс, ал екіншісі – Ox өсі бойындағы жылдамдығы тұрақты ($v_{0x} = v_0 = \text{const}$) бірқалыпты түзусызықты қозғалыс.

Ox өсі бойындағы бірқалыпты қозғалыс мына теңдеумен сипатталады:

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

Oy өсі бойындағы теңүдемелі түзусызықты қозғалыс мына теңдеумен сипатталады:

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



Сұрақтар

1. Дененің еркін түсуі деп қандай қозғалысты айтады?
2. Еркін түсу үдеуі дегеніміз қандай үдеу және оның шамасын кім анықтады?
3. Еркін түсудің ең қарапайым түрі қандай қозғалыс және ол қандай теңдеулермен (формулалармен) сипатталады?
4. Горизонтқа параллель лақтырылған дененің қозғалысы қандай теңдеулермен сипатталады?
5. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Жер бетінен 10 м биіктіктегі доп 20 м/с жылдамдықпен вертикаль жоғары лақтырылды. 3 с-тан кейін доп жер бетінен қандай биіктікте болады? ($g = 10 \text{ м/с}^2$.)

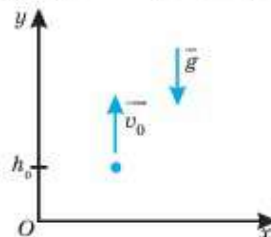
Берілгені
$h_0 = 10 \text{ м}$
$v_0 = 20 \text{ м/с}$
$t = 3 \text{ с}$
$g = 10 \text{ м/с}^2$
$h - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Доп тұрақты еркін түсу 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

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

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: $h = 25 \text{ м}$.

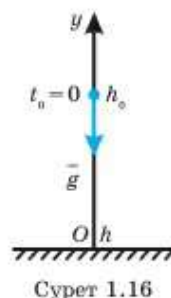
2-есеп. Алтыншы қабаттың терезесінен ($h = 20$ м) тасталған тас жерге қанша уақытта түседі? Жерге түскен сәттегі оның жылдамдығы қандай?

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

Есеп мазмұнын талдау

Oy өсін вертикаль жоғары бағыттаймыз (сурет 1.16). Дененің еркін түсуі теңдеме-мелі қозғалыс болып табылады. Сондықтан тастың скалярлық теңдеулерін мына түрде жазамыз:

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



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

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

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

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

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 түсу кезіндегі жылдамдық векторының бағыты *y* өсінің бағытына қарама-қарсы екенін көрсетеді.

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



Жаттығу 1.3

1. Жардан құлаған тас 2 с ішінде су бетіне жетті. Жардың биіктігі қандай? Тастың соңғы жылдамдығының модулін анықтаңдар.
2. Бөлменің биіктігі 5 м. Шарик төбеден еденге дейін қанша уақытта құлайды? Еденге 0,5 с ішінде жету үшін шарикке қандай жылдамдық беру керек?
3. Еркін түскен тастың Жерге соғылар сәттегі жылдамдығы 40 м/с. Тас қандай биіктіктен құлаған? Құлауға қанша уақыт кетті?
4. 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.
5. Тас Жермен салыстырғанда 10 м биіктіктен 20 м/с жылдамдықпен горизонталь лақтырылды. Жерге құлар сәттегі ұшу уақытын, ұшу қашықтығын және ұшу жылдамдығын анықтаңдар.
6. Доп 20 м/с жылдамдықпен Жер бетінен көкжиекке 45° бұрышпен лақтырылды. Доптың ең үлкен көтерілу биіктігін, ұшу қашықтығын, траекторияның ең жоғарғы нүктесіндегі жылдамдығын, қозғалыс басталғаннан 2 с өткен кездегі горизонталь жылдамдығы мен координаталарын анықтаңдар.



Ғылым мен техниканың даму тарихынан

Галилейге (1564–1642 ж.ж.) дейін денелердің Жер бетіне құлауы жөнінде элладалық Аристотельдің (384–322 б.д.д.) қорытынды пікірі ешқандай күмән туғызбады. Оның тұжырымдауы бойынша бірдей биіктіктен құлағанда ауыр денелерге қарағанда жеңіл денелер ұзақ уақыт жұмсайды. Аристотельдің осындай пайымдауын италиялық Галилей теріске шығарды. Соған қарамастан Галилей де, басқа ғалымдар да Аристотельдің зор ойшылдығын бағалап, оны ұлы ұстаз тұтты. Солардың бірі Ұлы Дала елінің өкілі Әбу-Насыр әл-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 биіктіктен бірдей уақытта жетеді деген болжам жасады.

Кейінірек Ньютон (1642–1727 ж.ж.) Галилейдің болжамының дұрыстығын «Ньютонның түтіктері» деп аталып кеткен шыны түтікті пайдаланып дәлелдеді. Ол түтіктің ішіндегі ауаны өзі ойлап жасаған сорғының жәрдемімен сорып шығарып, жеңіл қауырсын мен ауыр қорғасын бытырасының ауасыз кеңістікте бірдей жылдамдықпен құлайтынын көрсетті.

Галилей еркін құлаған денелердің теңүдемелі қозғалыстарының үдеулерінің тұрақты болатынын және барлық жағдайда да сан мәндерінің $9,81 \text{ м/с}^2$ шамасына тең болатынын тәжірибе жасап анықтады. Тәжі-



Сурет 1.17

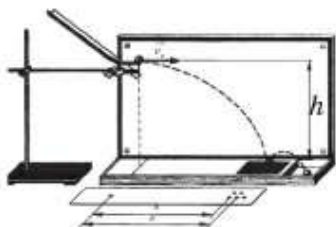
рибе жасау үшін ол өзі туған Пиза қаласындағы туристерді қызықтыратын биіктігі 58 м болатын «мәңгі құлаушы» Пиза мұнарасын таңдап алды (сурет 1.17). Міне, Галилей тапқан осы тұрақты шама (9,81 м/с²) физика ғылымының тарихына дененің Жер бетіндегі еркін түсу үдеуі деген атаумен енді.

№2 зертханалық жұмыс

Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысын зерттеу

Жұмыстың мақсаты: горизонталь лақтырылған дененің ауырлық күші әрекетінен қозғалысын зерделеу және бастапқы жылдамдығын анықтау.

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



Сурет 1.18

Жұмысты орындау реті

1. Штативтің көмегімен аржа тақтасын вертикаль бағытта қысқашпен бекітіңдер (сурет 1.18). Сол қысқашпен шарик қозғалатын науаның шетін де қысыңдар. Науаның бүгілген төменгі жағын горизонталь орналастырыңдар.

2. Тақтаға ені 20 см-ден кем емес қағаз парағын кнопкалармен бекітіңдер. Төменгі горизонталь ақ қағаз бетіне қара бояулы көшіргіш қағазды орналастырыңдар.

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

4. Шариктің h құлау биіктігін және әр жолғы l ұшу қашықтығын өлшеңдер.

5. Ұшу қашықтығының арифметикалық орташа мәнін мына формула бойынша есептеңдер: $l_{\text{орт}} = (l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5)/5$.

6. Шариктің ұшу 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:

$$l_{\text{орт}} = v_0 \cdot t.$$

8. Өлшеулер мен есептеу нәтижелерін төмендегі кестеге түсіріп жазыңдар:

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

9. Зерттеу нәтижелері бойынша қорытынды жасап, өзара талқылаңдар.

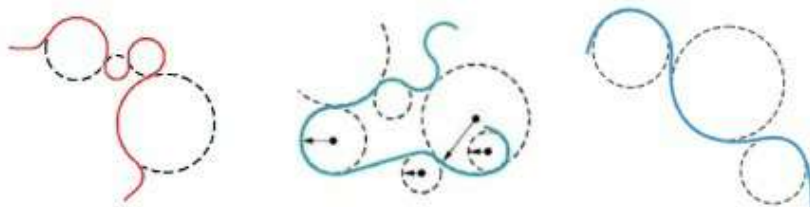
ҚИСЫҚСЫЗЫҚТЫ ҚОЗҒАЛЫС. МАТЕРИАЛЫҚ НҮКТЕНІҢ ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН БІРҚАЛЫПТЫ ҚОЗҒАЛЫСЫ. ЦЕНТРГЕ ТАРТҚЫШ ҮДЕУ

1. Біз осы уақытқа дейін үдеулері тұрақты қозғалыстарды қарастырдық. Мысалы, үдеуі нөлге тең болатын түзусызықты бірқалыпты қозғалысты және үдеулері нөлден үлкен немесе нөлден кіші тұрақты сандар болатын түзусызықты теңайнымалы қозғалыстарды, солардың бірі дененің еркін түсуін сипаттадық.

Үдеулері тұрақсыз қозғалыстарға қисықсызықты қозғалыстар жатады.

Қисықсызықты қозғалыс деп жылдамдығы мен үдеуінің бағыттары да, сан мәндері де үнемі өзгеріп отыратын механикалық қозғалысты айтады.

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



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 түзу сызықты немесе парабола қисығына және шеңбердің доғаларына ұқсас траекториялар жатады. Сөйтіп, кейбір бөліктерді алдыңғы тақырыптарда қарастырған траекториялары түзу сызық немесе парабола қисығы болатын қозғалыстардың теңдеулерімен сипаттайды. Алайда күрделі қисықтардың көп бөлігі, жоғарыдағы суреттерде бейнеленгендей, радиустары әртүрлі шеңберлердің доғалары болып келеді. Ендеше, *ең қарапайым қисықсызықты қозғалыс – материалдық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысын* қарастырайық.

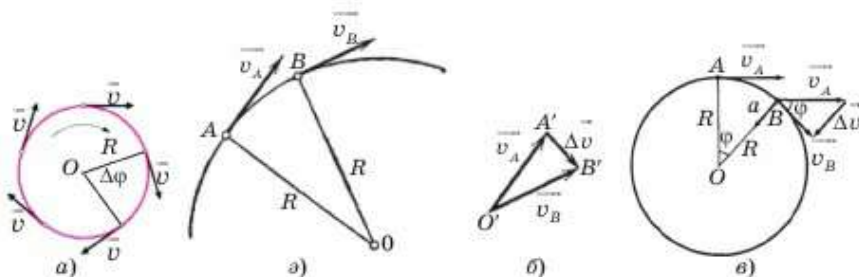
2. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы деп жылдамдығының бағыттары бірдей уақыт аралықтарында бірдей бұрыштарға бұрылып отыратын қисықсызықты қозғалысты айтады.

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

Түзусызықты теңайнымалы қозғалыстарда ($t_0 = 0$ деп алсақ) үдеудің модулі

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

формуласымен анықталатынын білеміз. Ал *дене шеңбер бойымен қозғалғанда оның үдеуінің модулі 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, өте қысқа уақыт аралығында ($t \rightarrow 0$) A нүктеден B нүктесіне жетсін (сурет 1.20, а). Қозғалыс бірқалыпты болғандықтан, дененің A және B нүктелеріндегі жылдамдықтарының модульдері бірдей болады ($v_A = v_B = v$) да, тек бағыттары ғана өзгереді. Осы екі нүктедегі жылдамдық векторларының $\vec{v}_B - \vec{v}_A$ айырымын табайық. Ол үшін жоғарыда айтылған (§3) векторларға азайту амалдарын қолданудың *үшбұрыш ережесін* пайдаланамыз. Модульдері бірдей $v_A = v_B = v$ векторлардың әрқайсысын 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 сәйкестендіріп те салуға болады (сурет 1.20, ϑ). Сонда модульдері бірдей, бірақ бағыттары өртүрлі v_A және v_B векторлардың $\vec{v}_B - \vec{v}_A$ айырымы $A'B' = \Delta v$ шамасына тең болады. Бұл айырым екінші жағынан үдеудің формуласы бойынша былайша өрнектелетінін білеміз:

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

мұндағы \vec{a} өзіміз модульін іздеп отырған шеңбер бойындағы бірқалыпты қозғалыстың үдеуі болып табылады.

Векторлық $O'A'B'$ үшбұрышы OAB үшбұрышына ұқсас. Өйткені екі үшбұрыш та теңбүйірлі және бүйір қабырғаларының арасындағы бұрыштары да өзара тең (сыбайлас қабырғалардың арасындағы бұрыштардың өзара тең болатыны геометриядан белгілі). Ендеше, ұқсас үшбұрыштардың сәйкес қабырғаларының 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 \overline{AB} доғасын керіп тұрған хорда болып табылады. Өте аз $t \rightarrow 0$ уақыт аралығында өтетін қозғалысты қарастырып отырғандықтан, доғаның ұзындығын жуықтап оны керіп тұрған хорданың ұзындығына теңестіруімізге болады. Сонда дененің t уақыт ішінде доға бойымен бірқалыпты жүрген жолы AB кесіндісіне тең болады: $AB = v \cdot t$.

Анықталған шамаларды жоғарыдағы қатынастардағы орындарына қойып, мына теңдікті аламыз:

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

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

$$a = \frac{v^2}{R}. \tag{1.13}$$

3. Енді шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс үдеуінің қалай бағытталаатынын көрсетейік. Көрнекілік үшін ортадағы екі суретті (α және β суреттерді) шеңбер бойындағы орындарына жайғастырып, жаңа көрініске көңіл аударайық (сурет 1.20, ϑ). Векторлық $\Delta \vec{v} = \vec{a} t$ теңдеуіне сәйкес $\Delta \vec{v}$ векторы қалай бағытталса, бас нүктесі шеңбер бойындағы B нүктесінде орналасқан \vec{a} векторының да солай бағытталаатыны белгілі. Ендеше, суреттен көрініп тұрғандай, бұл вектор центрге қарай бағыттталып,

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 қозғалыс кезінде дене өр айналым жасауға бірдей уақыт жұмсайды. Осы тұрақты уақытты период деп атауға 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 дене 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 гректің ν (ню) өрпімен белгілейді:

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

Жиілік периодқа кері шама болып табылады. Расында да:

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

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



Сұрақтар

1. Қисықсызықты қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
2. Қисықсызықты қозғалыстарды сипаттау үшін қандай амалдар қолданылады?
3. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы деп қандай қозғалысты айтады?
4. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыстың үдеуінің модулі қалай анықталады және қандай формуламен өрнектеледі?
5. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыстың 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 шығару мысалдары

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

Берілгені
$R = 3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$
$a_{\text{ц.т.}} - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Айдың қозғалыс 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: $a_{\text{ц.т.}} = v^2/R$, мұндағы v – Айдың қозғалыс жылдамдығы.

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

Сондықтан Айдың қозғалыс 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:

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

Шешуі:

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

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

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

Берілгені
$h = 600 \text{ км}$
$v = 8 \text{ км/с}$
$a_{\text{ц.т.}} - ?$

Есеп мазмұнын талдау

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

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

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

Алынған мән Жердің жасанды серігінің центрге тартқыш үдеуі жер бетіндегі еркін түсу үдеуінен азғана шамаға кем болатынын көрсетеді.

§7.

СЫЗЫҚТЫҚ ЖӘНЕ БҰРЫШТЫҚ ЖЫЛДАМДЫҚТАР

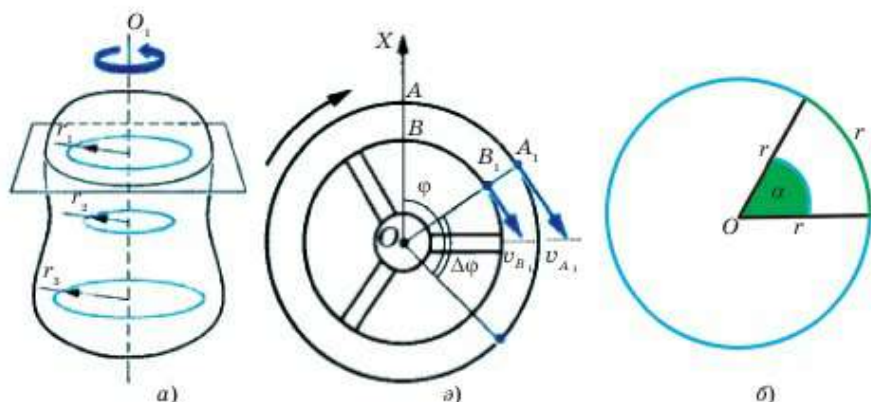
1. Біз алдыңғы тақырыпта материялық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысын қарастырдық. Шеңбер бойымен қозғалысты айналып тұрған қатты дененің (мысалы, өз өсінің төңірегінде айналатын Жер шарының) кез келген нүктесі жасайды.

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 материялық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысына қарағанда өзіндік ерекшеліктері бар. Ең басты ерекшелік мынаған саяды: материялық нүкте шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалғанда бірдей уақытта бірдей жол жүреді, яғни бірдей доға сызады. Ал қатты дененің айналмалы қозғалысында оның әрбір нүктесі бірдей уақытта әртүрлі жол жүреді ($\overline{AA_1} > \overline{BB_1}$), яғни әртүрлі доға сызады (сурет 1.21, ә). Сондықтан A нүктесінің доғаға жанама болатын $\overline{v_A}$ жылдамдығының модулі B нүктесінің $\overline{v_B}$ жылдамдығының модулінен артық болады ($v_A > v_B$). Олай болса, қатты дененің айналмалы қозғалысын сипаттау үшін жүрілген жол және шеңберге (траекторияға) 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 $\Delta\varphi$ 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:

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



Сурет 1.21. Өртүрлі денелердің бойындағы нүктелердің айналымды қозғалысы

Бұрыштық жылдамдық деп қатты дененің айналу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шаманы айтады

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

Бір радиан деп ұзындығы радиусқа тең болатын шеңбер доғасын керіп тұрған екі радиустың арасындағы α (альфа) бұрышты айтады (сурет 1.21, б).

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

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

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

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

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

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

кететіндіктен, бірқалыпты айналмалы қозғалыстың сызықтық 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 сызықтық 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 өлшенеді?
3. Бұрыштық жылдамдық дененің айналу жиілігімен қандай формулалар арқылы байланысады?
4. Қандай шарттар орындалғанда дене бірқалыпты айналады? Мұндай айналыс қандай формулалармен сипатталады?
5. Бұрыштық жылдамдық дененің сызықтық 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 сызықтық жылдамдықтарын есептеп шығару керек. (Жер радиусы 6400 км-ге тең деп есептеңдер).

Берілгені	ХБЖ бойынша
$R = 6400 \text{ км}$ $T = 24 \text{ сағ.}$	$R = 64 \cdot 10^5 \text{ м}$ $T = 86400 \text{ с}$
$\omega - ?, v - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Жер бетіндегі нүкте Жер бір айналғанда $\varphi = 360^\circ$ градусқа, яғни 2π радианға бұрылады. Нүктенің бұрыштық жылдамдығы:

$$\omega = \frac{\varphi}{t}, \text{ ал сызықтық жылдамдығы: } v = \omega R.$$

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

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

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

$v = 448 \text{ м/с}.$

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

<i>Берілгені</i>	<i>ХБЖ бойынша</i>
$n = 3000$ $t = 1 \text{ мин}$	$t = 60 \text{ с}$
$\omega = ?$	

Есеп мазмұнын талдау

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

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

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

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



Жаттығу 1.4

1. Жердің Күнді айналу жиілігі қандай?
2. Сағат тілінің айналу бұрыштық жылдамдығы үлкен бе, әлде Жердің айналуының бұрыштық жылдамдығы үлкен бе?
3. Сағаттың секундтық және минуттық тілдері айналуының бұрыштық жылдамдықтарын табыңдар.
4. Дене радиусы 50 м шеңбер доғасының бойымен қозғалады. Оның 10 с ішіндегі бұрылу бұрышы 1,57 рад-ға тең екені белгілі. Дене қозғалысының сызықтық жылдамдығы мен жүрген жолын табыңдар.
5. Дененің айналу периоды 10 с-қа тең деп алып, оның 10 с ішіндегі бұрыштық жылдамдығы мен бұрылу бұрышын есептеп шығарыңдар.
6. Радиусы 10 см-ге тең дөңгелек қайрақты айналдырғанда, ол 0,20 с ішінде бір айналым жасайды. Айналу өсінен ең қашық нүктелердің жылдамдығын табыңдар.
7. Егер автокөліктің радиусы 30 см доңғалағы 1 с ішінде 10 айналым жасаса, оның қозғалыс жылдамдығы қандай?

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



Ғылым 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 тең 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 кездегі ең озық обсерваторияны салдырғаннан кейін жан-жақтан келген көрнекті ғалымдардың ішінде әл-Каши де болды. Ол «*Шеңбер туралы*» деген трактатында $\pi \approx 3,14$ (*пи*) санын үтірден кейін 16 санға дейінгі дәлдікпен анықтай алған екен. XVII ғасырға дейін бірде-бір математик мұндай 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 тараудағы ең маңызды түйіндер

• **Механикалық қозғалыс** – денелердің кеңістікте уақыт ағымына қарай бір-бірімен салыстырғандағы 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 теңайнымалы қозғалыстардың скалярлық теңдеулері:**

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

$$v = v_0 \pm at.$$

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

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

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

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

$$a_{\text{ц.т.}} = \frac{v^2}{r}.$$

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

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









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

$$v = \omega R.$$

II ТАРАУ

АСТРОНОМИЯ НЕГІЗДЕРІ

ОҚУШЫЛАР МЕНГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

-  абсолюттік және көрінерлік жұлдыздық шамаларды ажырату;
-  жұлдыздардың жарқырауына әсер ететін факторларды атау;
-  аспан сферасының негізгі элементтерін атау;
-  жұлдызды аспанның жылжымалы картасынан жұлдыздардың аспан координатасын анықтау;
-  әртүрлі ендіктегі жұлдыздардың 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 ұзақ 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

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
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.

ЖҮЛДЫЗДЫ АСПАН. АСПАН СФЕРАСЫ

1. Жұлдызды аспан – самсаған сансыз шырақтармен көмкерілген көк күмбезі. Сократтың шәкірті, Аристотельдің ұстазы әйгілі Платон аспан күмбезін былайша елестетеді: *«Әлем жай ғана күмбез емес. Ол – мінсіз де кемел күмбез; Жаратушы оның бетін мұнтаздай жылтыр етуге қамқорлық жасады және бұл себепсіз де емес еді...»*. Еуразия кеңістігін алып жатқан апайтөс Ұлы Дала өкілдері және олардың бірі – қазақ халқы өздерінің ертегілері 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 жырауша *«Ай нұрын ұстап мініп, жұлдыз аралап...»* 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 жырлаған *«сәулесі суда дірілдеген, желсіз түнде жарық Ай»* (сурет 2.2) – бізге ең жақын жалыны жоқ аспан шырағы. Екіншісі – бізге ең жақын жалындап жанып тұрған жұлдыз – Күн. Олардан басқа Жерде тұрып қарусыз көзбен көруге болатын әртүрлі орбиталар бойымен Күнді айнала қозғалатын жалынсыз бес планета: Меркурий (қазақша «Кіші шолпан» немесе «Балпан»), Шолпан, Марс («Қызыл жұлдыз»), Юпитер («Есекқырған») және Сатурн.



Сурет 2.1. Күн жүйесіндегі планеталар



Сурет 2.2. Түнгі аспан

Жердің екі жартышарында жай көзбен көруге болатын 6 мыңдай шырақтардың барлығы дерлік жұлдыздар болып табылады. Өткір көзді адам түнгі Айсыз ашық аспанда көк күмбезінің өзі тұрған жартышарында

3 мың жұлдызды көре алады. Жердің екінші жартышарында тұрған адам да жай көзбен 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 аталатын 300 жұлдыздың төл атауларының 15%-ы грек, 5%-ы латын, 80%-ы араб тілдерінде аталады. Араб тілдеріндегі жұлдыздар атауын беруге «мұсылман ғалымдары» деп аталып кеткен Орталық Азия халықтарынан шыққан ұлы ғұлама астрономдар да зор үлес қосты.

Қазіргі Жер бетіндегі және ғарыш кеңістігіне ұшырылған телескоптарда соңғы жүз 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 осындай.

2. Жұлдыздардың көрінерлік жарықтылығы бірдей емес: біразы жарқырап, самаладай самсап көрінсе, біразы көзге өрең шалынады. Осыған орай Гиппарх *көрінерлік жұлдыздық шама* (*к.ж.ш.*) деген ұғым енгізіп, өз тізімінде шырақтарды 6 топқа жіктеген болатын. Солардың ішінде ең жарық жұлдыздарды (мысалы, қазақтар *Сүмбіле* деп атайтын *Сириусты*) бірінші топқа, ал ең солғындарын алтыншы топқа енгізген еді.

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

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

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

Аспан шырақтарының *к.ж.ш.*-сымен өлшенген жарқырауы олардың шын *жарықтылығын* бере алмайды. Өйткені тым алыстағы жарықтылығы күшті шыраққа қарағанда, көзге жақын орналасқан шырақ жарқырап көрінуі мүмкін. Сондықтан шырақтардың орналасу қашықтықтарына қарай олардың шын жарықтылығын ескеру үшін *M* әрпімен белгіленетін *абсолюттік жұлдыздық шама (а.ж.ш.)* деген түсінік енгізілген. Бір абсолюттік жұлдыздық шама деп бақылаушыдан 10 парсек қашықтықта орналасқан шырақтың жарықтылығын айтады (мұндағы 1 парсек 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. (форзақтағы қосымшаны қараңдар).

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

Шоқжұлдыз деп аспанның белгілі бір жұлдыздар шоғыры енетін шекарасы анықталған бөлігін айтады.

Жұлдыздардың шоғырлануына қарай аспан күмбезін бөліктерге бөлу тәсілі ғылыми астрономияда да қолданыс тапты. Осылайша аспан күмбезі бірнеше бөліктерге бөлініп, бұл бөліктерде 88 шоқжұлдыз орналасқан. Бұлардың ішінен 12 шоқжұлдызға халық астрономиясы ерекше мән беріп, орналасу пішіндеріне қарай оларға әртүрлі жануарлардың немесе ертегі-аңыздардың 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 әрбір 12 шоқжұлдыздың тұсынан өтеді-мыс. *Зодиакальдік шоқжұлдыздар* деп аталып кеткен мұндай жұлдыздар шоғырларына 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), *суқұйғыш айы* (21.01–19.02), *балықтар айы* (20.02–20.03).

Осындай пайымдауларға сүйеніп, жыл мезгілдерін және уақытты көрсететін күнтізбелер жасалған. Алайда бір жылда Күн Жерді емес, Жер Күнді айналатыны белгілі болғаннан кейін де, ертеде жасалған мұндай күнтізбелер өз құндылығын жойған жоқ. Өйткені жыл мезгілдері мен



Сурет 2.3. Үлкен аю шоқжұлдызы

күнтізбелік уақыттарға айтарлықтай өзгерістер енгізудің қажеттігі тұмады. 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 тұрған орнын, телескоптың Жердегі немесе ғарыштағы орнын, Жер центрін т.с.с. алуға болады. Жердің өз өсінен батыстан шығысқа қарай айналуына байланысты аспан шырақтары солтүстік жартышарда Жерді шығыстан батысқа қарай айналғандай болып көрінеді. Сондықтан да аспан сферасына проекцияланған аспан шырақтарының кеңістіктегі орны өзгеріп отырады.

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

Бақылаушы вертикалі – аспан сферасының центрі арқылы өтетін, әрі бақылаушы тұрған нүктедегі тіктеуіштің бағытымен бағыттас тік сызық.

Зенит Z – бақылаушының қақ төбесіндегі аспан сферасындағы нүкте.

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

Ақиқат горизонт (көкжиек) – бақылаушы вертикаліне (тік сызыққа) перпендикуляр дөңгелек.

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

Әлем полюстері – аспан сферасының әлем өсімен қиылысу нүктелері.

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

Аспан меридианы немесе **бақылаушы меридианы** – әлемнің полюстері және зенит пен надир арқылы өтетін аспан сферасы бетіндегі үлкен дөңгелек.

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

Шығыстың және батыстың нүктелері (E және W) – аспан экваторының ақиқат горизонтпен (көкжиекпен) қиылысу нүктелері.



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

Талтүстік сызығы – ақиқат горизонттың бетіндегі солтүстік пен оңтүстіктегі нүктелерді қосатын түзу сызық.

Шырақ вертикалі (қысқаша вертикаль) – аспан сферасы бетіндегі зенит, надир және шырақ (M) арқылы өтетін доғалық сызық.



Сұрақтар

1. Жұлдызды аспан деп нені айтады? Жұлдызды аспан ежелгі дәуірде және қазіргі заманда қалай суреттеледі?
2. Жұлдыздардың көрінерлік жарықтылық деңгейлері қалай бағаланады және қандай шамалармен өлшенеді? Ерекшеліктері қандай?
3. Шоқжұлдыз деп нені айтады? Зодиакальдік шоқжұлдыздарға не себептен ерекше мән беріледі?
4. Аспан сферасы деп нені айтады?
5. Аспан сферасы қандай негізгі нүктелермен сипатталады?
6. Аспан сферасы қандай негізгі сызықтармен сипатталады?
7. Аспан сферасы қандай негізгі дөңгелектермен (шеңберлермен) сипатталады?



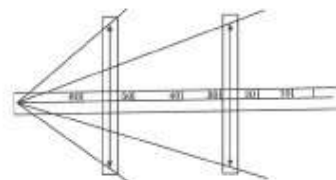
Жаттығу 2.1

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



Практикалық тапсырма

1. 2.5-суретте көрсетілгендей қарапайым бұрыш өлшегіш құрал – астрономиялық таяқ жасап алыңдар. Ол өзара перпендикуляр орналасқан екі таяқшадан құралған. Ұзындығы 1 м болатын градустық өлшем белгілері салынған таяқшаның бір ұшында саңылауы 3–4 мм сақина (шайба) – қарауыш орналасқан, ол визир болып табылады. Оған көлденең әрі жылжымалы етіп орналастырылған таяқшаның екі ұшына шеге қағылған. Өлшегіш таяқшаның градустық шкаласы транспортир көмегімен анықталады. Ол үшін транспортирдің орталық нүктесі қарауыш-визирмен сәйкестендірілуі 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 көзге жақындатып, жылжымалы тақтайшаны өлшегіш бойымен жылжыта отырып, оның ұштарындағы екі шегені аралық бұрыштың қашықтығы өлшеніп отырған екі жұлдызбен беттестіру қажет. Жылжымалы тақтайшаның өлшегіш бойында орналасуы бойынша дәптерге өлшенген бұрыштың мәнін жазып алыңдар.
3. α және β Үлкен аю жұлдыздарының, сонымен бірге α Үлкен аю және β Кіші аю жұлдыздарының бұрыштық арақашықтықтарын өлшеп, соңғы екі жұлдыз аралығы алғашқыларымен салыстырғанда 5 есе үлкен болатынын тексеріңдер.
4. Мүмкіндігінше қалалардағы планетарийлерге экскурсияға барып немесе ауылдық жерлердегі түнгі аспандағы жұлдыздарды бақылап, халық арасында белгілі атаулары бар жұлдыздардың орналасуын тор дәптердің бетіне суреттерін салыңдар.



Ғылым мен техниканың даму тарихынан

Ислам мәдениеті мен ғылымы гүлденген орта ғасырда оның шығысында ғылыми үлкен өркеніет қанат жайды. Халифаттың білімді де білікті әмірлері қоғамның мәдени деңгейін көтеріп, дамыта түсу үшін ғылым мен білімге көңіл бөлді. Астрономия мен медицинаға басымдық берілді. Білімді де білікті әмірлердің алдыңғы қатарында әл-Мамун мен Ұлықбек те бар еді. IX ғасырда Бағдатта әл-Мамун «Ақылдылар үйін» салып, оның жанынан зәулім кітапхана мен обсерватория жасақтады. Бұл ғылыми орда Мысырдағы (Египеттегі) «Музейге» ұқсас «Ғылымдар Академиясының» прототипі болды. Онда әртүрлі ұлттар мен діни конфессия өкілдерінен шыққан ғалымдар философия, астрономия, медицина т.б. салалар бойынша зерттеулер жүргізді. Мысалы, сфералық үшбұрыштарды шешу үшін ислам математиктері мен астрономдары IX–X ғасырларда сфералық тригонометрияның арнайы математикалық аппаратын жасады, әрі координаталардың түрленуін модельдейтін аспап – *астролябияны* ойлап 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 оқу орындары (медреселер) көптеп салынды. Жастайынан атасының зәулім кітапханасында өз бетімен оқуға қаныққан Ұлықбек нағыз ағартушы билеуші еді. 1420 жылы салынған медресенің ғимараттарында ол алғашқы университеттің негізін салып, ұстаздыққа белгілі ғалымдарды, солардың ішінде көрнекті астрономдарды да көптеп тартты.



Сурет 2.6.
Ұлықбек квадрантпен жұлдыздарды бақылау үстінде

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

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

§9.

АСПАН КООРДИНАТАЛАРЫНЫҢ ЖҮЙЕЛЕРІ

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* жиі 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** C центрі жердегі бақылаушының тұрған орнымен сәйкестендіріледі (сурет 2.7). O 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 биіктігі деп горизонттан (көкжиектен) шыраққа дейінгі вертикаль дөңгелек доғасының немесе горизонт жазықтығы мен шыраққа бағытталған сәуленің арасындағы α бұрыштың шамасын айтады. Биіктіктер 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 доғасының немесе тіктеуіш сызығы мен шыраққа бағытталған сәуленің арасындағы z бұрыштың шамасын айтады. Зениттік қашықтық 0° -тан 180° -қа дейін Z зениттен Z' надирге қарай анықталады.

Шырақтың A азимуты деп горизонттың оңтүстік S нүктесінен шырақтың вертикаль дөңгелегіне дейінгі доғаның немесе шырақтың вертикаль дөңгелегінің горизонтпен қиылысу сызығы мен талтүстік сызықтың арасындағы β бұрыштың шамасын айтады. Азимуттар аспан сферасының тәуліктік айналысына қарай, яғни S оңтүстік 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 солтүстік нүктесінен басталады).

Горизонттық координаталарды шырақтардың аспандағы орналасуларын әр бақылаушының тұрған орны мен уақытына сәйкес анықтайды. Сондықтан мұндай координаталарды жұлдыздық карталар мен атластарда қолданбайды. Жұлдыздық 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 еңістік бұрышы немесе оның доғасы және $\alpha = t$ сағаттық бұрыш немесе оның доғасы деп атайды.

Шырақтың δ еңісі деп еңістік дөңгелектің аспан экваторынан шыраққа дейінгі доғасының ұзындығын немесе аспан экваторы жазықтығы мен шыраққа бағытталған сәуленің арасындағы бұрыштың шамасын айтады. Еңістің 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 бұрышы деп аспан экваторының жоғарғы нүктесінен (яғни аспан экваторының аспан меридианымен қиылысу нүктесінен) шырақтың еңістік дөңгелегіне дейінгі доғаның ұзындығын немесе аспан меридианы мен шырақтың еңістік 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 бұрыштық 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 парақшада) 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. Карта екі бөліктен: жұлдыздар картасы мен қондырма дөңгелектен тұрады. Картада жұлдыздар, шоқжұлдыздардың танымал бейнесі, олардың шегаралары, аспанның экваторлық координаталарының торы бейнеленген.

Картаның орталығында еңістік дөңгелектерінің радиалды сызықтар түріндегі көшірмелері қиылысады. Бұл нүкте – дүниенің солтүстік полюсі. Тура көтерілу мәндері карта жиегінің ішкі жағында сағат тілінің бағытымен әр 1 сағ сайын жазылған. Аспан экваторы (еңістігі 0°) және аспанның үш ендігі әр 30° сайын центрлік шеңбермен сызылып, бастапқы еңістік дөңгелегімен (0 сағ – 12 сағ түзуі) қиылысқан тұстарында градуспен таңбаланған. Осы сандардың көмегімен аспан шырақтарының экваторлық координаталарының мәндерін жуықтап анықтауға болады.

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

Аспан экваторымен екі нүктеде, яғни көктемгі күн мен түннің теңе-

лу нүктесінде $\alpha = 0$ сағ, $\delta = 0^\circ$ қиылысатын әрі орталық нүктесі дүние полюсімен сәйкес келмейтін шеңбер *эклиптика* деп аталады.

Жазғы күн тоқырау нүктесі солтүстік жартышарда эклиптиканың еңістік дөңгелегімен 6 сағ мөнінде, ал қысқы күн тоқырау нүктесі оңтүстік жартышарда 12 сағ мөнінде қиылысқан тұста орналасқан.

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

Қондырма дөңгелекте географиялық ендік мәндері жазылған сопақ пішінді тұйық сызықтар көрсетілген. Оның орны мен пішіні бақылаушының Жер бетінде орналасуына, яғни оның тұрған орнының географиялық ендігіне тәуелді. Бақылаушының орналасу орнының ендігіне сәйкес бұрыштық белгі салынған қисық бойымен қиып алғанда, оның тұйық 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 санауға болады. Оның дәл орны керілген жіптің Жер ендігі φ -ге тең аспан ендігімен қиылысқан нүктесіне сәйкес келеді. Мысалы, Алматы үшін ($\varphi = 43,25^\circ$) зениттің аспандағы орны картада $\delta = 43,25^\circ$ ендік шеңберін сызып, сол шеңбердің талтүстік сызықпен қиылысқан нүктесін белгілеу арқылы анықталады. Қондырма дөңгелектің жиегі 24 сағ-қа, ал әр сағат 6 бөлікке бөлінген. Бұл дөңгелекте сағат сандарының мәні жергілікті уақыт бойынша белгіленген. Бақылау кезінде бұл жайт есте болу керек. Қондырма дөңгелектің ойылып алынған жерін мөлдір қаразбен желімдеп жапсырып, онда талтүстік (меридиан) сызығы мен зенит орнын белгілесе және картаны дүниенің солтүстік полюсі нүктесінен шегеге қондырса, жылжымалы карта қолдануға ыңғайлы болады.

Жұлдызды аспанның жылжымалы картасының көмегімен әртүрлі 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 жұлдызды 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 сызық бойындағы жұлдыздардың дүниенің солтүстік полюсінің оңтүстік жағындағылары жоғары, ал оның солтүстік жағындағылары төменгі шарықтау сәтінде орналасады. Шығып келе жатқан жұлдыздар көкжиектің шығыс бөлігінде, ал батып бара жатқандары батыс бөлігінде 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, Үшарқар (Таразы) және Сүмбіле «үш 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 таңертеңгі ең алғаш тууы туралы айтылған. Олар бақылаушының тұрған орнының географиялық ендігіне де тәуелді. Біз қондырма дөңгелекті эллипс пішінді қисықтың $\varphi = 45^\circ$ мәніне сәйкес кесіп алып қолданамыз.

Қондырма дөңгелекті карта бетіне орналастырып, дөңгелекті жоғарыда аталған шырақтар оның ішкі жиегінің батыс тұсында орналасқанша айналдырамыз. Сөйтіп, сағаттық дөңгелектен және айлар мен күндер көрсетілген жиектен аталған шырақтар, жуықтап алғанда 5–15 мамыр аралығында, келесі ретпен: Үркер, Үшарқар (Таразы) және Сүмбіле жергілікті уақыт бойынша 20 сағ кезінде бататынын анықтаймыз.

Қондырма дөңгелекті сағат тілінің қозғалу бағыты бойымен айналдыра отырып, бірінші болып Үркер туатынын байқаймыз. Үркердің жуықтап алғанда тууы – маусымның 23 күні жергілікті уақыт бойынша 2 сағ-та болады. Дәл осылайша Үшарқар (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 суиды» деп күз маусымының басталғанын білдіреді.



Сұрақтар

1. Аспан координаталарының жүйелері не үшін қолданылады? Олар қалай аталады?
2. Горизонттық (көкжиектік) 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 өңірдің астрономдарының ғылыми және өнертапқыштық еңбектері алынған?
5. Әлемнің солтүстік полюсі жылжымалы картада қай орында орналасқан? Аспан меридианының орнын картада қалай табуға болады?
6. Картадан берілген мекенжайдың зенит нүктесінің орнын қалай табуға болады?



Жаттығу 2.2

1. Сириус жұлдызының Темірқазықтан бұрыштық қашықтығы 106° . Сириустың еңістік координатасының мәні оң бола ма, әлде теріс бола ма?
2. Бұрыштық өлшемге айналдырыңдар: а) 6 сағ 24 мин; ә) 18 сағ 43 мин.
3. Сағаттық өлшемге айналдырыңдар: а) $90^\circ 30'$; ә) $105^\circ 43'$.
4. Жұлдыздардың аспан сферасының қай жартышарында орналасқанын анықтаңдар.



Практикалық тапсырма

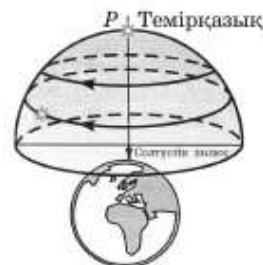
1. Жұлдыздық картадан оқулықтағы қосымшада келтірілген жұлдыздарды координаталары бойынша табыңдар.
2. Жұлдыздық карта бойынша мына жұлдыздардың экваторлық координаталарын анықтаңдар: а) α Орион; ә) α Лира. Алынған мәліметтерді қосымшадағы осы жұлдыздардың координаталарымен салыстырыңдар.
3. ЖАЖК-ның көмегімен төменде келтірілген шоқжұлдыздардың қайсылары өздерің тұратын орында батпайтынын анықтаңдар: а) Үлкен аю; ә) Лира; б) Цефей; в) Бүркіт; г) Аққу; д) Кассиопея; е) Жетекші.
4. Оқулықта айтылған «жұлдыз» ережесін $\varphi = 55^\circ$ ендікте қалай орындалатынын тексеріңдер. Нәтижесі 45° ендіктегі нәтижемен салыстырыңдар.
5. ЖАЖК-ның көмегімен күн мен түннің теңелу және тоқырау кездеріндегі экваторлық координаталарын, осы кездері Күннің шығу және бату уақытын анықтаңдар.

§10.

ӨРТҮРЛІ ГЕОГРАФИЯЛЫҚ ЕНДІКТЕГІ АСПАН ШЫРАҚТАРЫНЫҢ КӨРІНЕРЛІК ҚОЗҒАЛЫСЫ

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

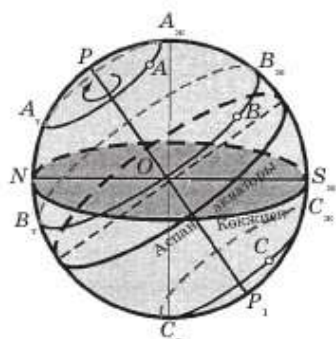
Жердің солтүстік P полюсінде орналасқан бақылаушыға аспан сферасының тек солтүстік жартышары, ал оңтүстік полюсте оның оңтүстік жартышары ғана көрінеді. Жер полюстерінде дүние өсі тік сызық бойымен сәйкес келеді. Жұлдыздардың тәуліктік параллельдері көкжиекке параллель орналасады (сурет 2.9), яғни барлық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



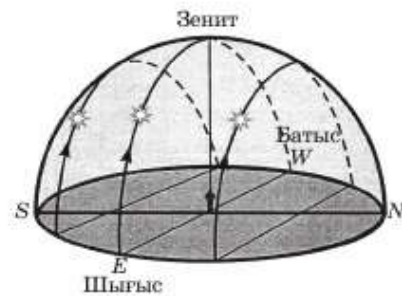
Сурет 2.9. Жұлдыздардың тәуліктік параллельдері

Бақылаушы солтүстік полюстен экваторға сапар шеккенде, жұлдызды аспан көрінісі өзгеріп отырады. Дүниенің солтүстік полюсінің зениттен бұрыштық қашықтығы біртіндеп өседі. Осыған орай жұлдыздардың тәуліктік параллельдері горизонтқа (көкжиек) көлбеу орналасады. Сөйтіп, аспан экваторы мен көкжиек жазықтықтарының арасындағы бұрыш та өсетін болады; соның салдарынан аспан сферасының экваторға таяу бөлігіндегі жұлдыздар көкжиектен шығып, көкжиекте бататын болады, мысалы, *B* жұлдызы (сурет 2.10).

Бақылаушы Жер экваторына жеткенде, дүние полюстері көкжиекке (оның тура солтүстік және оңтүстік нүктелеріне) дәл келеді. Ал аспан экваторы зенит арқылы өтеді. Жұлдыздардың қозғалысы аспан экваторына параллель болғандықтан, олар шығыс көкжиектен оған тікбұрыш 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 қозғалыс 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 *A* жұлдызы – батпайтын жұлдыз. Оның жоғарғы (A_n) және төменгі (A_s) шарықтауы көкжиек үстінде болса, *B* жұлдызының тек жоғарғы шарықтауы ғана көкжиек үстінде болады. Ал *C* жұлдызы – бұл орында тумайтын жұлдыз. Оның жоғарғы және төменгі шарықтауы көкжиек астында болады. Осылайша шырақтың көкжиектік координаталары тәулік ішінде үздіксіз өзгеріп отырады.

**Сұрақтар**

1. Жұлдызды аспанның тәуліктік қозғалысының көрінісі бойынша бақылаушы өзінің Жердің солтүстік полюсінде орналасқанын анықтай ала ма? Неге?
2. Бақылаушы экваторда тұрғанда дүние полюсі көкжиектің қай нүктелерінде орналасады?
3. Аспан меридианын жұлдыздар тәулігіне неше рет кесіп өтеді?
4. Шырақтардың шарықтауы ұғымына сүйеніп, шығатын немесе бататын, шықпайтын және батпайтын жұлдыздардың анықтамасын беріңдер.

**Практикалық тапсырма**

1. Жұлдызды картадан Үлкен аю, Кіші аю, Кассиопея, Аққу, Арыстан, Пырақ, Сиыршы және Орион шоқжұлдыздарын тауып, олардың пішіндерін естеріңде сақтап, дәптерге сызбаларын салыңдар.
2. ЖАЖК-сын бақылау сабағы 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 БҮКІЛӘЛЕМДІК 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 аспандағы белгілі бір санақ денесіне қатысты 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 ажырата білуіміз қажет.

2. **Нақты және орташа күн тәулігі.** Күн шарығының (дискісінің) орталық нүктесінің жоғарғы шарықтау сәті *нақты талтүс* деп, ал төменгі шарықтауы *нақты түн 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 туындайды. 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 сәті, бақылаушы орнының географиялық бойлығына тәуелді. Күннің жергілікті меридиан арқылы өту сәті бізге *жергілікті орынның күн уақытын береді*. Бұл уақыт тек берілген географиялық меридианда ғана қолданылатындықтан, күнделікті өмірде *белдеулік уақытты* қолдану ыңғайлы. Бұл үшін Жер беті полюстерді қосатын сызықтар көмегімен 24 сағаттық *белдеулерге* бөлінген. 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) сөйкес 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 табиғи аймақтармен (өзен, тау жоталары) бөлінген. Қазақстанның аумағы арқылы Гринвичтен есептегенде 4-сағаттық (мысалы, Атырау) және 5-сағаттық (мысалы, Өскемен) 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 бүкіләлемдік уақытқа сол бойлықтың уақыт бірлігіндегі мәнін қосу арқылы анықталады:

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



Сұрақтар

1. Нақты және орташа күн тәуліктерінің бір-бірінен айырмашылығы неде?
2. Бүкіләлемдік уақыт жер бетінде қай орынның жергілікті уақытына сәйкес келеді?
3. Қазақстан жері арқылы қанша және қандай сағаттық белдеулер өтеді?
4. Нұр-Сұлтан уақыты ендік мәні қанша градус болатын орынның жергілікті уақытына дәл келеді?
5. Жергілікті Алматы және Нұр-Сұлтан уақыттары бірдей ме? Осы қалалардағы жергілікті уақыттардың айырымын есептеу үшін бізге нені білу керек?
6. Алматы мен Нұр-Сұлтанда белдеулік уақыт бірдей ме?



Жаттығу 2.3

1. Алматы мен Нұр-Сұлтанның 5-сағаттық белдеуде орналасқанын біле отырып, Алматы немесе Нұр-Сұлтан уақыты қай бойлықтың жергілікті уақытына сәйкес келетінін есептеп шығарыңдар.
2. 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 айырымын табыңдар.
3. 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 есептеңдер.

§12.

КҮН ЖҮЙЕСІНДЕГІ ПЛАНЕТАЛАР
ҚОЗҒАЛЫСЫНЫҢ ЗАҢДАРЫ

1. Поляк ғалымы *Николай Коперник* (1473–1543 жж.) өзінің Күн жүйесінің гелиоцентрлік моделін (үлгісін) жасағанда ертеде қалыптасқан планеталардың шеңбер бойымен тұрақты жылдамдықпен қозғалатыны туралы қағидаға сүйенді. Алайда неміс астрономы *Иоганн Кеплер* (1571–1630 жж.), Дания астрономы Тихо Брагениң (1546–1601 жж.) өте мұқият жасаған Марс қозғалысына қатысты бақылау жұмыстарының нәтижелерін пайдаланып, планеталардың орбиталарының эллипс болатынын анықтады. Сөйтіп, 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 – үлкен жарты өсі, b – кіші жарты өсі деп аталады (сурет 2.12). Оның F_1 және F_2 екі фокусы симметрия центрі болып табылатын O нүктесінен $OF_1 = OF_2 = c = a^2 - b^2$ қашықтықта орналасқан.

Эллипстің негізгі қасиеті: эллипстің кез келген нүктесінен фокустарға дейінгі қашықтықтардың қосындысы әрдайым үлкен өстің ұзындығына тең:

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

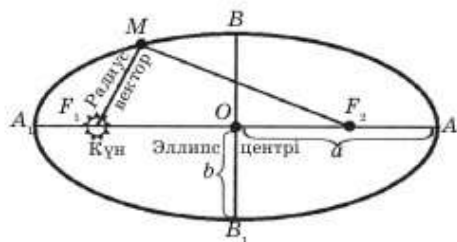
Эллипстің шеңберден айырмашылығы $e = c/a$ қатынасы арқылы анықталады. Бұл қатынас эллипстің *эксцентриситеті* деп аталады. *Эксцентриситет* неғұрлым үлкен болса, эллипстің шеңберден айырмашылығы да соғұрлым көп болады. Егер $c = 0$ болса (эллипстің фокустары центрімен беттеседі), онда эллипс радиусы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

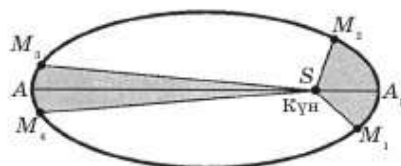
Жердің табиғи серігі Айдың және кез келген жасанды серіктердің Жерге ең таяу келетін нүктесі *перигей* (грек. *Гей* – Жер), ал ең алыс нүктесі *апогей* деп аталады.

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

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



Сурет 2.12



Сурет 2.13

4. Кеплердің үшінші заңы: *кез келген екі планетаның Күнді айналу периодтары квадраттарының қатынасы олардың орбиталарының үлкен жарты өстерінің 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 өстері; T_1 мен T_2 – олардың айналу периодтары.

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



Сұрақтар

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



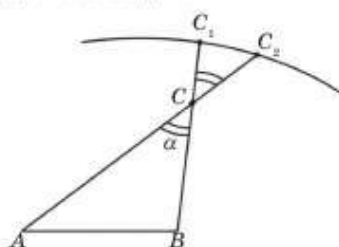
Жаттығу 2.4

1. Күнді толық бір айналып шығу үшін Уранға 84 жыл қажет. Ол Күннен Жермен салыстырғанда неше есе алыс орналасқан?
2. Юпитердің үлкен жарты өсі 5 а.б. Оның Күнді айналу периоды неше жыл?
3. Марс орбитасының үлкен жарты өсі 1,5 а.б. Оның Күнді айналу периоды қандай?

§13.

КҮН ЖҮЙЕСІ ДЕНЕСІНЕ ДЕЙІНГІ АРАҚАШЫҚТЫҚТЫ
ПАРАЛЛАКС ӘДІСІМЕН АНЫҚТАУ

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



Сурет 2.14

C 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 анықтағанда, базис ретінде Жер радиусы алынады.

Шынында да, Жердің төуліктік 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 p *көкжиектік параллакс* деп

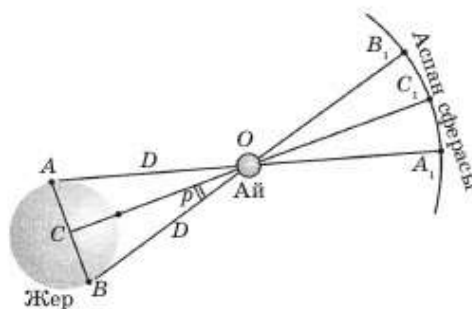
аталады. OCB үшбұрышынан (Ай орнында кез келген Күн жүйесінің денесі болуы мүмкін) Күн жүйесінің денесіне дейінгі қашықтық мына формула бойынша анықталады:

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

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

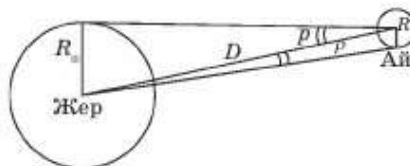
Ай Жерге ең жақын орналасқан аспан денесі болғандықтан, оның параллакс ең үлкен шама $p = 57' \approx 1^\circ$.

Параллакс нәтижесінде Айдың шығуы мен батуына байланысты келесі 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 жұлдыздарға 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.



Сурет 2.15

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



Сурет 2.16

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

болады.

Ал ρ және p бұрыштары өте 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 сызықтық радиусы Жердің радиусынан неше есе артық? Күннің көкжиектік параллакссы $p = 8,8''$.

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

1. Параллакстың ығысу құбылысының мәні неде?
2. Параллакс тәсілін қолданып, алыстағы денеге дейінгі қашықтықты қалай анықтауға болады?
3. Шырақтың көкжиектік параллакссы дегеніміз не?
4. Планетаға дейінгі қашықтық пен көріну бұрышы белгілі болса, оның диаметрін қалай анықтауға болады?



Жаттығу 2.5

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

II тараудағы ең маңызды түйіндер












- **Аспан сферасы** – радиусы анықталмаған жорамал сфера.
- **Шоқжұлдыз** – жұлдыз шоғырларын қамтитын шегарасы анықталған аспан сферасының бөлігі.
- **Горизонттық координаталар** жүйесінде шырақтың орны оның A азимуты мен h биіктігі арқылы анықталады.
- **Экваторлық координаталар** жүйесінде шырақтың орны оның δ еңістік және α тура көтерілуімен анықталады.
- **Жұлдызды аспанның жылжымалы картасы (ЖАЖК)** өртүрлі 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 сызып шығады.
- **Кеплердің үшінші заңы:** кез келген екі планетаның Күнді айналу периодтары квадраттарының қатынасы олардың орбиталарының үлкен жарты өстерінің 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;
-  Ньютонның бірінші заңын тұжырымдау және оны есептер шығаруда қолдану;
-  ауырлық күші, серпімділік күші және үйкеліс күші табиғатын түсіндіру;
-  Ньютонның екінші заңын тұжырымдау және оны есептер шығаруда қолдану;
-  Ньютонның 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 ұғымдар қарастырылады: «инерция», «инерциялық санақ жүйесі», «ауырлық, серпімділік және үйкеліс күштері», «Ньютонның бірінші заңы», «Ньютонның екінші заңы», «Ньютонның үшінші заңы», «Бүкіләлемдік тартылыс заңы», «үдеу», «дененің салмағы», «салмақсыздық», «бірінші ғарыштық жылдамдық», «ғарыш аппараттары».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
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
Ньютонның бірінші заңы	Первый закон Ньютона	Newton's first law
Ньютонның екінші заңы	Второй закон Ньютона	Newton's second law
Ньютонның 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.
ИНЕРЦИАЛЫҚ САНАҚ ЖҮЙЕЛЕРІ**

1. Механиканың динамика деп аталатын екінші бөлімі денелердің қозғалысын туғызатын себептерін анықтап, олардың қозғалыс заңдылықтарын зерттейді.



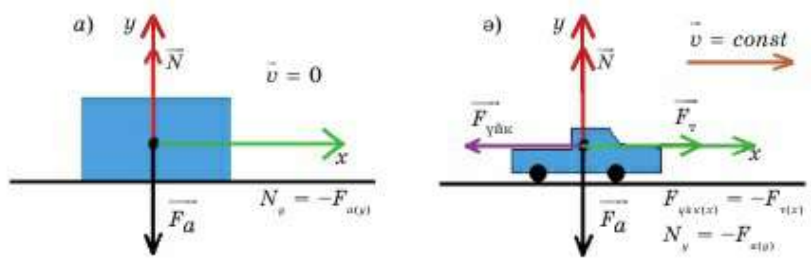
Исаак Ньютон (1642–1727)

Ағылшынның ұлы ғалымы Исаак Ньютон өзіне дейінгі жаратылыстану және математика ғылымдарының жетістіктеріне сүйене отырып, денелердің өзара әрекеттесу заңдарын теориялық зерделеу жолымен қорытындылады. 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 тартылыс 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 теңгерген жағдайда сол дененің тыныштық немесе қозғалыс жылдамдығын сақтау құбылысын айтады.

Инерция құбылыстары байқалатын барлық жағдайларда денеге әрекет ететін күштер бірін-бірі теңгереді де, олардың қорытқы, яғни тең-әрекетті күші нөлге теңеледі: $\sum_{i=1}^n F_i = 0$. 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 қозғалып бара жатқан машинаға әрекет ететін төрт күш те бірін-бірі теңгереді (сурет 3.1, ә).

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

Егер денеге басқа денелер әрекет етпесе немесе олардың әрекеттері теңгерілген болса, онда дене не тыныштықтағы күйін, не тұзусызықты бірқалыпты қозғалысын сақтайды.

4. Тыныштықтағы денені қозғалысқа келтіруге немесе қозғалыстағы дененің жылдамдығын өзгертуге тырысқан жағдайда оның қарсыласу қасиеті инерттілік деп аталады.

Дененің инерттілігінің өлшемі *масса* болып табылады. Дененің массасы үлкен болған сайын ($P = mg$) оны орнынан қозғалту немесе қозғалыстағы денені тоқтату, яғни жылдамдығын өзгерту қиынға соғады.

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

Қандай да бір санақ жүйесінде тыныштықта тұрған немесе бірқалыпты тұзусызықты қозғалатын 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 айғағы болып табылады. Ендеше, қысқа түрде инерциялық санақ жүйесіне мынадай анықтама бере аламыз:

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

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



Сұрақтар

1. Механиканың динамика бөлімі қандай сұраққа жауап іздеп, нені зерттейді?

- Инерция деп дененің қандай қасиетін айтады? Инерция құбылысы байқалу үшін қандай шарт орындалады?
- Ньютонның бірінші заңы неге инерция заңы деп аталады және ол қалай тұжырымдалады?
- Инерттілік деп дененің 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 теуіп келе жатқан бала алға қарай құлады. Неге осылайша құлады? Қандай жағдайда құламайтын еді?
- Балтаның сабын балғамен ұрғанда (сурет 3.3) балта неге кері бағытта қозғалады?
- Егер гайғақ жолда адам алға, артқа, солға және оңға қарай құласа, онда оның аяғы сәйкесінше қай бағыттарға қарай таяды?
- Горизонталь жолда қозғалтқышы жұмыс істеп тұрған машина бірқалыпты тұзусызықты қозғалып келеді. Машинаға қанша күш әрекет етеді? Бұл жағдайда Ньютонның 1-заңы орындала ма?
- Санақ жүйесі вагонмен байланысқан. Төмендегі жағдайларда вагон қандай санақ жүйесі бола алады: а) вагон перронда тұр; ә) вагон бірқалыпты қозғалыс жылдамдығын баяулатып, вокзалға жақындап келеді; б) вагон бірқалыпты тұзусызықты қозғалып келеді?



Сурет 3.2



Сурет 3.3



Эксперименттік зерттеу тапсырмалары

- Төмендегі көріністегі (сурет 3.4) құрал-жабдықтарды пайдаланып, эксперименттік зерттеулер жүргізіңдер.



Сурет 3.4

- Байқалған құбылыстарды сипаттап, жазбаша түрде теориялық талдаулар жасаңдар.

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

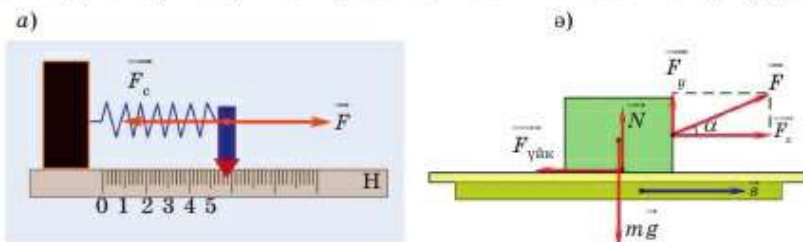
Күш деп берілген денеге басқа денелердің немесе әртүрлі өрістердің әрекеттерінің сандық өлшемі болатын векторлық шаманы айтады.

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

Δv шамасына өзгеруі үдеуге тура пропорционал $\left(a = \frac{\Delta v}{t} \right)$. Ендеше, *күш –*

денеге үдеу туғызатын себеп болып табылады. Сонымен, денеге үдеу беретін немесе оны деформациялайтын күш қана әрекет ететін күш деп есептеледі. Күшті \vec{F} таңбасымен белгілейді. Халықаралық бірліктер жүйесінде күш, 7-сынып физикасында айтқанымыздай, **ньютонмен (Н)** өлшенеді. **1Н деп аталатын эталондық күш массасы 1 кг денеге 1 м/с² үдеу береді: 1Н = 1кг · м/с².**

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



Сурет 3.5: а) динамометр – градуирленген серіппе, ә) тірек-үстел мен денеге түскен күштер

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

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

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

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

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

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

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

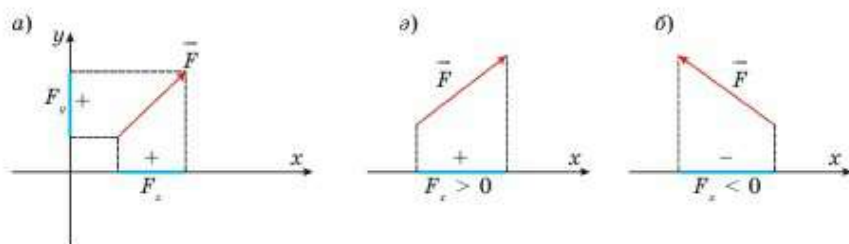
Бұл күштер Ньютон заңдарының салдарлары болып табылады. Сондықтан Ньютонның барлық заңдарын қарастыра отырып, оларды бірте-бірте тереңірек меңгеретін боламыз.

3. Денеге бір мезгілде әртүрлі 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 **теңәрекетті күшін** және олардың **координаталар өстеріндегі проекцияларын** табудың маңызы зор.

Теңәрекетті күш деп денеге әрекет ететін барлық күштердің әрекетін алмастыратын жалғыз күшті айтады.

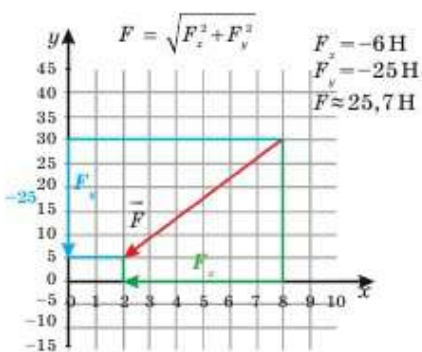
Денеге әсер ететін күштердің теңәрекетті күші векторларды қосудың **үшбұрыш ережесі** бойынша анықталады.

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

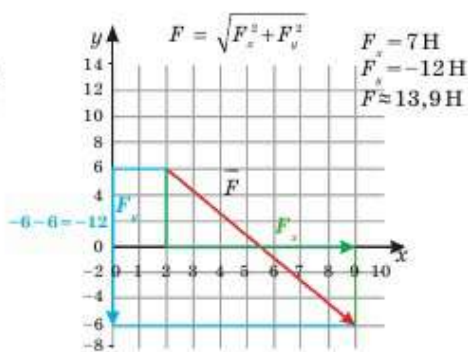


Сурет 3.6. Вектордың координаталар өстеріндегі проекциялары және олардың бағыттары

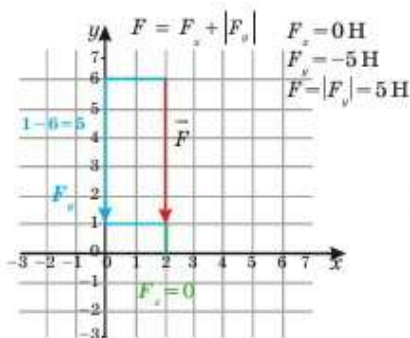
5. Төменде үлгі ретінде масштаб бойынша күш векторларының координаталар өстеріндегі проекцияларын салу және олардың модульдерін табу мысалдары келтірілген.



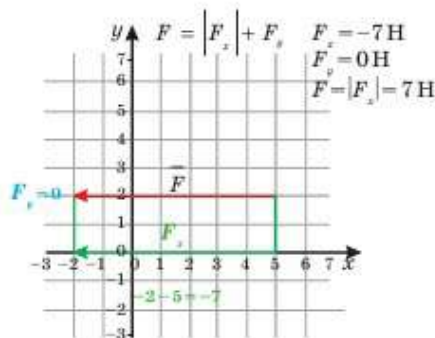
Сурет 3.7



Сурет 3.8



Сурет 3.9



Сурет 3.10



Сұрақтар

1. Күш деп қандай физикалық шаманы айтады? Қандай бірлікпен өлшенеді?
2. Қандай механикалық күштерді білесіңдер? Олар қандай формулалармен өрнектеледі?
3. Теңәрекетті күш деп қандай күшті айтады? Екі күштің теңәрекетті күшін үшбұрыш ережесімен қалай табуға болады?
4. Күш векторының координаталар өстеріндегі проекциялары қалай салынады? Олардың «оң» және «теріс» таңбалары қалай анықталады?

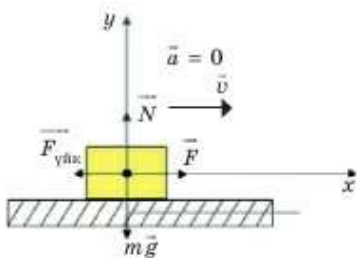


Жаттығу 3.2

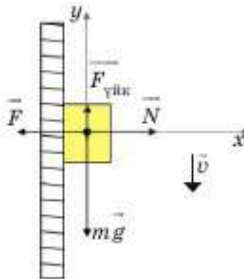
1. Параллелограмм ережесі бойынша екі векторды қосқанда, олардың теңәрекетті күшінің сан мәні біреуінің модуліне тең бола ала ма?
2. Параллелограмм ережесі бойынша екі векторды қосқанда, олардың теңәрекетті векторы қосылғыш векторлардың ең кішісінен кем бола ала ма?
3. Денеге модульдері өз қалауларың бойынша алынған өртүрлі екі күш әрекет етеді. Осы күштердің теңәрекетті векторының модулі мен бағыттарын мына шарттарға сәйкес анықтап, суреттерін салып көрсетіңдер: 1) күштердің бағыттары бірдей; 2) күштер қарама-қарсы бағытталған; 3) әр күштер бір-біріне перпендикуляр бағытталған.
4. И.А. Крыловтың «Ал жүк өлі де орнында!» деген мысқылындағы әр жаққа тартқан аққу мен шаянның және шортанның тарту күштерінің (сурет 3.11) теңәрекетті күшінің нөлге тең болатын жағдайын координаталар өстеріндегі проекцияларын салып көрсетіңдер.
5. Көрсетілген денелерге қарап (суреттер 3.12–3.14), әр сурет үшін мына сұрақтарға сапалы жауап жазыңдар: 1) денеге қанша және қандай күштер түскен? 2) дене қалай қозғалады? 3) теңәрекетті күш қалай бағытталған? Неге?



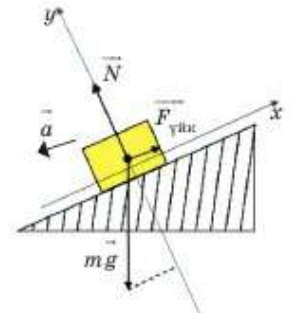
сурет 3.11



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) $F_x = 2\text{H}; F_y = -5\text{H}; F_z = 2\text{H};$

2) $F_x = -2\text{H}; F_y = 5\text{H}; F_z = -3\text{H}.$

§16.

НЬЮТОННЫҢ ЕКІНШІ ЗАҢЫ. МАССА

1. Ньютонның екінші заңы дененің m массасы мен оған әрекет ететін F күштің арасындағы байланысты анықтайды. **Масса** – физикадағы 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 тұрғыдан сипаттайтын физикалық шаманы айтады.

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

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

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

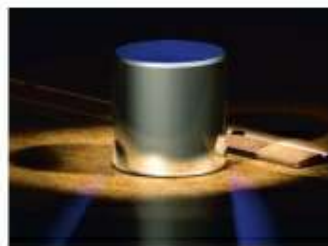
Денелердің массалары осы эталонға баламалы гир тастарымен салыстыру арқылы анықталады.

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 дене бір-бірімен әрекеттескенде түрліше жылдамдық алып, әртүрлі үдеулермен қозғалатынын көрсетеді

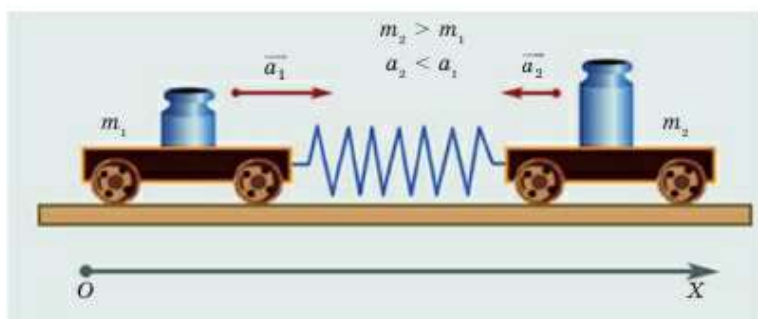


Сурет 3.15. Масса эталоны

(сурет 3.16). Сонымен қатар әрекеттесетін денелердің массалары олардың әрекеттесу барысында алатын үдеулеріне кері пропорционал болатынын айғақтайды:

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

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



Сурет 3.16. Екі дененің өзара әрекеттесу моделі

4. Ньютонның екінші заңы сан ғасырлық тәжірибелік деректердің жиынтығын қорытындылаудан туған – **табиғаттың іргелі заңы**. Ньютон өзіне дейінгі зерттеушілердің тәжірибелік деректерін екі топқа жіктеп талдайды.

Бірінші жағдайда массалары әртүрлі ($m \neq const$) денелерге тұрақты күшпен ($F = const$) әрекет ететін тәжірибелік деректер талданған. Бұл деректерден ол төмендегі қорытындыны жасады.

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

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

Екінші жағдайда массалары тұрақты ($m = const$) денелерге әртүрлі күшпен ($F \neq const$) әрекет ететін тәжірибелік деректерді талдай отырып, Ньютон екінші маңызды қорытынды жасады.

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

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

Тәжірибелік деректерді талдау барысында ашылған **Ньютонның екінші заңы** былайша тұжырымдалады:

Дененің алатын үдеуі оған әрекет ететін күштердің теңәрекетті күшіне тура пропорционал, ал дененің массасына кері пропорционал болады:

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

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

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

немесе

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

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:

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

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

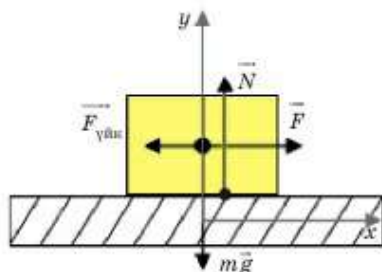
Динамиканың негізгі теңдеуінің проекциялар арқылы жазылған соңғы түрлері есептер шығарғанда қолданылады. Ол үшін теңдеулерде күштер мен үдеулердің Ox және Oy өстеріндегі проекцияларының оң (+) немесе теріс (–) таңбалары көрсетіліп жазылады.



Сұрақтар

1. Масса деп қандай физикалық ұғымды айтады, немен өлшенеді? Қандай қасиеттерімен ерекшеленеді?
2. Өртүрлі екі дене өзара әрекеттескенде қандай өзгерістер орын алады және оларды қандай өрнекпен сипаттайды?
3. Ньютонның екінші заңы қандай қорытындылар негізінде ашылды және қалай тұжырымдалады?
4. Динамиканың негізгі теңдеуі қалай жазылады? Бұл теңдеу теңәрекетті күштің құраушы векторларының координаттар өстеріндегі проекциялары бойынша қалай жазылады?
5. Төмендегі мысалдардағы есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары



Сурет 3.17

Берілгені	ХБЖ бойынша
$m = 800 \text{ г}$	$m = 0,8 \text{ кг}$
$F = 2 \text{ Н}$	$g = 9,8 \text{ м/с}^2$
$F_{\text{үйкеліс}} = 0,5 \text{ Н}$	
Т/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 ($\vec{F}_{\text{үйкеліс}}$), ауырлық күші ($\vec{F}_a = m\vec{g}$) және нормаль қысым күші (\vec{N}). Ньютонның 2-заңы бойынша бұл төрт күштің векторлық қосындысы денеге \vec{a} үдеуін береді:

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

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

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

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

Күштер мен үдеулердің Ox және Oy өстеріндегі проекцияларын анықтаймыз:

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

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

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

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

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

$$a_y = 0; g_y = 9,8 \text{ м/с}^2.$$

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 дененің 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 қозғалады? Қозғалыс кезіндегі жіптің керілу күші қандай?

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

Есеп мазмұнын талдау

I және II дене үшін (сурет 3.18) Ньютонның 2-заңын пайдаланып, динамиканың векторлық теңдеулерін жазайық:

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

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

Оу есін жоғарыдан төмен бағыттап, векторлардың осы өстегі проекциялары бойынша векторлық теңдеулерді скалярлық теңдеулермен алмастырайық:

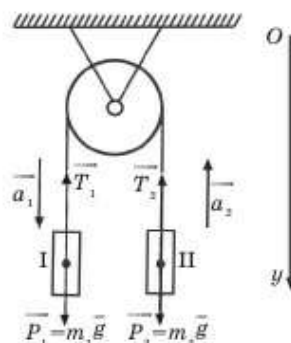
$$T_{1y} + P_{1y} = m_1 a_{1y};$$

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

Проекциялардың мәндерін анықтайық:

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

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



Сурет 3.18

Проекциялардың мәндерін скалярлық теңдеулердегі орындарына қойып, төмендегі теңдеулер 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 көбейтіп, теңдеулер 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, теңдеулер жүйесін мына түрде жазамыз:

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

Шешуі: Теңдеулердің оң және сол жақтарын мүшелеп қосып, үдеудің мәнін табамыз:

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

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

Соңғы теңдеуден жіптің керілу күшін анықтаймыз:

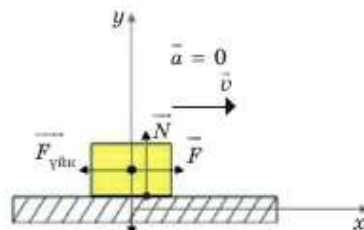
$$T = m_2(a + g) = 0,2(2 + 9,8) \text{ Н} \approx 2,4 \text{ Н}.$$

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 қозғалып 10 с ішінде 100 м жол жүрді. Тарту күші неге тең?
- Қатаңдығы 10^5 Н/м болатын тіркеу тросымен массасы 2 т машинаны $0,5 \text{ м/с}^2$ үдеумен сүйресе, трос қаншаға ұзарады? Үйкеліс ескерілмейді.
- Дене горизонталь бетте орналасқан (сурет 3.19). Динамиканың негізгі теңдеуін пайдаланып, осы суреттегі дененің қозғалыс үдеуінің нөлге тең болатынын дәлелдеңдер. Суреттегі 1 мм аралық 1 Н-ға сәйкес келеді.
- Массасы m машина a үдеумен тауға көтеріліп барады. Егер таудың көлбеулік бұрышы α , ал кедергі коэффициенті μ және машинаның тарту күші F_v болса, онда машина қандай үдеумен көтеріліп барады? Суретін салып шығарыңдар.



Сурет 3.19



§17.

НЬЮТОННЫҢ ҮШІНШІ ЗАҢЫ

1. Тәжірибе нәтижелері бойынша да, Ньютонның екінші заңын қарастырғанда да әрекеттесетін екі дененің массаларының қатынасы олардың үдеулерінің сан мөндерінің кері қатынастарына тең болатынын көрсеттік:

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

Мұндағы «минус» таңбасы тәжірибелік деректердің айғағы ретінде әрекеттесуші денелердің үдеулерінің бір-біріне қарама-қарсы бағыттала-тынын білдіреді. Үдеу векторлық шама болғандықтан жоғарыдағы қаты-насты мына түрде жаза аламыз:

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

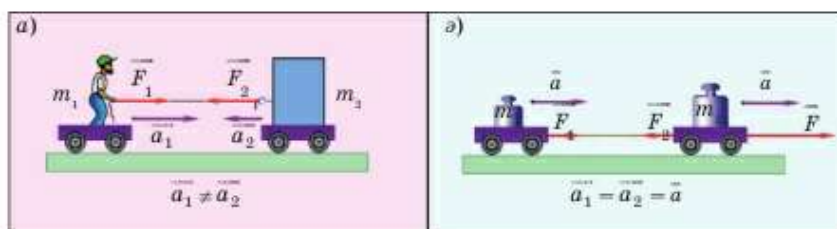
Ньютонның екінші заңы бойынша бірінші дененің үдеуін оған әрекет ететін $\vec{F}_1 = m_1 \vec{a}_1$ күші, ал екінші дененің үдеуін $\vec{F}_2 = m_2 \vec{a}_2$ күші туғызады. Ендеше, осы үш өрнекті салыстырып, қарсы таңбамен алынған соңғы екі күштің модульдерінің бір-біріне тең екенін көреміз:

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

Бұл теңдік **Ньютонның үшінші заңын** сипаттайды. Ол былайша тұ-жырымдалады:

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

Мысалы, төмендегі көріністе (сурет 3.20, а) адам жүкке қандай күшпен әрекет етсе, жүк те адамға модулі сондай қарама-қарсы күшпен әрекет етеді. Олардың *табиғаттары* да бірдей, яғни ортақ арқанның (сурет 3.22, а) немесе серіппенің (сурет 3.16) *серпімді күштері* болып табылады. Ал егер мектеп зертханасындағы жеңіл арбаларға тұрақты магниттерді полюстерін қарама-қарсы қойып орналастырсақ, онда олар да бір-біріне тартылып, үдемелі қозғалыс жасайды. Бұл жағдайда маг-ниттердің F_1 және F_2 өзара әрекеттесу күштерінің табиғаты да бірдей болады, яғни *электрмагниттік күштер* болып табылады.



Сурет 3.20. Денелердің өзара әрекеттесуі

2. «Денелер бір-біріне модульдері тең, бағыттары қарама-қарсы күштермен әрекеттесе, онда олар бірін-бірі теңгермей ме? Олай болса, денелердің үдемелі қозғалыстарын қалай түсіндіруге болады?» деген сұрақтар туындайды. 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 теңгермейді. Мұндай жағдайда әртүрлі денелерге түскен $F_1 = -F_2$ күштердің теңерекетті күші нөлге теңелмейді, сондықтан әртүрлі денелер әртүрлі үдеумен қозғалады (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 теңерекетті күші нөлге теңеледі де, дене тыныштықта тұрады немесе үдеусіз бірқалыпты тұзусызықты қозғалады. 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: арбаға, атқа және Жерге түседі. Міне, осындай жағдайларда күштерге векторларды қосу ережесі қолданылмайды.

3. Жеке дененің бөліктерінің арасында әрекет ететін күштер ішкі күштер деп аталады. Егер денеге немесе денелер жүйесіне ішкі \vec{F}_1 және \vec{F}_2 күштермен қатар, **сыртқы** \vec{F} күші де әрекет етсе (сурет 3.20, ә), онда олар бір ғана \vec{a} үдеуімен қозғалады. Мұндай жағдайда \vec{F}_1 және \vec{F}_2 ішкі күштер Ньютонның 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 дененің \vec{F} сыртқы күш әрекетімен үдемелі қозғалысын қарастырайық (сурет 3.20, ә). Суреттен көрініп тұрғандай, массасы m_1 денеге бір ғана \vec{F}_1 күші, ал массасы m_2 денеге \vec{F}_2 және \vec{F} күштері әрекет етеді. Ньютонның екінші заңын біртұтас дененің екі бөлігі үшін қолданып, төмендегі теңдеулерді аламыз:

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

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

Теңдеулердің оң және сол жақтарын мүшелері қоссақ, Ньютонның екінші заңы мына түрге келеді:

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

Бұл өрнек ішкі күштердің, шынында да, Ньютонның екінші заңынан алынып тасталатынын растайды. Ал денелер бірдей үдеумен қозғалатынын және үдеуді тек сыртқы күштің ғана туғызатынын көреміз.



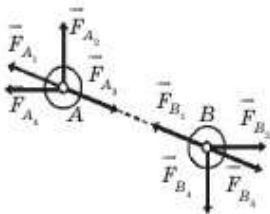
Сұрақтар

1. Ньютонның үшінші заңы қалай тұжырымдалады және қандай формуламен өрнектеледі?
2. Ньютонның үшінші заңын қандай тәжірибелермен сипаттауға болады? Олардан қандай қорытындылар жасалған?
3. Ауырлық күші қандай формуламен өрнектеледі және оның физикалық мағынасы қандай?
4. Ішкі күштер деп қандай күштерді айтады? Ньютонның екінші заңын қолданғанда ішкі күштерді елемеуге болатынын қалай дәлелдеуге болады?

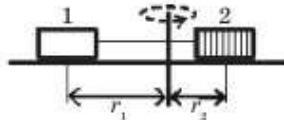


Жаттығу 3.4

1. Екі дене өзара әрекеттеседі (сурет 3.21). A және B денелерге әрекет ететін күштер көрсетілген. Бұл күштердің қайсысы екі дененің өзара әрекеттесу күштеріне жатады? Неге?
2. Жіппен байланған екі арбаша центрден тепкіш машинада ығыспай айналады (сурет 3.22). Екінші арбашаның массасын анықтаңдар. Бірінші арбашаның массасы 300 г , $r_1 = 30\text{ см}$; $r_2 = 10\text{ см}$.



Сурет 3.21



Сурет 3.22

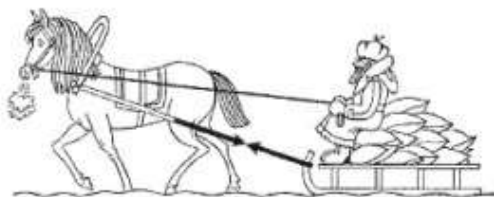
3. Массасы 1 кг шар массасы белгісіз шармен соқтығысады. Олардың алған үдеулері тиісінше $0,2$ және $0,4\text{ м/с}^2$ шамаларына тең. Шарлардың өзара әрекеттесу күшін және екінші шардың массасын анықтаңдар. Үйкеліс ескерілмейді.
4. Массасы 1 кг шар массасы 2 кг шармен соқтығысады. Екінші шардың алған үдеуі $0,2\text{ м/с}^2$. Олардың өзара әрекеттесу күшін және бірінші шардың үдеуін анықтаңдар. Үйкеліс ескерілмейді.
5. Жіппен байланған екі цилиндр центрден тепкіш машинада ығыспай айналады. Айналу барысында бірінші цилиндр айналу өсінен 9 см арақашықтықта орналасты. Егер екінші цилиндрдің массасы біріншіден үш есе артық болса, онда жіптің ұзындығы қандай болады?
6. Массасы m жүк массасы M лифтінің еденінде жатыр. Мына денелердің арасындағы өзара әрекет күштерін бейнелеп көрсетіңдер: Жер, жүк, лифт, лифтінің аспасы. Аспаның салмағы ескерілмейді.
7. Массасы M қозғалмайтын блок арқылы асыра тасталған жіпке массала-

ры m_1 және m_2 ($m_1 > m_2$) екі жүк ілінген. Мына денелердің арасындағы өзара әрекет күштерін бейнелеп 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: жүгі мен адам отырған 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



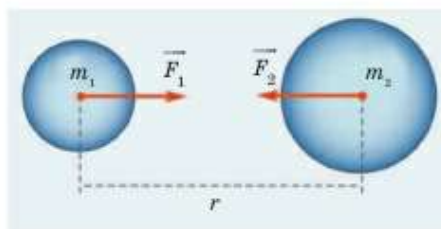
Сурет 3.24

§18.

БҮКІЛӘЛЕМДІК ТАРТЫЛЫС ЗАҒЫ

1. Ньютонның екінші заңы бойынша қозғалысты өзгертетін себеп, дәлірек айтқанда, *денелерді үдеумен қозғалтатын себеп күш* болып табылады. Жас Ньютонды Жердегі қозғалыстар ғана емес, аспан денелерінің қозғалысын туғызатын *күш* пен оның *табиғаты* қызықтыратын. Ол 23 жасында, яғни 1665 жылы Жерді айнала қозғалатын Айды орбитасынан шығармай ұстап тұратын күш пен ағаштағы алманың Жерге құлауын мәжбүрлейтін күштің табиғаты бірдей болуы керек деген аса маңызды *болжам* жасады. Ньютон өз болжамын *ғылыми гипотеза* деңгейіне көтеріп, Ғаламдағы 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 табиғатын ашуға, аналитикалық өрнек-формуласын табуға 20 жыл шамасында еңбек етті. Кейінірек денелердің бірін-бірі тартатын күшін *гравитациялық күш* деп атайтын болды («gravitas» – «ауырлық» деген мағына береді).

2. Бүкіләлемдік тартылыс заңын Ньютон 1682 жылы ашты. Планеталардың арасындағы гравитациялық тартылыс күшін (сурет 3.25) анықтау үшін Ньютон *механиканың кері есебі* деп аталатын *зерттеу әдісін* қолданды. *Механиканың негізгі есебінде* дененің *массасы* мен оған әрекет ететін күш және уақыттың кез келген мезетіндегі *жылдамдық* арқылы дененің қозғалыс күйі (координаталары) анықталады. Ал механиканың кері есебінде дененің массасы және қалай қозғалатыны (жылдамдығы мен координатасы) белгілі болса, оған әрекет ететін күшті табады. Т. Брагениң 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 әрекет ететін күшті механиканың кері есебін шешу арқылы анықтады. **Бүкіләлемдік тартылыс күші** деп аталған бұл күш мына тамаша формуламен өрнектеледі:



Сурет 3.25. Гравитациялық тартылыс күштері

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

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

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

Екі дене бір-біріне массаларының көбейтіндісіне тура 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 дененің арасындағы гравитациялық тартылыс күші

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

формуласымен өрнектеледі. Мұндағы $r = (R_{\text{ж}} + h)$ – Жердің центрінен денеге дейінгі арақашықтық.

Гравитациялық күш (сурет 3.25) сияқты ауырлық күші де Жердің центріне қарай бағытталады. Басқа күштер әрекет етпесе, дене ауырлық күші әрекетімен Жерге g үдеуімен еркін түседі. Бүкіләлемдік тартылыс заңын пайдаланып, *еркін түсу үдеуін анықтайтын формуланы* 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:

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

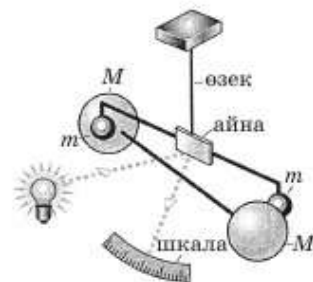
Сонымен, Жерге қарай құлаған дененің еркін түсу үдеуі мына формулалармен өрнектеледі:

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

Соңғы формуладан дененің Жер бетінен h биіктігі өскен сайын оның g еркін түсу үдеуінің $(R_{\text{ж}} + h)^2$ шамасына еселеп кему беретіндігі айқын көрінеді. Жердің формасы идеал шар тәріздес болмағандықтан, денелердің әртүрлі ендіктердегі еркін түсу үдеулерінің арасында аздаған айырмашылықтар бар. Жердің әртүрлі нүктелерінде денелердің еркін түсу 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 түсу үдеулерін анықтауға болады.

4. Гравитациялық тұрақтының шамасын XVIII ғасырдың аяғында 1798 жылы ағылшынның хас шебер экспериментші-ғалымы Генри Кавендиш өте 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 әрқайсысының жанына массалары $M_1 = M_2 = M$ екі үлкен шар орнатылған. Кішкентай шарларды үлкен шарлардан белгілі бір R арақашықтықта жайғастырып, айналы таразының шкаласындағы сәуле шоғының қанша бөлікке бұрылғанын жазып отырған. Үлкен және кіші шарлардың бір-біріне F тартылу күшін, яғни серпімді сым-өзектің ширығу күшін градуирленген шкаланың



Сурет 3.26.
Бұралмалы таразы

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

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



Сұрақтар

1. Бүкіләлемдік тартылыс заңын ашуға қандай болжам (гипотеза) себепкер болды?
2. Бүкіләлемдік тартылыс заңын Ньютон қалай ашты, қандай формуламен өрнектеледі, қалай тұжырымдалады?
3. Денелердің еркін түсу үдеулері қандай формулалармен өрнектеледі және қандай шамаға тәуелді өзгереді?
4. Гравитациялық тұрақтыны кім және қалай анықтады?
5. Төмендегі мысалдардағы 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
$R = 1,5 \cdot 10^{11}$ м
$M = 2 \cdot 10^{30}$ кг
Т/к: $v - ?$

Есеп мазмұнын талдау

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

Центрге тартқыш күш сан шамасы жағынан центрден тепкіш күшке тең. Бұл күштер екі денеге: бірі Жерге, екіншісі Күнге түседі. Центрден тепкіш күш Бүкіләлемдік тартылыс 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 қашықтықтығы L бойынша Күн массасын анықтаңдар.

Берілгені
G – гравитациялық тұрақты
L – Жерден Күнге дейінгі қашықтық
T – Жердің Күнді айналу периоды
M – ?

Есеп мазмұнын талдау

Жер мен Күнді материялық нүкте ретінде қарастырамыз. Жерді Күн центріне қарай тартатын $F = ma_{\text{ц.т.}}$ центрге тартқыш күшпен олардың арасындағы $F = G \frac{Mm}{L^2}$ бүкіләлемдік тартылыс күшінің табиғаты бірдей, яғни бір-біріне тең күштер болып табылады:

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

Мұндағы центрге тартқыш үдеуді Жердің Күнді айналғандағы v сызықтық 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) теңдігіне қойып, мына тепе-теңдікті аламыз:

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

Шешуі: Соңғы теңдіктен 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

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

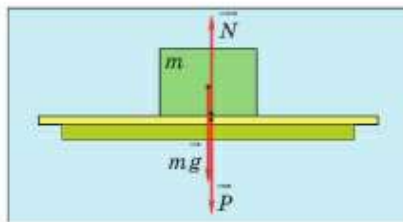
§19.

ДЕНЕНІҢ САЛМАҒЫ. САЛМАҚСЫЗДЫҚ

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

Салмақ деп дененің Жерге тартылу барысында оның тіреуге немесе аспаға әрекет ету күшін айтады.

Жермен салыстырғанда қозғалмайтын 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 $\vec{F}_a = m\vec{g}$ және үстелдің денеге түсіретін серпімділік күші $\vec{F}_c = \vec{N}$. Соңғы күшті **нормаль қысым күші** немесе **тіректің реакция күші** деп атайды. Бір ғана денеге қарама-қарсы әрекет ететін бұл күштер бір-бірін теңгереді:



Сурет 3.27. Денеге және үстелге түскен күштер

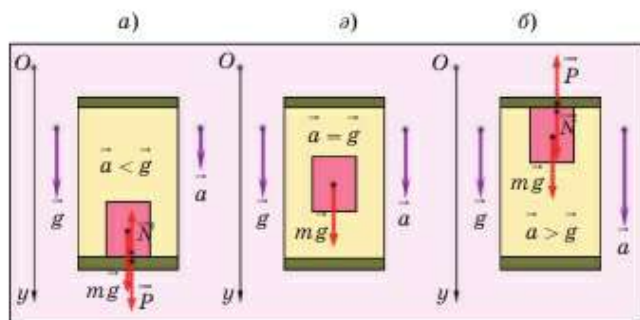
$$\vec{F}_a = -\vec{F}_c = -\vec{N}.$$

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

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 түсіп тұр!**

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



Сурет 3.28. Тік төмен үдемелі қозғалатын лифтідегі дененің салмағы: а) $P < mg$; б) $P = 0$; в) $P < 0$

Бұл жағдайда лифтімен байланысқан санақ жүйесі инерциялық жүйе болып табылмайды; өйткені лифт инерциялық жүйе – Жермен салыстырғанда бірқалыпты қозғалмайды. 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 қозғалатын лифтіде бірін-бірі теңгермейді. Ендеше, үдей қозғалатын инерциялық емес жүйедегі дене үшін Ньютонның екінші заңын 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} Ньютонның үшінші заңы бойынша қарсы таңбамен алынған тіректің денеге түсіретін $-\vec{N}$ реакция күшіне тең: $-\vec{P} = m(\vec{a} - \vec{g})$. Ендеше, **үдемелі қозғалатын лифтідегі дененің салмағы** 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). *Оу* координаталық өсін еркін түсу үдеуінің бағытымен бағыттайық та, осы өстегі \vec{P} салмақ күші, \vec{g} еркін түсу үдеуі және лифт қозғалысының \vec{a} үдеуінің проекцияларын анықтайық. Аталған векторлардың бәрі де *Оу* 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 салмағының векторлық формуласын төмендегі скалярлық формула түрінде жаза аламыз:

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

Бұл формуладан мынадай қорытындылар туындайды:

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

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

3) егер $a > 0$ және $a = g$ болса (сурет 3.28, *в*), онда салмақ жоғалады ($P = 0$). Салмақ жоғалған жағдайда дене 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 (дәлірек айтқанда, үнемі еркін құлайтын) ғарыш кемелерінде орын алады.



Сұрақтар

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

Есеп шығару мысалы

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

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

Есеп мазмұнын талдау

Серіппенің созылуы кезінде туындаған \vec{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 \vec{F} серпімді күшінен өзге $\vec{F}_a = m\vec{g}$ ауырлық күші де әрекет етеді. Осы екі күштің векторлық қосындысы Ньютонның 2-заңына сәйкес жүкке \vec{a} үдеуін береді:

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

Оу өсін жүктің көтерілу бағытымен бағытталса салып, Ньютонның 2-заңын векторлардың осы өстегі проекциялары бойынша жазамыз:

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

Векторлардың Оу өсіндегі проекцияларын анықтаймыз:

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

Бұл шамаларды жоғарыдағы теңдеуге қойып, мына өрнекті аламыз:

$$ma = F - mg.$$

Бұдан $F = mg + ma = m(a + g)$.

(2)

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

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

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

Жауабы: $|\Delta l| = 2,5 \text{ см}$



Жаттығу 3.6

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

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

2. Ғарыш зымыраны Жер бетінен тік жоғары 20 м/с^2 үдеумен көтеріледі. Осы кездегі оның кабинасындағы массасы 80 кг ұшқыш-ғарышкердің 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 ғарыш кемесінің жалпы массасы 300 т . Зымыран ұшуға старт алғанда оның бірінші басқышының бүйіріндегі төрт қозғалтқышы және екінші басқышының бір қозғалтқышы жұмыс істейді. Егер бірінші басқыштың әр қозғалтқышының тарту күші 1 МН , ал екінші басқыш қозғалтқышының тарту күші 940 кН болса, онда ғарышкерлер қандай жүктемені бастарынан кешіреді?



§20.

ДЕНЕЛЕРДІҢ АУЫРЛЫҚ КҮШІНІҢ ӘРЕКЕТІНЕН ҚОЗҒАЛУЫ

1. Ауырлық күші әрекет ететін дененің қозғалысын қарастырайық. Жалпы алғанда Жердің (немесе кез келген басқа планеталардың) тартылыс (гравитациялық) өрісіндегі дене қозғалысының сипаты өте күрделі. Сондықтан мәселені күрделендірмес үшін дененің қозғалысын белгілі бір шектеулер аймағында сипаттауға көшеміз. Ондай шектеулерге мыналар жатады:

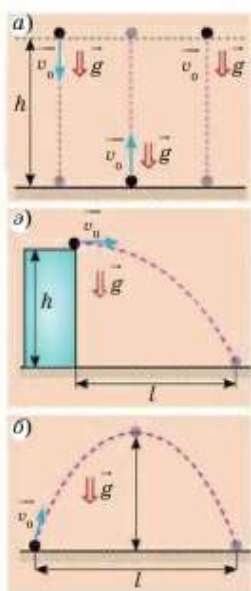
1) еркін түсу үдеуі тұрақты деп алынады ($g = 9.81 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$); шындығында еркін түсу үдеуі Жер бетінен биіктеген сайын кему беретінін білеміз;

2) еркін түсу үдеуі тұрақты деп алынғандықтан, дененің Жер бетіне жақын маңдағы қозғалыстары 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

2. Есептің бастапқы шартына (берілген жылдамдықтарға, координаталарға) қарай дененің ауырлық күші әрекетінен туындайтын қозғалыс траекториясы әртүрлі болуы мүмкін. Мысалы, жылдамдықтың бағытына орай дене вертикаль бағытта жоғары да, төмен де (сурет 3.29, а) немесе парабола бойымен қисықсызықты қозғалуы мүмкін (сурет 3.29, б және в). Алайда қозғалыс траекториясы қанша құбылса да дененің барлық жағдайдағы қозғалыс күйі Ньютонның екінші заңы айқындап берген *динамиканың негізгі векторлық теңдеумен* сипатталады:

$$\vec{F}_a = m\vec{g},$$

мұндағы \vec{F}_a – ауырлық күші; m – дененің массасы; \vec{g} – еркін түсу үдеуі.

3. *Механиканың негізгі есебі қозғалыстағы дененің кез келген уақыт мезетіндегі орнын (координаталарын) анықтау болып табылады.* Осыған орай денеге ауырлық күші әрекет еткен кездегі оның айнымалы қозғалысын сипаттайтын *жылдамдығын, орын ауыстыруын және координаталарын* анықтайды.

Ол үшін төмендегі кестеде көрсетілген теңдеулер аталған шамалардың *Oy* және *Ox* өстеріндегі проекциялары бойынша жазылады.

Кесте 3.1

Формуланың (теңдеудің) аталуы	<i>Ox</i> өсіндегі проекциясы	<i>Oy</i> өсіндегі проекциясы
Жылдамдық проекциясының уақытқа тәуелділік теңдеуі	$v_x = v_{0x} + a_x t$	$v_y = v_{0y} + g t$
Орын ауыстыру проекциясының уақытқа тәуелділік теңдеуі	$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$s_y = v_{0y} t + \frac{g t^2}{2}$
Координаталардың уақытқа тәуелділік теңдеуі	$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$	$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g}{2} t^2$

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

онда олар скалярлық формулаларға «минус» таңбаларымен енгізіледі. (Төмендегі есеп шығарудың мысалдарын қараңдар).

Дене парабола бойымен қозғалғанда оның Oy өсіндегі қозғалысы *теңайнымалы* болады да, ал Ox өсіндегі қозғалысы *бірқалыпты* қозғалыстың теңдеуімен сипатталады. Расында да, еркін түсу үдеуінің Ox өсіндегі проекциясы нөлге тең болғандықтан ($g_x = 0$), жоғарыдағы теңдеулер мына түрде жазылады: $v_x = v_{0x}$; $s_x = v_{0x}t$; $x = x_0 + v_{0x}t$.

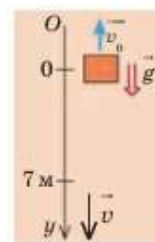


Сұрақтар

1. Ауырлық күші әрекетінен денелердің қозғалыстарына арналған есептерді шешкенде қандай шектеулер қойылады? Не үшін?
2. Ауырлық күші әрекетінен денелердің қозғалыс траекториялары қалай өзгереді?
3. Жалпы түрде денелердің қозғалыс күйі қандай векторлық теңдеумен сипатталады?
4. Механиканың негізгі есебі деп нені айтады?
5. Ауырлық күшінің әрекетіне байланысты есептер шығарғанда қандай формулалар қолданылады? Теңдеулердегі «плюс» (+) және «минус» (-) таңбалары қалай алынады?
6. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару 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 соқтығысу кездегі дененің қозғалыс жылдамдығы қандай шамаға жетеді? Денеге тек ауырлық күші ғана әрекет етеді деп есептеңдер.



Сурет 3.30

Берілгені	ХБЖ бойынша
$v_0 = 2 \text{ м/с}$	$g \approx 10 \text{ м/с}^2$
$h = 7 \text{ м}$	
$t - ?, v - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

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

$$v_0 = v_{0\uparrow} = 2 \text{ м/с.}$$

Құлаған дене де вертикаль бойымен қозғалады: өу баста жоғары қарай $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ үдеуімен теңкемімелі қозғалыс жасап, бір сәтке тоқтайды да, одан кейін төмен қарай $g \approx 10 \text{ м/с}^2$ үдеуімен теңүдемелі қозғалады. 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:

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

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

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

(2) бойынша: $v = v_y = -2 + 10t$.

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

$v = -2 + 10t$ теңдеуіне уақыттың мәнін қойып ($t = 1,4 \text{ с}$), дененің Жерге соғылар сәтіндегі 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 тас лақтырған. Егер тас жартастан 16 м қашықтықта суға құлаған болса, тас қандай жылдамдықпен лақтырылған? Тастың суға құлар алдындағы жылдамдығы қандай? Ауаның кедергісі ескерілмейді.

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

Есеп мазмұнын талдау

Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысы екі қозғалыстың қосындысынан тұрады. Оларға мына қозғалыстар жатады: *Ox* бойымен бірқалыпты қозғалыс ($v_0 = \text{тұрақты}$) және *Oy* бойымен теңүдемелі қозғалыс ($g = \text{тұрақты}$).

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

Oy бойымен теңүдемелі қозғалыстың скалярлық теңдеулері:

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

Векторлардың Oy өсіндегі проекциялары:

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

Ендеше, жоғарыдағы формулалар мына түрде жазылады:

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

Ox бойымен бірқалыпты қозғалыстың теңдеуі:

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

Дененің v қозғалыс жылдамдығы (суретте қызыл сызық) әрқашан траекторияға (парабола қисығына) жанама болады.

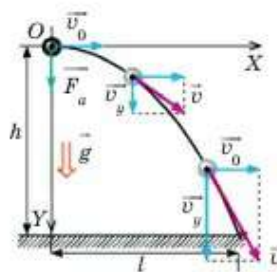
Тастың суға құлар алдындағы v жылдамдығы Пифагор теоремасының формуласы бойынша табылады:

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

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

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

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

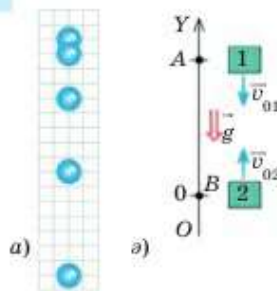


Сурет 3.31



Жаттығу 3.7

1. Қалықтап тұрған тікұшақтан бірінші денені вертикаль жоғары, екіншісін вертикаль төмен лақтырып, үшіншісін жай ғана тастаған. Қай дене ең үлкен үдеумен қозғалады? Суреттерін бір масштабта салып, түсіндіріңдер.
2. Экспериментте алынған нәтиже бойынша (сурет 3.32, а) шардың еркін түсу үдеуін анықтаңдар. Суретте шардың әрбір 1 с өткеннен кейінгі күйі көрсетілген. Тор қабырғасының ұзындығы – 5 см.



Сурет 3.32

3. Бір вертикаль сызықтың бойында орналасқан арақашықтықтары 105 м болатын A және B нүктелерінен бірдей 10 м/с жылдамдықпен екі денені лақтырған (сурет 3.32, ә). Бірінші денені A нүктесінен төмен қарай, ал одан 1 с өткеннен кейін екінші денені B нүктесінен жоғары қарай лақтырған. A нүктесінен есептегенде денелер қандай қашықтықта кездеседі?



Эксперименттік тапсырма

Үстелдің шетіне кішігірім ауырлау дене қойып, оны түртіп құлатыңдар. Өлшеу нәтижелерін анықтауға тек сызғышты ғана пайдаланып, денеге қандай бастапқы жылдамдық бергендігін табыңдар.



Теориялық зерттеу

1. Горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысын қарастырып, оның қандай теңдеулермен сипатталатынын көрсетіңдер.
2. Парабола қисығының қандай математикалық теңдеумен сипатталатынын анықтап алыңдар да, оны горизонталь лақтырылған дене қозғалысының $y(x)$ түріндегі тәуелділік теңдеуімен салыстырып, мұндай қозғалыстың траекториясы парабола қисығы болатынына көз жеткізіңдер.

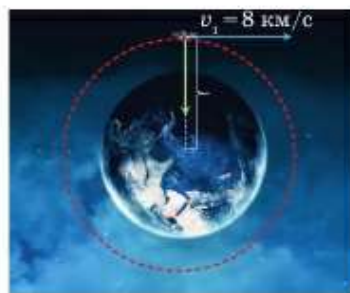
§21.

ЖЕРДІҢ ЖАСАНДЫ СЕРІКТЕРІНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ

1. *Жер центрінен r қашықтықта оны айнала қозғалатын денелерді Жер серігі деп атайды.* Ай – Жердің табиғи серігі (сурет 3.33).



Сурет 3.33. Ай – Жер серігі



Сурет 3.34. Бірінші ғарыштық жылдамдық

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

2. Жасанды Жер серіктері қалай және қандай жылдамдықпен қозғалады? деген сұрақтың жауабын іздестірейік. Массасы m дене Жерді белгілі бір орбита бойымен айнала қозғалғанда (сурет 3.34) оның жылдамдығының модулі тұрақты сақталғанымен бағыты ылғи да өзгеріп отырады. Өйткені v_1 жылдамдық векторы қозғалыс траекториясына (суретте қызыл үзілмелі сызықпен көрсетілген шеңбер) үнемі жанама, ал шеңбердің r радиусына перпендикуляр орналасады. Ендеше, дененің Жер төңірегіндегі қозғалысы *теңүдемелі айнымалы қозғалыс* болып табылады. Алайда дененің Жер төңірегіндегі айналмалы қозғалысының 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 биіктіктегі) дене қозғалысының 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 қозғалысының үдеуі де Жерге жақын дененің **еркін** түсу үдеуіне тең болады ($a = g = 9,8 \text{ м/с}^2$). Міне, осы шарттарға сәйкес келетін дененің Жер төңірегіндегі қозғалыс жылдамдығын *бірінші ғарыштық жылдамдық* деп атайды да, v_1 өрпімен таңбалайды. Кез келген дене Жер серігі болуы үшін оның орбитаға шығар алдындағы жылдамдығын бірінші ғарыштық жылдамдыққа жеткізу қажет.

3. Бірінші ғарыштық жылдамдығы модулінің сан мәнін анықтайық. Жасанды серіктер Жер бетінен едәуір биіктікке ($h = 400$ км) көтерілетіндіктен, оның шеңбер бойымен қозғалысына атмосфераның кедергі күші әрекет етпейді деп есептейміз. Ендеше, массасы m денеге Жердің гравитациялық тартылыс күші ғана әрекет етеді. Олай болса, Ньютонның екінші заңы және Бүкіләлемдік тартылыс заңы бойынша мына теңестірілікті 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 қозғалысының үдеуі.

Дененің шеңбер бойымен қозғалысының үдеуі *центрге тартқыш үдеу* деп аталатынын білесіңдер:

$$a_{ц.т.} = \frac{v_1^2}{r}.$$

Мұндағы v_1 – зымыранның денеге беретін *бірінші ғарыштық жылдамдығы*. Біздің қарастырып отырған жағдайда центрге тартқыш үдеу дененің еркін түсу үдеуіне тең ($a_{ц.т.} = g$), ал шеңбердің (орбитаның) радиусы Жер радиусына жақын болады ($r \approx R_{ж}$).

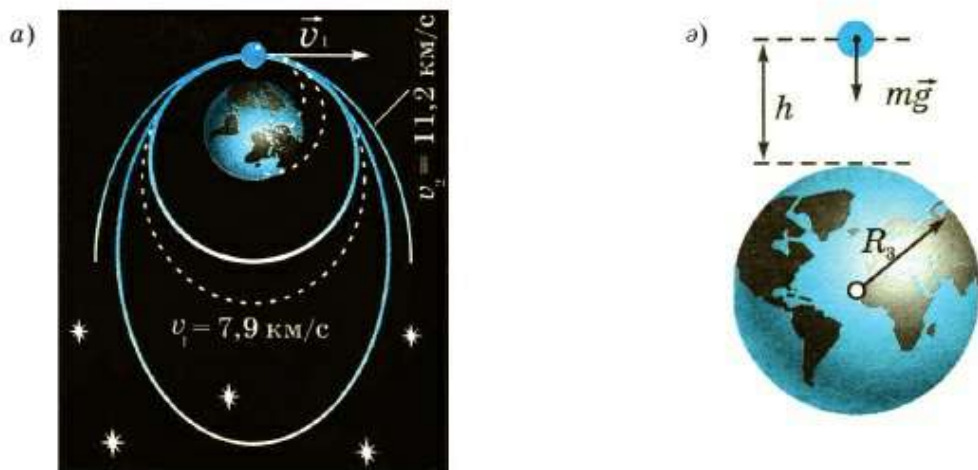
Үдеудің мәнін жоғарыдағы (3.11) өрнекке қойып, теңдіктің екі жағындағы дененің m массасын қысқартып, әрі (3.8) өрнегін ескеріп *бірінші ғарыштық жылдамдықтың формуласын* аламыз:

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

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

$$v_1 = \sqrt{gR_{ж}} = 8 \text{ км/с}.$$

Ғарыштық жылдамдықтарды бірінші, екінші және үшінші ғарыштық жылдамдықтар деп ажыратады. Олардың соңғыларын жоғары сыныптарда қарастырады. Алайда қысқаша анықтамаларын білген жөн.



Сурет 3.35. Жасанды серіктің траекториялары

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

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

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

4. Жасанды серік орбитаға шыққаннан кейін радиустары Жер радиусынан үлкен әртүрлі шеңбер бойымен қозғалуы мүмкін ($r \gg R$). *Мұндай жағдайларда дене әртүрлі орбиталарда қандай жылдамдықпен қозғалады?* деген сұрақ туындайды. Оған жауап алу үшін бірінші ғарыштық

жылдамдықтың $v_1 = \sqrt{G \frac{M}{R_x}}$ формуласындағы Жер радиусының орнына дененің Жер бетінен h қашықтығын (сурет 3.35, ә) ескеретін ($R_x + h_1$); ($R_x + h_2$) т.с.с. нақты шеңберлердің радиустарын пайдалануымыз қажет. Олай болса, дененің Жер бетінен кез келген h биіктігіндегі қозғалыс жылдамдығының формуласын мына түрде жазамыз:

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

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

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

Алайда денелердің орбита бойындағы жылдамдығы бірінші ғарыштық жылдамдығы болып табылмайды. Жер бетіндегі кез келген массалы денені Жер төңірегіндегі орбитаға шығару үшін 8 км/с жылдамдық берсе ғана олар Жер серігіне айнала алады. Ал мұндай жылдамдықты аса қуатты ғарыш зымырандары ғана бере алады.



Сұрақтар

1. Жер серіктері деп қандай денелерді айтады?
2. Жасанды Жер серіктері деп қандай денелерді айтады?
3. Бірінші ғарыштық жылдамдық деп қандай жылдамдықты айтады?
4. Бірінші ғарыштық жылдамдықтың $v = \sqrt{gR}$ формуласымен де өрнектелетінін қалай дәлелдеуге болады?
5. Жасанды Жер серігінің Жер бетінен биіктігіне байланысты өртүрлі орбиталардағы жылдамдығы қалай өзгереді?
6. 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 ауытқымайды (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 $\left(F = G \frac{mM}{(R+h)^2} \right)$ және Жер серігін центрге тартқыш күші ($F = ma_{\text{ц.т.}}$) өзара тең:

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

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

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 «қозғалмай» тұрады.

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

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

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

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

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

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

$$\text{Жауабы: } h = 3,2 \cdot 10^7 \text{ м}.$$

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

Берілгені
$\rho_A = \rho_B = \rho$
$R_B = 2 R_A$
$T_A = T$
$T_B = ?$

Есеп мазмұнын талдау

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

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

Мұндағы m – жасанды серіктің массасы; $a_{\text{ц.т.}} = v^2/R$ – 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 $2\pi R$ – орбитаны 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 көрсеткендей, 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 төңірегінде 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 түсу үдеуі қандай?
2. Ай Жерді және Жер Күнді қандай жылдамдықтармен айналады? Денелердің массалары мен арақашықтықтарын анықтамалық дереккөздерінен алыңдар.
3. Жер Күнді 365,26 тәулікте айналады. Күннің массасын есептеп шығарыңдар. Есептеуге қажетті мәліметтерді анықтамалық дереккөздерінен алыңдар.
4. Айдың Жерге тартылыс күшін есептеңдер. Есептеуге керекті мәліметтерді анықтамалық дереккөздерінен алыңдар.
5. Марстың табиғи серігі – Фобос, радиусы 9400 км орбита бойымен оны 7 сағат 39 минутта айналып шығады. Марстың массасын есептеп шығарыңдар.

III тараудағы ең маңызды түйіндер

- **Ньютоның бірінші заңы (инерция заңы).** Егер денеге басқа денелер әрекет етпесе немесе олардың әрекеті теңгерілген болса, онда дене не тыныштықтағы күйін, не тұзусызықты бірқалыпты қозғалысын сақтайды.

- **Қандай да бір санақ жүйесіндегі денеге әрекет ететін күштер жоқ болса немесе олардың әрекеттері бірін-бірі теңгеріп тұратын болса, онда бұндай санақ жүйесі инерциялық санақ жүйесі деп аталады.**

- **Масса – дененің инерттілік және гравитациялық қасиеттерін сандық тұрғыдан сипаттайтын физикалық шама.**

- **Ньютоның екінші заңы (динамиканың негізгі заңы).** Дененің алатын үдеуі оған әрекет ететін күштердің теңәрекетті күшіне тура пропорционал, ал дененің массасына кері пропорционал болады:

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

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

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

- **Бүкіләлемдік тартылыс заңы.** Екі дене бір-бірінен массаларының көбейтіндісіне тура пропорционал, ал арақашықтықтарының квадратына кері пропорционал күшпен тартылады:

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

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

$$P = mg.$$








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

$$v_1 = \sqrt{G \frac{M}{r}} \quad \text{немесе} \quad v_1 = \sqrt{gR_{\text{жер}}}.$$

IV ТАРАУ

САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ

ОҚУШЫЛАР МЕНГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

-  дене 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 графиктік тәсілдермен анықтау;
-  жұмыс пен энергияның байланысын түсіндіру;
-  энергияның сақталу заңын тұжырымдау және есептер шығаруда қолдану.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде ұзақ 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

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
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 КҮШ ИМПУЛЬСІ

1. Белгілі бір \vec{v}_1 жылдамдықпен қозғалып келе жатқан массасы m денеге өте 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, дене Δt уақыт аралығында (1.6) формуласына сәйкес төменде көрсетілген үдеумен қозғалатын болады:

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

Ньютонның екінші заңымен анықталатын динамиканың негізгі теңдеуіне жоғарыдағы үдеудің мәнін қойып, мына өрнектерді аламыз:

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

Сонымен, Ньютонның екінші заңы мынадай формулалармен де өрнектеледі:

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

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

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 тура пропорционал импульс та векторлық шама болып табылады. Формуладан көрініп тұрғандай, импульс векторының бағыты жылдамдық векторымен бағытас болады.

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

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

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

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

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

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

Сонымен, күш импульсі ($\vec{F}\Delta t$) *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 бере аламыз: *күш импульсі деп дене импульсінің өзгерісіне тең болатын физикалық шаманы айтады.*

Жоғарыдағы формуладан мынадай қорытынды туындайды:

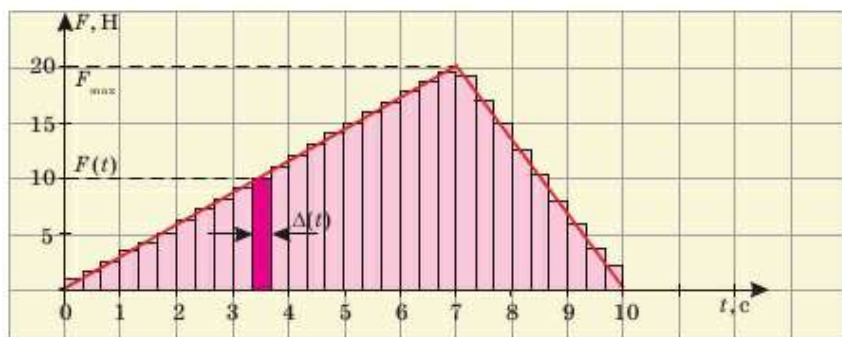
Дене импульсінің өзгерісі оған тұскен күшке тура пропорционал және күш қалай бағытталса, импульстің өзгерісі де солай бағытталады: $\Delta \vec{p} \sim \vec{F}$.

Ньютон ең алғаш өзінің екінші заңын нақ осылайша тұжырымдаған болатын.

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

Егер \vec{F} күші тұрақты болса, онда күш импульсінің шамасы табанының ұзындығы t , ал биіктігі F болатын тіктөртбұрыштың ауданына тең болар еді.

Енді күш айнымалы болатын жағдайды қарастырайық. Мысалы, күш 7 с ішінде нөлден 20 ньютонға дейін уақытқа тура пропорционал өсіп, ал одан кейін 3 с ішінде уақытқа тура пропорционал кеміп нөлге теңелетін болсын (сурет 4.1). Мұндай жағдайда $t = 10$ с ішінде әрекет ететін айнымалы күштің импульсі суреттегі үшбұрыштың ауданына тең 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 фигуралардың ауданын анықтау үшін оны уақыттың өте аз Δt аралықтарына сәйкес келетін өте шағын фигураларға бөледі. Сонда әрбір Δt уақыт аралығында денеге әрекет 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 әрекет ететін $F(t)$ айнымалы күшінің импульсін анықтайды. Мұндай тәсілді математикада *интегралдау тәсілі* деп атайды.



Сұрақтар

1. Күш әрекетінен дене жылдамдығының өзгерісіне қарай Ньютонның екінші заңын қалай өрнектеуге болады?
2. Дене импульсі деп қандай физикалық шаманы айтады?
3. Күш импульсі деп қандай шаманы айтады?
4. Күш импульсін графикалық түрде қалай бейнелеп көрсетуге болады?



Теориялық зерттеу

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



Сурет 4.2.
Біртекті дөңгелек

§23.

ИМПУЛЬСТІҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫ

1. Табиғаттағы денелер үнемі бір-бірімен әрекеттеседі. Әрекеттесуші денелердің арасынан өз әрекеттеріне қарағанда басқа денелердің әрекеттерін елемеуге болатын денелер жүйесін бөліп алуға болады. Мысалы, Күн жүйесіндегі планеталардың өзара әрекеттесулеріне қарағанда олардың басқа жұлдыздармен өте әлсіз әрекеттесулерін елемеуге болады. Міне, осындай жағдайлар үшін физикада **тұйық жүйе** деген ұғым енгізіледі. Тұйық жүйедегі денелердің өзара әрекеттесу күшін *ішкі күш*, ал тұйық жүйенің сыртындағы денелердің әрекет күштерін *сыртқы күш* деп атайды.

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

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

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

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

Импульстің сақталу заңы Ньютонның екінші және үшінші заңдарының салдары болып табылады. Оны төмендегі материалдар айғақтайды.

3. Массалары әртүрлі екі шардан тұратын тұйық жүйені қарастырайық. Жүйедегі бірінші шар Oy өсінің бойында, екінші шар Ox өсінің бойында орналассын (сурет 4.3, а). Массасы m_1 бірінші шар \vec{v}_1 жылдамдығымен Ox өсі бағытында қозғалсын, 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 тұйық жүйенің импульсі:

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

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

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

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

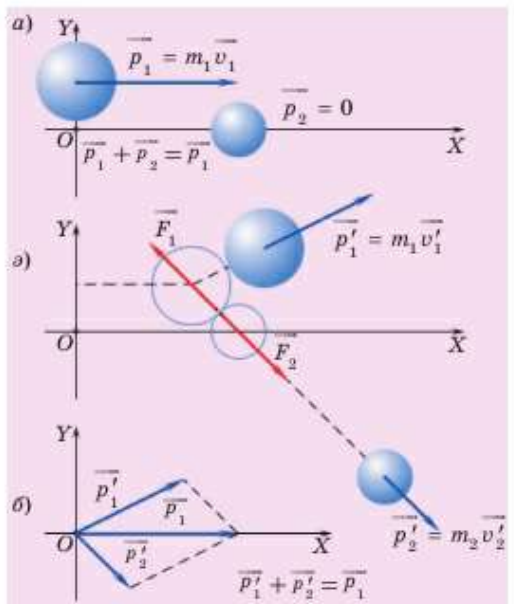
$$\vec{F}_1 \Delta t = -\vec{F}_2 \Delta t. \tag{4.4}$$

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

$$\vec{F}_1 \Delta t = m_1 \vec{v}'_1 - m_1 \vec{v}_1; \tag{4.5, а}$$

$$\vec{F}_2 \Delta t = m_2 \vec{v}'_2 - m_2 \vec{v}_2. \tag{4.5, ә}$$

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

(4.4) және (4.5) формулаларынан мына тепе-теңдіктерді аламыз:

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

немесе

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

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

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

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

5. Соқтығысулар серпімді де, серпімсіз де, ал шекті жағдайда абсолют серпімді немесе абсолют серпімсіз де болуы мүмкін. Абсолют серпімді соқтығысуда тұйық 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 қозғалатын болса, онда мұндай соқтығысуды абсолют серпімсіз соқтығысу деп атайды.

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

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

Абсолют серпімсіз соқтығысуда жүйенің механикалық энергиясының қандай мөлшері ішкі энергияға айналғанын білу маңызды. Ол үшін денелердің соқтығысуға дейінгі кинетикалық энергияларының қосындысынан, соқтығысудан кейінгі кинетикалық энергияларын алып тастап, ΔE_k айырымын 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. Тұйық жүйе деп қандай жүйені айтады?
2. Импульстің сақталу заңы қалай тұжырымдалады? Формуласы қалай жазылады?
3. Тұйық 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
$M = 200 \text{ кг}$
$m = 20 \text{ г}$
$v = 500 \text{ м/с}$
$v_{o2} = 0 \text{ м/с}$
$v_0 - ?$

Есеп мазмұнын талдау

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

$$M \vec{v}_0 + m \vec{v}_0 = M \vec{v}_0, \text{ мұндағы:}$$

$m \vec{v}_0 = 0$ – атылмаған оқтың импульсі (оны ескермеуге

болады, өйткені $m \vec{v}_0 \ll M \vec{v}_0$);

$M \vec{v}_0$ – адам мен қайықтың бастапқы импульсі;

\vec{v}_0 – қайықтың бастапқы жылдамдығы;

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

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

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

$m\vec{v}$ – атылған бірінші оқтың импульсі (оқтың бұл импульсі ескеріледі,

өйткені $\vec{v} \gg \vec{v}'_0$).

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

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

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

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

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

$m\vec{v}$ – екінші оқтың импульсі.

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

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

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

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

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

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

Есеп мазмұнын талдау

Тұйық жүйе екі шардан тұрады. Шарлардың соқтығысына дейінгі жүйенің импульсі екі шардың импульстерінің қосындысынан тұрады:

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

Шарлар соқтығысқан соң жүйенің импульсі екі шардың өзгерген импульстерінің қосындысынан тұрады:

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

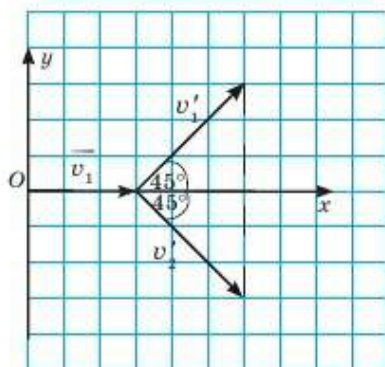
Импульстің сақталу заңы бойынша жүйенің бастапқы импульсі ($m \vec{v}_1$) оның соңғы импульсіне ($m \vec{v}'_1 + m \vec{v}'_2$) тең:

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

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

$$Ox \text{ өсі бойынша: } v_{1x} = v'_{1x} + v'_{2x}; \tag{1}$$

$$Oy \text{ өсі бойынша: } v_{1y} = v'_{1y} + v'_{2y}. \tag{1, a}$$



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:

$$Ox: v_1 = v'_1 \cos 45^\circ + v'_2 \cos 45^\circ; \tag{2}$$

$$Oy: 0 = v'_1 \sin 45^\circ - v'_2 \sin 45^\circ. \tag{2, a}$$

Шешуі. (2, a) теңдеуінен: $v'_1 = v'_2$. (2) теңдеуінен:

$$v_1 = 2 v'_2 \cos 45^\circ; v'_2 = v_1 / 2 \cos 45^\circ = 10 / 2 \cos 45^\circ = 7,1 \text{ м/с}.$$

$$\text{Жауабы: } v'_1 = v'_2 = 7,1 \text{ м/с}.$$

**Жаттығу 4.1**

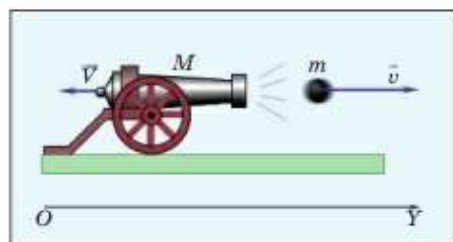
1. Массасы 10 т жүк машинасы 36 км/сағ жылдамдықпен, ал массасы 1 т жеңіл машина 25 км/сағ жылдамдықпен қозғалады. Олардың импульстері қандай?
2. Көлемдері тең болат және қорғасын шары бірдей жылдамдықпен қозғалады. Олардың импульстерін салыстырыңдар.
3. Массасы 2000 т пойыз жолдың түзу бөлігінде жылдамдығын 36 км/сағтан 72 км/сағ-қа дейін арттырды. Пойыздың импульсінің өзгерісі қандай?
4. Массасы 750 т кемедегі зеңбіректен кеме жүрісіне қарсы бағытта горизонтқа 60° бұрыш жасай оқпан ұшты. Егер оқпанның массасы 30 кг, ал оның кемемен салыстырғандағы жылдамдығы 1 км/с болса, онда кемең жылдамдығы қандай шамаға өзгерді?
5. 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 салыстырғанда қандай жылдамдықпен қозғалар еді? Үйкеліс ескерілмейді.

§24.**РЕАКТИВТІ ҚОЗҒАЛЫС**

1. Мылтықтан оқ атқанда немесе зеңбіректен оқпан ұшып шыққанда (сурет 4.5) мылтықтың да, зеңбіректің де **кері тебілу** қозғалысы орын алады. *Өрекеттесуші денелердің бір-бірінен кері тебілу құбылысы реактивті қозғалыс деп аталады.*

Көптеген тіршілік иелерінің қозғалыстары да реактивті қозғалыстарға жатады. Мысалы, сегізаяқ, кальмар, теңіз-құрт, медуза сияқты мұхит жануарлары мен жәндіктерінің қозғалысы (сурет 4.6) кері тебілу құбылысына негізделген. Олар бойларына судың белгілі массасын жинап алып, қайыра ытқытып шығару арқылы ілгері қозғала алады. Мұхиттардағы тіршілік иелерінің осындай реактивті қозғалыс жылдамдықтарының 60 км/сағ шамасына дейін жететіні тіркелген.

2. Ньютон заңдарын қолданып, *механиканың негізгі есебін* шешкенде міндетті түрде денелерге өрекет ететін күштерге жүгінуді едік. **Импульстің сақталу заңы** өрекет етуші күштерге жүгінбей-ақ қозғалыстағы денелердің жылдамдықтарын анықтауға мүмкіндік береді.



Сурет 4.5. Зеңбіректің кері тебілуі



Сурет 4.6. Сегізіаяқтың кері тебілуі

Мысал ретінде зеңбірек пен оқпаннан тұратын тұйық 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 тұрғанда ($\vec{V}_0 = 0$; $\vec{v}_0 = 0$) тұйық жүйенің бастапқы импульсі нөлге тең болады: $\Sigma \vec{p}_i = M\vec{V}_0 + m\vec{v}_0 = 0$.

Зеңбіректен оқпан \vec{v} жылдамдығымен ұшып шыққан кезде зеңбірек те \vec{V} жылдамдығымен кері тебіледі (сурет 4.5). Бұл кезде жүйенің импульсі зеңбірек пен оқпанның импульстерінің қосындысынан тұрады:

$$\Sigma \vec{p}'_i = \vec{p}'_{\text{зең}} + \vec{p}'_{\text{оқ}} = M\vec{V} + m\vec{v}.$$

Импульстің сақталу заңы бойынша тұйық жүйенің импульсі өзгермейді:

$$\Sigma \vec{p}_i = \Sigma \vec{p}'_i = \text{const}.$$

Олай болса, зеңбірек пен оқпаннан тұратын жүйенің бастапқы импульсі қандай болса ($\Sigma \vec{p}_i = 0$), келесі импульстері де ($\Sigma \vec{p}'_i$) сондай болады: $M\vec{V} + m\vec{v} = 0$.

Соңғы векторлық теңдеуден зеңбіректің кері тебілу қозғалысының жылдамдығын анықтаймыз:

$$\vec{V} = -\frac{m}{M}\vec{v}. \tag{4.8}$$

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 тебі-

лу құбылысына 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 түрде 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 *бір уақытта* газ түрінде босап шығады деп есептеледі. Нақты жағдай үшін зымыранның жылдамдығы күрделі формулалармен анықталады, өйткені отын біртіндеп жанады да, одан бөлінетін газ да біртіндеп шығатын болады. Оның үстіне ғарыш кеңістігінде қозғалу үшін жанғыш отынның массасын еселеп қосып отыру қажет. Шынында да, Жердің немесе Күннің тартылыс күшін жеңіп, ғарыш кеңістігіне шығу үшін жанғыш отынның массасы зымыранның өз массасынан бірнеше есе артық болуы қажет. Мысалы, Күннің тартылыс күшін жеңетін зымыран өз массасынан 55 есе артық жанғыш отын жұмсайды. Мұның барлығы ғарыш кеңістігіне шығудың тауқыметінің орасан қиындығын паш етеді.

4. Адамзат тарихында бірінші болып ғарышқа шығу жұмыстарының аса күрделі теориялық, практикалық және техникалық мәселелерін К.Э. Циолковскийдің (1857–1935) ізбасары – бас конструктор С.П. Королев (1907–1966) басшылық жасаған Кеңес Одағының ғалымдары мен конструкторлары абыроймен шешті. Олардың жасампаздық еңбектері арқасында «Байқоңыр» ғарыш айлағынан 1957 жылы 4 қазанда алғашқы Жер серігі ұшырылды; ал 1961 жылдың 12 сәуірінде «Восток-1» зымыраны Ю.А. Гагаринді көкке көтеріп, 1,5 сағаттай уақытта Жер шарын бір айналып шықты да, соңғы сатыдағы реактивті қозғалтқыш оны туған Отанына қайыра оралтты.



Сурет 4.7



К.Э. Циолковский (1857–1935)



Сұрақтар

1. Реактивті қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады?
2. Зеңбіректің кері тебілу қозғалысының жылдамдығы қалай анықталады?
3. Зымыранның қозғалыс жылдамдығы қалай анықталады?
4. Ғарышқа ұшудың күрделі мәселелерін бірінші болып кімдер шешті?
5. Көпсатылы зымыран қалай жұмыс істейді?
6. Төмендегі мысалда көрсетілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Спорттық тапаншаның жылжымалы құндағы қатаңдығы $k = 4$ кН/м серіппемен жалғанған. Құндақтың массасы $M = 400$ г, оқтың массасы $m = 8$ г. Оқ атылғанда құндақ кері қарай $x = 3$ см-ге ығысады. Тапанша жұмыс істеуі үшін оқ қандай ең аз жылдамдықпен қозғалуы керек?

Берілгені	ХБЖ бойынша
$k = 4$ кН/м	$k = 4 \cdot 10^3$ Н/м
$M = 400$ г	$M = 0,4$ кг
$m = 8$ г	$m = 8 \cdot 10^{-3}$ кг
$x = 3$ см	$x = 3 \cdot 10^{-2}$ м
$v_2 - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Массасы M құндақ және массасы m оқ тұйық жүйені құрайды. Осы тұйық жүйедегі импульстің сақталу заңын мына түрде жазамыз:

$$M\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = (M + m)\vec{v}_0. \quad (1)$$

Теңдіктің сол жағы тапанша атылған кездегі жүйенің импульсін, ал оң жағы тыныштықтағы жүйенің ($v_0 = 0$) импульсін сипаттайды. Жүйенің тыныштықтағы импульсі нөлге тең болғандықтан, жоғарыдағы теңдік былайша жазылады: $M\vec{v}_1 + m\vec{v}_2 = 0$, 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 өрнектерді 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 $\left(E_n = \frac{kx^2}{2}\right)$ 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:

$$v_2 = \frac{M}{m} \cdot x\sqrt{\frac{k}{M}} = \frac{x}{m}\sqrt{kM}.$$

$$\text{Шешуі: } v_2 = \frac{x}{m}\sqrt{kM} = \frac{3 \cdot 10^{-2}}{8 \cdot 10^{-3}} \cdot \sqrt{4 \cdot 10^3 \cdot 0,4} = 150 \text{ м/с.}$$

$$\text{Жауабы: } v_2 = 150 \text{ м/с.}$$



Жаттығу 4.2

1. Адам мінген арба түзу жолда 2 м/с жылдамдықпен қозғалып келеді. Адам арбаның қозғалысына қарсы горизонталь бағытта 1 м/с жылдамдықпен секірді. Адам секіріп түскеннен кейін арба қандай жылдамдықпен қозғалды? Адамның массасы арбаның массасынан 1,5 есе үлкен. Үйкеліс ескерілмейді.
2. Зертханалық зымыранның массасы 200 г, оның ішіндегі жанғыш заттың массасы 30 г. Жанғыш зат лезде жанып, бөлінген газ да соплодан 100 м/с жылдамдықпен лезде шықса, зымыран қандай жылдамдық алады?
3. Ох өсінің бойымен массасы 1 кг дене 2 м/с жылдамдықпен қозғалады. Қозғалыс бағытында денеге 2 с бойы 4 Н күш әрекет етеді. Күш әрекеті аяқталғаннан кейінгі дененің жылдамдығын анықтаңдар.
4. Зымыранның қозғалтқышына жанғыш отын құрамы 200 м/с жылдамдықпен беріледі, ал ыстық газ соплодан 500 м/с жылдамдықпен шығады. Қозғалтқыш әр секунд сайын 30 кг жанғыш отын жұмсаса, оның реактивті күші қандай болады?
5. Массасы 10 т ғарыш кемесі 9 км/с жылдамдықпен қозғалып келеді. Кемені Жерге оралту мақсатында тежеу үшін қозғалтқыш оның қозғалу бағытына қарай зымыранға қатысты 3 км/с жылдамдықпен 1450 кг жану өнімін шығарады. Тежелуден кейінгі зымыранның жылдамдығы қандай?



Шығармашылық тапсырма

Ғылым мен техниканың даму тарихынан төменде берілген материалдарды және басқа да ақпараттарды пайдаланып мына тақырыптарда мақалалар жазып, мектептің қабырға газеттерінде шығарып тұрыңдар:

1. «Байқоңыр ғарыштық аймағының тарихи орны және болашағы».
2. «Қазақстанның ғарыштағы жұмыстарының маңызы».
3. «Ғарышкерлердің өмір жолдары».



Ғылым мен техниканың даму тарихынан

Кеңес Одағы адамзат тарихында бірінші болып ең алғашқы жасанды Жер серігін Қазақстандағы «Байқоңыр» ғарыш айлағынан 1957 жылы 4 қазанда ұшырды. Жасанды серікке бірінші ғарыш жылдамдығын беріп, Жер төңірегіндегі орбитаға шығару үшін бес реактивті қозғалтқышы бар көп басқышты қуатты зымыран қолданылды. «Восток» деп аталған алғашқы зымырандардың бас конструкторы Кеңес Одағының практикалық ғарыш кешенінің негізін қалаушы, XX ғасырдың ұлы тұлғаларының бірі Сергей Павлович Королев болатын (1907–1966). Оның басшылығымен арнайы жасалған «Восток-1» зымыраны тұңғыш рет адамзат баласын – орыс азаматы Юрий Алексеевич Гагаринді (1934–1968) Байқоңырдан 1961 жылдың 12 сәуірінде ғарышқа аттандырды. Ол ғарыш кеңістігінде Жерді бір жарым сағаттай уақытта толық бір айналып, аман-есен туған еліне оралды.



Сурет 4.9.
Ю.А. Гагарин мен
С.П. Королев

Гагарин ұшқан «Восток-1» зымыранының толық көшірме макеті Мәскеу қаласындағы көрмеде 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 «ғарыш кемесі» және оларды Жерге қайыра алып келетін ең соңғы реактивті қозғалтқыш орнатылды. Гагарин ұшқан «Восток-1» ғарыш кемесінің макеті Париждегі «Авиация және космонавтика» мұражайында сақтаулы тұр. «Восток» зымыраны кейінірек «Союз» және «Протон» зымырандарымен алмастырылды. Экологияға зардабы молырақ «Протон» зымырандарын бірте-бірте «Ангара» (сурет 4.10) зымырандары ығыстыратын болады.



Сурет 4.10. «Ангара» ғарыш зымыраны

Кеңес Одағы 1991 жылы ыдырағаннан кейін «Байқоңыр» ғарыш айлағы Қазақстанның меншігіне көшті де, 2050 жылға дейін Ресейге жалға беріліп, бірлесе жұмыс істейтін алаңға айналды. Содан бері ғарышқа үш қазақ ғарышкері сапар шегіп (сурет 4.11), аса маңызды зерттеулер жүргізді. Бірінші болып 1991 жылдың 2 қазанында КСРО-ның еңбегі сіңген сынақшы-ұшқышы әрі батыры Тоқтар Әубәкіров, Австрияның азаматы Франц Фибек және Ресейдің ұшқыш-ғарышкері Александр Волковтың бастауымен «Союз ТМ-13» зымыранымен ғарышқа аттанған еді. Сол күні Елбасы Нұрсұлтан Назарбаев пресс-конференцияда сөйлеген сөзінде: «...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 қиындығына қарамастан 1991–2001 жылдар аралығында Қазақстан Президентінің Жарлығымен құрылған Ұлттық Аэроғарыш Агенттіктің ең алғашқы ғарыштық зерттеу бағдарламасын іске асыруды Т. Әубәкіров бастаған болса, екіншісін Талғат Мұсабаев ғарышқа үш рет аттанып (1994, 1998 және 2001 жылдары) бір жылға жуық «Мир» ғарыш стансысында болған кезінде орындады. Ал 2015 жылы ғарыштағы мұндай зерттеулерді қазақстандық үшінші ғарышкер Айдын Айымбетов «ЭП-18» Халықаралық Ғарыш стансысында жалғастырды.

Кейінгі жылдары зерттеу ауқымы кеңейіп, біртұтас «Қазғарыш» деп аталатын 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. Аталған салаларға кадрлар даярлау ісі де қолға алынып, 1600-ден астам студенттер әлемдегі ең ірі оқу орындарында білім мен біліктіліктерін шыңдауда.

2004 жылы Қазақстан мен Ресей «Байқоңыр» ғарыш айлағында «Бәйтерек» ғарыштық зымырандар кешенін құру туралы келісім жасады. 2005 жылы «Қазақстан Ғарыш Сапары» Ұлттық компаниясы» Акционерлік қоғамы құрылды.



Сурет 4.11. Елбасы және ғарышкерлер

Міне, осындай ауқымды даярлық жұмыстарын жүргізгеннен кейін 2005 жылы Қазақстан Республикасының Президенті еліміздегі ғарыштық қаракеттерді дамытудың мемлекеттік бағдарламасын өз Жарлығымен бекітті; ал 2012 жылы «Ғарыштық қаракет туралы» Заңға қол қойды. Аталған тарихи қаракеттердің жемісі ретінде алғашқы отандық «Qazsat» серіктері жасала бастады (сурет 4.12). Қазіргі кезде ғарыш кеңістігінде ел мүддесі үшін төрт қазақстандық Жер серігі қызмет етуде (сурет 4.13). Ғарыштағы Қазақстанның атқарар жұмысына сенің де қосарың мол, құрметті оқушы!



Сурет 4.12. «Qazsat» Жер серігі құрастыру алаңында



Сурет 4.13. Ғарыштағы «Qazsat» Жер серігі

1. 7-сынып физикасында дененің *тұзусызықты* қозғалыс бағытында оған *тұрақты* әрекет ететін күштің механикалық жұмысы төмендегі қарапайым формуламен анықталатынын көрсеткен едік:

$$A = F \cdot s, \quad (4.10)$$

мұндағы: F – дененің қозғалу бағытында тұрақты әрекет ететін күштің модулі; s – күш әрекетінен жүрілген жол.

Бұл формулаға сүйеніп, Халықаралық бірліктер жүйесінде жұмыстың *джоульмен* өлшенетінін де айтқанбыз. *Бір джоуль деп бір ньютон күштің денені бір метрге жылжытқандағы жұмысын айтады:*

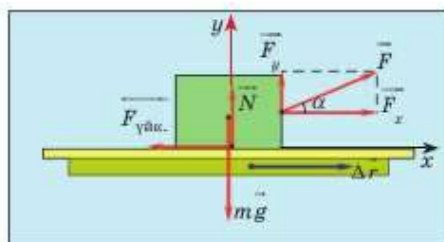
$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Механикалық жұмысты атқаратын күштерге мысал ретінде *ауырлық күшін* ($F_a = mg$), *серпімділік күшін* ($F_{\text{сер.}} = k|\Delta x|$) және *үйкеліс күшін* ($F_{\text{үйк.}} = \mu N$) атаған болатынбыз. Механикалық жұмысты атқара алмайтын күштер де бар. Сондықтан механикалық жұмысты атқара алатын күштерге қойылатын талаптарды білудің маңызы зор.

2. 7-сынып физикасында айтқанымыздай, механикалық жұмыс істеу үшін, біріншіден, денеге белгілі бір күш әрекет етуі керек; екіншіден, осы күштің әрекетінен дене орын ауыстыруы қажет. Ньютонның екінші заңы механикалық жұмысты атқарудың осы талаптарын толығымен сипаттайды. Мұндай талаптар Ньютонның екінші заңының $\Delta(m\vec{v}) = \vec{F}\Delta t$ түріндегі жазылу формасынан туындайды. Бұл формула, бір жағынан, егер денеге Δt уақыт аралығында \vec{F} күші әрекет ететін болса, онда оның \vec{v} жылдамдығының бағытының да, модулінің де қалай өзгертетінін анықтауға мүмкіндік береді. Екінші жағынан, дененің кеңістіктегі $\Delta\vec{r}$ орын ауыстыруына сәйкес келетін жаңа күйін де айқындайды, яғни координаталарын табуға да жәрдемдеседі. Ендеше, механикалық жұмысқа мынадай анықтама бере аламыз:

Ньютонның екінші заңымен сипатталатын күштердің атқаратын жұмысы механикалық жұмыс деп аталады.

3. Дененің қозғалыс бағытына бұрыш жасай әрекет ететін тұрақты күштің ($\vec{F} = \text{const}$) жұмысын анықтайық. Үстел үстіндегі денеге \vec{F} күші қозғалыс бағытына α бұрыш жасап әрекет етсін (сурет 4.14). Қозғалыс



Сурет 4.14. Қозғалыс бағытына бұрыш жасай әрекет ететін күш

жылдамдығының бағытына сәйкес келетін $\Delta \vec{r}$ орын ауыстыру векторын Ox өсінің бойымен бағыттайық та, \vec{F} күшінің координаталар өстеріндегі \vec{F}_x және \vec{F}_y құраушыларын салайық. Суретте көрсетілген күштердің ішінен механикалық жұмысқа қатысты екі күшті ғана айтамыз. Олардың бірі – қозғалыс бағытымен бағыттас \vec{F} күші-

нің \vec{F}_x құраушысы, ал екіншісі – қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытталған үйкеліс күші ($\vec{F}_{\text{үйк}}$). Басқа күштер қозғалыс бағытына перпендикуляр болғандықтан, олардың осы бағыттағы проекциялары нөлге тең. Ендеше, істейтін жұмыстары да нөлге тең, яғни олар дененің орын ауыстыруына қатыспайды; сөйтіп, механикалық жұмысқа қойылатын талаптың екінші шартын орындай алмайды.

\vec{F}_x және $\vec{F}_{\text{үйк}}$ күштері дененің *түзу сызықты* 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 өсіндегі проекцияларын анықтап алу керек.

$\vec{F}_{\text{үйк}}$ күшінің Ox өсіндегі проекциясы теріс санмен өрнектеледі: $-F_{\text{үйк}(x)}$. Сондықтан үйкеліс күшінің істейтін жұмысы да теріс таңбаланады:

$$A = -F_{\text{үйк}(x)} \cdot s. \quad (4.11)$$

\vec{F}_x күшінің Ox өсіндегі проекциясын тікбұрышты үшбұрыштың α бұрышына іргелес жатқан катеттің гипотенузаға 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 оң 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 түзу сызықты 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).

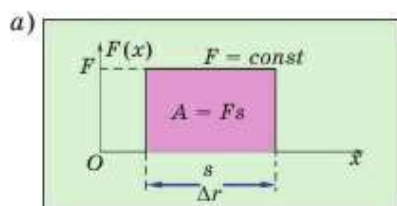
4. Енді модулі үнемі өзгеріп отыратын айнымалы күш ($F \neq \text{const}$) жұмысының аналитикалық өрнегі мен графиктегі көрінісін анықтайық. Күштің модулі үнемі өзгеріп отыратындықтан, оның графиктегі көрінісі қисық сызықпен бейнеленеді (сурет 4.16). Өрбір элементар $|\Delta \vec{r}_i|$ орын ауыстыруда әрекет ететін F_{ri} күшін тұрақты деп алуға болады. Ендеше, (4.12) формуласына сәйкес мұндай өте қысқа аралықта істелетін элементар жұмыс мына өрнекпен анықталады:

$$\Delta A_i = F_{ri} |\Delta \vec{r}_i| \cos \alpha_i. \quad (4.13)$$

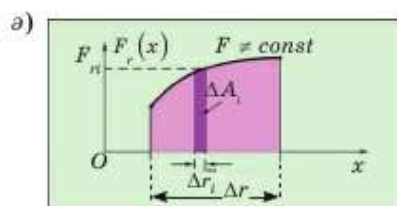
Ал айнымалы күштің $F \neq \text{const}$ A толық жұмысы әрбір ΔA_i элементар жұмыстардың қосындысынан тұрады:

$$A = \Sigma \Delta A_i = \Sigma F_{ri} |\Delta \vec{r}_i| \cos \alpha_i. \quad (4.14)$$

(4.14) аналитикалық өрнегімен сипатталатын айнымалы күш жұмысының графиктегі бейнесі жоғарғы жағы қисық сызықпен, 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 ұғымдарының арасында тығыз байланыс бар. 7-сыныпта біз егер дене немесе денелер жүйесі жұмыс істеуге қабілетті болса, онда олар белгілі бір энергияны иеленеді деп көрсеттік. Сөйтіп, дененің жұмыс істеуге қабілеттілігінің өлшемі болатын скалярлық шаманы энергия деп атадық.

Алайда материяның заттық түрлеріне қатысты айтылған мұндай пайымдаулар энергия ұғымының мағынасын толық ашып бере алмайды. Өйткені энергия ұғымы – материяның екі түріне де (заттық тү-

ріне де, *өрістік* түріне де) ортақ ұғым. Материяның заттық түріне жататын энергияға 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 түрлері де белгілі бір энергияларды иеленеді. Мысалы: 8-сыныпта оқыған *электр өрісі* мен *магнит өрісі* де, осы оқулықтың 3-тарауында қарастырған *гравитациялық өріс* те энергияға 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 әмбебап өлшемі болатын физикалық шаманы айтады.

Энергия туралы кең мағынада сөз қозғаранда физиканың ғылыми тіліне *физикалық жүйе* деген терминдік сөз тіркесі енгізіледі. Физикалық жүйе материяның заттық түрлеріне де, өрістік түрлеріне де енетін нысандарды қамтиды. Осы тұрғыдан алғанда энергия ұғымының тағы 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 айғақтайды. Мұндай айғақ өздеріңе 7–8-сыныптардан белгілі мына аналитикалық формула арқылы өрнектеледі:

$$A = \Delta E = |E_2 - E_1|. \quad (4.15)$$

Оңай есте сақталатын бұл формуланың терең физикалық мағынасы мыналарға саяды:

Біріншіден, бұл өрнек кез келген физикалық жүйенің атқаратын A жұмысы сол жүйенің энергиясының ΔE өзгерісі есебінен істелетінін көрсетеді, сөйтіп, жұмыс пен энергияның арасындағы эквиваленттік тепе-теңдікті айғақтайды.

Екіншіден, 8-сыныпта «термодинамика негіздері» тарауында айтқанымыздай, егер жүйенің өзі жұмыс істесе оның энергиясы ΔE шамасына кемитіндігін, ал сыртқы күштер жүйеге жұмыс істесе оның энергиясының соншама шамаға өсетінін, сөйтіп, жұмыс пен энергияның оң немесе теріс сандарды қабылдай алатын скалярлық шамалар екенін білдіреді.

Үшіншіден, өз кезегінде *жұмыстың да энергия өзгерісінің өлшемі* бола алатындығын, сөйтіп, олардың өлшем бірліктерінің де бірдей болатындығын, яғни *джоульмен* өлшенетінін көрсетеді.

Төртіншіден, жұмыс пен энергияның арасындағы (4.15) эквиваленттік формуланы пайдаланып, өрекет ететін күштердің шамалары белгісіз болса да механикалық жұмыстарды табуға болады. Оны төмендегі формулалар айқын дәлелдейді.



Сұрақтар

1. Дененің түзусызықты қозғалыс бағытында өрекет ететін күштің жұмысы қандай формуламен анықталады? Жұмыс немен өлшенеді?
2. Механикалық жұмыс деп қандай жұмысты айтады?
3. Дененің қозғалыс бағытына бұрыш жасай өрекет ететін тұрақты күштің жұмысы қалай анықталады және қандай аналитикалық формуламен өрнектеледі?
4. Денеге өрекет ететін айнымалы күштердің жұмысы қалай анықталады және қандай аналитикалық формулалармен өрнектеледі?
5. Тұрақты және айнымалы күштердің жұмысы графикте қалай бейнеленеді?
6. Энергия деп қандай физикалық шаманы айтады? Не үшін «физикалық жүйе» термині енгізілген?
7. Жұмыс пен энергия ұғымдарының арасында тығыз байланыс қандай формуламен өрнектеледі және оның физикалық мағынасы қалай ашылады?
8. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.



Есеп шығару мысалдары

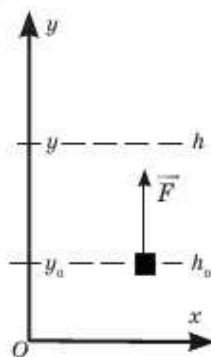
1-есеп. 10 Н күш өрекетінен дене тік жоғары көтеріледі. Уақыттың бастапқы кезеңінде дене Жер бетінен 1 м биіктікте болды. Күштің 100 Дж жұмыс істеген кезінде жүк қандай биіктікте болады?

Берілгені
$F = 10 \text{ Н}$
$h_0 = 1 \text{ м}$
$A = 100 \text{ Дж}$
$h - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Бас нүктесі Жер бетінде орналасқан Oy өсін таңдап алайық та, оны тік жоғары бағыттауық (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 өсі 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 өсіндегі 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: $h = 11\text{ м}$.

2-есеп. Массасы 3 кг дене биіктігі $h = 0,5\text{ м}$, ұзындығы 1 м көлбеу жазықтықтан $v_0 = 0$ бастапқы жылдамдықпен сырғанап бастады да, етегіне жеткенде оның жылдамдығы $v = 2,45\text{ м/с}$ болды. Үйкеліс коэффициентін және үйкеліс кезіндегі бөлінген жылуды анықтаңдар.

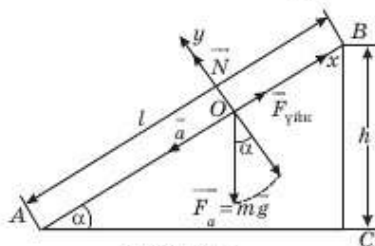
Берілгені
$m = 3\text{ кг}$
$v_0 = 0$
$v = 2,45\text{ м/с}$
$h = 0,5\text{ м}$
$l = 1\text{ м}$
$g \approx 10\text{ м/с}^2$
$\mu - ?, Q - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Денені материялық нүкте ретінде қарастырамыз. Оның \vec{a} үдеу алған кездегі орны O нүктесіне сәйкес келсін (сурет 4.18). Дененің B нүктесіндегі потенциалдық энергиясы: $E_n = mgh$. 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:

$$E_n = E_k + A_{\text{үйк.}}, \quad (1)$$

мұндағы $A_{\text{үйк.}} = F_{\text{үйк.}} \cdot l$; $F_{\text{үйк.}} = \mu N$; μ – үйкеліс коэффициенті; N – көлбеу беттің реакция (серпімділік) күші. Ньютонның 2-заңы бойынша \vec{F}_a ауырлық, үйкеліс және реакция күштерінің векторлық қосындылары массасы m денеге \vec{a} үдеуін береді:



Сурет 4.18

$$\vec{F}_a + \vec{F}_{\gamma_{\text{тк}}} + \vec{N} = m\vec{a}. \quad (2)$$

Бұл теңдеуді векторлардың Oy өсіндегі проекциялары арқылы скалярлық теңдеумен алмастыруға болады:

$$F_{a(y)} + F_{\gamma_{\text{тк}(y)}} + N_y = ma_y. \quad (3)$$

Проекциялардың Oy өсіндегі мәндері: $F_{a(y)} = -mg\cos\alpha$; $F_{\gamma_{\text{тк}(y)}} = 0$; $N_y = N$; $a_y = 0$.

Проекциялардың мәндерін (3)-ке қойып, мына өрнекті аламыз: $-mg\cos\alpha + N = 0$. Бұдан $N = mg\cos\alpha$. Ендеше: $F_{\gamma_{\text{тк}}} = \mu N = \mu mg\cos\alpha$. Мұндағы $\cos\alpha$ шамасын ABC үшбұрышынан табамыз (екі тікбұрышты үшбұрыштың сәйкес қабырғаларының арасындағы α бұрышы өзара тең):

$$\cos\alpha = \frac{AC}{l} = \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}. \text{ Сонымен, } F_{\gamma_{\text{тк}}} = \mu mg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}. \quad (4)$$

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: $Q = A_{\gamma_{\text{тк}}} = F_{\gamma_{\text{тк}}} \cdot l = \mu mg \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l} \cdot l = \mu mg\sqrt{l^2 - h^2}$.

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: $\mu = 0,23$; $Q = 6 \text{ Дж}$.



Жаттығу 4.3

1. Жер бетінен 100 км қашықтықта дөңгелек орбита бойымен қозғалып жүрген массасы 1300 кг Жер серігінің кинетикалық энергиясы қандай?
2. 10 м биіктіктен құлаған массасы 2 кг жүктің потенциалдық энергиясы 1 с-тан кейін қалай өзгереді? Жүктің бастапқы жылдамдығы нөлге тең.
3. Егер үйдің әр қабатының биіктігі 3 м болса, онда массасы 75 кг адам жаяу алтыншы қабатқа көтерілгенде қандай жұмыс істейді?

4. Бала серіппені 400 Н күшпен созды. Бала қандай жұмыс істеді және қанша істеді? Серіппенің қатаңдығы 10 000 Н/м.
5. Жоғарғы ұшы бекітілген серіппеге 18 кг жүк ілгенде оның ұзындығы 10 см, ал 30 кг жүк ілгенде 12 см болды. Серіппені 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 денеден тұратын *тұйық жүйені* қарастырайық. Мұндай тұйық жүйеде ішкі ауырлық (тартылыс) күшінің жұмысы ғана ескеріледі. Сондықтан ауаның кедергісін ескермейміз.

Дене ауырлық күші өрекетінен құласын. Ауырлық күшінің жұмысы құлаған дененің жылдамдығын арттырып, (4.15) формуласына сәйкес оның кинетикалық энергиясын ΔE_k шамасына өсіреді:

$$A = \Delta E_k.$$

Екінші жағынан, бұл жұмыс дененің потенциалдық энергиясының кемуіне 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 теңдіктен:

$$\Delta(E_k + E_n) = 0. \quad (4.16)$$

Жақша 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 тұрғандай, механикалық энергияның ΔE өсімшесі, яғни әр күйдегі толық энергиялар айырымы ($E_2 - E_1$) нөлге тең болып тұр. Ендеше, толық энергия өсімшесінің нөлге теңелуі, тұйық жүйе қандай күйде болса да, оның энергиясының тұрақты сақталатынын дәлелдейді:

$$E = E_k + E_n = \text{const.} \quad (4.18)$$

Сонымен, *тұйық жүйеде механикалық энергия өзгермей тұрақты сақталады* деген қорытындыға келеміз. Мұндай қорытынды дененің потенциалдық энергиясының ($E_n = mgh$) кинетикалық энергияға

$\left(E_k = \frac{mv^2}{2}\right)$ айналуына немесе керісінше түрленуіне шек қоймайды.

2. Жер шары мен оның бетіне құлайтын денеден тұратын тұйық 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, дене 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 тұйық жүйеге кіретін дененің ғана екі түрлі күйдегі кинетикалық және потенциалдық энергияларының өзгерістері енгізілді. Ал осы жүйеде қарастырылып отырған Жер шарының энергиялары енгізілген жоқ. Өйткені Жер шары үшін оның кинетикалық және потенциалдық энергиялары екі күйде де іс жүзінде өзгермейді. Ендеше, жоғарыдағы теңдіктің екі жағына да бірдей шамамен жазылып, соңынан қысқартылады. Расында да, Бүкіләлемдік тартылыс заңы бойынша дене де Жер шарын өзіне қарай тартатыны белгілі. Алайда олардың масса айырмашылықтары орасан үлкен болғандықтан, дененің жылдамдығы мен орын ауыстыруына қарағанда Жер шары денеге қарай қозғалмайды десе де болады ($h = 0$; $v = 0$). Сондықтан қарастырып отырған тұйық жүйенің екі күйінде де Жердің кинетикалық энергиясы да, потенциалдық энергиясы да өзгеріссіз сақталады.

3. Енді массасы m дене мен серіппеден тұратын тұйық жүйе үшін энергияның сақталу заңының қалай жазылатынын көрсетейік. Бұндай жүйенің толық энергиясы дененің 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 шығарғанда жиі қолданылады. Теңдеулердің сол жағындағы шамалар қарастырып отырған жүйенің бастапқы энергетикалық күйіне, ал оң жағындағы шамалар соңғы күйіне сәйкес келеді. Теңдік белгісі энергияның барлық күйлерінде де өзгермей, тұрақты сақталатынын білдіреді. Энергияның сақталу заңын қолданғанда жүйенің қай күйін бастапқы, қай күйін соңғы деп алудың ұтымды жолдарына көңіл аудару қажет. Потенциалдық энергияны жазғанда алдын ала оның нөлдік деңгейін таңдап, ыңғайлы формада көрсете білу керек.

4. Егер қарастырып отырған тұйық жүйеде үйкеліс күштері жұмыс істейтін болса, онда механикалық энергия сақталмайды. Мысалы, h биіктіктен құлаған серпімді доп қайыра сол биіктікке көтеріле алмайды. Оның кинетикалық энергиясы да, потенциалдық энергиясы да бірте-бірте азайып, нөлге теңеледі. Алайда механикалық энергияның нөлге теңелуі оның із-түзсіз жойылуы деген ұғымды білдірмейді, энергияның басқа бір түрлеріне ауысқанын білдіреді. Энергияның мұндай түрлеріне 8-сыныпта оқыған *жылудық* энергия, *ішкі энергия* және *сәулелік энергиялар* жатады.

Сонымен, доп h биіктіктен құлағанда ауаның кедергісі механикалық энергия есебінен жұмыс істеп, денелер қызады. Бұл жұмыс доптың және оны қоршаған ортаның ішкі энергиясын өсіреді: $A = \Delta U$.

Жоғарыда айтылған пайымдаулардан энергияның сақталу заңы жалпы түрде 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 денеден тұратын тұйық жүйедегі энергияның сақталу заңы қалай жазылады?
3. Дене мен серіппеден тұратын тұйық жүйедегі энергияның сақталу заңы қалай жазылады?
4. Қандай жағдайда механикалық энергия сақталмайды? Энергияның сақталу және айналу заңы жалпы түрде қалай тұжырымдалады?
5. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Ұзындығы l жіпке жүк ілінген. Жіпті вертикаль күйінен ауытқытып, жүкті h биіктікке көтеріп, бастапқы жылдамдықсыз қоя берген. Жүк жіптің вертикаль күйінен өте бергенде жіптің керілу күші жүктің ауырлық күшінен 2 есе артық болған. Жүкті қандай биіктікке көтерген?

Берілгені
$R = l$
$v_0 = 0$
$F_k = 2F_a$
$h = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Жүк радиусы $R = l$ болатын шеңбердің доғасы бойымен үдей қозғалады. Бұл үдеу центрге тартқыш үдеу болып табылады:

$$a_{\text{a.т.}} = \frac{v^2}{R} = \frac{v^2}{l}. \quad (1)$$

Жүк жіптің вертикаль күйінен өте 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 таңдап аламыз. Оның O бас нүктесін және жүктің вертикаль күйден өтетін кезіндегі ауырлық центрін бір деңгейде орналастырамыз.

Ньютонның 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:

$$-F_a + F_k = ma. \quad (3)$$

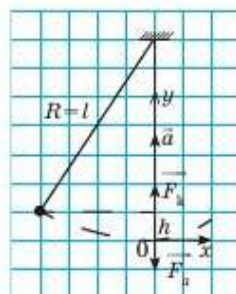
Жүктің h биіктіктегі бастапқы жылдамдығы нөлге тең болғандықтан, оның осы күйіне сәйкес келетін энергиясы тек потенциалдық энергиядан тұрады:

$$E_a = mgh. \quad (4)$$

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:

$$\begin{cases} a_{\text{ц.т.}} = \frac{v^2}{l}; \\ -F_a + F_{\kappa} = ma_{\text{ц.т.}}; \\ F_a = mg; \\ F_{\kappa} = 2F_a; \\ v^2 = 2gh. \end{cases}$$

Бес белгісізі бар бес теңдеуге математикалық амалдарды қолданып, белгісіз h биіктіктің $\frac{l}{2}$ шамасына тең болатындығын анықтаймыз.

Жауабы: $h = \frac{l}{2}$.

2-есеп. Массасы m маятник вертикаль күйден α бұрышқа ауытқиды. Тепе-теңдік күйден өтер кездегі маятник жібінің керілу күші қандай?

Берілгені
m – маятник массасы
α – ауытқу бұрышы
F_{κ} – ?

Есеп мазмұнын талдау

Механикалық энергияның сақталу заңы бойынша маятниктің екі күйдегі (A және C нүктелеріндегі) потенциалдық және кинетикалық энергияларының қосындысы тұрақты сақталады:

$$E_{\kappa 1} + E_{\text{п} 1} = E_{\kappa 2} + E_{\text{п} 2}. \quad (1)$$

Мұндағы $E_{\text{п} 1} = mgh$; $E_{\kappa 1} = 0$; $E_{\text{п} 2} = 0$; $E_{\kappa 2} = \frac{mv^2}{2}$. Ендеше, $mgh = \frac{mv^2}{2}$; бұдан

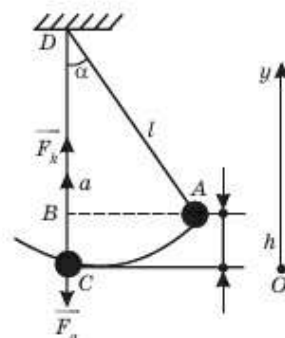
$$v^2 = 2gh. \quad (2)$$

C нүктесінде Ньютонның 2-заңы бойынша \vec{F}_a – ауырлық және \vec{F}_{κ} керілу күштерінің векторлық қосындысы маятникке $\vec{a}_{\text{ц.т.}}$ центрге тартқыш үдеу береді (сурет 4.20):

$$\vec{F}_a + \vec{F}_{\kappa} = m\vec{a}. \quad (3)$$

Векторлық теңдеуді векторлардың Oy өсіндегі проекциялары арқылы скалярлық теңдеумен алмастырамыз:

$$F_{a(y)} + F_{\kappa(y)} = ma_y, \quad (4)$$



Сурет 4.20

мұндағы проекциялардың мәндері: $F_{a(y)} = -F_a = -mg$; $F_{k(y)} = F_k$; $a_y = a_{н.т.} = \frac{v^2}{l}$.
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:

$$\begin{aligned} F_k &= mg + \frac{m \cdot 2g \cdot l(1 - \cos \alpha)}{l} = mg + 2mg(1 - \cos \alpha) = \\ &= mg + 2mg - 2mg \cos \alpha = mg(3 - 2 \cos \alpha). \end{aligned}$$

$$\text{Жауабы: } F_k = mg(3 - 2 \cos \alpha).$$



Жаттығу 4.4

1. Массасы 97 кг жүкті жіпке байлап, горизонталь бетте тұрақты жылдамдықпен тартып келеді. Жіппен горизонталь беттің арасындағы бұрыш 30° . Үйкеліс коэффициенті 0,2. Жіптің керілу күші 100 м жолда қанша жұмыс атқарады?
2. Егер серіппені 1 см-ге сығу үшін 1000 Н күш қажет болса, оны 10 см-ге сыққанда қанша жұмыс атқарылады?
3. Горизонталь жолда қозғалып келе жатқан массасы 20 000 кг вагон бөгетке соғылып тоқтағанда 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 қозғалды?
4. 10 м/с жылдамдықпен қозғалып келе жатқан массасы 500 г қорғасын шары жолында тұрған массасы 200 г балауыз шарына соғылып, одан әрі бірге қозғалады. Соғылғаннан кейінгі шарлардың кинетикалық энергиясы қандай?
5. Массасы 1 т жеңіл машина тұрған орнынан теңдүемелі қозғалып, 2 с-та 20 м жол жүрді. Машинаның қозғалтқышының қуаты қандай?
6. Массасы 1 кг тас 1 м биіктікте тұр; массасы 0,5 кг екінші тас 2,5 м/с жылдамдықпен қозғалып келеді. Қайсысының энергиясы көп?
7. Денені 4,9 м/с жылдамдықпен тік жоғары лақтырған. Қандай биіктікте оның кинетикалық және потенциалдық энергиялары теңеледі?

IV тараудағы ең маңызды түйіндер

1. Дене импульсі – дененің массасының оның жылдамдығына көбейтіндісімен анықталатын физикалық шама:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

2. Импульстің сақталу заңы. Тұйық жүйедегі денелер әрекеттескенде олардың қосынды импульстері тұрақты сақталады:

$$\sum \vec{p}_i = \text{const.}$$

3. Күштің жұмысы. Дененің тұзусызықты қозғалыс 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 қозғалысы 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:

а) Ауырлық күші әрекет еткенде:

$$A = \Delta E_n = -(mgh_2 - mgh_1).$$

ә) Сәртпімділік 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 графиктері бойынша координатаның, жылдамдықтың және үдеудің теңдеулерін жаза білу;
-  әртүрлі тербелмелі жүйедегі тербелістің пайда болу себептерін түсіндіру;
-  маятниктер тербелісі периодының әртүрлі параметрлерге тәуелділігін зерттеу;
-  математикалық маятник периодының формуласынан еркін түсу үдеуін анықтау;
-  период квадратының маятник ұзындығына тәуелділік графигін тұрғызу және талдау;
-  еріксіз тербеліс амплитудасының мәжбүрлеуші күштің жиілігіне тәуелділігін график бойынша сипаттау;
-  резонанс құбылысын сипаттау;
-  тербелмелі контурдағы еркін электрмагниттік 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 атау;
-  дыбыс сипаттамаларын дыбыс толқындарының жиілігі және амплитудасымен сәйкестендіру;
-  резонанстың пайда болу шарттарын атау 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 электрмагниттік толқындардың ұқсастығы мен айырмашылығын салыстыру;
-  электрмагниттік 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», «электрмагниттік тербеліс», «толқын», «көлденең және бойлық толқындар», «дыбыс», «жаңғырық», «ультрадыбыс, инфрадыбыс», «толқындар шкаласы».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

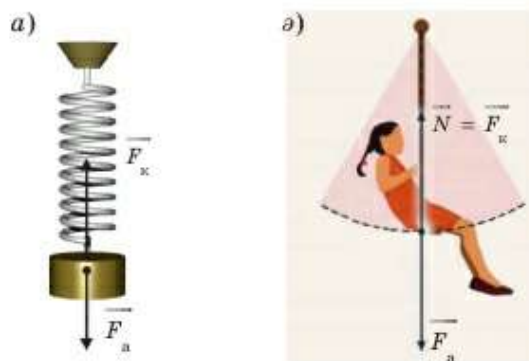
Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
Гармоникалық тербеліс, еріксіз тербеліс	Гармоническое колебание, вынужденное колебание	Harmonic oscillation, forced oscillation
Амплитуда, период, жиілік	Амплитуда, период, частота	Amplitude, period, frequency
Маятник	Маятник	Pendulum
Резонанс	Резонанс	Resonance
Тербелмелі контур	Колебательный контур	Oscillating circuit
Электрмагниттік 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
Ультрадыбыс, инфрадыбыс	Ультразвук, инфразвук	Ultrasound, infrasound
Толқындар шкаласы	Шкала волн	Scale of waves

1. Бірдей уақыт аралығында қайталанып отыратын қозғалыстар тербелмелі қозғалыстар (қысқаша тербелістер) деп аталады.

Микро және мега әлемдегі қозғалыстар негізінен қайталанып отыратын тербелмелі қозғалыстар 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 жұлдыз – Күн де 200 миллиардқа жуық жұлдызы бар Біздің Галактиканың ядросын 180 млн жылда бір рет айналады.

Сол сияқты өмірлік практикада қолданыс тапқан әртүрлі механизмдер мен қозғалтқыштардың жекелеген бөліктері де тербелмелі қозғалыстар жасайды. Адамның да, үлкенді-кішілі жануарлардың да жүрегі дамылсыз соғып тербеледі. Қазақтың қайталанбас сандуғашы Роза Бағланованың «мені сүйген жүрегіңнің лүпілінен айналайын» дейтін үнінде де табиғаттағы шексіз айналыстар мен тербелістердің жаңғырығы жатыр. Осы айтылғандардың барлығы *тербелістердің материяның ажырамас қасиеті – қозғалыстың кең тараған айрықша түрі* екендігін дәлелдейді.

2. Тербеліске қатысатын 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 отырған 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 қозғалысы ескерілмейді.

Бір-бірімен байланыса отырып, тербелістер жасауға қабілетті денелер жиынын тербелмелі жүйе деп атайды.

3. Тербелістерді жалпы түрде сипаттау үшін тербелмелі жүйенің орнықты тепе-теңдік күйі деген ұғым енгізіледі.

Тербелмелі жүйенің орнықты тепе-теңдік күйі деп жүйедегі денелерге әрекет ететін ішкі күштердің теңәрекетті күші нөлге теңелетін күйін айтады.

Жоғарыдағы суреттерде денелердің орнықты тепе-теңдік күйлеріне а) және ә) суреттер сәйкес келеді. Шынында да, суреттерден көріп отырғанымыздай, серіппенің серпімділік күші дененің, ал арқанның керілу күші қыз баланың ауырлық күштерімен теңгеріліп, олардың теңәрекетті күштері нөлге теңеліп тұр ($\vec{F} = \vec{F}_a + \vec{F}_k = 0$).

Серіппелі маятникті немесе өткеншектегі қыз баланы тербеліске келтіру үшін оларды ең алдымен сыртқы күштердің әрекетімен орнықты тепе-теңдік күйлерінен шығару қажет. Мұндай жағдайда қосымша энергия алған өткеншектегі қыз бала да, серіппедегі дене де жүйедегі ішкі күштердің әрекетімен тербелмелі қозғалыстар жасайды. Мұндай тербелмелі қозғалыс *еркін тербеліс* деп аталады.

4. Еркін тербелістерді аналитикалық формулалар түрінде де, графикалық сызбалар түрінде де сипаттауға болады. Ол үшін *период, амплитуда, жиілік* деп аталатын арнайы физикалық шамалар енгізіледі. Бұл шамаларға тоқталмас бұрын, еркін тербелістің графикалық көрінісін көрсетейік. Ол үшін горизонталь бағытта бірқалыпты қозғалатын қағаз рулонына серіппеге бекітілген цилиндрді жанастырайық (сурет 5.2). Цилиндрдің қағазбен жанасқан бетіне нүктелік бояғыш затты орналастырып, жүйені (цилиндр мен серіппені) еркін тербеліске келтірейік.

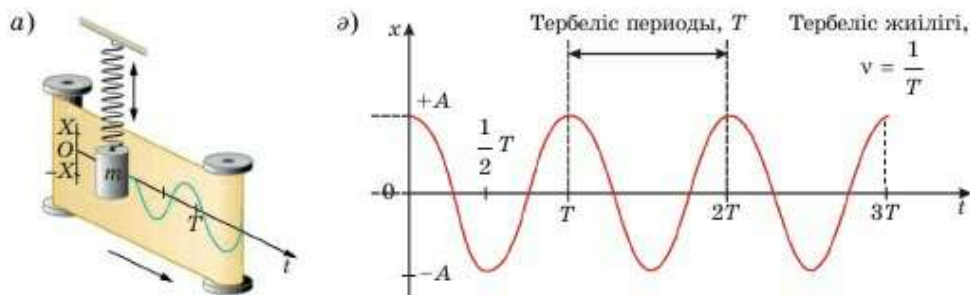
Тербелістің t уақыт ішінде қағаз бетіне түскен графигі Ot горизонталь өсінің бойымен тараған толқын тәріздес сызық түрінде көрініс береді (сурет 5.2 және 5.2, а). Мұндай толқындық сызықты *синусоида қисығы* немесе *гармоникалық қисық* деп атайды.

Дененің тербелмелі қозғалысын сипаттайтын шамалар уақыт ағымына қарай периодты өзгертін синусоидалық заңға $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ сәйкес өзгертін болса, ондай тербелістер гармоникалық тербелістер деп аталады. Периодты өзгертін 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 әрпімен белгілейді және ХБЖ-да метрмен (m) өлшенеді. Графиктерде амплитуданы $+Ox$ және $-Ox$ кесінділері түрінде (сурет 5.2) немесе A әріптерімен белгіленген вертикаль сызықтар түрінде көрсетеді (сурет 5.2, а).



Сурет 5.2. Гармоникалық тербелістер

Тербеліс периоды деп тербелмелі қозғалыстар қайталанып отыратын уақыт аралығын, яғни толық бір тербеліс жасауға кеткен уақытты айтады: $T = \frac{t}{n}$. (1) Мұндағы n – толық тербелістер саны, t – тербеліс жасаған уақыт.

Тербеліс периоды ХБЖ-да T әрпімен белгіленіп, секундпен (s) өлшенеді.

Тербеліс жиілігі дегеніміз уақыт бірлігінде жасалынатын толық тербелістер санына тең физикалық шама:

$$\nu = \frac{n}{t}. \quad (5.2)$$

Жоғарыдағы графикте (сурет 5.2, б) 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:

$$\nu = \frac{1}{T} \text{ немесе } T = \frac{1}{\nu}. \quad (5.3)$$

Жиіліктің өлшем бірлігіне 1 секундта толық 1 тербеліс жасайтын тербелістер жиілігі алынады. Оны неміс ғалымы Генрих Герцтің құрметіне **бір герц** ($1 \text{ Гц} = 1/s = 1 \text{ с}^{-1}$) 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. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Горизонталь жазықтықта қатаңдығы k серіппе көмегімен қабырғаға бекітілген массасы m кішкене шар жатыр. Шарды тепе-теңдік 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 – ?

Есеп мазмұнын талдау

Жүйенің серіппе созылған (сурет 5.3, 2) және шардың солға қарай ығысқан (сурет 5.3, 1) екі түрлі күйін қарастырайық.

Шарды солға қарай ығыстырғанда жүйенің толық энергиясы серіппенің потенциалдық энергиясынан және шардың кинетикалық энергиясынан тұрады:

$$E_1 = \frac{kx_0^2}{2} + \frac{mv_0^2}{2}.$$

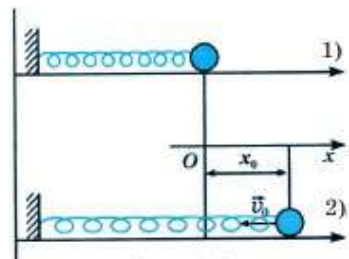
Бұл энергия шардың солға қарай максимал ығысқан кездегі ($x = A$; $v = 0$) серіппенің потенциалдық энергиясына тең:

$$E_2 = \frac{kA^2}{2},$$

мұндағы A – тербеліс амплитудасы.

Энергияның сақталу заңына сәйкес

$$E_1 = E_2 \text{ немесе } \frac{kx_0^2}{2} + \frac{mv_0^2}{2} = \frac{kA^2}{2}. \text{ Бұдан: } A = \sqrt{x_0^2 + \frac{mv_0^2}{k}}.$$



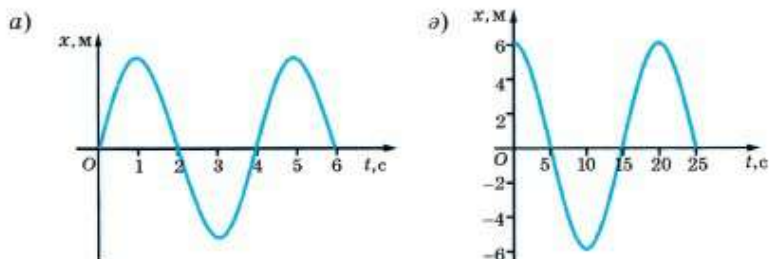
Сурет 5.3

Жауабы: $A = \sqrt{x_0^2 + \frac{mv_0^2}{k}}.$



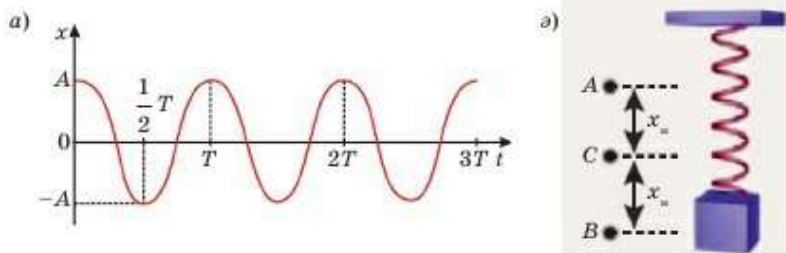
Жаттығу 5.1

1. Дененің x координатасының уақытқа тәуелділік графигінен (сурет 5.4, а) тербеліс периодын және жиілігін анықтаңдар. Бұл қандай тербеліс?



Сурет 5.4

2. Дененің тербелмелі қозғалысының графигінен (сурет 5.4, ә) ауытқудың қандай аралықта болатынын жазып көрсетіңдер, сонымен қатар тербеліс периодын және жиілігін анықтаңдар.
3. Торғай, шыбын және маса қанаттарының тербеліс жиіліктері ретіне қарай 10 Гц, 300 Гц және 450 Гц. Олардың қанаттары 1 минутта қанша тербеліс жасайды?
4. Қымыз пісетін 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. Орнықты тепе-теңдік күйінен санағанда (сурет 5.5, ә) 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, өздеріңнің және аталарың мен әжелеріңнің жүрек соғысы тербелістерінің жиілігін, периодын анықтаңдар.



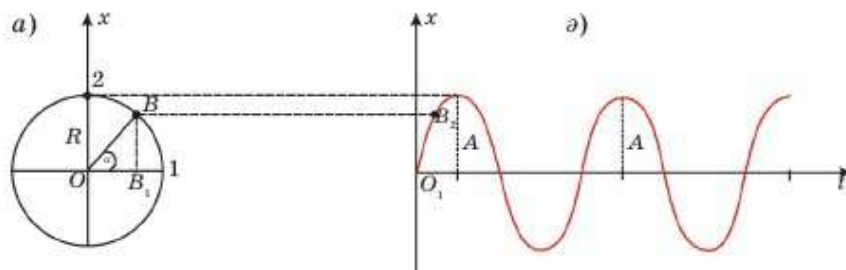
Теориялық зерттеу

Өздеріңнің және аталарың мен әжелеріңнің жүрек тербелістерінің ең үлкен орташа ауытқуы 3 мм-ге тең болады деп есептеп, әркімнің жүрек тербелісінің туған жылдарынан бастағанда қанша жол жүргенін есептеп шығарыңдар да, оған қандай көмек жасауға болатынын зерделеңдер.

§28.

ТЕРБЕЛМЕЛІ ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ ТЕҢДЕУІ

1. Тербелмелі қозғалыстың теңдеуін алу үшін дененің (материялық нүктенің) шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысын қарастырайық. *B* денесі шеңбер бойымен сағат тілінің жүрісіне қарама-қарсы тұрақты жылдамдықпен қозғалсын дейік (сурет 5.6, *a*). Қозғалыс кезіндегі дененің *Ox* өсіндегі проекциясына зер салсақ, дене шеңбер бойымен айналғанда оның осы өстегі проекциясы жоғары-төмен тербелмелі қозғалыс жасайды. Мұндай тербелмелі қозғалыстың *t* уақыт ағымындағы графигі синусоида қисығымен бейнеленеді (сурет 5.6, *ә*). Дененің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы кезінде оның *t* уақыт ағымындағы $x(t)$ координатасын анықтайтын теңдеу біз іздеп отырған тербелмелі қозғалыстың теңдеуі 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 қозғалысы және оның $x(t)$ тәуелділік графигі

Сонымен, дене $t_0 = T = 0$ уақыт мезетінде горизонталь өстері 1-нүктеден қозғала бастасын да, t уақыт өткеннен кейін B нүктесіне жетсін дейік. Осы уақыт аралығындағы дененің Ox өсіндегі ауытқуы мынаған тең: $x = BV_1$. Графикте (сурет 5.6, ә) дененің осы уақыт аралығындағы қозғалысы O_1B_2 қисығымен бейнеленеді. Дененің B нүктедегі $x(t)$ координатасын OBV_1 тікбұрышты үшбұрышы бойынша анықтай аламыз. Тікбұрышты үшбұрыштың α бұрышына қарсы жатқан катеттің гипотенузаға қатынасы синус альфаға 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 шамаға жетеді:

$$x(t) = A \sin \alpha = A \sin 90^\circ = A.$$

Олай болса, (5.4) теңдеуін (5.5) формуласын ескеріп, мына түрде жаза аламыз:

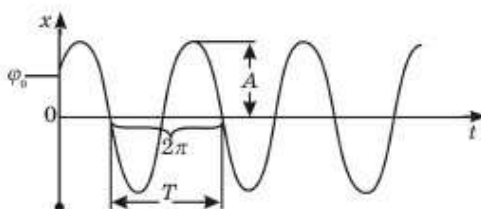
$$x(t) = A \sin \alpha = A \sin \omega t. \quad (5.6)$$

Дененің x ауытқуын уақыттың функциясы ретінде көрсететін *бұл теңдеу* гармоникалық (синусоидалық) тербелмелі қозғалыстың теңдеуі деп аталады.

2. Егер дене шеңбер бойымен қозғалысын жоғарыда айтқанымыздай 1-нүктеден емес, одан да ертерек бастаған болса, онда OB радиусы дене осы нүктеге жеткенше белгілі бір φ бұрышқа бұрылар еді. Бұндай бұрышты тербелмелі қозғалыстың *бастапқы фазасы* деп атайды да, α бұрышына қосып жазады ($\alpha + \varphi_0$). 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:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0). \quad (5.7)$$

Мұндай теңдеудің графигі де периодты өзгертін синусоида қисығымен бейнеленеді. (5.6) және (5.7) теңдеулері амплитудалары да, периодтары да, бұрыштық жылдамдықтары да бірдей болатын тербелмелі қозғалыстарды сипаттайды. Алайда (5.7) теңдеуіндегі синусоида қисығы φ_0 фазасына ығысып салынады (сурет 5.7).



Сурет 5.7

Синус функциясы периодты өзгертін функция болғандықтан, жоғарыдағы (5.6 және 5.7) формулаларымен сипатталатын қозғалыстарды **периодты** деп те, **гармоникалық** немесе **синусоидалық** қозғалыстар деп те атай береді.

3. Дененің шеңбер бойымен толық бір айналып шығуына бір период уақыт 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 анықтайды:

$$\omega = \frac{2\pi}{t} = \frac{2\pi}{T}. \quad (5.8)$$

Екінші жағынан T периодпен ν жиіліктің арасында кері пропорциялық байланыстың бар екенін білеміз:

$$T = 1/\nu. \quad (5.9)$$

Олай болса, (5.8) формуласы мына түрге келеді:

$$\omega = 2\pi\nu, \quad (5.10)$$

мұндағы ν – дененің шеңбер бойымен 1 с ішіндегі айналым саны. Оны **меншікті жиілік** (қысқаша **жиілік**) деп атайды.

4. (5.7) формуласымен сипатталатын тербелмелі қозғалыстың теңдеуін циклдік немесе меншікті жиіліктер арқылы да жаза аламыз:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) \quad (5.11)$$

немесе

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0) = A \sin(2\pi\nu t + \varphi_0). \quad (5.12)$$



Сұрақтар

1. Гармоникалық (синусоидалық) тербелмелі қозғалыстың теңдеуі деп қандай теңдеуді айтады? Ондағы шамалар нені білдіреді? Графикте көрсетіңдер.
2. Тербелмелі қозғалыстың бастапқы фазасы деп нені атайды? Бастапқы фазасы бар тербелмелі қозғалыстың теңдеуі қалай жазылады?
3. Синус функциясымен сипатталатын тербелістерді не себептен периодты немесе синусоидалы тербелістер деп атайды?
4. Циклдік жиілік деп нені айтады? Циклдік жиілік пен тербеліс жиілігінің байланысы қандай формуламен сипатталады?
5. Периодты қозғалыстардың теңдеулері период және жиілік арқылы қалай жазылады?
6. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Гармоникалық тербелістің қозғалыс теңдеуі $x = 0,06 \cdot \cos \pi t$ (м) өрнегімен берілген. Тербелістің амплитудасын, жиілігін және периодын табыңдар.

<i>Берілгені</i>
$x = 0,06 \cdot \cos \pi t$ (м)
$A - ?, T - ?, \nu - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Гармоникалық тербеліс периодты өзгеретін синус немесе косинус функцияларымен сипатталады. Жалпы алғанда гармоникалық тербелістер мына теңдеулермен сипатталады:

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_0) \text{ немесе } x = A \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (1)$$

Есептің шарты бойынша $x = 0,06 \cos \pi t$. Бұл өрнекті (1) теңдеуімен салыстырып, мына шамалардың мәндерін табамыз:

$$A = 0,06 \text{ м}; \omega = \pi; \varphi_0 = 0.$$

Екінші жағынан $\omega = \frac{2\pi}{T}$. Олай болса $\pi = \frac{2\pi}{T}$, бұдан $T = 2 \text{ с}$.

Жиілік периодқа кері шама: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \text{ с}} = 0,5 \text{ с}^{-1} = 0,5 \text{ Гц}$.

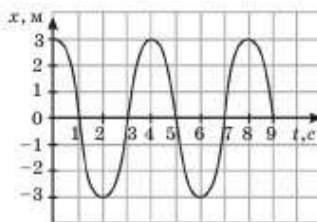
Жауабы: $A = 0,06 \text{ м}; T = 2 \text{ с}; \nu = 0,5 \text{ Гц}$.



Жаттығу 5.2

1. Амплитудасы 0,1 м, периоды 4 с, бастапқы фазасы нөлге тең гармоникалық тербелістің теңдеуін жазыңдар.

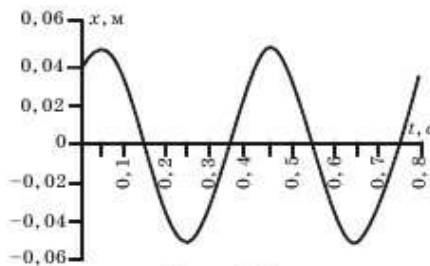
2. Көрсетілген графиктегі қисық (сурет 5.8) қандай қозғалысты сипаттайды? Осы қисықпен сипатталатын қозғалыстың теңдеуін жазыңдар.
3. Периодты қозғалыстың бір минутында 150 тербеліс жасалады. Тербелістің амплитудасы 5 см, ал бастапқы фазасы $\pi/4$ деп есептеп, тербелмелі қозғалыстың теңдеуін жазыңдар. Графикін сызып көрсетіңдер.



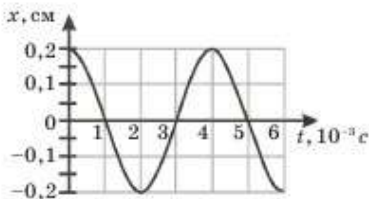
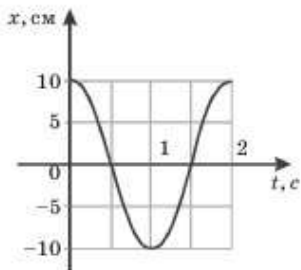
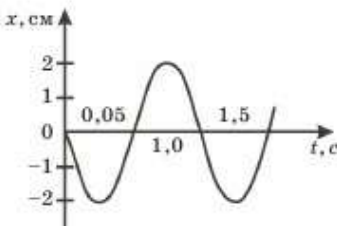
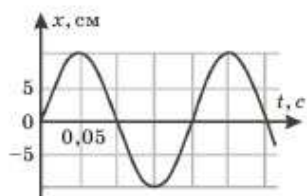
Сурет 5.8



4. Амплитудасы 50 мм, периоды 4 с, бастапқы фазасы $\pi/4$ болатын гармоникалық тербелістің теңдеуін жазыңдар. Уақытты $t_1 = 0$ секундтан бастап жарты секундқа (0,5 с) өсіре отырып, оларға сәйкес келетін x ауытқулардың мөндерін анықтаңдар да, тербелістің графикін салыңдар.
5. Алдыңғы есеп бойынша салған графиктеріңді осы есепте көрсетілген графикпен (сурет 5.9) салыстырыңдар. Бұл графиктер бір-біріне дәл келулері керек. Дәл келмесе қайсысында қате кеткенін анықтаңдар.
6. Төмендегі төрт графикті (сурет 5.10) пайдаланып, гармоникалық тербелістердің амплитудаларын, периодтарын, жиіліктерін, циклдік жиіліктерін және бастапқы фазаларын анықтаңдар. Тербелістердің теңдеулерін жазып көрсетіңдер.



Сурет 5.9

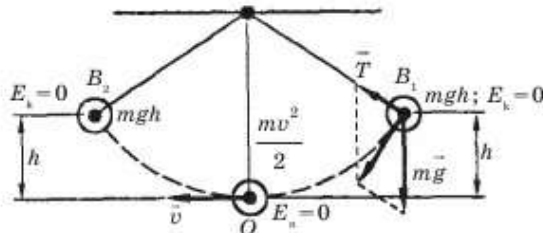


Сурет 5.10

§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 түйық жүйедегі ауырлық (сурет 5.11) және серпімді (сурет 5.13) күштердің әрекетінен орындалатын тербелістерді қарастырайық.



Сурет 5.11. Ауырлық күші әрекетінен орындалатын тербелістегі энергия түрленуі

Ауырлық күші әрекетінен (сурет 5.11) дене оң 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 дене бір сәтке тоқтап ($v = 0$), кері бағытта қозғалыс жасай бастайды. B_1 нүктесінде дененің потенциалдық энергиясы ең үлкен шамаға жетеді ($h = h_{\max}$), ал кинетикалық энергия нөлге теңеледі:

$$E_n = mgh_{\max}; E_k = \frac{mv^2}{2} = 0.$$

Сөйтіп, жүйенің B_1 нүктедегі толық механикалық энергиясы тек потенциалдық энергиядан тұрады:

$$E = E_n + E_k = mgh_{\max}.$$

Бұдан кейін дене $t = T/4$ уақыт өткізіп, тепе-теңдік күйге сәйкес келетін O нүктесіне жетеді. Тербелістегі дененің бұл нүктедегі күйі синусоида қисығының 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 ($v = v_{\max}$):

$$E_n = 0; E_k = \frac{m(v_{\max})^2}{2}.$$

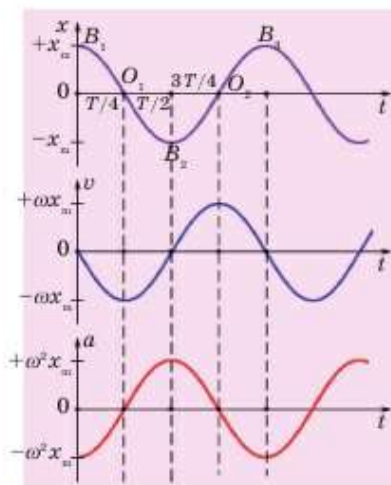
Сөйтіп, жүйенің O нүктедегі толық механикалық энергиясы тек кинетикалық энергиядан тұрады:

$$E = E_k + E_n = \frac{m(v_{\max})^2}{2}.$$

Дене қозғалысын жалғастырып, B_1 нүктеден есептегенде $t = T/2$ уақыт өткенде сол жақтағы ең шеткі B_2 ауытқу нүктесіне жетеді де, бір сәт тоқтап ($v = 0$), қайтадан кері бағытта қозғалыс жасай бастайды. Тербелістеі дене B_2 нүктеде ең үлкен $A = -x_n$ ауытқу жасайды. Дененің бұл нүктедегі күйіне синусоида қисығының да B_2 нүктесі 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 кемі береді де, кинетикалық энергиясы өсіп, тепе-теңдік 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 қайталайды. Міне, осылайша $F_a = mg$ ауырлық күшінің әрекетінен туындайтын синусоидалық тербеліс кезінде жүйенің механикалық энергиясы бір түрден екінші түрге алма-кезек ауысады:

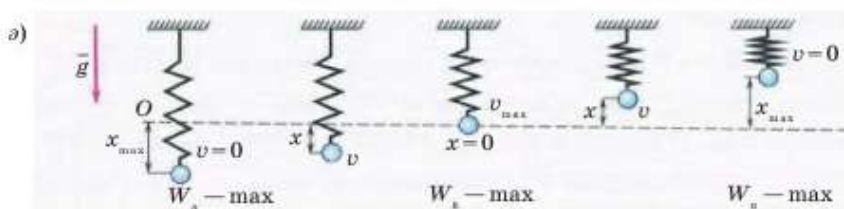
$$mgh_{\max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}.$$

2. $F_c = k|x|$ серпімділік күшінің (сурет 5.13) әрекетінен туындайтын



Сурет 5.12.
 $x(t)$, $v(t)$ және $a(t)$ шамаларының тербеліс графиктері

синусоидалық тербеліс кезінде де серіппенің E_n потенциалдық энергиясы мен дененің E_k кинетикалық энергиясы да бір-біріне түрленіп отырады:



Сурет 5.13. Серпімділік күші әрекетінен орындалатын тербелістердегі 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 энергияға және керісінше түрлене алады, алайда тұйық жүйелердегі механикалық энергия тұрақты сақталады:*

$$E = E_n + E_k = \text{const}.$$

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, ν жиіліктері де, ω циклдiк жиіліктері де бірдей мәндерді қабылдайды да, тек A амплитудалары мен ϕ фазалары ғана әртүрлі болып келеді. Мысалы, гармоникалық тербелістердегі x ауытқудың бастапқы фазасын $\phi_0 = 0^\circ$, ал амплитудасын A деп алсақ, онда тербелістің сәйкес уақыттағы ϑ 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 теңдеулері мына формулалармен сипатталады:

$$\begin{aligned} x(t) &= A \sin \omega t; \\ v(t) &= \omega A \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right); \\ a(t) &= \omega^2 A \sin (\omega t + \pi). \end{aligned}$$

Бұл формулалардан мынадай қорытындылар туындайды: біріншіден, графиктерде (сурет 5.12) көрсетілгендей, $x(t)$ синусоидасына қарағанда $v(t)$ синусоидасының бастапқы фазасы $\frac{\pi}{2}$ шамасына, ал $a(t)$ синусоида-

сының бастапқы фазасы π шамасына ығысып салынады; екіншіден, ығысудың A амплитудасына қарағанда жылдамдықтың амплитудасы ω есе артық ($A_v = \omega A$), ал үдеудің амплитудасы ω^2 есе артық ($A_a = \omega^2 A$); үшіншіден, циклдік жиіліктері (ω), меншікті жиіліктері (ν) 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 әрекет ететін тербелмелі жүйеде механикалық энергия қалай түрленеді? Энергия түрленулерінен қандай қорытынды туындайды?
2. Гармоникалық тербелістегі ауытқу мен жылдамдықтың теңдеулері қалай жазылады? Неге?
3. Гармоникалық тербелістегі үдеудің теңдеуі 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 шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Ығысу модулі амплитуданың жартысына тең болса, онда тербелістің фазасы қандай болады?

Берілгені
$x = \frac{1}{2} A$
$\varphi - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Тербелістің теңдеулерінің аналитикалық өрнектері берілмеген. Сондықтан тербелістің бастапқы фазасын $\varphi_0 = 0^\circ$ 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 $\varphi = \omega t$ деп белгілеп, соңғы теңдіктерден периодты функцияның екі түрі үшін φ_1 және φ_2 мәндерін табамыз.

Шешуі: $\frac{1}{2} = \sin \varphi_1$, немесе $\sin 30^\circ = \sin \varphi_1$; Олай болса, $\varphi_1 = 30^\circ = \frac{\pi}{6}$.

Толық тербеліс жасаған сайын бұған 2π қосылады.

$$\frac{1}{2} = \cos \varphi_2 \text{ немесе } \cos 60^\circ = \cos \varphi_2; \varphi_2 = 60^\circ = \frac{\pi}{3}.$$

Жауабы: $\varphi_1 = \frac{\pi}{6}$ т. с. с; $\varphi_2 = \frac{\pi}{3}$ т. с. с



Жаттығу 5.3

1. Тұрып қалған қабырға сағатының маятнигін тербеліске келтіру үшін оған потенциалдық энергияны және кинетикалық энергияны қалай беру керек?
2. Массасы 400 г жүк қатаңдығы 250 Н/м серіппеде тербеледі. Тербеліс амплитудасы 15 см. Тербелістің толық механикалық энергиясын және жүктің ең үлкен қозғалыс жылдамдығын анықтаңдар.
3. Қатаңдығы 0,4 кН/м серіппеге бекітілген массасы 640 г жүк теңе-теңдік күйінен 1 м/с жылдамдықпен өту үшін оны теңе-теңдік күйінен қандай қашықтыққа ауытқыту қажет?
4. Қатаңдығы 0,5 кН/м серіппеде тербеліп тұрған жүк тербеліс амплитудасы 6 см болғанда ең үлкен 3 м/с жылдамдықпен қозғалады. Жүктің массасы қандай?
5. Гармоникалық тербеліс $x = 0,3 \sin(\pi t + 0,5\pi)$ м теңдеуімен сипатталады. Мына тапсырманы орындаңдар: 1) тербелістің периоды, амплитудасын және бастапқы фазасын анықтаңдар; 2) қозғалыс жылдамдығы мен үдеуінің теңдеулерін құрыңдар; 3) гармоникалық тербеліс ауытқуының, жылдамдығының және үдеуінің графиктерін салыңдар.



§30.

МАТЕМАТИКАЛЫҚ ЖӘНЕ СЕРІППЕЛІ МАЯТНИКТЕРДІҢ ТЕРБЕЛІСТЕРІ

1. Тербелмелі жүйелердің қарапайым түрі – *математикалық маятник* (сурет 5.14). **Математикалық маятник** деп массасын елемеге болатын созылмайтын жіпке ілінген өлшемдері кішкентай денені айтады.

Маятниктердің қозғалысын бақылай отырып, Галилео Галилей мынадай эксперименттік заңдарды тағайындады:

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 түсу үдеуі (Жер үшін тұрақты шама).

Эксперимент нәтижесінен анықталған бұл өрнек Галилей формуласы деп аталады.

2. Маятниктің тербеліс периодының еркін түсу үдеуіне тәуелділігі тәжірибеде Жер бетінің өртүрлі нүктелеріндегі еркін түсу үдеуін дәл өлшеу үшін пайдаланылады. Мұндай құралдардың негізгі тетігі маятник болғандықтан, оларды *маятникті құралдар* деп атайды. Жер бетінің қажет аймағындағы еркін түсу 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 түсу үдеуі есептеледі. Еркін түсу үдеуін есептеу 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.

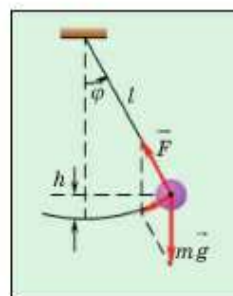
3. Енді серіппеге ілінген жүктің тербелісін (сурет 5.15) қарастырайық. Мұндай қарапайым тербелмелі жүйені *серіппелі маятник* деп атайды. Гюйгенс серіппелі маятниктерді эксперимент жүзінде зерттеп, олардың периодтарының мына формуламен анықталатынын тапты:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}, \quad (5.14)$$

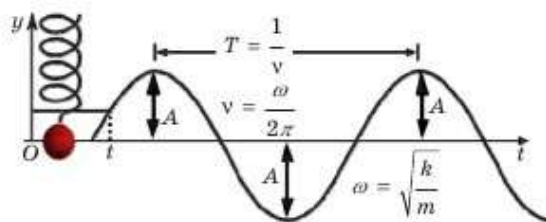
мұндағы m – тербелетін жүктің массасы; k – серіппенің қатаңдығы. Бұл формуланың дұрыстығын төмендегі теориялық зерттеулер де растайды.

Маятниктің серіппесі l ұзындыққа созылса немесе сығылса, онда денені тепе-теңдік күйіне қайтаратын F күші туындайды. Ұзару шамасы $|x| = |l - l_x|$ аз болса, онда бұл күш Гук заңы бойынша анықталады:

$$F = k|x|.$$



Сурет 5.14.
Математикалық маятник



Сурет 5.15. Серіппелі маятник тербелісі

Ньютонның 2-заңын пайдаланып, дененің қозғалыс теңдеуін былайша 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:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{\omega^2 r^2}{r} = \omega^2 r = \omega^2 |x|,$$

мұндағы: $v = \omega r$ – сызықтық жылдамдық; ω – бұрыштық жылдамдық; r – шеңбердің радиусы немесе тербелетін дененің тепе-теңдік күйінен ауытқуы ($r = |x|$).

Үдеулердің мәндерін теңестіріп, мына өрнекті аламыз:

$$\omega^2 |x| = \frac{k|x|}{m} \text{ немесе } \omega^2 = \frac{k}{m}; \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}.$$

Соңғы өрнекке бұрыштық жылдамдықтың ($\omega = \frac{2\pi}{T}$) мәнін қойып, серіппелі маятниктің тербеліс периоды анықтаймыз:

$$\frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}. \text{ Бұдан:}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Гюйгенс формуласынан көрініп тұрғандай, серпімділік күші әрекетінен болатын тербелістің периоды амплитудаға тәуелді болмайды. Сонымен, серіппелі маятниктің тербеліс периоды тек жүк массасы мен серіппенің қатаңдығына ғана 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 әрекет еткен дененің тербеліс периоды қандай шамаларға тәуелді?
5. Гюйгенс формуласының дұрыстығы теорияда қалай дәлелденеді?
6. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.



Ғылым мен техниканың даму тарихынан



Галилео Галилей
(1564–1642)



Христиан Гюйгенс
(1629–1695)

Жіпке 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 заңдарының бірі болып табылады. Аңыз бойынша Галилей бұл жаңалықты шіркеудегі шырақтың шайқалуын бақылай отырып ашқан екен. Сағат ретінде ол өз тамырының соғуын пайдаланған көрінеді. Құлшылық ету кезінде ол шырақтың тербеліс құлашының біртіндеп кішірейетінін, яғни тербеліс амплитудасының азаятынын, бірақ периодтың өзгермей қалатынын байқаған. Галилей маятниктің тербеліс периодының оның амплитудасына тәуелді болмайтынын тәжірибе жүзінде дәлелдей отырып, маятниктерді уақыт өлшеуші ретінде сағаттарда пайдаланды 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 *изохрондылық* (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 серіппелі маятниктің тербеліс периоды мына формуламен анықталады:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (1)$$

Тербеліс жиілігі периодқа кері шама: $v = \frac{1}{T}$. (2)

Серіппенің қатаңдығы Гук заңы бойынша табылады: $F = k|\Delta x|$; $k = \frac{F}{\Delta x}$, мұндағы серпімділік күшінің модулі ауырлық күшінің модулі-

не тең: $F = F_a = mg$. Ендеше, $k = \frac{mg}{\Delta x}$; $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{\frac{mg}{\Delta x}}} = 2\pi\sqrt{\frac{\Delta x}{g}}$.

(2) теңдіктен $v = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{\Delta x}{g}}}$.

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



1. Екі математикалық маятниктердің периодтарының қатынасы $3/2$ -ке тең болса, онда бірінші маятниктің жібінің ұзындығы екіншісінен неше есе артық?
2. Маятниктің Жер бетіндегі тербелісінің периоды 1 с. Оның Ай бетіндегі тербелісінің периоды қандай болады?
3. Қатаңдығы 250 Н/м серіппеге бекітілген жүк 16 с-та 20 тербеліс жасайды. Жүктің массасы қандай?
4. Ұзындығы 37 см ширатылған резеңкенің қатаңдығын анықтау үшін оған массасы 100 г жүк ілген. Егер резеңке 90 см-ге ұзарса, онда оның қатаңдығы мен тербеліс периоды қандай болғаны?
5. Жер бетінен 30 м/с² үдеумен көтерілетін зымыранға орнатылған маятниктің периоды неше есе өзгереді?

№3 зертханалық жұмыс

Математикалық маятниктің көмегімен еркін түсу үдеуін анықтау

Жұмыстың мақсаты: математикалық маятниктің тербеліс периодының

$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ формуласы бойынша еркін түсу үдеуін анықтау.

Ол үшін тербеліс периоды мен маятниктің ұзындығын өлшеп алу қажет. Сонда жоғарыдағы формуладан еркін түсу үдеуін табуға болады:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}.$$

Құрал-жабдықтар: секундтық тілі бар сағат, өлшеуіш таспа, саңылауы бар шар, жіп, қысқышы мен сақинасы бар тұрғы (штатив).

Жұмысты орындау: 1. Штативті үстелдің шетіне орнатыңдар. Оның жоғарғы жағына қысқыш арқылы сақина бекітіп, оған жіпке байланған жүкті іліңдер. Жүк еденнен 3–5 см жоғары тұруы керек.

2. Маятникті тепе-теңдік күйінен 5–8 см-ге ауытқытып, еркін жібере салыңдар.

3. Маятниктің ұзындығын өлшеуіш таспамен өлшеп алыңдар.

4. N тербеліс жасауға кеткен Δt уақытты өлшеңдер.

5. Уақытты қайтадан өлшеп (төжірибе шартын өзгертпей), оның орташа $\Delta t_{\text{орт}}$ мәнін табыңдар.

6. Уақыттың $\Delta t_{\text{орт}}$ орташа мәні бойынша тербеліс периодының $T_{\text{орт}}$ орташа мәнін анықтаңдар.

7. $g_{\text{орт}} = \frac{4\pi^2 l}{T_{\text{орт}}^2}$ формуласы бойынша еркін түсу үдеуінің $g_{\text{орт}}$ орташа мәнін есептеп шығарыңдар.

8. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге жазыңдар.

Төжірибе нөмірі	l , м	N	Δt , с	$\Delta t_{\text{орт}}$, с	$T_{\text{орт}} = \frac{\Delta t_{\text{орт}}}{N}$	$g_{\text{орт}}$, м/с ²
1		30				
2		40				
3		50				

9. Еркін түсу үдеуінің әртүрлі тербеліс санында алынған $g_{\text{орт}}$ орташа мәнін $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ мәнімен салыстырыңдар.

10. Математикалық маятниктің ұзындығы өскен сайын периодының да $T \sim \sqrt{l}$ немесе $T^2 \sim l$ заңдылығына сәйкес өсетініне көз жеткізіңдер. Ол үшін төмендегі кестеде көрсетілген ұзындықтар мен тербеліс санына сәйкес келетін периодты экспериментте анықтап, кестені толтырыңдар.

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, $T \sim \sqrt{l}$ немесе $T^2 \sim l$ тәуелділігінің графигін декарттық координаталар жүйесіне салып, қорытынды жасаңдар.

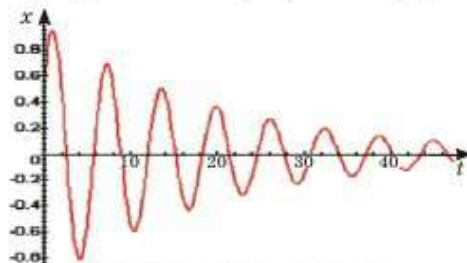
§31.

**ЕРКІН ЖӘНЕ ЕРІКСІЗ ТЕРБЕЛІСТЕР.
РЕЗОНАНС**

1. **Еркін тербелістер деп дене тепе-теңдік күйінен шығарылған соң сыртқы күштің әрекетінсіз тек ішкі күштердің әрекетімен орындалатын тербелістерді айтады.**

Алдыңғы тақырыпта қарастырған тербеліс периодтарының формулалары тек еркін тербелістерді сипаттайды. 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 кемиді 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. Сондықтан өшетін тербелістер үшін гармоникалық еркін тербелістердің заңдары мен формулаларын қолдануға болмайды.



Сурет 5.16. Өшетін тербеліс

2. Еріксіз тербелістер. Тербелісті өшпейтін ету үшін үйкелісті жеңуге кететін энергияны толықтырып отыру қажет. Тербелмелі жүйенің энергиясын оған сыртқы периодты түрде өзгеріп отыратын күшпен әрекет ету арқылы толықтыруға болады. Жүйенің энергиясы осы сыртқы күш жұмысының есебінен толығып отырады. Тербелістерді тудырушы периодты түрде өзгеріп отыратын сыртқы күшті *мәжбүр етуші* күш деп атайды да, оның туғызған тербелісін *еріксіз тербеліс* дейді.

Еріксіз тербелістер деп сыртқы периодты күштің әрекетінен туындайтын тербелістерді айтады.

3. Периодты күштің тербелмелі жүйеге әрекеті. Тербелмелі жүйенің өзіне тән меншікті тербеліс периоды болады, ал сыртқы күш оған басқа периодпен әрекет етуі мүмкін. Сонда *сыртқы күш әрекет ететін тербелмелі жүйенің қозғалыс периоды қандай болмақ?* деген сұрақ туындайды.

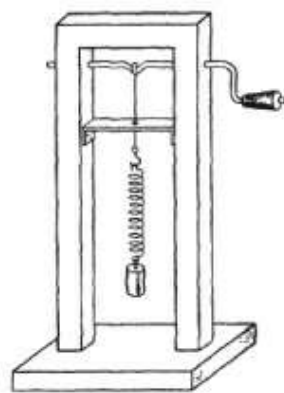
Сұраққа жауап алу үшін тәжірибеге жүгінейік. Тербелмелі жүйе ретінде серіппеге бекітілген жүкті гармоникалық тербелістер алуға арналған механизмнің жібіне ілеміз (сурет 5.17). Тұтқаны бірқалыпты айналдыра бастасақ, жүктің қозғалысы алғашқыда күрделі болады. Бірақ бірнеше айналымнан кейін жүктің периодты қозғалыс жасай бастағанын көреміз. Бұл кезде тұтқаны қандай жылдамдықпен айналдырсақ та, жүктің орныққан тербелісі тұтқаның айналу периодына тең периодпен жүзеге асады. Тәжірибеден мынадай қорытынды жасауға болады.

1) *Периодты күш әрекет ететін тербелмелі жүйеде периодты қозғалыс орнығады. Орнықты периодты қозғалыс кезінде сыртқы периодты күштің жиілігі мен жүйенің ω_0 меншікті тербеліс жиілігі теңеледі ($\omega_{\text{сырт.}} = \omega_0$). Мұндай қозғалысты 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.

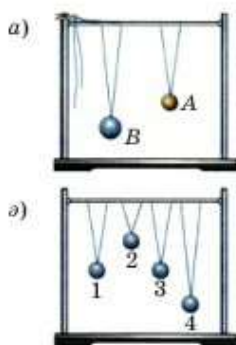
Горизонталь арқалыққа немесе жіпке екі маятник ілеміз (сурет 5.18 а). Мұндағы А маятнігінің ұзындығы өзгермейді. Ал В маятнігінің ұзындығын жіптің бос ұшын әрлі-бәрлі қозғай отырып өзгертуге болады. В маятніктің ұзындығын осылайша азайта отырып, оның тербеліс жиілігін өзгертуге болады. Сонда осы мәжбүр етуші күштің жиілігі А маятник тербелісінің меншікті жиілігіне жақындағанда (маятниктердің ұзын-



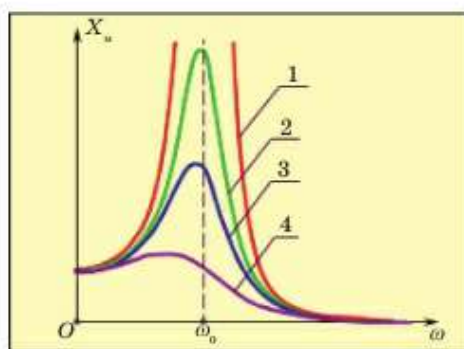
Сурет 5.17.
Тербелістер аспабы

дықтары теңелгенде), *A* маятниктің тербеліс амплитудасы кенет артып кетеді. *Сыртқы мәжбүрлеуші күштің жиілігі тербелмелі жүйенің меншікті жиілігіне жақындағанда оның амплитудасының кенеттен арту құбылысы резонанс деп аталады.*

Төжірибені арқалыққа ілінген үш одан кейін төрт маятникпен жалғастыруға болады (сурет 5.18, *ә*). Егер мәжбүрлеуші күштердің жиіліктері әртүрлі 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-маятникінің ұзындығын 4-маятниктің ұзындығына жақындататын болсақ, онда резонанс құбылысы орын алып, жүйе тербелісінің *x* ауытқуы өсе бастайды (сурет 5.19 – графиктің оң жақ бөлігіндегі көк сызық). Бұдан кейін 2-маятниктің ұзындығын, 3-маятник және 4-маятниктердің ұзындығына жақындатсақ, жүйе тербелісінің ауытқуы одан сайын арта түседі (графикте жасыл сызық). Ең соңында тербелістері



Сурет 5.18.
Маятниктер



Сурет 5.19. Еріксіз тербеліс амплитудаларының мәжбүрлеуші күштердің жиіліктеріне тәуелділігін сипаттайтын график

4 маятниктің де ұзындықтары бірдей болғанда, яғни жиіліктері ω_0 шамасына жеткенде ауытқудың шамасы күрт өседі де (қызыл сызық), маятниктер байланған штативті теңселтіп құлатуға әкеледі. Бұдан сыртқы күштердің жиіліктері жүйенің меншікті жиілігімен теңелгенде ($\omega_1 = \omega_2 = \omega_3 = \omega_0$) резонанс құбылысының орын алатындығын көреміз.

5. Резонанстың пайдасы да, зияны да бар. Пайдалы болған кезде оны арттыруға тырысады. Мысалы, жол құрылысында, үйдің іргетасын құйғанда, құйматасты (бетонды) немесе сусыма нәрселерді тығыздау үшін арнайы вибратор-тығыздағыштар пайдаланылады. Ал резонанстың зиянды жақтарын болдырмау үшін әртүрлі шаралар қолданылады. Мысалы, аяқтарын бірдей жиілікпен басып, сап түзеп келе жатқан сарбаздар

шеруі қандай да бір көпірден өтер кезде «еркін жүріс» деген бұйрық беріледі. Еркін жүріс кезінде әр сарбаздың аяқ алысының 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 шаралар жасалады.



Сұрақтар

1. Еркін тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
2. Үйкеліс күші тербеліс амплитудасын неліктен азайтады?
3. Неліктен өшетін тербелістерді гармоникалық тербелістер деп атауға болмайды?
4. Еріксіз тербелістер деп қандай тербелістерді айтады?
5. Еріксіз тербелістердің амплитудасының мәжбүрлеуші күштердің жиілігінің өзгерісіне тәуелділігін қалай көрсетуге болады?
6. Қандай құбылысты резонанс деп атайды?
7. Резонанстың пайдалы және зиянды әсеріне мысал келтіріңдер және оны жою әдістерін сипаттаңдар.
8. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару 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
$n_1 = 50$	$\Delta l = 0,32 \text{ м}$
$n_2 = 30$	
$\Delta l = l_1 - l_2 =$ $= 32 \text{ см}$	
$t_1 = t_2$	
$l_1 - ?, l_2 - ?$	

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: $T = \frac{t}{n}$, мұндағы

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 $l_1 = \frac{n_2^2 \cdot \Delta l}{n_1^2 - n_2^2}$. (4)

Шешуі: (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

1. Массасы 100 г жүк жиілігі 2 Гц болатын тербеліс жасайды. Серіппенің k қатаңдығын табыңдар.
2. 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.
3. Қатаңдығы 16 Н/м серіппеге ілінген массасы 200 г дене горизонталь жазықтықта 2 см амплитудамен тербеледі. Дене тербелісінің циклдік жиілігін және жүйенің энергиясын анықтаңдар.



Эксперименттік тапсырма

1. Секундтық тілі бар сағаттың көмегімен өткеншектің тербеліс периодын анықтаңдар. Өткеншектің тербеліс периодын өуелі онда кішкентай

бүлдіршін отырған жағдай үшін, одан кейін жасөспірім бала отырған жағдай үшін анықтаңдар. Тербеліс периодтарының алынған мәндерін салыстырыңдар.

2. Қолдарыңда бар резеңке жіптің қатаңдық коэффициентін анықтаңдар. Өздеріңе белгілі формула бойынша резеңке жіпке ілінген массасы белгілі жүктің тербеліс периодын есептеп шығарыңдар. Содан кейін осы маятниктің тербеліс периодын анықтауға арналған тәжірибе жасаңдар да, алынған нәтижені есептеу нәтижесімен салыстырыңдар.

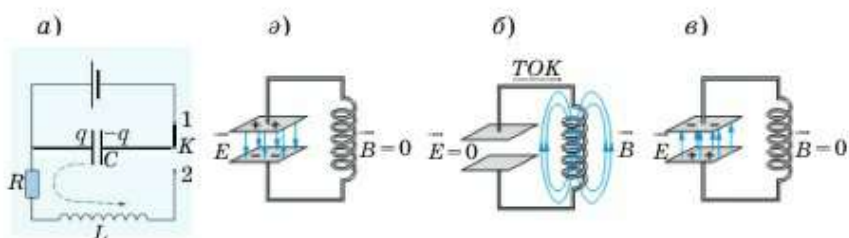
§32.

ЕРКІН ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТЕРБЕЛІСТЕР

1. 8-сынып физикасында (§4) денелердің ішкі энергиясын өзгертудің бір жолы *сәуле шығару* немесе *сәулені жұту* деген едік. Сәулелердің *электрмагниттік толқындық* табиғатымен жоғары сыныптарда танысасыңдар 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, жиілік, 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) $\pm q$ зарядтармен зарядталған астарларының арасында кернеулігі \bar{E} *электр өрісін* туғызатын сыйымдылығы C *конденсатордан* және бойынан I ток өткенде төңірегінде индукциясы \bar{B} *магнит өрісін* туғызатын индуктивтілігі L *шарғыдан* тұрады (сурет 5.20).



Сурет 5.20. Электрмагниттік тербелмелі жүйе (тербелмелі контур)

Сыйымдылығы C электр конденсаторы мен индуктивтілігі L шарғыдан тұратын электрмагниттік жүйені тербелмелі контур деп атайды.

Халықаралық бірліктер жүйесінде конденсатордың сыйымдылығы **фарадпен** (Φ), ал шарғының индуктивтілігі **генримен** (Γ) өлшенетінін білеміз.

Электрмагниттік тербеліс деп тербелмелі контурда пайда болатын электр және магнит өрістерінің периоды (немесе шамамен периоды) түрде өзгеріп отыруын айтады.

2. Электрмагниттік 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 тұжырымдады.

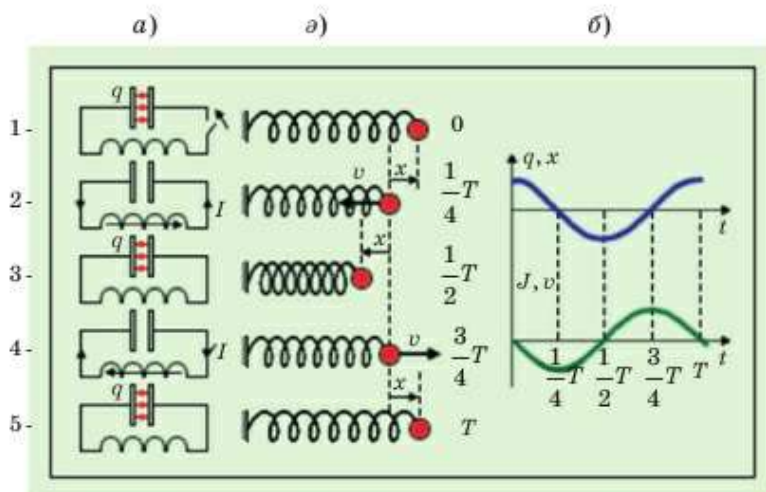
Электрмагниттік тербеліс периодының квадраты тербелмелі контурдағы конденсатордың сыйымдылығына және шарғының индуктивтілігіне тура пропорционал болады:

$$T^2 = (2\pi)^2 LC.$$

Томсон формуласы деп аталатын бұл өрнекті мына түрде де жаза аламыз:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \tag{5.15}$$

3. Енді кедергі күштері әрекет етпейтін тұйық механикалық және электрмагниттік жүйелерді өзара салыстыра отырып, тербелмелі контурда пайда болатын электрмагниттік тербелісті сипаттайық. Ол үшін тербелмелі контурдың конденсаторын тұрақты ток көзіне кілтпен қосып (сурет 5.20, а), зарядтап алайық. Сонда оның астарлары $\pm q$ зарядтармен зарядталады да, олардың арасында кернеулігі E электр өрісі пайда болады (сурет 5.20, ә және 5.21, а, 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. Электрмагниттік және механикалық тербелістер жүйелері

астарларының арасындағы *потенциалдар айырымы кернеу* деп аталатынын білеміз. Тербелмелі контурдағы бұл құбылыс механикалық тербелістегі серіппені сыртқы күштің әрекетінен x аралығына созып (сурет 5.21, а, 1-), оған $W_a = kx^2/2$ потенциалдық энергия бергенге ұқсайды.

Бұдан кейін серіппені сыртқы күштен айырып, конденсаторды да ток көзінен ажыратып, шарғыға қосамыз да, тербелмелі контур мен серіппелі маятникті өз еріктеріне жібереміз (сурет 5.21, 2-). Сөйтіп, ешқандай кедергі жоқ болса, электрмагниттік жүйе де (сурет 5.21, а), механикалық жүйе де (сурет 5.21, б) еркін гармоникалық тербеліс жасай бастайды (сурет 5.21, в).

2-жағдайда электрмагниттік тербелмелі жүйенің конденсаторындағы зарядтар қарама-қарсы қозғалып, электр контурында сағат тілі жүрісінің қарсы бағытымен I ток жүреді де, шарғыда магнит өрісі пайда болады (сурет 5.20, б және сурет 5.21, а, 2-). Сөйтіп, $t = T/4$ 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 дененің $W_k = m\vartheta^2/2$ кинетикалық энергиясына ауысады (сурет 5.21, а, 2-).

3-жағдайда, 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), сөйтіп олардың қозғалысы бір сәтке тоқтайды. Бұл кезде конденсатор астарларының арасында бұрынғы өріске қарама-қарсы электр өрісі пайда болады ($\vec{E} = \vec{E}_m$; $W_E = CU^2/2$), ал шарғының магнит өрісі нөлге теңеледі ($\vec{B} = 0$; $W_B = LI^2/2 = 0$). Сол сияқты серіппеге бекітілген жүк те бір сәтке тоқтап ($\theta = 0$), кинетикалық энергиясы толығымен серіппенің $W_n = kx^2/2$ потенциалдық энергиясына ауысады (сурет 5.21, а, 3-).

4-жағдайда, яғни $t = 3T/4$ уақыт өткенде 2-жағдайда сипатталған құбылыс кері бағытта қайталанаяды. Зарядтардың орын ауыстырулары кезінде тербелмелі контурда I электр тогы бұрынғы бағытына қарама-қарсы бағытта жүріп (сурет 5.21, а, 4-), конденсатордағы электр өрісінің кернеулік векторы нөлге теңеледі ($E = 0$; $W_E = CU^2/2 = 0$), оның есесіне шарғыдағы магнит өрісінің индукция векторының шамасы максимум өседі ($B = -B_m$; $W_B = LI^2/2$). Осыған ұқсас құбылыс механикалық жүйеде де орын алады: серіппенің потенциалдық энергиясы кері бағытта қозғалған дененің $W_n = m\theta^2/2$ кинетикалық энергиясына толығымен ауысады (сурет 5.21, а, 4-).

5-жағдайда, яғни бір периодқа тең уақыт өткенде ($t = T$) 3-жағдайда сипатталған құбылыс кері бағытта қайталанаяды да, электромагниттік тербелмелі жүйе мен механикалық тербелмелі жүйе ең алғашқы күйлеріне қайта оралады. Міне, осылайша тербеліс екі жүйеде де периодты қайталанып, жалғаса береді. Мұндай периодты қайталанып отыратын тербелістердің графиктері синусоидалық қисықтармен бейнеленеді (сурет 5.21, б).

Сонымен, еркін электромагниттік тербеліс деп сыртқы ортамен энергия алмаспайтын тұйық тербелмелі электр контурында пайда болатын электр және магнит өрістерін сипаттайтын шамалардың тербелістерін айтады.

4. Біз жоғарыда электромагниттік және механикалық жүйелердегі тербелістерді сипаттағанда оларға әрекет ететін кедергі күштерін ескермедік. Алайда абсолют тұйық жүйе өмірде де, табиғи ортада да кездеспейді. Сондықтан механикалық тербеліс жүйелерінде олардың механикалық энергиялары үйкеліс күштерін жеңу 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) жоққа шығара алмаймыз. Мұндай шынайы жағдайда тербелмелі контурда алма-кезек пайда болатын электр өрісі мен магнит өрісінің энергиялары

да тізбектегі кедергіде бөлінетін Джоуль–Ленц жылуына шырындалады. Сөйтіп, сырттан энергия толықтырылып отырмаса, тербелмелі контурдағы 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. Төмендегі 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?

<i>Берілгені</i>	<i>ХБЖ бойынша</i>
$C = 2 \text{ мкФ}$ $\nu = 1000 \text{ Гц}$	$C = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$
$L - ?$	

Есеп мазмұнын талдау

Контурдағы электромагниттік тербелістер периоды Томсон формуласымен анықталады:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \tag{1}$$

$$\text{Тербеліс жиілігі } \nu = \frac{1}{T} \tag{2}$$

$$(1) \text{ мен } (2) \text{ өрнектерден: } \frac{1}{\nu} = 2\pi\sqrt{LC}; \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{3}$$

Соңғы теңдеудің екі бөлігін де квадраттап, контурдың индуктивтілігін анықтаймыз: $\nu^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$; Бұдан $L = \frac{1}{4\pi^2 \nu^2 C}$.

$$\text{Шешуі: } L = \frac{1}{4 \cdot (3,14)^2 \cdot (1000 \text{ Гц})^2 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}} = 12,66 \cdot 10^{-3} \text{ Гн} = 12,66 \text{ мГн.}$$

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.

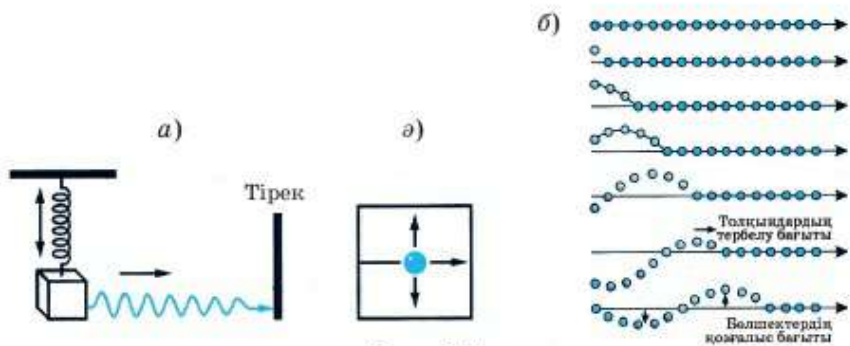
ТОЛҚЫНДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС

1. Толқындық қозғалыс. Өткен тарауда біз жеке тербелмелі жүйелердегі тербелістерді қарастырдық. Алайда дене тербелетін ортада қандай құбылыс орын алатыны қарастырылмады. Өрине, ортаның 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 жанжағына қарай кеңейе отырып, тастың түскен жерінен алыстай бастайды. Біріншіден кейін екінші, содан соң үшінші т.с.с. өркештер пайда болады. Өркештер бір-бірінен ойыстармен бөлінеді. Су бетінде байқалған бұл процесс *толқындық қозғалыс* болып табылады. Мұндағы ең маңызды ерекшелік – су толқынмен бірге ығыспайды. Расында 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 ортаның қандай да бір жерінде оның бөлшектерінің тербелісін тудырса, онда тербеліс осы ортада v жылдамдықпен тарала бастайды. Тербелістің серпімді ортада таралуына бір ұшы вертикаль тірекке бекітілген ұзын жіп мысал бола алады (сурет 5.23, а). Жіптің екінші ұшы серіппеге ілінген жүкке жалғанып, оның көмегімен тербелмелі қозғалысқа келтіріледі. Бұл кезде жіп бойымен тербелістер тарай бастайды, яғни толқындық қозғалыс туындайды.

Серіппенің тербелісі кезінде жіптің бірінші бөлшегі (түсінуге оңай болу үшін оны біреу деп есептейік) тепе-теңдік күйінен шығып, серіппеге ілінген жүк сияқты онымен ілесе жоғары-төмен тербеле бастайды (сурет 5.23, ә). Жіптің осылай деформациялануы кезінде туындайтын серпімділік күші әрекетінен бірінші бөлшектен кейін кезекпен жіптің келесі бөлшектері де тербеледі (сурет 5.23, б). Олардың әрқайсысы бір-бірінен кешеуілдеп жоғары-төмен ауытқып, өзінің тепе-теңдік күйінің айналасында тербеліс жасайды. Бөлшектердің кешігуі олардың арасында серпімділік күштерінің пайда болуына белгілі бір уақыттың қажет болуынан туындайды. Сондықтан жіптің келесі бөлшектері алдыңғыларына қарағанда кешігіп тербеледі.

Тербелістердің серпімді ортаның бір бөлшегінен келесі бөлшегіне беріліп таралу процесі механикалық толқын деп аталады.

3. Ортаның бөлшегі тербеліс жасауы үшін оған энергия берілуі қажет. Бұл энергия толқын көзінен немесе тербелмелі қозғалыс жасап тұрған көршілес бөлшектерден беріледі. Толқынмен бірге бір бөлшектен екінші көршілес бөлшекке тербелмелі қозғалыс күйі және оның энергиясы ғана беріледі. Сондықтан барлық толқындардың маңызды қасиетіне олардың табиғатына тәуелсіз бөлшектерді емес, энергияны тасымалдауы жатады.

Сонымен, толқын тек энергияны ғана тасымалдайды.

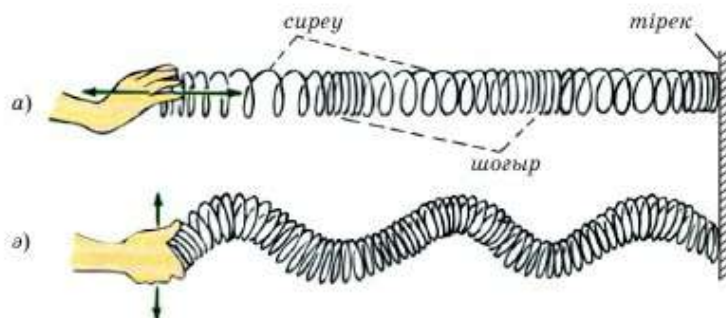
4. Көлденең толқындар. Біз қарастырған мысалдардағы толқындар *көлденең толқындар* деп аталады, өйткені орта бөлшектері толқынның таралу бағытына перпендикуляр бағытта тербеледі (сурет 5.23, *ә* және *б*).

Көлденең толқын деп бөлшектерінің тербелісі толқынның таралу бағытына перпендикуляр болатын толқынды айтады.

Көлденең толқындар серпімділік күштері әрекетінен ғана туындайды. Мұндай қасиет тек қатты денелерге ғана тән. Сұйықтар мен газдарда олардың аққыштығы салдарынан қабаттардың ығысуы кезінде серпімділік күштері пайда болмайды.

Алайда біз жоғарыда сұйық бетінде де көлденең толқындар пайда болуы мүмкін екенін қарастырдық. Бірақ олар серпімділік күші әрекетінен емес, ауырлық және беттік керілу күштері әрекетінен туындайды, сондықтан да оларды кейде *гравитациялық толқындар* деп те атайды.

5. Бойлық толқындар. Егер толқын тарайтын ортаның 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 *шоғырланулардан* тұратын толқын жүгіріп өтеді. Ал вертикаль бағытта соққы жасасақ (сурет 5.24, *ә*), онда көлденең толқын пайда болады.



Сурет 5.24. *а*) бойлық, *ә*) көлденең толқындар

Бөлшектерінің тербелісі толқынның таралу бағытында жүзеге асатын толқынды бойлық толқын деп атайды.

Бойлық толқындарды *қума* 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 кемиді. Өрбір көршілес шоғырланулардың

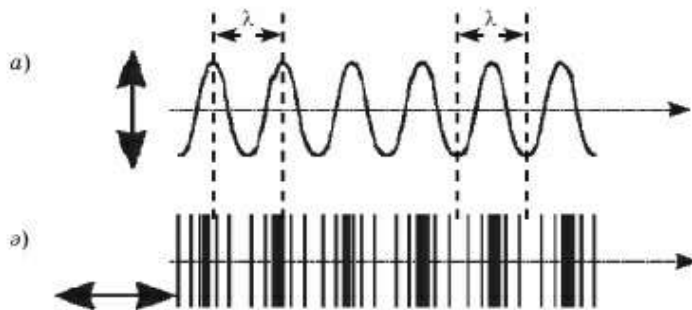
арақашықтығы көршілес сиреулердің арақашықтығындай болады және бұл қашықтық λ толқын ұзындығына тең (сурет 5.25).

Толқын жылдамдығын жиілікпен және толқын ұзындығымен байланыстыратын көлденең толқынға қатысты формула бойлық толқын үшін де жарамды. Бойлық толқын кез келген газ тәрізді, сұйық, қатты орталарда пайда болып, таралады. Өйткені осы орталардың бәрінде сығылу немесе созылу кезінде көршілес қабаттардың арасында әрекет ететін серпімділік күші пайда болады.

6. Толқын ұзындығы. Қарапайым гармоникалық немесе синусоидалық толқындар практикалық жағынан маңызды болып табылады. Олар бөлшектер тербелісінің T периодымен, ν жиілігімен және λ толқын ұзындығымен сипатталады. Толқынның маңызды сипаттамаларының біріне толқын ұзындығы жатады.

Толқын ұзындығы деп бір периодқа тең уақыт аралығындағы толқынның тараған арақашықтығын айтады.

Төмендегі көріністе көршілес екі өркештің (немесе ойыстың) арақашықтығы λ толқын ұзындығымен сәйкес келеді (сурет 5.25).



Сурет 5.25: а) көлденең, ә) бойлық толқындардың таралуы

7. Толқынның таралу жылдамдығы. Механикалық толқын серпімді ортада таралатындықтан, оның таралу жылдамдығы ортаның қасиетіне байланысты. Толқынның бір ортадан екінші бір ортаға өтуі кезінде оның жылдамдығы өзгереді, ал біртекті ортада белгілі бір тұрақты v жылдамдықпен тарайды.

Толқын жылдамдығы деп толқын ұзындығының периодқа қатынасын айтады.

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (5.16)$$

Ал T тербеліс периоды ν тербеліс жиілігімен $T = \frac{1}{\nu}$ қатынасы арқылы байланысқан, ендеше толқын жылдамдығы мына өрнекпен де анықталады: $v = \lambda \nu$.

8. Сейсмикалық толқындар. Үлкен ауқымдағы қатты денелердегі толқындық қозғалысқа жер сілкінісі кезіндегі тербелістердің таралуы жатады.

Жер сілкіну ошағынан немесе қандай да бір күшті жарылыстардан кейін Жер астында таралатын толқындар сейсмикалық толқындар деп аталады.

Жер негізінен қатты болғандықтан, онда толқындардың екі түрі – көлденең және қума толқындар бір мезгілде тарала алады. Бұл толқындар өртүрлі жылдамдықпен таралады. Мысалы, 500 км тереңдікте сейсмикалық көлденең толқындардың жылдамдығы ≈ 5 км/с, ал қума толқындардың жылдамдығы ≈ 10 км/с. Жер сілкіну ошағынан алыс орналасқан байқау стансысы алдымен бойлық, ал кейінірек көлденең толқындарды қабылдайды.

Жер сілкіну ошағынан келген тербелістерді тіркейтін *сейфсмограф* 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 (Рихтер шкаласы бойынша) 9–10 балдық, екі рет 7–8 балдық, жүзден астам 6 балл шамасындағы жер сілкінісі болды. 6–7 балдық жер сілкінісінің 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? Сұйықтарда негізінен бойлық толқындар туындайды деген қағида сұйықтың 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 айдынындағы 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 есептеңдер.

Берілгені
$t = 10 \text{ с}$
$N = 3 \text{ өркеш}$
$v = 2 \text{ м/с}$
$\lambda - ? \quad v - ?$

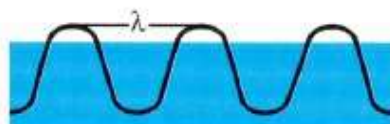
Есеп мазмұнын талдау

Толқын ұзындығы

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} \tag{1}$$

формуласымен анықталады, мұндағы v – толқын жылдамдығы, $\nu = 1/T$ – 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



Сурет 5.26

$T = \frac{t}{n_2}$ өрнегімен анықталады.

Шешуі: $\nu = \frac{1}{T} = \frac{n_2}{t}$; $\nu = \frac{2}{10 \text{ с}} = 0,2 \frac{1}{\text{с}} = 0,2 \text{ Гц}$; $\lambda = \frac{2 \text{ м/с}}{0,2 \text{ Гц}} = 10 \text{ м}$.

Жауабы: $\lambda = 10 \text{ м}$; $\nu = 0,2 \text{ Гц}$.



Жаттығу 5.7

1. Су айдынына тас тастағанда толқындар пайда болды. Су бетінде қалқып жүрген кішкене дене 15 с ішінде 6 рет жоғары көтеріліп, төмен түсті. Егер толқын өркештерінің арақашықтығы бір-бірінен 40 см қашықтықта болса, онда су айдынында тарайтын толқын жылдамдығы неге тең болады?
2. Теңіз бетіндегі қатар екі толқынның арақашықтығы 4 м. Толқында тербелген қайық тербелісінің периоды 1,5 с. Толқын жылдамдығы неге тең?
3. Серпімді жіпті бойлай 20 м/с жылдамдықпен көлденең толқындар таралады. Тербеліс периоды 0,5 с. Толқын ұзындығы қандай?

№4 зертханалық жұмыс

Беттік толқындардың таралу жылдамдығын анықтау

Жұмыстың мақсаты: судағы беттік толқындардың таралу жылдамдығын анықтау.

Құрал-жабдықтар: зертханалық жұмыстарға арналған ұзындығы 0,5–1 м болатын кең ыдыс, қалтқы, пластилин, секундтық бөліктері бар сағат немесе секундомер, сызғыш.

Жұмысты орындау.

1. Ыдысты үстел үстіне қойып, оның ішіне су құйыңдар.

2. Ыдыс ернеуінің бір шетіне қалтқы салыңдар, ал оның қарсы шетінен су бетіне кішірек тасты тастап жіберіңдер.

3. Осы кезде пайда болатын толқулардың қалтқыға дейін таралу уақытын өлшеңдер.

4. Мұндай тәжірибені бірнеше рет қайталап, толқынның l қашықтыққа тарайтын уақытының орташа мәнін анықтаңдар.

5. Толқынның таралу жылдамдығын есептеңдер.

6. Алынған нәтижелерді кестеге жазыңдар.

Тәжірибе реті	Уақыт t, c	Уақыттың орташа мәні $t_{ор}, c$	Қашықтық, $l, м$	Толқын жылдамдығы, $v, м/с$
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 әсерін 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 аталады. Бұл дыбыстарды адам құлағы 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 бөлшектері жоқ. Өдетте, дыбыс біздің құлағымызға 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

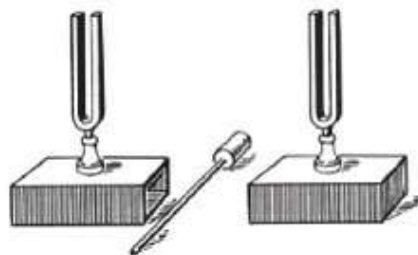
бағытында орта бөлшектерін ығыстырады, сөйтіп ол жерде ауа тығыздалады. Ауа молекулалары арасындағы серпімділік күштерінің әрекетінен тығыздалу аймағы сиреу аймағына алмасады. Осылайша тығыздалу мен сиреу құбылыстары қайталана отырып, ауада бойлық дыбыс толқындары тарайды.

2. Қарапайым бақылаулар дыбыс әртүрлі ортада белгілі бір жылдамдықпен таралатынын көрсетеді. Дыбыстың таралу жылдамдығы зат бөлшектері бір-бірімен күштірек байланысқан орталарда үлкенірек болады, өйткені ондай орталардың деформациясы кезінде туындайтын серпімділік күштері де үлкен мәнге ие болады. Мысалы, ауада дыбыс 340 м/с жылдамдықпен тарайды. Ал суда дыбыс ауадағыға қарағанда шамамен 4,5 есе тез тарайды. Қатты денелерде дыбыс одан да ұшқыр 6000 м/с-қа жуық жылдамдықпен тарайды.

Дыбыс ауада баяуырақ таралатындықтан, найзағай жарқылынан соң күннің күркіреуі кейінірек естіледі. Найзағай жарқылы мен күн күркіреуі бір мезгілде болады. Жарық аса зор 300 000 км/с жылдамдықпен тарайды, сондықтан найзағай жарқылын біз сол мезетте-ақ көреміз, ал күннің күркіреуі бізге сәл кешігіңкіреп жетеді.

3. Дыбысты сипаттау үшін дыбыс қаттылығы, дыбыстық тонның биіктігі, тембр сияқты арнайы физикалық шамалар енгізіледі.

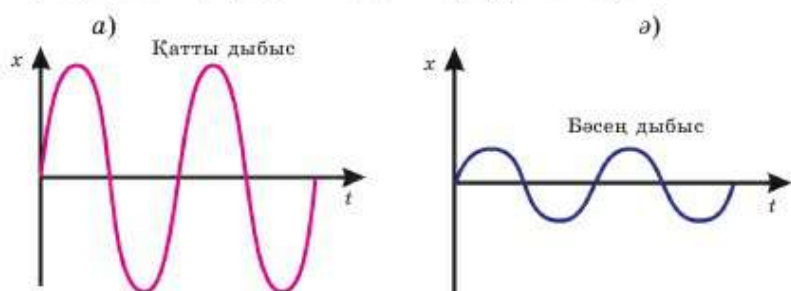
Дыбыстың қаттылығын анықтау үшін камертонды пайдаланады. **Камертон** – екі ашалы айыр тәрізді металдан жасалған аспап (сурет 5.28).



Сурет 5.28. Камертондар

Камертондардың немесе басқа гармоникалық тербеліс жасайтын денелердің шығаратын дыбыстары **музыкалық дыбыстар** деп аталады.

Камертонның бір тармағын таяқшамен ұрсақ, екі тармағы да тербеліп, қоршаған ауада дыбыс толқынын тудырады. Өдетте мектеп камертондары бірінші октаваның «ля» нотасына сәйкес келетін дыбыс шығарады. Енді оның тармақтарының біріне инені бекітіп, оны қарайтылған өйнек үстімен жүргізсек, дыбыс шығарып тұрған камертонның синусоидальдық тербелісінің графигін аламыз (сурет 5.29).



Сурет 5.29: а) қатты және ә) бәсең дыбыстар графигтері

Камертонды таяқшамен неғұрлым қаттырақ ұрсақ, ол соғұрлым қаттырақ дыбыс шығарады және камертонның тармақтары едәуір үлкендеу амплитудамен тербелетін болады (сурет 5.29, а). Камертонды ақырын ұрғанда амплитудасы кіші тербеліс тудырып (сурет 5.29, ә), бәсең дыбыс шығарады.

Сонымен, **дыбыс қаттылығы** дыбыс шығаратын дененің тербелістер амплитудасымен анықталады.

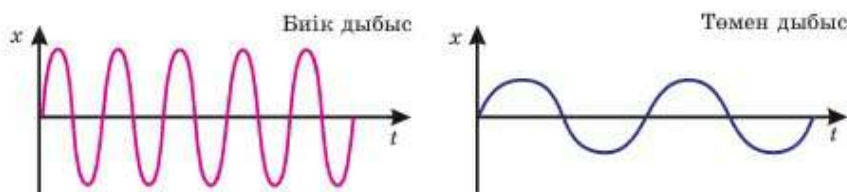
Дыбыс қаттылығының деңгейі Халықаралық бірліктер жүйесінде **белмен (Б)** өлшенеді. Бір бел 10 децибелге (дБ) тең. Бұл өлшем 1847–1922 жылдары өмір сүрген, телефонды ойлап тапқан америкалық өнертапқыш А. Бельдің құрметіне берілген.

16 Гц-тен 20 000 Гц-ке дейінгі адамдар қабылдайтын дыбыстар диапазоны 0-ден 140 дБ-ге дейінгі аралықта жатады. Мысалы, ұшақ қозғалтқышы гуіліндегі дыбыс қаттылығы 120 дБ, жапырақ сыбдыры 10 дБ шамасында естіледі. 180 дБ-ден артық болатын дыбыс құлақ жарғағын зақымдауы мүмкін.

4. Дыбыстың биіктігі неге тәуелді болатынын анықтау үшін екі камертон алып, оларды дыбыс шығаруға мәжбүр етеді. Егер олардың тербеліс графигтерін салса, онда кішірек камертонның тербеліс жиілігі уақыт бірлігінде **тығыз** (сурет 5.30, а), ал үлкен камертонның сол уақыт бірлігіндегі жиілігі **сирек** (сурет 5.30, ә) орналасатынын байқауға 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 үлкен болса, тон да биігірек болады.**



Сурет 5.30: а) биік және ә) төмен дыбыстар графиктері

Адам дауысын тон биіктігі бойынша бірнеше диапазонға бөледі: *бас* (80–150 Гц), *баритон* (110–149 Гц), *тенор* (130–520 Гц), *дискант* (260–1050 Гц), *колоратуралық сопрано* (1400 Гц-ке дейін).

5. Дыбыстың тағы да бір маңызды сипаттамасы оның бояуы немесе музыканттардың айтуынша, оның *тембрі* болып табылады.

Тембр деп адамның дауысына немесе аспаптың үніне өзіндік бояу беретін дыбыстың сапасын айтады.

Дыбыстың тембрі бойынша біз кімнің сөйлеп жатқанын немесе қандай аспапта ойнап жатқанын анықтай аламыз, яғни дыбыс тембрі бойынша дыбыс көзі анықталады. Мысалы, қаттылығы да, жиілігі де бірдей дыбыстардың өртүрлі музыкалық аспаптардағы үні түрліше шығады, бірдей нота түрліше орындалады.



Сұрақтар

1. Дыбыс дегеніміз не?
2. Дыбыс қалай таралады? Вакуумде дыбыс тарала ала ма?
3. Дыбыс жылдамдығы таралатын ортаға байланысты ма?
4. Дыбыстың қандай сипаттамаларын білесіңдер?
5. Қандай дыбыстар музыкалық деп аталады?
6. Дыбыс қаттылығы немен анықталады?
7. Дыбыс тембрі дегенді қалай түсінесіңдер?
8. Төменде мысалда келтірілген есептің шығару жолын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

Есеп. Адам құлағы 16 Гц-тен 20 000 Гц жиілікке дейінгі дыбыстарды қабылдай алады. Дыбыс тербелісінің естілу аралығы қандай толқын ұзындықтарының арасында жатыр? Ауадағы дыбыстың таралу жылдамдығын 340 м/с деп есептеңдер.

Берілгені
$v_1 = 16 \text{ Гц}$
$v_2 = 20\,000 \text{ Гц}$
$v = 340 \text{ м/с}$
$\lambda_1 - ? \lambda_2 - ?$

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 $\lambda_1 = \frac{v}{\nu_1}$ және $\lambda_2 = \frac{v}{\nu_2}$ толқын ұзындықтарының арасында жатыр.

Шешуі: $\lambda_1 = \frac{340 \text{ м/с}}{16 \text{ Гц}} \approx 21 \text{ м}$ 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

1. Кез келген тербелетін дене ауада механикалық толқын тудырады. Неліктен онда олардың барлығы да дыбыс толқындарын таратпайды?
2. Жиілігі 510 Гц дыбыс көзінен толқын ауада 340 м/с жылдамдықпен таралады. Толқын ұзындығын табыңдар.
3. Бақылаушы найзағайдың жарқылын көрген мезеті мен күннің күркіреуін есту арасындағы уақыт 10 с болғанын байқады. Найзағай бақылаушыдан қандай қашықтықта жарқылдаған? Ауадағы дыбыстың таралу жылдамдығы 343 м/с деп есептеңдер.
4. Дыбыс ауадан суға өткенде толқын ұзындығы қалай өзгереді? Ауадағы дыбыстың таралу жылдамдығы 340 м/с, ал суда 1480 м/с деп алыңдар.
5. Судағы дыбыс толқынының ұзындығын анықтаңдар. Оның жылдамдығы 1480 м/с, ал жиілігі 740 Гц.

§35.

АКУСТИКАЛЫҚ РЕЗОНАНС. ЖАҒЫРЫҚ

1. Жоғарыда (§31) механикалық тербеліс кезінде байқалатын резонанс құбылысын қарастырған болатынбыз. Осындай резонанс құбылысы дыбыс тербелісі кезінде 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 қорытындыға келеміз.

Енді екінші камертонның тербеліс жиілігі бөлек басқа камертонмен алмастырып, тәжірибені қайталайық. Бұл кезде екінші камертонның дыбыс шығармайтынын байқауға болады. Бірінші жағдайда камертондардың меншікті тербеліс жиіліктері сәйкес келгендіктен, резонанс құбылысы байқалды. Екінші жағдайда камертондардың меншікті тербеліс жиіліктері сәйкес келмегендіктен, резонанс туындаған жоқ. Бірінші жағдайда қарастырылған құбылыс *акустикалық резонанс* деп аталады.

2. Акустикалық резонанс құбылысын пайдаланып, тербелетін денеден шығатын дыбысты күшейтуге болады. Сондықтан камертондар арнайы жәшіктерге орнатылады. Жәшіктің меншікті тербеліс жиілігі камертонның шығаратын дыбыс жиілігіне үндестіріледі. Мұндай үндестік *унисон*, яғни *бірдей жиілікпен тербелу* деп, ал резонанс тудыра алатын жәшіктер *резонаторлар* деп аталады.

Резонаторлар музыкалық аспаптардың (рояль, домбыра, гитара, қобыз, сыбызғы т.б.) дыбысын күшейту 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 ауа да күшейтеді. Сондықтан домбыра немесе қобыз шанағындағы ойықтың пішіні мен өлшемі де кездейсоқ жасалынбайды. Шанақ тербелісі аспап үнінің өзіндік бояуын – тембрін анықтайды. Аспап үні тембрге байланысты *жағымды* немесе *жағымсыз* болып шығады. Музыкалық аспап үнінің сапалы шығуы оның арнайы 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 кеу-

дедегі ауа ағыны әсерінен тербеліп, әлсіз дыбыс шығарады. Бұл дыбыс резонаторлар болып табылатын көмей мен ауыз қуысы арқылы өтіп, ерін мен тілдің қатысуы арқылы әр адамның дауысына тән тембрмен күшейеді.

3. Дыбыс көзінен шыққан дыбыс толқындары өзінің жолында қандай да бір бөгетті кезіктірсе, онда олар шағылады. Дыбыс толқынының таралуы материялық бөлшектердің қозғалысына ұқсас болғандықтан, оның шағылуы жарық сәулелерінің шағылуына немесе қабырғаға соғылған доптың кері серпілуіне ұқсайды. Қарапайым бақылау 8-сыныпта қарастырған жарықтың шағылуы сияқты дыбыстың шағылуы кезінде де α түсу бұрышы оның бөгеттен шағылған β бұрышына тең болатынын көрсетеді. Ауада 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 ауада тараған дыбыс кедергілерден шағыла отырып, оған сәл кідіріп жетеді. Шағылған дыбыстың барлығын біз жаңғырық ретінде қабылдай бермейміз. Адам құлағы алғашқы дыбыс пен шағылған дыбысты жеке-жеке қабылдаған кезде ғана жаңғырық пайда болады. Бұл екі дыбыстың қабылдану уақытының арасы 0,1 с-тан кем болмаған кезде ғана дыбыстар жеке-жеке қабылданады. Бұдан біз жаңғырықты дыбыс көзі мен бөгеттің арасы едәуір алыс болған кезде ғана ести алатынымыз байқалады. Егер ауада 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

$$s = \frac{vt}{2}; \quad s = \frac{340 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,1 \text{ с}}{2} \approx 17 \text{ м-ге тең болады.}$$

4. Жоғарыда, тербеліс жиілігі 16 Гц-тен төмен дыбыс толқындары *инфрадыбыстар*, ал 20 000 Гц-тен жоғарысы *ультрадыбыстар* деп аталды. Бұл дыбыстар белгілі бір дәрежеде адам организміне әсер етеді. Мысалы, 5 Гц-тен 9 Гц-ке дейінгі жиілік аралығында инфрадыбыстар бауырдың, асқазанның, көкбауырдың тербеліс амплитудаларын арттырады, көкірек қуысында ауыртпалық туғызады, ал 12–14 Гц жиіліктерде құлақта шуыл пайда болады. Инфрадыбыстардың адам организміне кері әсері болғандықтан, олар техникада кеңінен қолданыс таппаған. Алайда инфрадыбыстардың бірнеше жүздеген километрге таралу мүмкіндігі оның әскери мақсатта, балық аулау кәсібінде пайдаланылуына жол ашты. Теңізде туындайтын инфрадыбыстарды медуза, су шаяны тәріздес теңіз жәндіктері жақсы қабылдайды.

Инфразвукостардың әсерінен қорғану жолдарының бірі – дыбысты естілетін жиіліктер аймағына көшіру. Ол үшін әртүрлі құрылғылардың қатаңдығы арттырылады, резонанстық, камералық сөндіргіштер пайдаланылады.

5. Ультразвукостар, керісінше, физикалық және технологиялық зерттеу салаларында кеңінен қолданыс тауып отыр. Бұл дыбыстарды адамдар арнайы құралдардың көмегімен естиді және қабылдай алады. Ультразвукостың толқындарының басты ерекшелігі – оларды дыбыс көзінен белгілі бір бағытта таратуға болады.

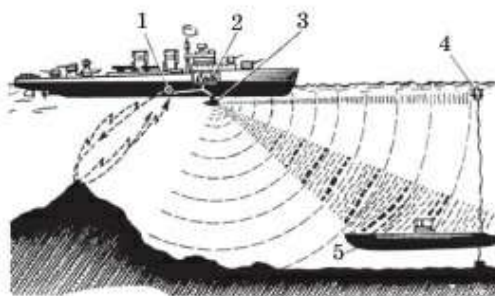
Ультразвукостың таралу және шағылу құбылысына теңіз тереңдігін өлшеуге және шөгінді жыныстардың күйін анықтауға арналған құрал *эхолоттың* (сурет 5.32) жұмыс істеу принципі негізделген. Сонымен қатар су астындағы нысаналарды (сурет 5.33) табу үшін қолданылатын *сонарлар да* (*sound navigation and ranging* – «дыбыстық навигация және қашықтықты өлшеу» деген сөздерден) бағытталған ультразвукосты пайдаланады.

Шағылған ультразвукосты пайдаланып, нысанның орнын анықтау тәсілі *эхолокация* деп аталады. Кеме табанына орнатылған құралдардың көмегімен белгілі бір бағытта ультразвукостар жіберіледі. Бұл дыбыстар теңіз түбінен немесе ізделінді нысаннан шағылып, кемеге қайта оралады. Кемедегі өте сезімтал аспаптардың көмегімен тіркелетін бұл толқындар электр импульстеріне түрлендіріледі де, экранда белгілі бір нысанның, мысалы, сүңгуір 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 ультразвукосты адам денесін ультразвукостық тексеру



Сурет 5.32. Эхолотпен теңіз түбін зерттеу



Сурет 5.33. Эхолокация:
1 және 3-ультразвукост көздері;
2-кабина; 4-мина; 5-сүңгуір қайық

(сканерлеу) үшін 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, дене мүшелері пішінінің өзгерулері анықталады.

Ультрадыбыстың көмегімен тастар ұнтақталады, 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 өзгертеді; бас ауруын тудырады, есту қабілетін нашарлатады.

Ультрадыбыстарды дельфиндер, иттер, жарғанаттар және басқа да тіршілік иелері шығарады. Мысалы, жарғанаттың ультрадыбыстық гидролокаторлары адам жасаған ең күшті деп есептелетін радио және гидролокаторлармен салыстырғанда мүлтіксіз жетілген. Олар ультрадыбыстарды шығару арқылы өзінің ұшу бағытын және қажетті қорегін таба алады.



Сұрақтар

1. Акустикалық резонанс дегеніміз не? Акустикалық резонансты қалай байқауға болады?
2. Камертон орнатылған жәшікті неліктен резонатор деп атайды? Неліктен домбыра шанағында немесе басқа ішекті аспаптарда ойық жасалады?
3. Жаңғырық дегеніміз не?
4. Ультрадыбыстың қандай ерекшелігі оны эхолокацияда 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 дауыстаған сөзінің 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 тұрған 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» музыкалық тонның толқын ұзындығын табыңдар. 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 жасауға болады. Электр өрісін электр заряды бар денелер туғызады. Бойымен электр тогы (зарядтары) өтетін өткізгіштің төңірегінде магнит өрісі пайда болады. Қозғалмайтын зарядтың электр өрісі барлық уақытта да өзгеріссіз қалады. Бірқалыпты қозғалатын зарядтардың, яғни тұрақты электр токтарының төңірегінде пайда болатын магнит өрісі де өзгермейді.

9-сыныпта электр заряды бар бөлшектердің айнымалы қозғалыстары қарастырылады. Осыған орай *зарядтар айнымалы қозғалыс жасаса, онда олардың төңірегінде қандай өріс пайда болады?* деген сұрақ туындайды. Бұл сұрақтың жауабын ағылшынның ұлы ғалымы Максвелл тапты.

Электр зарядтары айнымалы қозғалыс 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.

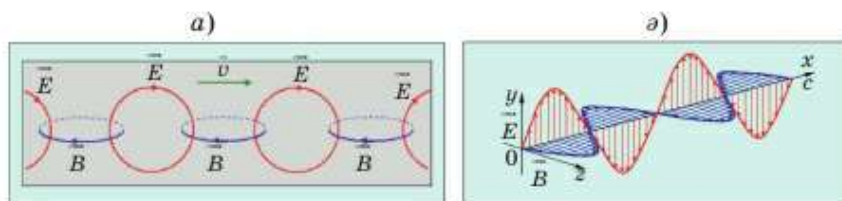
Максвелл сегіз жыл бойы тынбай жүргізген теориялық талдауларын 1873 жылы қорытындылап, электрмагниттік өрістің теориясын жасады. Ол өз теориясында біртұтас электрмагниттік өрістің бос кеңістікте де толқын түрінде тарай алатынын дәлелдеді. Максвеллдің электрмагниттік өріс теориясы былайша тұжырымдалады:

- 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} кернеулік векторын y өсінің бойына салады, ал магнит өрісінің \vec{B} индукция векторын z өсінің бойына салып кескіндейді (сурет 5.34, ә).

Электрмагниттік өріс – ақиқат нәрсе. Бізді қоршаған материя өзін екі түрлі формада: *өрістік* және *заттық* формаларда көрсетеді. Электрмагниттік 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 туғызатын айнымалы электрмагниттік өрісі барлық бағытта тарайды (сурет 5.34, а).



Сурет 5.34: а) өзара байланысқан айнымалы электрмагниттік өріс; б) электрмагниттік өрістің таралуы

Айнымалы электрмагниттік өрістің кеңістікте таралуын электрмагниттік толқын деп атайды.

Электрмагниттік толқынның пайда болуы туралы Максвеллдің болжамын кейінірек эксперимент дәлелдеді. 1887–1888 жж. Г. Герц жасаған тәжірибелер айнымалы электрмагниттік өрістің кеңістікте толқын түрінде тарайтынын көрсетті.

3. Электрмагниттік толқын мен механикалық толқындардың ұқсастықтары да, өзгешеліктері де бар. Солардың негізгілерін атап өтейік.

1) *Электрмагниттік толқын әртүрлі заттарда да, затсыз ортада да (вакуумде де) тарай алады.* Ал механикалық толқындар тек заттардың бөлшектері қатысатын орталарда ғана (қатты денеде, сұйықта және газда) тарайды. Механикалық толқында ортаны құрайтын заттардың бөлшектері тербеледі. Ал электрмагниттік толқында өрістің \vec{E} және \vec{B} векторларының бағыттары мен шамалары тербеледі. Міне, сондықтан электрмагниттік тербеліс вакуумде де толқын түрінде тарай алады.

2) *Электрмагниттік 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 электрмагниттік толқынның таралу жылдамдығы $c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ тұрақты шама.

Электрмагниттік 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 тарайтын электрмагниттік 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 *электрмагниттік табиғаты* толық дәлелденді.

4) *Вакуумге қарағанда заттағы электрмагниттік толқынның таралу жылдамдығы аз болады және ол мына өрнекпен анықталады:*

$$v = \frac{c}{n}, \quad (5.17)$$

өйткені ортаның сыну көрсеткіші $n > 1$, ал вакуумде $n = 1$.

5) Механикалық толқындар сияқты *электрмагниттік толқындар да энергия тасиды*. Жер бетіндегі органикалық отындардың (ағаштың, көмірдің, мұнайдың, газдың, шымтезектің т.б.) пайда болуы күн сәулесімен миллиардтаған жылдар бойы келетін, яғни электрмагниттік толқындармен жететін энергия арқылы түсіндіріледі.

4. Электрмагниттік толқындардың λ толқын ұзындығы, T периоды, c жылдамдығы, v тербеліс жиілігі арасындағы қатынастар механикалық толқындардағы сияқты өрнектеледі:

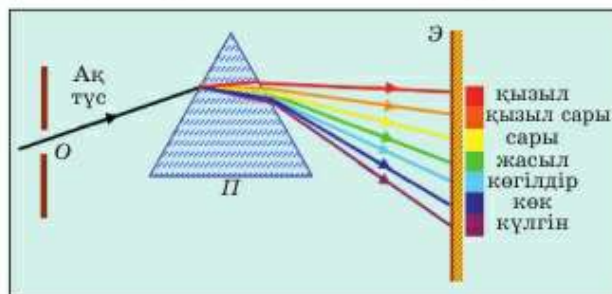
$$\lambda = cT = \frac{c}{v}. \quad (5.18)$$

Электрмагниттік толқындардың вакуумнен затқа өткенде жиілігі өзгермейді. Өйткені толқындардың жиілігі оларды туғызатын алғашқы көздердің жиілігіне ғана байланысты болады. Ал толқындардың зат ішіндегі ϑ жылдамдығы өзгертіндіктен, оның толқын ұзындығы да өзгереді. Вакуумдегі толқын ұзындығын λ , ал заттағы шамасын λ' деп белгілесек, онда жоғарыдағы формулаларды ескере отырып, мына өрнектерді аламыз:

$$\lambda' = vT = \frac{v}{v} = \frac{c}{n \frac{c}{\lambda}} = \frac{\lambda}{n}. \quad (5.19)$$

Барлық сәулелердің (мысалы, ақ жарықтың, рентген сәулелерінің т.с.с.) *вакуумдегі таралу жылдамдығы $c = 3 \cdot 10^8$ м/с*. Олай болса, *барлық сәулелердің табиғаты бірдей, яғни олар электрмагниттік толқындар болып табылады* деген қорытындыға келеміз.

Сәуле жиілігі жоғары болған сайын, оның таситын энергиясының мөлшері де арта түседі, әрі организмге тигізетін биологиялық және химиялық әрекеті де ерекше болады. Ультракүлгін сәулесінің үлкен дозасы көз бен теріні зақымдаса, ал рентгендік және гамма-сәулелер өмірге қауіпті. Адам өміріне ең қолайлы *nцр* – *ақ жарық*. Ол жеті түсті біртекті (монохроматты) сәулелердің қосындысынан тұрады.



Сурет 5.35. Ақ жарықтың түстерге жіктелуі

5. Ақ жарық мөлдір призмадан өткенде жеті түске ажырайды (сурет 5.35). Өр түске белгілі бір жиілігі (толқын ұзындығы) бар сәуле сәйкес келеді. Мұндай сәулелерді *монохроматты* сәулелер деп атайды. Ал жарықтың жеке түстерге жіктелуін *жарық дисперсиясы* деп атайды. Жарық дисперсиясының пайда болуы әр түске сәйкес келетін сәулелердің мөлдір заттың ішінде әртүрлі жылдамдықтармен қозғалатындығы арқылы түсіндіріледі. Расында да, ақ жарық вакуумнен заттық ортаға өткенде, жоғарыда айтқанымыздай, оның жиілігі (демек, периоды да) өзгермейді ($\nu = 1/T = \text{const}$). Бірақ зат ішінде әр түсті сәуленің толқын ұзындығы да, жылдамдығы да түрліше болады. Мысалы, қызыл және жасыл түсті сәулелердің толқын ұзындықтары мен жылдамдықтары бір-біріне сәйкес келмейді ($\lambda_{\text{к}} \neq \lambda_{\text{ж}}$; $\nu_{\text{к}} \neq \nu_{\text{ж}}$). Сондықтан әр түсті сәулелер үшін $\nu = \frac{c}{n}$ формуласына сәйкес мөлдір заттардың n сыну көрсеткіштері де әртүрлі болады ($n_{\text{к}} \neq n_{\text{ж}}$). Олай болса, әр түсті сәуле заттан өткенде әртүрлі бұрышқа бұрылады да жарық дисперсиясы құбылысы (сурет 5.35) орын алады.

6. Әртүрлі электрмагниттік сәулелер 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 радиogramма арқылы «Генрих Герц» деген екі сөзді жеткізді. Сөйтіп, радиобайланыс қоғамдық өмірдің барлық саласында жедел дами бастады. Осыған орай

электрмагниттік тербелістер көзі – тербелмелі контурлар да жан-жақты зерттеліп, олардың ашық тербелмелі түрлері (сурет 5.36) пайда болды.

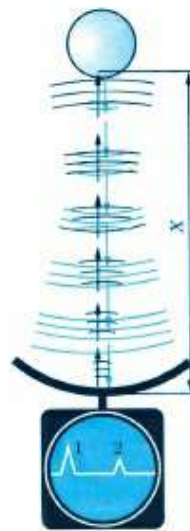


Сурет 5.36.
Ашық тербелмелі контур

Жабық тербелмелі контурда (§32, сурет 5.20) электрмагниттік тербеліс тұйық контурдың ішінде туындап, кеңістікте тарай алмайды. Ашық контурдағы тербеліс кеңістікте электрмагниттік толқын түрінде тарай алады. Мысалы, антенна ашық тербелмелі контур болып табылады. Оның туғызатын электрмагниттік өрісі кеңістіктің үлкен бөлігін қамтып тарай алады. Сондықтан антенна электрмагниттік толқындарды жақсы шығарады да, қабылдай да алады.

Тұрмыста және техникада, сондай-ақ ғылыми мақсаттар үшін антенналардың көптеген түрі қолданылады. Олардың парабоидалық табақ түрінде жасалған құрылғылары Ғаламның алыс аймақтарынан электрмагниттік толқындарды қабылдай алатын радиотелескоптарда пайдаланылады.

7. Кез келген электрмагниттік сәулелер сияқты 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 аймағына бағытталған электрмагниттік 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 кездесе, оның бетінен кері шағылған радиотолқынның өлсіреген сигналы (2) экранда қайта тіркеледі. Электрмагниттік толқынның c 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 5.37



Сұрақтар

1. Электрмагниттік өрісті Максвелл теориясы қалай түсіндіреді?
2. Электрмагниттік тербелістің кеңістік нүктелеріне беріліп, толқын түрінде таралуын қалай түсіндіруге болады?

3. Электрмагниттік және серпімді (механикалық) толқындардың ұқсастықтары мен айырмашылықтары қандай?
4. Электрмагниттік толқындардың қасиеттері қандай?
5. Жарықтың және басқа да сәулелердің табиғаты 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 келтірілген 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?

Берілгені
$\lambda_1 = 50 \text{ м}$
$\lambda_2 = 25 \text{ м}$
$L_1 = L_2 = L$
$C_1/C_2 - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Қабылданатын электрмагниттік толқынның ұзындығы:

$$\lambda = \frac{c}{\nu}; \quad (1) \text{ мұндағы } c - \text{толқынның жылдамдығы; } \nu = \frac{1}{T} -$$

толқынның жиілігі. Томсон формуласын ($T = 2\pi\sqrt{LC}$)

ескеріп, жиілікті анықтаймыз: $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. Жиіліктің

мәнін (1)-ге қойып, электрмагниттік толқын ұзындығының жалпы өрнегін аламыз: $\lambda = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{LC}$.

$$\text{Бірінші контурдың толқын ұзындығы: } \lambda_1 = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C_1};$$

$$\text{Екінші контурдың толқын ұзындығы: } \lambda_2 = 2\pi \cdot c \cdot \sqrt{L \cdot C_2};$$

Соңғы екі теңдікті бір-біріне мүшелері бөліп, мына қатынастарды

$$\text{аламыз: } \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \text{ немесе } \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} = \frac{C_1}{C_2}.$$

$$\text{Шешуі: } \frac{C_1}{C_2} = \frac{2500}{625} = 4.$$

Жауабы: екінші контурдың сыйымдылығын 4 есе кеміту керек.

**Жаттығу 5.10**

1. Радиоқабылдағыштың тербелмелі контур конденсаторының сыйымдылығы 50 пФ-дан 500 пФ-ға дейін жайлап өзгереді. Егер индуктивтілік 20 мкГн болса, онда қабылдағыш қандай толқындар аралығында жұмыс істейді?
2. 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 сәуле үшін жарықтың судары жылдамдығы кіші?
3. Радиолокатордың антеннасынан бағыттала тарайтын радиотолқын нысаннан кері шағылып, 200 мкс-та кейін оралды. Нысан радиолокатордан қандай қашықтықта орналасқан?

§37.**ЭЛЕКТРМАГНИТТІК ТОЛҚЫНДАР ШКАЛАСЫ**

1. Электрмагниттік құбылыстарға арналған Джеймс Максвеллдің теориясы табиғатта ақ жарықтан басқа да электрмагниттік толқындардың болатындығы туралы берік байлам жасауға негіз болды. Мұндай байлам электрмагниттік толқындардың көзі болып табылатын тербелмелі контурлар жасалғаннан кейін беки түсті. Расында да, тербелмелі контурдағы L индуктивтілік пен C сыйымдылықты өзгерте отырып, электрмагниттік тербелістер мен толқындардың периодын Томсон формуласына ($T = 2\pi\sqrt{LC}$) сәйкес қалауымызша өзгерте аламыз. Ал жиілік пен толқын ұзындықтары периодпен байланысты болғандықтан ($\nu = 1/T$; $\lambda = cT$), табиғатта жиілігі мен толқын ұзындықтары үздіксіз өзгертін электрмагниттік толқындар шкаласы бар деген тұжырым жасаймыз.

Максвелл теориясы жарияланғаннан кейінгі зерттеулер өсіресе XIX ғасырдың соңы мен XX ғасырда ашылған ұлы жаңалықтар әрбір атом да, жеке жұлдыз да сан алуан жиіліктегі (толқын ұзындығындағы) электрмагниттік толқындардың көзі – тербелмелі контурдың рөлдерін атқаратындығын дәлелдеді. Сөйтіп, ең ұзын радиотолқындардан бастап, ең қысқа толқынды гамма сәулелері араларында орналасқан ақ жарықтан өзге де табиғи электрмагниттік толқындар шкаласы анықталды (сурет 5.38).



Сурет 5.38. Электрмагниттік толқындар шкаласы

Электрмагниттік толқындар шкаласы деп кеңістікте таралатын айнымалы электр және магнит өрістерінің үздіксіз 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 тағайындалмаған, 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 сәулелер ішінде Жер бетіндегі тіршілік үшін әсіресе ақ жарықтың орны ерекше. Мысалы, адам көзіне түскен жарық сәулелері арқылы өзін қоршаған ортадан келіп түсетін бар ақпараттың 80% -дан астамын қабылдайды.

Қызыл түстің сыртында көзге көрінбейтін *инфрақызыл сәуле* де электрмагниттік толқын болып табылады; оны қатты қызбаса да, кез келген жылы дене шығарады. Инфрақызыл сәулені сезініп, тіркей алатын аспаптарды *түнгі көру* құралдары деп атайды. Олардың жәрдемімен қараңғы түнде аңдар мен малдарды немесе жасырынған ұрыларды бақылауға болады.

Электрмагниттік толқындар шкаласында инфрақызыл сәуледен кейін өртүрлі жиіліктегі қысқа, орта және ұзын толқынды *радиотолқындар* орналасады. Сөз бен ән-күй немесе өртүрлі бейнеқозғалыс түріндегі ақпараттарды алысқа жеткізуде радиотолқындар қолданылады.

Көзге көрінбейтін *ультракүлгін сәуле* ақ жарық спектрінің қысқа толқынды күлгін түсті бөлігімен шегаралас орналасқан. Бұл сәулелер кейбір химиялық қосылыстармен әрекеттеседі. Сондықтан белгілі мөлшерде қолданғанда адам терісінің бетінде қорғаныс тұғызатын пайдалы *D* дәрумені сияқты жеңіл пигменттік дақ түзеді. Жалпы алғанда оның

аз мөлшері пайдалы: ағзаны сауықтырады, әртүрлі микробтар мен бактерияларға қарсы қорғаныс қабілетін арттырады, жүйкеге жағымды әсер береді. Алайда оның көп мөлшері зиянды: көздің торлы қабықшасын бұзады, теріні де күйдіріп жаралайды.

Ультракүлгін сәулелерінен кейін жиіліктері одан да жоғары *рентген* және *гамма сәулелері* орналасады. Бұл сәулелердің өтімділік қасиеттері өте жоғары, сондықтан да олар тірі ағзалар үшін аса қауіпті, ал көлемді денелердің құрылымын анықтау үшін аса тиімді сәулелер болып табылады. Сонымен қатар басқа да электрмагниттік сәулелер сияқты бұл сәулелер де ақпаратты (әсіресе Ғаламның алыс түкпірінен келетін ақпараттарды) жеткізіп отырады. Осыған орай басқа *телескоптар* қабылдай алмайтын ақпараттарды тіркеп отыратын *рентгендік телескоптар* да жасалған. Рентген және гамма сәулелерінің ашылуы мен басқа да қасиеттері туралы келесі тарауларда толығырақ айтатын боламыз.



Сұрақтар

1. Электрмагниттік толқындар шкаласы деп нені айтады?
2. Табиғаттағы электрмагниттік сәулелерге қандай сәулелер жатады және оларды қандай көздер шығарады?
3. Электрмагниттік толқындар шкаласына кіретін сәулелердің бірлігі мен айырмашылықтары қандай?
4. Электрмагниттік сәулелердің қасиеттері мен қолданыс аясы жөнінде қандай деректерді білесіңдер?



Эксперименттік тапсырма

1. Су айдынына тас лақтырып көріңдер. Таралған толқынның жылдамдығын анықтаңдар.
2. Екі оқушы бір-бірінен 150–200 м қашықтықта темір құбыр немесе рельс бойына орналассын. Егер оқушының біреуі балғамен құбырды немесе рельсті ұрса, онда екінші оқушы екі дыбыс еститін болады: қаттырақ естілетін бірінші дыбыс құбыр немесе рельс арқылы, ал ақырын естілетін екінші дыбыс ауа арқылы жетеді. Дыбыстың металл және ауа арқылы таралуын есептеңдер. Неліктен дыбыс жылдамдығы әртүрлі ортада түрліше таралатынын түсіндіріңдер.

V тараудағы ең маңызды түйіндер

- **Еркін механикалық тербелістердің периоды:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} - \text{серіппелі маятник үшін (Гюйгенс формуласы);}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} - \text{математикалық маятник үшін (Галилей формуласы).}$$

- **Еркін электрмагниттік тербелістің периоды** Томсон формуласы арқылы табылады: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

- **Толқын ұзындығы:**

$$\lambda = vT.$$

- **Толқын жылдамдығы:**

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda\nu.$$

- **Электрмагниттік толқын** деп айналымы электрмагниттік өрістің ауасыз кеңістікте (вакуумде) немесе әртүрлі заттық ортада таралуын айтады.

- **Электрмагниттік толқынның таралу жылдамдығы:**

$$v = \frac{c}{n}.$$

- **Электрмагниттік толқынның вакуумдегі толқын ұзындығы:**

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu}.$$









- **Электрмагниттік толқынның әртүрлі заттардағы толқын ұзындығы:**

$$\lambda' = cT = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n}.$$

VI ТАРАУ

АТОМ ҚҰРЫЛЫСЫ. АТОМДЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАР

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

-  жылулық сәуле шығару энергиясының температураға тәуелділігін сипаттау;
-  Планк формуласын есептер шығаруда қолдану;
-  фотоэффект құбылысын сипаттау және фотоэффект құбылысының техникада пайдаланылуына мысалдар келтіру;
-  фотоэффект үшін Эйнштейн формуласын есептер шығаруда қолдану;
-  рентген сәулесін электромагниттік сәулелердің басқа түрлерімен салыстыру;
-  рентген сәулесін қолдануға мысалдар келтіру;
-  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 сәуле шығару», «Планк формуласы», «фотоэффект», «фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы», «рентген сәулесі», «Резерфорд тәжірибесі», « α , β және γ - сәулелену».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
Атом	Атом	Atom
Жылулық сәулелену	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 radiarion
α , β және γ – сәулелену	- α , β и γ – излучение	- α , β and γ – radiation
α -бөлшегі	α -частица	α -particle
Резерфорд тәжірибесі	Опыт Резерфорда	The experiment of Rutherford

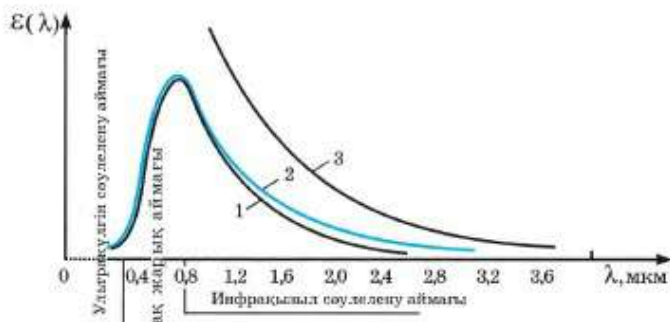
1. XX ғасырдағы ғылыми ойдың ұлы жеңісі атомның құрылысын түсіндіріп, микроөлемде орын алатын физикалық құбылыстарды сипаттайтын жаңа теорияның жасалуы еді. Физикада *кванттық теория* деп аталатын мүлдем жаңа көзқарасты қалыптастыруда қызған дененің сәуле шығаруын эксперименттік зерттеу үлкен рөл атқарды. Жоғары температураға дейін қыздырғанда дене өртүрлі түске еніп, сәуле шығара бастайтынын білеміз. Мысалы, темірді қыздырғанда, ол әуелі қызыл, одан кейін қызыл сары, одан әрі ақ сары түске бөленеді. Электр шамының вольфрам қылын 3000°C -қа дейін қыздырғанда, ол ақ жарық сәуле шығарады. Күннің жарығы, жұлдыздардың шығаратын сәулелері де олардың температурасының өте жоғары болуына байланысты.

Қызған денелердің ішкі энергия есебінен сәуле шығарып, электр-магниттік 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 қызғанда 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 табиғаты бірдей, яғни жарық сияқты электрмагниттік толқындар болып табылады. Олар бір-бірінен, тек жиіліктеріне немесе толқын ұзындықтарына қарай ажырайды.

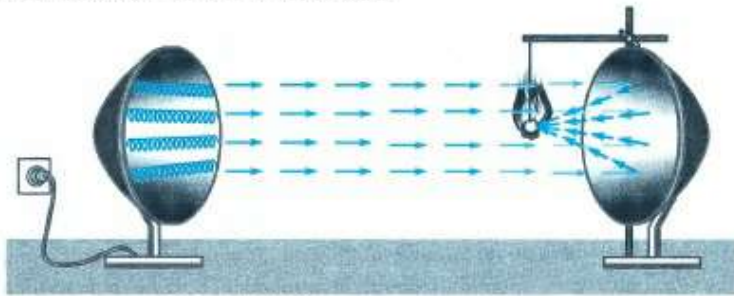
2. Денелердің нақты температурадағы өртүрлі толқын ұзындығында (жиілігінде) шығаратын сәулелерінің энергияларын өлшей отырып, ғалымдар XIX ғасырдың аяғында аса мол эксперименттік мәлімет жинады. Алайда тәжірибеден алынған жылулық сәулеленулердің энергиясының олардың λ толқын ұзындығына тәуелді өзгеретінін көрсететін қисық (сурет 6.1, 1-қисық) Ньютонның да, Максвеллдің де классикалық теориялары түсіндіре алмады. Классикалық теорияға негіздеп салынған $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділігінің қисығы (3) ультракүлгін аймағында шексіз биіктей береді. Ал эксперименттік қисық (1) ақ жарық маңайындағы максимумға жеткеннен кейін ультракүлгін аймағында, керісінше, минимумға құлдырайды. Эксперименттік нәтиже мен классикалық теория



Сурет 6.1. Сәуле энергиясының толқын ұзындығына тәуелділік қисығы

арасындағы мұндай кереғар қарама-қайшылық *ультракүлгін апатты* деген атаққа ие болды. Сөйтіп, жылулық сәулелену құбылысын түсіндіру классикалық физика тұрғысынан тұйыққа тірелді.

3. Эксперименттік зерттеулер денелердің жылулық сәулелерді шығарумен қатар, оларды жұта да алатынын көрсетті. Оны көптеген тәжірибелер растайды. Мысалы, параболаидтық айнаға вольфрам қылы бар қуатты электр шамын орнатып, оны инфрақызыл сәулесін шығаратындай етіп қыздырайық. Оған қарама-қарсы қойылған екінші айнаның фокусына қара түске боялған құрғақ мақтаны іліп қойсақ, ол белгілі бір уақыттан кейін «өз-өзінен» тұтанып жана бастайды (сурет 6.2). Бұл тәжірибе электрмагниттік толқындардың энергия таситынына және қара денелердің сәулелік энергияны жақсы жұтатынына көзімізді жеткізеді. Физикада денелердің сәулелерді жұту қабілетін салыстыру үшін «абсолют қара дене» деген ұғым енгізіледі.

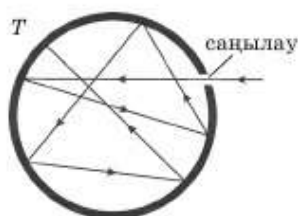


Сурет 6.2. Сәулелер энергия тасиды

Өзіне түскен әртүрлі жиіліктегі сәулелерді толық жұтып алатын денені абсолют қара дене деп атайды.

Күн сыртқы ортаға жарық шығарумен қатар өзіне сырттан келіп түсетін әртүрлі жиіліктегі сәулелерді де толық жұтып алады. Сондықтан ол абсолют қара денелер қатарына жатады.

Сыртқы ортамен тар саңылау арқылы жалғасқан қуыс ыдыс (сурет 6.3) абсолют қара дененің идеал моделі болып табылады. Іші қуыс ыдысқа тар саңылаудан түскен сәуле шексіз мәрте шағылады да, толық жұтылады.

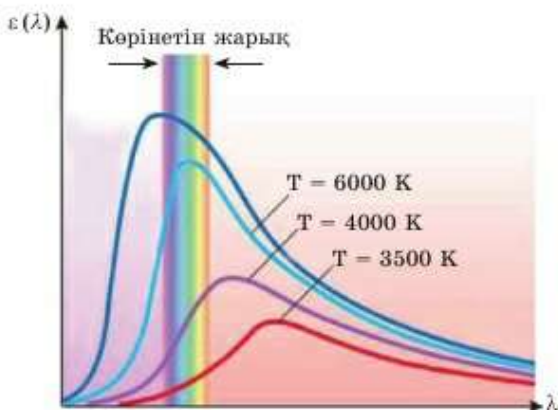


Сурет 6.3. Абсолют қара дене моделі

4. Эксперименттік зерттеулер дененің температурасы көтерілген ($T_1 > T_2$) сайын қысқа толқындағы сәуле шығарулардың да үлесі арта беретінін көрсетеді (сурет 6.4). Температура жоғары болған сайын сәулелік энергияның жалпы мөлшері де өсе түседі ($\varepsilon_{T_1} > \varepsilon_{T_2}$), яғни қысқакы барған сайын биігірек орналасады. Мұндай жағдайда көрінетін ақ жарықтың да үлесі арта береді. Ендеше, бөлмелерді жарықтандыру үшін электр шамының қылын жоғары температураға дейін көтеру пайдалы.

Төменгі температурада, яғни қыл қоңыр қызғылт түске енгенде, оның ішкі энергиясы, негізінен, ұзын толқынды инфрақызыл сәуле шығаруға жұмсалады.

Абсолют қара дене үшін $\varepsilon(\lambda)$ қисығының максимум күйі сәуле шығаратын дененің T_1, T_2 т.с.с. температурасына ғана байланысты болады (сурет 6.4). Бұл заңдылық сәуле шығаратын денелердің температурасын анықтау үшін қолданылады. Мысалы, Күннің сәуле шығаруының максимумы бойынша оның бетіндегі температураны анықтауға болады. Күн сәулелерінің $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділік қисығының максимумы $5400^\circ K$ температураға сәйкес келеді. Бұл Күннің сыртқы қабатының *беттік эффективтік температурасы* деп аталады, ал оның ішкі қабаттарындағы температура ондаған миллион градусқа жетеді.



Сурет 6.4. Абсолют қара дененің $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділік қисығы максимумының T -ға байланысты ығыса өсуі



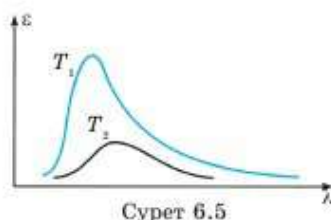
Сұрақтар

1. Жылулық сәулелену (сәуле шығару) деп қандай құбылысты айтады?
2. Денелердің температурасына байланысты сәуле шығаруы қалай өзгереді?
3. Жылулық сәулелердің табиғаты қандай, оларды бір-бірінен қалай ажыратуға болады?
4. Физикадағы «ультракүлгін апаты» қалайша туындады?
5. Денелер сәулелерді жұта ала ма? Оған өмірдегі тәжірибеден қандай мысалдар келтіре аласыңдар?
6. Абсолют қара дене дегеніміз қандай дене?
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 $\varepsilon(\lambda)$ тәуелділік графиктері көрсетілген. Абсциссалар өсіне толқын ұзындықтары, ал ординаталар өсіне оларға сәйкес келетін жылулық энергия салынған. Қай график ең төменгі температураға сәйкес келеді және ол қалай түсіндіріледі?
2. Кернеуді төмендеткенде неліктен электр шамының жарықталынуы нашарлайды да, ал сәулелену қызғылт түске ауысады?
3. Не себепті электр шамының қылын балқу температурасы жоғары металл қоспаларынан жасайды? Жауаптарыңды Джоуль–Ленц заңына сүйене отырып дайындаңдар.



ЖАРЫҚ КВАНТТАРЫ ТУРАЛЫ ПЛАНК ГИПОТЕЗАСЫ

1. Жылулық сәулелердің эксперименттік нәтижесін түсіндірудегі тығырықтан шығу жолын немістің ұлы физигі Макс Планк тапты. Ол 1900 жылы *сәулелік энергия үздіксіз шығады* деген классикалық физика түсінігіне мүлдем қайшы келетін батыл гипотеза ұсынды. Ол гипотеза былай оқылады:

Абсолют қара дене жылулық сәулелерді үздіксіз шығара да, жұта да алмайды; оларды тек жекелеген үзікті (дискретті) үлес түрінде

ғана шығарады 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 шығаратын 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 шығаратын 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 өзгертеді. Екінші сөзбен 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 өзгертетінін және белгілі бір нақтылы мәндерді қабылдайтынын болжады. Бұл болжам эксперимент нәтижесіне негізделіп жасалды.

Планктың ғылыми болжамы абсолют қара денелердің тәжірибеде байқалған жылулық сәуле шығару 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 шығарады немесе жұтады? Эксперименттен қандай қорытынды туындайды?
2. Планк гипотезасы қалай оқылады? Ол неліктен классикалық пайымдауларға қайшы келеді?
3. Квант дегеніміз не? Жарты квантты алуға бола ма?

4. Шығатын немесе жұтылатын сәуле дене энергиясын өзгерте ала ма? Ол энергияның қай түріне жатады?
5. Жылулық сәулелену қандай энергияның есебінен орын алады?
6. Төмендегі мысалда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Қуаты 1 Вт электр шамы орташа толқын ұзындығы 1 мкм электрмагниттік сәуле шығарса, онда шамның қылы 1 с-та неше фотон шығарады?

Берілгені
$P = 1 \text{ Вт}$
$\lambda = 1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}$
$t = 1 \text{ с}$

$n = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Электр шамының тұтынатын энергиясы $Q = Pt$. Бұл энергия шамның қызған қылынан шығатын барлық фотондардың $E = nE_0 = n \cdot h\nu$ энергиясына тең. Сондықтан $Pt = n \cdot h\nu$.

Әрбір 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 қылының шығаратын фотондарының саны:

$$n = \frac{Pt}{h\nu} = \frac{Pt\lambda}{hc}$$

$$\text{Шешуі: } n = \frac{Pt\lambda}{hc} = \frac{1 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с} \cdot 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}}{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 5 \cdot 10^{18} \text{ фотон.}$$

$$\text{Жауабы: } n = 5 \cdot 10^{18}.$$

2-есеп. Толқын ұзындығы 5000 Å (ангстрем) болатын сәуленің ең кіші энергия үлесі қандай?

Берілгені
$\lambda = 5000 \text{ Å} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$
$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

$E = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Сәуленің ең кіші энергия үлесі Планк формуласы бойынша бір квант энергияға тең:

$$E = h\nu, \text{ мұндағы } \nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\text{Ендеше, } E = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

$$\text{Шешуі: } E = h \frac{c}{\lambda} = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c \times \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{5 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$\text{Жауабы: } E = 3,98 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

3-есеп. Толқын ұзындығы 620 нм болатын фотонның массасы мен энергиясы қандай?

Берілгені
$\lambda = 620 \text{ нм} = 6,2 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$
$m - ?, E - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Фотонның массасын Эйнштейн формуласы деп аталатын $E = mc^2$ (1) өрнегі бойынша анықтаймыз. Бұл өрнек туралы келесі тарауда айтылады (§45). Мұндағы $E = h\nu$ – фотонның

энергиясы; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ – жарық жылдамдығы; $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – Планк тұрақтысы; $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – фотонның жиілігі.

Жоғарыдағы өрнектерден фотонның энергиясы мен массасын анықтаймыз: $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, $m = \frac{E}{c^2}$.

$$\text{Шешуі: } E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{6,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}}{9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2} = 0,35 \cdot 10^{-35} \text{ кг.}$$

Бұл – фотонның қозғалыстағы массасы.

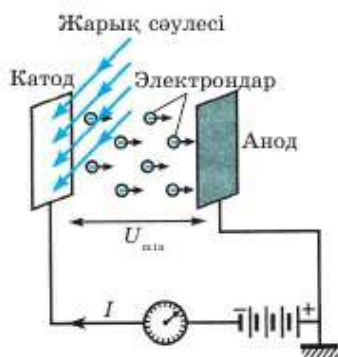
Фотон қозғалыста ғана өмір сүреді, тыныштықта ғайып болады, сондықтан фотонның тыныштық массасы нөлге теңеледі.

$$\text{Жауабы: } E = 3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Дж; } m = 0,35 \cdot 10^{-35} \text{ кг.}$$



Жаттығу 6.2

1. Фотонның энергиясы $2,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Электрмагниттік сәуленің толқын ұзындығы қандай?
2. Ультракүлгін, рентген немесе инфрақызыл сәулелерінің қайсысы электрмагниттік энергияны басқаларынан көп тасиды? Неге? Жауаптарыңды электрмагниттік толқындардың шкаласы бойынша негіздендер.
3. Қуаты 100 Вт жарық көзі 1 с-та $5 \cdot 10^{20}$ фотон шығарады. Сәуленің орташа толқын ұзындығы қандай?



Сурет 6.6.
Столетов тәжірибесі

1. 1887 жылы Ресей ғалымдары Генрих Герц пен А.Г. Столетов электродтардың арасындағы ұшқынды разрядты зерттеу кезінде мына құбылысқа көңіл аударды.

Ұшқынды разряд (газдағы электр тогы), әдетте, электродтар арасындағы U кернеу белгілі U_{\min} шамасынан асқанда ғана байқала бастайды. Ал олар электродтардың біріне (катодқа) ультракүлгін сәуле түсіргенде, U кернеу U_{\min} шамасынан кіші ($U < U_{\min}$) болса да разряд ұшқынының (I ток күшінің) пайда болғанын байқады (сурет 6.6). Бұның сырын қалай түсіндіруге болады?

Разряд деп газдардағы электр тогын айтады. Ендеше, *ультракүлгін сәуле электродқа түскенде оның бетінен электр тогын таситын зарядталған бөлшектерді жұлып шығарады* деп жори аламыз. Шынында да, жарық түскен кезде металл беттерінен теріс зарядталған бөлшектердің босап шығатыны тәжірибеден белгілі болды. Кейінірек ондай бөлшектердің металдан босап шыққан электрондар ағыны екені анықталды. Сонымен қатар электрондардың жарық түскен сұйық беттерінен де босап шығатыны байқалды.

Түскен жарықтың әсерінен металл бетінен электрондардың ыршып шығу құбылысын 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 өсе түседі. Көбірек ауытқыған электрондар дене бетінен ыршып сыртқа шығады. Босап шыққан электрондардың жылдамдығы түскен толқынның λ ұзындығы өскен сайын үнемі артып отыруы керек.

Алайда тәжірибе нәтижелері керісінше болып шықты. Шындығында, босап шыққан электрондардың жылдамдығы түскен сәулелердің толқын ұзындығы кеміген сайын арта береді. Сөйтіп, 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 шығуы үшін оған берілетін ең аз энергияны электронның шығу жұмысы деп атайды.

Электронның метал бетінен $A_{\text{шығу}}$ жұмысы жұтылған $h\nu$ фотон энергиясының есебінен өндіріледі. Босап шыққан электрон бір орында тұрып қалмай, белгілі бір v жылдамдықпен қозғалып, кинетикалық энергияға да ие болады. Сөйтіп, *энергияның сақталу заңы бойынша жұтылған жарық фотонының $h\nu$ энергиясы электронның шығу $A_{\text{шығу}}$ жұмысына және оның $E_k = \frac{m_e v^2}{2}$ кинетикалық энергиясына жұмсалады:*

$$h\nu = A_{\text{шығу}} + \frac{m_e v^2}{2}. \quad (6.2)$$

Бұл өрнек *Эйнштейн формуласы* деп аталады. Мұндағы m_e – босап шыққан электронның массасы, v – оның жылдамдығы, h – Планк тұрақтысы, ν – жұтылған фотонның жиілігі, $A_{\text{шығу}}$ – электронның шығу жұмысы.

4. Эйнштейн формуласынан фотоэффект құбылысының туу шартын анықтауға болады. Фотоэффект құбылысы мына шарт орындалса ғана байқала бастайды:

$$h\nu_0 \geq A_{\text{шығу}}. \quad (6.3)$$

Эйнштейн формуласынан туындайтын бұл шарт бойынша электронның шығу жұмысы жарықтың ν жиілігіне немесе $\lambda = c/\nu$ толқын ұзындығына ғана тәуелді екенін көрсетеді. Жарықтың жиілігі тек белгілі бір ν_0 шамаға жеткенде ғана фотоэффект байқалады. Түскен жарықтың жиілігі бұл шамадан кіші болса ($\nu < \nu_0$), 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 шеғарасы деп атайды.

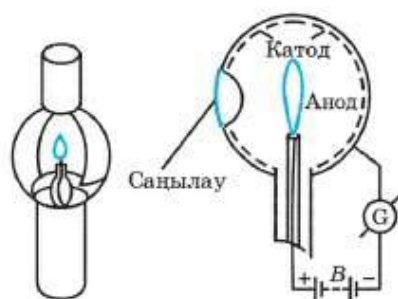
Әр зат үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы әртүрлі. Мысалы, мырыш үшін фотоэффект тудыратын жарық толқынының ұзындығы (қызыл шегарасы) 370 мкм, калий үшін 450 мкм, натрий үшін 680 мкм т.с.с. (форзақтағы қосымшаны қараңдар).

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 тәуелді емес. Электрондардың босап шығуы, тек металл бетіне түсетін жарықтың жиілігі жоғары болған сайын немесе толқын ұзындығы кеміген сайын

$\left(\lambda = \frac{1}{\nu}\right)$ арта түседі. Бұл қорытынды тәжірибе нәтижесімен де дәлме-дәл келеді. Фотоэффект құбылысы – жарықтың бөлшектік қасиетінің айғағы. Сонымен, жарық кейде толқын түрінде, кейде бөлшек – корпускула (фотон) түрінде көрініс береді.

Жарықтың толқындық және бөлшектік қасиеттерінің бірлігі – табиғи заңдылық. Бұл бірлікті *жарықтың корпускулалық-толқындық дуализмі* деп атайды. Дуализм барлық элементар бөлшектерге тән құбылыс.

5. Фотоэффект құбылысына негізделіп жасалған құралды *фотоэлемент* дейді, ол техникада көптеп қолданылады.



Сурет 6.7. Фотоэлемент

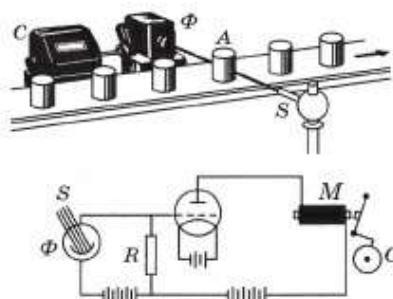
Ең алғашқы фотоэлементтің сыртқы түрі мен құрылысы қарапайым болатын (сурет 6.7). Мысал ретінде өнімдерді фотоэлемент жәрдемімен санайтын құрылғыларды атауға болады. Ауасы сорып алынған шыны баллонның ішкі беті (сәуле түсетін саңылаудан басқасы) жарық сезгіш қабатпен қапталған. Бұл қабат катод (үзік сызықпен көрсетілген) қызметін, ал анод қызметін баллон ішіне бекітілген сым сақина атқарады.

Анод тұрақты ток көзінің (батареяның) оң полюсімен, ал катод теріс полюсімен жалғасқан. Саңылаудан 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, тұрмыстық техникада және ғарыш 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 реленің сұлбасы көрсетілген: Φ – фотоэлемент, S – жарық көзі, C – санағыш тетік, A – саналатын бұйым, M – электромагнит. Фотоэлементтерді қолданатын реле (айырғыш) фотореле деп аталады.

Суреттен көріп отырғанымыздай, A нәрсе сәуле жолына тап болғанда, тізбектегі ток үзіледі. Ал нәрсе сәуле жолынан өткен соң *фотореле* токты қайтадан қосып, санағыш тетік әрбір нәрсе сәуле жолынан өткен сайын оларды тіркеп, санақтан өткізіп отырады.



Сурет 6.8. Санағыш құрал



Сұрақтар

1. Фотоэффект деп қандай құбылысты айтады? Оның ашылуы қандай тәжірибеге негізделген?
2. Фотоэффект құбылысын электромагниттік толқындық теорияға сүйеніп түсіндіруде қандай қайшылықтар туды?
3. Фотоэффект құбылысына сүйеніп жарықтың электромагниттік толқындық табиғатын теріс деуге бола ма? Неге?
4. А. Эйнштейн фотоэффект құбылысын 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? Фотоэффектінің қызыл шеғарасы деп нені айтамыз?
7. Фотоэффект жарықтың қандай қасиетін сипаттайды? Жарық дуализмі дегеніміз не?
8. Фотоэффект қайда қолданылады? Фотореле деп нені айтамыз және ол қандай қызмет атқарады?
9. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолын түсіндіріңдер.

Есен шығару 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 сәуле түссе, фотоэффект байқала ма?

Берілгені
$A_{\text{шығу}} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж
$\lambda = 0,589$ мкм $\approx 0,6 \cdot 10^{-6}$ м
$E_0 - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Сәуле фотонының энергиясы Планк формуласымен анықталады: $E_0 = h\nu$, мұндағы

$$\nu = \frac{c}{\lambda}; \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Планк формуласына сәуленің 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 сәуле түсіргенде, жылдамдығы 500 км/с-қа жететін электрондар ұшып шығады. Катодқа түсірілген сәуле фотонының энергиясы мен толқын ұзындығы қандай? Цезий үшін электрондарды шығару жұмысы: 1,9 эВ = 3,04 · 10⁻¹⁹ Дж.

Берілгені
$v = 500$ км/с = $5 \cdot 10^5$ м/с.
$A = 3,04 \cdot 10^{-19}$ Дж.
$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с
$m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ 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 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ – сәуленің 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: $E = 4,18 \cdot 10^{-19}$ Дж; $\lambda = 4,7 \cdot 10^{-7}$ м.



Жаттығу 6.3

1. Калий үшін электронның шығу жұмысы 1,92 эВ. Калий үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы қандай?
2. Тантал үшін фотоэффектінің қызыл шегарасы $\lambda = 0,2974$ мкм. Электронның танталдан шығу жұмысын анықтаңдар.
3. Фотоэлектрондардың максимал жылдамдығы 3000 км/с болу үшін платина бетіне қандай жиіліктегі сәуле түсу керек? Платина үшін шығу жұмысы 6,3 эВ.
4. Энергиясы 4,5 эВ болатын жарық кванты металдың бетінен электронды ұрып шығарады. Металл бетінен ұшып шыққан электронның ең үлкен тебіліс күшінің импульсы қандай?
5. Ақ жарық дисперсиясының көрінетін ең шеткі түсті сәулелерінің толқын ұзындықтары $\lambda_{\text{күл}} = 0,4$ мкм; $\lambda_{\text{кыс}} = 0,76$ мкм. Олардың фотондарының энергиялары қандай?
6. Жарық көзі 1 с-те $5 \cdot 10^{20}$ фотон шығарады. Жарық көзі сәулесінің толқын ұзындығы 99 мкм болса, оның қуаты қанша болады?

§41.

РЕНТГЕН СӘУЛЕЛЕРІ

1. 1895 жылы неміс ғалымы В. Рентген ауасы сорылған түтіктердегі электр тогын зерттеу үстінде ерекше сәулелердің пайда болатынын байқаған. Бұл сәулелер көзге көрінбейді, бірақ кейбір заттарда жарқыл туғызады және жабық фотография пластинкасын қарайтады. Осы екі қасиетіне қарай бұл ерекше сәулелерді Рентген *X-сәулелер* деп атады (сурет 6.10). Бұл сәулелер кейінірек оны ашқан ғалымның құрметіне *рентген сәулелері* деп аталатын болды.

Рентген сәулелері де электромагниттік сәулелерге жатады. Жиілігі бойынша рентгендік сәулелер ультракүлгін сәулелер мен гамма-сәулелердің аралығында орналасқан.

2. Жарық фотондары металдардағы электрондармен соқтығысқанда, оларды жұлып шығарып, фотоэффект құбылысын туғызатынын білдік. Ал, керісінше, *сыртқы электрондар үлкен жылдамдықпен металға соғылса, онда қандай құбылыс байқалар еді?* деген сұрақ туындайды. Бұл сұрақтың жауабы рентгендік сәулелердің пайда болуын түсіндіруге жәрдемдеседі.

Кванттық пайымдау бойынша электрон үлкен жылдамдықпен металл атомына соғылғанда, оның ядросына неғұрлым жақынырақ деңгейлердегі электрондарын жұлып шығарады. Сөйтіп, босаған электрондардың орнына ядродан алысырақ 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 қоршаған электрондық қабаттардың кулондық өрістерімен өзара әрекеттесуі салдарынан тежеледі. Тежелу барысында жылдам электрондар біраз мөлшерде кинетикалық энергияларынан айырылады:

$$\Delta E = E_1 - E_2.$$

Мұндағы E_1 және E_2 – электронның өртүрлі 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 мынаған саяды: *электромагниттік теория электрондардың тежелуі барысында туындайтын сәулелену үздіксіз 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 мөлдір емес денелердің көпшілігінен оңай өтіп кетеді. Заттың тығыздығы жоғарылаған сайын, рентгендік сәулелердің өтімділігі кеми түседі. Мысалы, рентгендік сәулелердің қалыңдығы 5–10 см алюминий пластинкасынан бөгелмей өтетін болса, ал қалыңдығы 1 см қорғасын пластинкасында толығымен жұтылады. Сонымен қатар олар заттарда химиялық өзгерістер туғызады (мысалы, фотоқағазды қарайтады). Рентгендік фотосуреттер алу осы құбылысқа негізделген.

Рентгендік сәулелердің денелерден өту қасиеті практикалық мақсатта кеңінен пайдаланылады. Медицинада рентгендік сәулелер ауруға

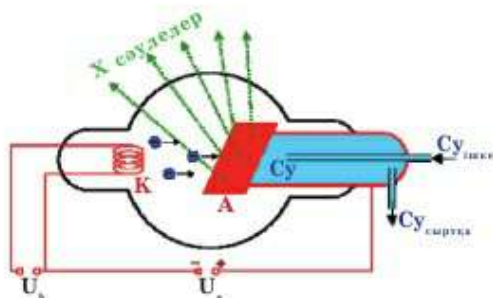
диагноз қою үшін қолданылады. Мысалы, рентгендік сәулелер сынған сүйекті, адам денесіндегі бөгде заттарды (оқты, инені, шегені т.б.), іш құрылысындағы кеселді анықтауды жеңілдетеді (сурет 6.9). Рентгендік сәулелерді қолдану арқылы өндіріс пен тұрмыста қолданылатын жабдықтар мен бұйымдардың ішкі ақауларын, қуыстар мен жарықшақтарын табуға болады. Рентгендік сәулелердің өтімділік қабілетін, химиялық әрекетін, энергияны тасымалдап жеткізу мүмкіндіктерін сырқат органдарды емдеу үшін кеңінен қолданады.



Сурет 6.9. Рентгендік бейне-суреттер

Сонымен қатар рентгендік сәулелердің тірі организмге тигізетін залалын да білу қажет. Рентгендік сәулелердің әсерінде ұзақ болу өте зиян. Теледидар және компьютер мониторуның экрандарына электрондар ағыны соғылғанда да рентгендік сәулелер пайда болады. Мұндай құралдардың қасында өте жақын әрі ұзақ отыру денсаулыққа нұқсан 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 туғызуға болады. Мұндай өріс U айнымалы токпен қызған катодтан ұшып шыққан электрондарды үлкен жылдамдықпен анодқа қарай үдете қозғайды. Электрондар ағындарының анод атомдарымен соқтығысуы нәтижесінде рентгендік X-сәулелер пайда болады.



Сурет 6.10. Рентген түтігі

Зарядталған бөлшектерді бір нүктеден екінші нүктеге дейін қозғалту үшін электр өрісі жұмыс атқарады. Ол жұмыс өріс нүктелері арасындағы кернеу ($U_{ак}$) мен бөлшек зарядының (q) көбейтіндісіне тең болатынын 8-сынып физикасынан білеміз:

$$A = qU_{ак}. \quad (6.4)$$

Электрондарды рентгендік түтіктерде немесе *үдеткіштер* деп аталатын қондырғыларда үдету құпиясы электр өрісінің атқаратын жұмысы арқылы түсіндіріледі. Расында да, өрістің істейтін жұмысы есебінен электронның кинетикалық энергиясы өседі, 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



1. Рентгендік сәулелердің табиғаты қандай? Оның басқа сәулелермен салыстырғандағы ұқсастығы және айырмашылығы неде?
2. Рентген сәулелерінің пайда болуын қалай түсіндіреміз?
3. Рентген сәулелерінің оң және теріс қырларын сипаттаңдар.
4. Рентгендік түтікшенің және зарядталған бөлшектерді үдеткіштердің жұмыс істеу принципі қандай физикалық құбылысқа негізделген?
5. Рентгендік астрономияның астрофизикалық зерттеулердегі мәнділігін немен түсіндіруге болады?
6. Төмендегі мысалда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Егер рентгендік сәулелердің ең үлкен жиілігі 10^{19} Гц болса, онда рентген түтігі қандай кернеуде жұмыс істейді?

Берілгені
$\nu = 10^{19}$ Гц
$U = ?$

Есеп мазмұнын талдау

Рентген түтігінде катод пен анод арасындағы электр өрісінде үдей қозғалатын 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 түтігіндегі 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 сәулелер 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.

$$\text{Шешуі: } U = \frac{h\nu}{e} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 10^{19} \text{ Гц}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 41000 \text{ В} = 41 \text{ кВ}.$$

Жауабы: $U = 41 \text{ кВ}$.

2-есеп. Егер рентгендік түтікте электрондарды үдететін кернеу 50 кВ-қа жетсе, рентгендік сәулелердің ең қысқа толқын ұзындығы қандай?

<i>Берілгені</i>
$U = 50 \text{ кВ} = 5 \cdot 10^4 \text{ В}$
$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
$\lambda - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Рентгендік түтіктегі электр өрісінің электронды үдету кезінде істейтін жұмысы $A = e(\varphi_1 - \varphi_2) = eU$ толығынан электронның E кинетикалық энергиясына айналады.

Электрон антикатодқа соғылғанда оның энергиясы түгелдей рентгендік фотонның $E = h\nu$ энергиясына айналды деп есептейміз: $eU = h\nu$. Мұндағы e – электронның заряды; $\nu = \frac{c}{\lambda}$ ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с – жарық жылдамдығы); $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – Планк тұрақтысы. $eU = h\nu$ болғанда ғана сәулелердің ν жиілігі ең үлкен шамаға, ал λ толқын ұзындығы, керісінше, ең қысқа шамаға жетеді.

Сонымен, жоғарыдағы тепе-теңдікке жиіліктің $\nu = \frac{c}{\lambda}$ мәнін қойып, рентген сәулесінің ең қысқа толқын ұзындығын анықтаймыз:

$$eU = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \text{ бұдан } \lambda = \frac{hc}{eU}.$$

$$\text{Шешуі: } \lambda = \frac{hc}{eU} = \frac{6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 5 \cdot 10^4 \text{ В}} = 0,25 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0,25 \text{ \AA}.$$

Жауабы: $\lambda = 0,25$ ангстрем.



Жаттығу 6.4

1. Егер рентгендік түтіктің электродтарының арасындағы кернеуді өзгертпей, катод қылының қызуын арттырсақ, онда рентгендік сәулелердің қатаңдығы (жиілігі) өзгере ме? Неге?
2. 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 толқын ұзындығы қандай болады?
4. Рентген сәулелерінің спектріндегі ең кіші толқын ұзындығы 1 нм болса, онда анодқа соғылатын 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 ТАБИҒАТЫ

1. Атомдар, ертедегі грек ғалымдарының болжағанындай, заттардың химиялық қасиетін сақтайтын ең кішкентай бөлігі. Алайда атом бөлінбейтін бөлшек деген олардың пайымдаулары XX ғасырдың басында тәжірибе жүзінде теріске шығарылды.

Иондалған атомдар зарядтарының дискреттілігі, жылулық сәуле шығару, 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 ағылшынның ұлы ғалымы Резерфорд пен оның шәкірттері эксперимент жүзінде дәлелдеді. Ол туралы келесі параграфта толық айтылады. Бұл арада сөз атомның өзі ғана емес, тіпті оның ядросының да құрылымы күрделі екенін айғақтайтын *радиоактивтік* құбылыс туралы болады.

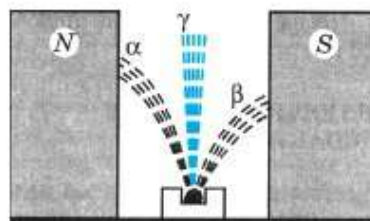
2. XIX ғасырдың аяғында (1896 ж.) француз ғалымы Беккерель табиғаты ерекше тағы бір сәулеге тап болды. Менделеев кестесінің соңына қарай орналасқан уран элементінің өз-өзінен көзге көрінбейтін бөлшектер мен сәулелерді шығарып жататыны анықталды.

1898 жылы Пьер Кюри және Мария Склодовская уран кенінен екі жаңа химиялық элемент *радий* мен *полонийді* бөліп алды. «Радий» сөзі гректің *radiare* – «сәулелену», «сәуле шығару» деген сөзінен алынған, ал «полоний» сөзі поляк қызы М. Склодовскаяның құрметіне берілген. Бұл екі элементтің ерекше сәуле шығару белсенділігі уранға қарағанда бірнеше мың есе артық болып шықты.

Радий немесе уран сияқты өздігінен ерекше сәуле шығарып тұратын химиялық элементтерді радиоактивті элементтер деп атайды.

Радиоактивті элементтердің ерекше сәуле шығаруын радиоактивті сәулелену дейді.

Радиоактивті элементтердің шығаратын сәулесін магнит өрісінде зерттегенде, оның үш түрге жіктелетіні белгілі болды (сурет 6.11). Оларды *альфа*-, *бета*- және *гамма*-сәулелер дейді де, гректің α , β , γ әріптерімен 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 оң зарядталған бөлшектер ағыны болып шықты. Сондықтан оларды кейде *α - және β -бөлшектері* деп те атайды. Оның үстіне, β -бөлшектің массасы α -бөлшектің массасына қарағанда мыңдаған есе кіші екені, олардың магнит өрісіндегі бұрылу бұрыштарын салыстыру арқылы анықталады. Кейінірек α -бөлшегінің гелий атомының ядросы екені белгілі болды.



Сурет 6.11.
Радиоактивті сәулелер

Гамма-сәулесі магнит өрісінде өзінің алғашқы бағытын өзгертпейді. Ол жиілігі рентгендік сәуле жиілігінен де жоғары ең қысқа толқынды электрмагниттік сәулелер ағыны болып табылады. Сондықтан гамма-сәуленің денелерден өтімділігі рентгендік сәулелердікінен де артық.

Радиоактивтік – атомдардың ғана емес, олардың ядроларының да күрделі құрылымын айғақтайтын бірден-бір құбылыс. Жоғарыда айтылған радиоактивті элементтердің шығаратын сәулелері атом ядросы ыдырауының нәтижесі болып табылады.

Кейбір химиялық элементтердің ядроларының α -, β - және γ -сәулелерін шығару құбылысын радиоактивтік, ал сәулелердің өздерін радиоактивті сәулелер деп атайды.



Сұрақтар

1. Атомның күрделі құрылым екенін көрсететін қандай эксперименттік нәтижелерді білесіңдер?
2. Радиоактивті элемент және радиоактивті сәулелену дегеніміз не?
3. Магнит өрісінің радиоактивті сәулелерді зерттеудегі рөлі қандай?
4. Радиоактивтік дегеніміз қандай құбылыс?



Жаттығу 6.5

1. Зарядталған бөлшектердің ауытқуы 6.11-суретте көрсетілгендей болу үшін магнит өрісінің индукция векторы қалай бағытталуы керек? Мұндай жағдайда бөлшектерге қандай күш әрекет етеді?
2. Радиоактивті препаратты не себептен алюминий контейнерлерде емес, қалың қабырғалы қорғасын контейнерлерде сақтайды?



Теориялық зерттеу

1. Электрмагниттік толқындар шкаласындағы мөлiметтердi пайдаланып, радиоактивтi заттардан шығатын гамма сәулесiнiң энергиясын анықтаңдар да, оны рентген және ақ жарықтың энергияларымен салыстырып, қорытынды жасаңдар.
2. Зарядтардың, тогы бар өткiзгiштiң магнит өрiсiндегi қозғалысы туралы 8-сынып физикасындағы бiлiмдерiңдi еске түсiрiп, қайталап оқыңдар.

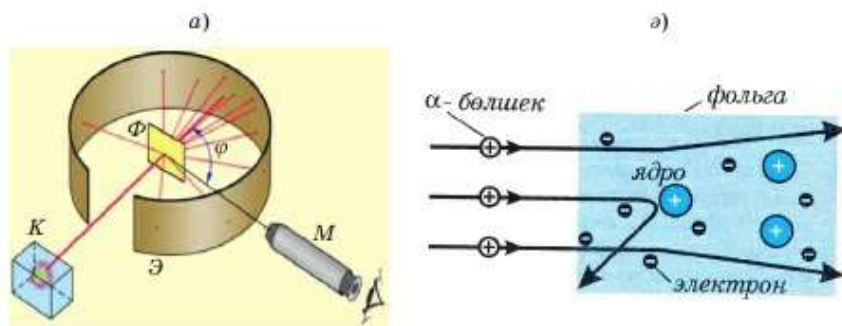
§43.

РЕЗЕРФОРД ТӘЖІРИБЕСІ. АТОМНЫҢ ҚҰРАМЫ

1. XX ғасырдың басында ғалымдардың алдына мынадай мәселелер қойылды: атом күрделі болса, оның құрамы қандай? Атом қандай бөлшектерден тұрады және олар қалай орналасқан?

Бұл сұрақтардың жауабы эксперименттік және теориялық зерттеу нәтижесінде табылды. Атом құрылысы туралы қазіргі көзқарастың қалыптасуына α -бөлшектердің өте жұқа металл ұлпасынан өтуін зерттеген Резерфорд тәжірибесінің маңызы өте зор болды.

1911 жылы Эрнест Резерфорд және оның шәкірттері α -бөлшектерінің өте жұқа алтын және платина ұлпаларынан 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 ұлпасына (фольгасына) жеткен кезде олардың біразы алғашқы бағытын өзгертіп, φ бұрышына

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 бөлігі ғана α -бөлшектерінің кейде үлкен бұрышпен кері шашырауына себепкер болады. Оның үстіне атомның бұл кішкене бөлігінің заряды оң, ал массасы α -бөлшектің массасына қарағанда тым үлкен болуға тиіс (сурет 6.12, ө). 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 ұқсас атомның планетарлық моделін ұсынды. Ондай модель бойынша атом оң зарядталған ядродан және оны айналып жүретін теріс зарядты электрондардан тұрады (сурет 6.13). Ядро төңірегіндегі мұндай электрондарды *орбиталық электрондар* деп атайды, ал олардың жиынын *электрондық қабықша* дейді.

Ядро атом көлемінің өте кішкене орталық бөлігін алып 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 дөніндей ғана болар еді.

Ғалымдардың 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 еселенетіні 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 бөлшектерді протондар деп атайды.



Сурет 6.13. Атомның планетарлық моделі

Бейтарап (нейтраль) атом ядросының оң зарядын орбиталдық электрондардың теріс заряды теңгеріп тұрады. Сондықтан электрондық қабықшадағы теріс зарядтардың қосындысы кері таңбамен алынған ядро зарядына тең:

$$q_a = -Z \cdot e. \quad (6.7)$$

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 ядросындағы протондар саны сол элементтің Менделеев кестесіндегі Z реттік санына тең болады.

Мысалы, сутектің кестедегі реттік саны бірге тең ($Z = 1$), ендеше оның ядросында бір ғана 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 ядросында 92 протон бар.

Сондықтан бейтарап уран атомының ядросының заряды 92 элементар зарядқа тең ($q_n = 92 \cdot e$). Ендеше, уран ядросын айнала қоршаған 92 электронның да зарядтары қарсы таңбамен алынған осыншама зарядқа тең ($q_a = -92 \cdot e$).



Сұрақтар

1. Резерфорд тәжірибесінің мәнділігі қалай сипатталады?
2. Атом қандай бөлшектерден тұрады?
3. Атомның планетарлық моделі дегеніміз қандай құрылым?
4. Протонның, электронның және атом ядросының зарядтары неге тең? Атомның және оның ядросының мөлшері туралы не білесіңдер?



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.

Босаған электрондардың бірін екінші атом өзіне қосып алды. Жеке қалған электрон және пайда болған иондар конденсатордың электр өрісінде қалай қозғалады? Суреттерін салып түсіндіріңдер.

5. Алдыңғы есептің шартында көрсетілген жеке электрон мен пайда болған екі ионның әрқайсысы конденсатор астарларының арасында потенциалдар айырымы 10 В болатын аралықтан өтсе, онда оларды қозғалту үшін электр өрісі қанша жұмыс атқарған?

VI тараудағы ең маңызды түйіндер

- Планк гипотезасы: *абсолют қара дене жылулық сәулелерді үздіксіз шығара да, жұта да алмайды; оларды үзікті (дискретті) үлес – квант түрінде ғана шығарады немесе жұтады. Сәулелер арқылы тарайтын ең кіші бір үлес энергия квант деп аталады.*

- Энергияның ең кіші бір үлесі *Планк формуласымен* анықталады:

$$E_0 = h\nu,$$

мұндағы ν – сәуленің жиілігі, $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – Планк тұрақтысы.

- **Фотоэффект үшін Эйнштейн формуласы:**

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

мұндағы $h\nu$ – энергия кванты, A – электронның шығу жұмысы, m және v – шыққан электронның массасы мен жылдамдығы.

- Бейтарап *атомның ядросының заряды мен электрондарының заряды:*

$$q_+ = +Z \cdot e,$$

$$q_- = -Z \cdot e,$$

мұндағы Z – элементтің Менделеев кестесіндегі реттік саны, e – элементар заряд.

VII ТАРАУ

АТОМ ЯДРОСЫ

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ МІНДЕТТІ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ МАҚСАТТАР:

- ▣ ядролық күштердің қасиеттерін сипаттау;
- ▣ атом ядросының масса ақауын анықтау;
- ▣ атом ядросының байланыс энергиясы формуласын есептер шығаруда қолдану;
- ▣ ядролық реакцияның теңдеуін 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 келтіру;
- ▣ радиациядан қорғану әдістерін сипаттау.

Бұл тарауда оқушылар терең игеруге міндетті алдыңғы бетте көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде ұзақ 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

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
Ядролық күштер	Ядерные силы	Nuclear Forces
Масса ақауы	Дефект масс	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

1. Резерфорд 1920 жылы атом ядросының құрамына оң зарядталған протондардан басқа массасы үлкен бейтарап бөлшек «нейтрон» бар деп болжаған еді. 1932 жылы Резерфордтың шәкірті Д. Чэдвак ядро құрамына кіретін жаңа бөлшек *нейтронды* ашты. Енді кез келген элемент атомының ядросы екі түрлі бөлшектен протондар мен нейтрондардан тұратыны белгілі болды. Оларды жалпылап *нуклондар* деп атайды, ал тұтас ядроны *нуклид* дейді.

Ядродағы протондар мен нейтрондардың жалпы санын A әрпімен белгілейді. A санын *массалық сан* деп атайды, өйткені атомның массасы, негізінен нуклидте (ядрода), яғни протондар мен нейтрондарда жинақталған. Расында да, әрбір протонның массасы электронның массасына қарағанда 1836 есе, ал нейтронның массасы 1841 еседей үлкен.

Элементтердің ядроларын сол элементтердің периодтық кестедегі таңбаларымен белгілейді. Мысалы, сутек ядросы H , ал уран ядросы U таңбаларымен белгіленеді. *Нақты бір элементтің ядроларындағы протондар саны (Z) өзгермейді, нейтрондар саны әртүрлі болып кездеседі. Осыған сәйкес химиялық элементтің ядросындағы 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 төменгі жағына реттік нөмірі (Z), ал жоғарғы жағына нуклондар саны (A) жазылады. Мысалы, сутек ядросы 1_1H немесе ${}_1^1H$ таңбаларымен, ал уран ядросы ${}^{235}_{92}U$ немесе ${}_{92}^{235}U$ 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 ядросындағы протондардың санына тең. Ол арқылы ядроның заряды ($q_n = +Z \cdot e$) анықталады. Сондықтан Z санын *зарядтық сан* деп атайды.

Мысалы, гелий атомы ядросының (4_2He) заряды $q_n = +2e$, ал заряд саны $Z_{He} = 2$. Сутек атомы ядросының (1_1H) заряды $q_n = +1e$, заряд саны $Z_H = 1$. Уран ядросының (${}^{238}_{92}U$) заряды $q_n = +92e$, ал заряд саны $Z_U = 92$.

Нақты бір элемент атомының ядросындағы 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: ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$. 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, ядродағы N нейтрондар санын таба аламыз:

$$N = A - Z. \quad (7.1)$$

Кез келген атомның ядросындағы нейтрондар саны әртүрлі болғанымен протондар саны өзгермейді. Мысалы, сутек атомының әртүрлі ядросында 1 немесе 2 нейтрон бар. Көбінесе сутек ядросы қасында нейтроны жоқ жалғыз протоннан ғана тұрады. Уран атомын алсақ, оның ядросында кестедегі орнына сәйкес 92 протон бар. Ал оның әртүрлі ядросында $238 - 92 = 146$ 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 ${}^1_1\text{H}$ өте көп, ал ауыр сутектің изотоптары дейтерий ${}^2_1\text{H}$ сирек кездеседі және тритий ${}^3_1\text{H}$ 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 алынады.

4. Көп жағдайда сутек атомның ядросы бір ғана оң зарядталған бөлшектен тұрады. Ол бөлшекті Резерфорд **протон** деп атады. Ядролық физикада оны 1_1p таңбасымен белгілейді. Расында да, протонның массалық саны да, заряд саны да сутектің ${}^1_1\text{H}$ изотопына ұқсас бірге тең ($A = 1, Z = 1$). Нейтронның массалық саны бірге, ал заряд саны нөлге тең болғандықтан, оны 1_0n 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 ${}^0_{-1}e$ таңбасымен белгілейді. Атомның құрамындағы **протонды, нейтронды және электронды элементар** бөлшектер деп атайды.

5. Кез келген химиялық элемент атомының ядросы протондардан және нейтрондардан тұратынын білдік. Көптеген тәжірибе бойынша атомның радиусы $R_a \approx 10^{-10}$ м, ал ядроның радиусы $R_n \approx 10^{-14} - 10^{-15}$ м шамасындай. Мысалы, алюминий атомының радиусы $R_a \approx 2,6 \cdot 10^{-10}$ м, ал оның ядросының радиусы жуықтап алғанда $R_n \approx 4,5 \cdot 10^{-15}$ м.

Бұдан ядроның радиусы атомның радиусымен салыстырғанда $10^4 - 10^5$ еседей кіші болатынын көреміз. Демек, атомның азғана көлемінде протондар мен нейтрондар өте тығыз әрі берік орналасқан. Сонда бір-бірінен тебілетін оң зарядталған протондарды ядрода қандай күш ұстап тұрады? Бұл жұмбақ күштің тартылыс күші екені аян. Мүмкін, ол нуклондар арасындағы бүкіләлемдік тартылыс күші 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 күші, олардың ньютон-

дық $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$ тартылыс күшінен 1036 есе үлкен болатынын көреміз. Ендеше, ядродағы нуклондарды шашыратпай ұстап тұрған күш ньютондық гравитациялық күшке жатпайды. Олай болса, ядро аймағында нуклондарды ұстап тұратын табиғаты бөлек алапат зор күштің бар екендігі айқын.

6. Ядролық әрекеттесу күші электрлік және гравитациялық әрекеттесулердің заңдарына бағынбайтын табиғаты мүлдем өзгеше күш болып табылады.

Ядрода нуклондарды берік байланыста ұстап тұратын күшті ядролық күш деп атайды.

Ядролық күшті сипаттайтын аналитикалық өрнек әлі табылған жоқ. Алайда тәжірибелерден *ядролық күштердің қасиеттері* туралы мынадай деректер жинақталды:

1) *Ядролық күштер – қысқа әрекетті күштер.* Өйткені ядролық күштердің әрекет аймағының радиусы нуклонның мөлшерімен (10^{-16} м) шамалас. Осыншама қысқа аралықта ядролық тартылыс күштері кулондық тербеліс күштерінен жүздеген есе артық болады. Ал алыс аралықтарда ядролық күш әрекеттесулерге қатыспайды.

2) *Ядролық күштер – зарядтарға тәуелсіз.* Ядролық күш зарядтардың бар-жоғына, олардың таңбаларына тәуелді емес. Сондықтан ядродағы протондарды да, нейтрондарды да ядролық күштер біріктіріп ұстап тұрады.

3) *Ядролық күштер – қаныққыш күштер.* Ядролық күштердің қанығу қасиеті олардың қысқа әрекеттігімен түсіндіріледі, яғни әрбір нуклон тек өз көршілерімен ғана әрекеттеседі.



Сұрақтар

1. Ядро қандай бөлшектерден тұрады? Ядроны қалай белгілейді және оның массалық саны нені білдіреді?
2. Ядроның заряд саны дегеніміз қандай сан? Оның физикалық мағынасы қандай?
3. Нуклондар, нуклидтер деп нені айтамыз?
4. Изотоптар дегеніміз не? Изотоптарды қалай ажыратады және қалай белгілеп жазады?
5. Атомның құрамындағы бөлшектерді қандай бөлшектер деп атайды және оларды қалай белгілейді?
6. Ядролық күш дегеніміз қандай күш?
7. Ядролық күштердің қасиеттері қандай?
8. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Күміс және менделевий атомдары ядроларының құрамы қандай?

Берілгені
$(^{107}_{47}\text{Ag}); (^{258}_{101}\text{Md})$
$(Z + N) - ?$

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 (47р) бар, ал менделевий атомының ядросында $Z_2 = 101$ протон (101р) 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
$79p + 118n$
${}_Z\text{X}^A - ?$

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: ${}_Z\text{X}^A = {}_{79}\text{Au}^{197}$. Бұл – алтын атомының ядросы.

Жауабы: алтын.

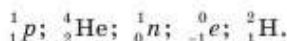


Жаттығу 7.1

1. Химиялық элементтердің Менделеев кестесін пайдалана отырып, төмендегі 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-квантын шығарса, онда химиялық элементтің массалық саны, массасы және заряд саны өзгере ме? Егер α -бөлшегі шықса қалай болады? Мысалдармен түсіндіріңдер.
4. Гелий ядросындағы екі протонның арасындағы тебілу күші қандай?
5. Сутек атомы ядросының радиусы $5 \cdot 10^{-16}$ м. Ядроның тығыздығы қандай? Ядроның тығыздығы темірдің тығыздығынан қанша есе көп?
6. Сутек атомының радиусы $0,5 \cdot 10^{-8}$ см, ал оның ядросының радиусы $5 \cdot 10^{-14}$ см шамасындай. Егер ядроның мөлшерін шие жемісінің өлшеміне ($r_1 = 1$ см) дейін үлкейтсек, онда атомының радиусы қандай болар еді?



Ғылым мен техниканың даму тарихынан

Протондар мен нейтрондарды өте қысқа аралықта ұстап тұратын ядролық күштер табиғаттың іргелі күштері қатарынан орын алады. 1932 жылы нейтрон ашылғаннан кейін атом ядросының Резерфорд болжағандай, оң зарядты протондар мен «заряды жоқ» нейтрондардан тұратыны толық дәлелденді. «Протондар мен нейтрондарды аядай ғана ядрода қандай күштер және қалай ұстап тұрады?» деген сұрақтар туындады. Бұндай сұрақтардың жауабын 1935 жылы 28 жасар Жапонияның жас түлегі Хидэки Юкава тапты.

Ол p протон мен n нейтронның арасындағы өзара байланыс олардың бір-бірімен π мезон деп аталған кішігірім бөлшектермен ядролық өрісте алма-кезек алмасулары арқылы жүзеге асатынын теория жүзінде дәлелдеді: $p \leftarrow \pi \rightarrow n$. Мұндай байланыс екі шебер футболшының бір-біріне доп беріп, өзара берік байланыс жасағандарына ұқсайды. Юкава, сонымен қатар мезонның массасының электрон массасынан 200 еседей үлкен болатынын да болжады. Ол болжаған мезон 1947 жылы ғарыштан келетін сәулелер арасынан табылды. 1949 жылы Юкаваға ядролық күштерге арналған теориялық зерттеулері мен белгісіз мезон бөлшектерінің бар екендігін болжағаны үшін Нобель сыйлығы берілді.



Хидэки Юкава
(1907–1981)

МАССА АҚАУЫ. АТОМ ЯДРОСЫНЫҢ БАЙЛАНЫС ЭНЕРГИЯСЫ

1. Ядролық физика элементар бөлшектердің қасиеттерін зерттейтін ғылым болғандықтан, микроәлем үшін физикалық шамалардың ерте-ректе қалыптасқан бірліктерін пайдалану көптеген қолайсыздықтар тудырады. Мысалы, ядроның және ондағы нуклондардың мөлшері мен массасы туралы айтқанда, олардың радиустарын метрмен, ал массаларын килограммен анықтау ұтымды болмайды. Сол сияқты нуклондардың да өзара әрекеттесу күшін ньютонмен, ал энергияларын джоульмен анықтау тым қолайсыз. Сондықтан ядролық физикада, бірліктердің халықаралық жүйесімен қоса, арнайы бірліктер де қолданылады. Оларға төменде көрсетілген *ұзындық, масса және энергия* бірліктері жатады.

Ядролық физикада *ұзындық бірлігі* ретінде *фемтометр* (фм) алынады: $1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ м}$. 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 $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ болатын *электронның потенциалдар айырымы бір вольт* ($\Delta\phi = U = 1\text{В}$) аралықтан өткенде өрістің істейтін ($A = eU$) жұмысына тең.

$$1 \text{ электрон-вольт (1 эВ)} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1\text{В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

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 тура пропорционалдық байланыс барын ашты. Бұл байланыс мына формуламен өрнектеледі:

$$E_0 = mc^2, \tag{7.2}$$

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:

$$\Delta E_0 = \Delta mc^2.$$

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, микроөлемдегі бөлшектердің массаларын энергия бірліктерімен (электрон-вольт, килоэлектронвольт, мегаэлектронвольт деп) атай береді. 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 шамаға 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 аталады:

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - M_a, \quad (7.3)$$

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 анықтауға болады: $\Delta m = (ZM_H + Nm_n) - M_a$, мұндағы M_H – сутек атомының тыныштық массасы, M_a – зерттейтін атомның тыныштық массасы.

Атомдардың ядролары түзілгенде пайда болатын масса ақауларын табу үшін форзацтағы 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 ($E_1 - E_2 = \Delta E = h\nu$) сәулелік энергия сыртқы ортаға тарайды. Кванттық сәулеленуге шығындалған ΔE энергия ($\Delta E = \Delta mc^2$ өрнегіне сәйкес) ядроға Δm массаның 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, ядроны құрағанда пайда болатын массаның ақауы есебінен бөлініп 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:

$$E_{\text{байл.}} = \Delta m c^2 = [(Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - M_{\text{я}}] c^2 \text{ немесе} \\ [(Z \cdot M_{\text{H}} + N \cdot m_n) - M_{\text{я}}] c^2.$$

Ядроның байланыс энергиясын табу үшін мына қарапайым формула жиі қолданылады:

$$E_{\text{байл.}} = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ}, \quad (7.4)$$

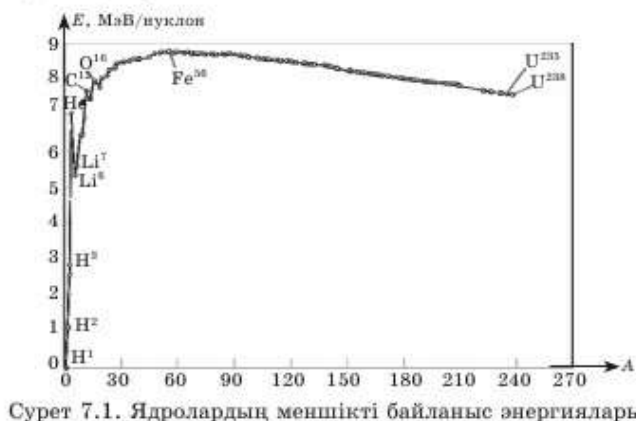
мұндағы Δm – ядро массасының ақауы.

5. Ядролардың орнықтылығын сипаттау үшін **меншікті байланыс энергиясы** деген шама енгізіледі. *Бір нуклонға келетін байланыс энергиясының шамасын ядроның меншікті байланыс энергиясы деп атайды:*

$$E_{\text{менш.}} = \frac{E_{\text{байл.}}}{A}, \quad (7.5)$$

мұндағы A – ядродағы нуклондардың саны.

Табиғатта кездесетін химиялық элементтердің меншікті байланыс энергияларын график түрінде бейнелеуге болады (сурет 7.1). Суреттегі абсциссалар өсінде элементтердің массалық сандары, ал ординаталар өсінде бір нуклонға келетін меншікті байланыс энергиялары мегаэлектрон-вольтпен (МэВ) көрсетілген.



Графиктегі қисықтың бастапқы, ортанғы, соңғы бөліктеріне көңіл аударайық. Оның бастапқы бөлігінде массалық санның ($A = Z + N$) өсуіне қарай ядролардың меншікті байланыс энергиясы нөлден бастап күрт артады. Мысалы, массалық саны $A = Z + N = 1 + 0 = 1$ болатын ең жеңіл сутек ядросының меншікті байланыс энергиясы нөлге тең. Шынында да, бұл ядро тек бір ғана протоннан тұрады, сондықтан энергия шығындап айырып алатындай онымен байланысып тұрған басқа нуклондар жоқ.

Ал сутектің дейтерий деп аталатын изотопының (${}^2_1\text{H}$) меншікті байланыс энергиясы 1 МэВ/нуклон шамасындай екенін көреміз. Дейтерий ядросы екі бөлшектен (протон мен нейтроннан) тұрады:

$$A = Z + N = 1 + 1 = 2.$$

Енді массалық саны $A = Z + N = 2 + 2 = 4$ болатын гелий ядросын (${}^4_2\text{He}$) алайық. Оның меншікті байланыс энергиясы бірден үлкен шамаға (7,1 МэВ/нуклон) көтеріледі. Қисықтың ортасына қарай меншікті байланыс энергиялары баяу өсіп, массалық саны $A = 56$ болатын темір ядросының (${}^{56}_{26}\text{Fe}$) тұсында максимум шамаға (8,7 МэВ/нуклон) жетеді. Ядролардың массалық сандары одан әрі өскенде нуклондардың меншікті байланыс энергияларының жайлап кемитіні суреттен көрініп тұр. Элементтердің периодтық жүйесінің соңында тұрған уран ядросының ${}^{238}_{92}\text{U}$ меншікті байланыс энергиясы 7,6 МэВ/нуклон шамасына дейін азаяды.

Темірге ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ дейінгі элементтер массалық сандарына қарай салыстырмалы түрде «жеңіл» элементтер, ал темірден кейінгілері «ауыр» элементтер қатарына жатады. Ауыр элементтердің соңында тұрған уран ядросының байланыс энергиясы ең аз шаманы құрайды. Сондықтан оның ядросы өз бетімен ыдырауға бейім тұрады.



Сұрақтар

1. Ядролық физикада ұзындықтың, массаның және энергияның бірліктері ретінде не алынады?
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 тәуелділік бар?
6. Меншікті байланыс энергиясы деп қандай энергияны айтамыз?
7. Меншікті байланыс энергиясының массалық санға тәуелділік графигінің ерекшелігі қандай?
8. Уран элементінен де ауыр элементтер Жер шарында неге кездеспейді?
9. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Гелий-4 және гелий-3 атомдарының тыныштық массалары тиісінше 4,002603 м.а.б. және 3,016042 м.а.б. Олардың массалар айырымын мегаэлектронвольтпен (МэВ) анықтаңдар. Гелий изотоптары атомдарының массалар айырымы неге туындап отырғанын түсіндіріңдер.

Берілгені
$m_1 = 4,002603$ м.а.б.
$m_2 = 3,016042$ м.а.б.
$\Delta m - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Массалар айырымын МэВ-пен көрсету үшін мына өрнекті пайдаланамыз:

$$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ},$$

$$\text{мұндағы } \Delta m = m_1 - m_2 = (4,002603 - 3,016042) \text{ м.а.б.} = 0,986561 \text{ м.а.б.}$$

Шешуі: $E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 0,986561 \cdot 931,5 \text{ МэВ} \approx 918,9 \text{ МэВ}.$

Жауабы: $E = 918,9 \text{ МэВ}.$

Гелий изотоптарының арасындағы массалар айырымының 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 отырғанымыздай, гелий-3 ядросындағы нуклондар саны гелий-4 ядросына қарағанда бір нейтронға кем. Міне, сондықтан гелий изотоптары атомдарының массалары әртүрлі болып келеді.

2-есеп. Көміртек-13 атомы ядросын протондар мен нейтрондарға ыдырату үшін қандай ең аз энергия шығындау керек? Ядроның меншікті байланыс энергиясы қандай?

Берілгені
${}^{13}_6\text{C}; A = 13$
$E_{\text{байл}} - ?$
$E_{\text{менш}} - ?$

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 жұмсалатын 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

$$E_{\text{байл}} = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ} = [(6M_H + 7m_n) - M_a] \cdot 931,5 \text{ МэВ},$$

мұндағы m_p , m_n – протон мен нейтронның массалары, M_a – көміртек-13

атомы ядросының массасы, M_{H} – сутек-1 атомының, ал M_{a} көміртек-13 атомының массасы, Δm – көміртек-13 атомы ядросы массасының ақауы.

Шешуі: Екінші формуладағы бөлшектер үшін форзацтағы 6-кестеде көрсетілген мәндерін пайдаланамыз:

$$E_{\text{байл}} = [(6 \cdot 1,007825 + 7 \cdot 1,008665) - 13,003354] \cdot 931,5 \text{ МэВ} \approx 97,06 \text{ МэВ}.$$

$$E_{\text{менш}} = E_{\text{байл}} / A = 97,06 \text{ МэВ} / 13 \approx 7,47 \text{ МэВ бір нуклонға}.$$

$$\text{Жауабы: } E_{\text{байл}} \approx 97,06 \text{ МэВ}.$$

$$E_{\text{менш}} \approx 7,47 \text{ МэВ/нуклон}$$



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. Дейтерий мен тритий атомдары массасының ақауын табыңдар.
3. Массасы 1 г дененің тыныштық энергиясы қандай?
4. Сутек-3 (тритий) атомы ядросының байланыс энергиясы, меншікті байланыс энергиясы қандай?
5. ${}_{93}^{239}\text{Np}$ нептуний изотопының атомдық ядросының байланыс энергиясы қандай?
6. ${}_{94}^{239}\text{Pu}$ плутоний изотопы ядросының меншікті байланыс энергиясы қандай?

§46.

ЯДРОЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР

1. Ядролық реакциялар деп атом ядросының құрамы мен құрылымын өзгертетін реакцияларды айтады. Атом ядросының құрамы мен құрылымы өзгертетін 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 ядросын) екі-үш жарықшаққа бөліп, екі немесе үш жеңілірек элементтердің ядроларын алу; екіншісі – өте жеңіл элементтердің (мысалы, сутек 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 мағынасын тереңірек түсіну үшін уран атомының ядросына байланысты мынадай маңызды қорытынды шығаруға болады.

Біріншіден, уран ядросындағы нуклондардың меншікті байланыс энергиясы аз болғандықтан, оның ядросын аз энергия шығындап бірнеше бөліктерге ыдырату жеңілдеу.

Екіншіден, уран ядросындағы оң зарядты протондардың саны басқа элементтердікінен көп. Ендеше, олардың кулондық тебілу күштері үлкен шамаға жетіп, бөлінуді жеңілдетеді.

Үшіншіден, жоғарыда көрсетілген екі жағдай біріге келіп, уран ядросының табиғи ыдырауына себепкер болады.

Төртіншіден, уран ядросы бірнеше бөліктерге бөліне қалса, олардың массаларының қосындысы бөлінген ядроның массасынан едәуір кіші болады да, Δm массалар ақауы туындайды. Оның есебінен аса мол ядролық энергия босап шығады:

$$\Delta E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

Қазіргі кезде ауыр ядролардың (уран, торий изотоптары) бөлінуі арқылы өндірілетін энергия атомдық реакторлар мен атом электрстансыларында (АЭС) алынады. Ал атомдық бомбада ядролық энергия басқарусыз қопарылыс түрінде босайды. АЭС-тар үшін жер қойнауындағы ядролық отынның (уранның) 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 Күннің орасан зор энергия шығаруы нақ осы жеңіл элементтер ядроларының бір-біріне бірігуіне байланысты туындайды. Бірігетін ядролар массаларының қосындысы түзілген жаңа ядроның массасынан үлкен болғандықтан, жеңіл ядролардың бірігуі кезінде туындайтын 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 әзірше табылмай отыр. Ядролық энергияның бұл түрі қазіргі жағдайда басқарусыз, тек сутек бомбасы жарылғанда ғана алынады. Жеңіл ядроларды бір-біріне біріктіру реакциясы аса жоғары миллиондаған (градус) температурада орындалатындықтан, ондай ядролық реакцияны **термоядролық синтез** деп атайды.

Ғалымдардың алдында энергияның таусылмас көзі қолдан басқарылатын термоядролық реакторларды жасау міндеті тұр. Бұл мәселе шешілетін болса, Жер бетіндегі сутектің энергетикалық қоры 20 млрд жылға жететіні есептелген.

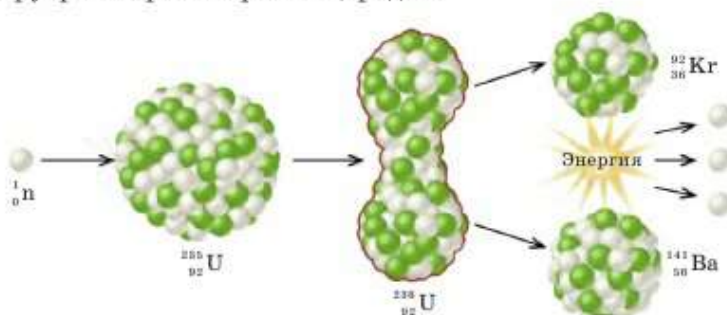
4. XX ғасырдың 30-жылдары ауыр ядроларды басқа бөлшектермен атқылау арқылы ірі жарықшақтарға бөлу туралы ой туды. Ондай ойдың тууына уран ядроларындағы бір нуклонға келетін байланыс энергиясының аздығы және бір-бірінен тебілетін оң зарядты протондардың молдығы себепкер болды.

Сөйтіп, 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 атқылағанда, олардың екі үлкен бөліктерге бөлініп, басқа химиялық элементтерге айналатынын неміс ғалымдары О. Ган мен Ф. Штрассман тәжірибе жүзінде ашты. Бұл күнді ядролық энергетика заманының бастау күні десе де болады.

Ядроларды бөлу деп оны нейтрондармен атқылау арқылы жеке-леген екі немесе үш жарықшақтарға ажыратуды айтады.

Расында да, уран-235 ядросын нейтронмен атқылау барысында (сурет 7.2) оның екі химиялық элементке (барий мен криптонға) түрленгені ашылды.

Бөліну барысында уран ядросы жарықшақтармен қоса 2-3 нейтронды шығарады. Бұл нейтрондар ядролардың бөліну реакциясын одан әрі жалғастыру үшін ерекше рөл атқарады.



Сурет 7.2. Уран ядросының бөлінуі

Туынды 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 0,1эВ шамасындай (жылдамдығы 2000–3000 м/с) болатын *баяу нейтрондармен* соқтығысқанда оңай бөлінетіні белгілі болды. Баяу нейтрондарды кейде *жылулық нейтрондар* деп те атайды.

5. Ядролық реакциялар орын алғанда, яғни ауыр ядролар түрленіп бөлінгенде немесе ыдырағанда, жеңіл ядролар қосылып біріккенде мына екі заң үнемі сақталады:

1) *бөлінетін (бірігетін) ядролардың (бөлшектердің) зарядтық сандарының қосындысы туынды бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысына тең болады* (зарядтық санның сақталу заңы):

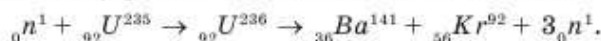
$$\sum Z_n \text{ (алғашқы бөлшектер)} = \sum Z_k \text{ (туынды бөлшектер)} = \text{const}; \quad (7.6)$$

2) *бөлінетін (бірігетін) ядролардың (бөлшектердің) массалық сандарының қосындысы туынды бөлшектердің массалық сандарының қосындысына тең болады* (массалық санның сақталу заңы):

$$\sum A_n \text{ (алғашқы бөлшектер)} = \sum A_k \text{ (туынды бөлшектер)} = \text{const}. \quad (7.7)$$

Мұндағы: $\sum Z_n$ – ядролық реакцияларға қатысатын алғашқы «n» бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысы; $\sum Z_k$ – ядролық реакциядан кейін пайда болған туынды «k» бөлшектердің зарядтық сандарының қосындысы; $\sum A_n$ – ядролық реакцияларға қатысатын алғашқы «n» бөлшектердің массалық сандарының қосындысы; $\sum A_k$ – 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 болатынын уран-235 ядросының бөліну реакциясынан анық байқаймыз:

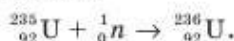


Расында да:

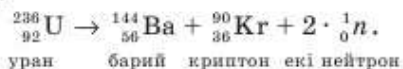
$$Z = 0_{\text{нейт.}} + 92_{\text{уран}} = 92 = 36_{\text{барий}} + 56_{\text{криптон}} + 0_{\text{нейтрон}} = 92;$$

$$A = 1_{\text{нейт.}} + 235_{\text{уран}} = 236 = 141_{\text{барий}} + 92_{\text{криптон}} + 3_{\text{нейтрон}} = 236.$$

6. Уран-235 ядросының бөліну мысалында тізбекті ядролық реакциясының (7.3-сурет) өту барысын сипаттайық. Уран изотопы ${}_{92}^{235}\text{U}$ баяу нейтрондармен соқтығысқан кезде оны ядросына қосып алады да, тұрақсыз уран-236 изотопына айналады:



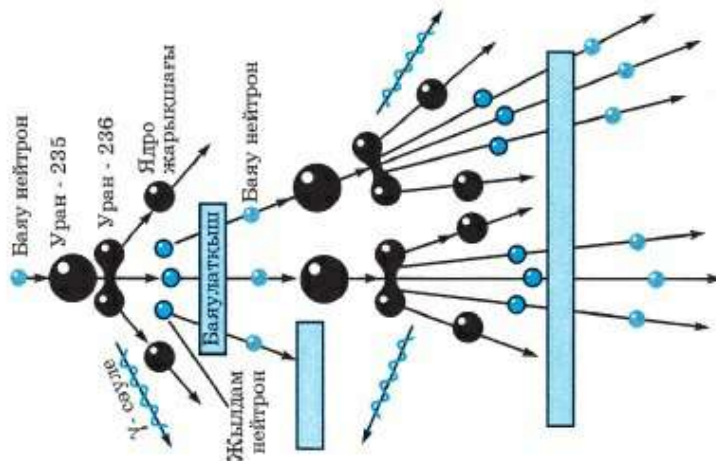
Алайда жаңа нейтронды ядросына қосып алған уран-236 изотопы өте орнықсыз қозған күйге ауысады. Соның салдарынан ол бірнеше жарықшақтарға бөлінеді:



Жарықшақтардағы, яғни жаңадан пайда болған жеңіл ядролардағы нейтрондар саны олардың табиғи нормаларынан артық болып шығады. Сондықтан қозған ядролар бірден артық нейтрондардан арылуға тырысады. Осылайша ядро бөлінгенде 2–3 жылдам нейтрондар босап шығады. Туынды нейтрондардың жылдамдығы аса үлкен болғандықтан, уранның жарылмаған ядролары оларды өздеріне қосып алуға үлгере алмайды. Сондықтан тізбекті бөліну реакциясы жалғасын табу үшін жылдам нейтрондарды тежеп, баюу (жылулық) нейтрондарға айналдыруға тура келеді.

Жылдам нейтрондардың кинетикалық энергиясын азайтып, жылдамдықтарын кеміте алатын материалдарды тежегіштер (баюлатқыштар) деп атайды.

Жақсы тежегіштер қатарына графит түріндегі көміртек, су және бериллий жатады. Тежегіштерден өткен 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 туынды нейтрондардың қатысуымен ядролардың тасқынды бөлінуі жалғаса береді (сурет 7.3).



Сурет 7.3. Тізбекті ядролық реакция

Уранның әр ядросы 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 жарықшақтарының (туынды ядролардың) арасындағы бір нуклонға шаққандағы энергия айырымы $\Delta E = (8,5 - 7,6) \text{ МэВ} = 0,9 \text{ МэВ}$ болады. Уран-236 изотопының бір ядросында 236 нуклон бар. Ендеше, уранның бір ядросы бөлінгенде $0,9 \text{ МэВ} \cdot 236 = 200 \text{ МэВ}$ энергия босайды.

Босаған 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 ядросының ерекшеліктері қандай?
3. Бөліну және біріктіру (синтездеу) реакцияларында не себептен аса мол энергия босап шығады?
4. Ядролардың бөлінуі деп нені айтамыз? Ядро бөлінгенде қандай бөлшектер пайда болады?
5. Ядроны бөлуге неліктен нейтрон таңдап алынған? Ядро бөлінгенде не себептен туынды нейтрондар пайда болады?
6. Тежегіштер дегеніміз не? Олар қандай мақсатта және не себептен қолданылады?
7. Тізбекті бөліну реакциясы деп қандай реакцияны айтады?
8. Уран ядросы бөлінгенде қанша энергия босайды? Оны массалар ақауы арқылы есептеп көріңдер.
9. Төмендегі мысалда келтірілген есептің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

1-есеп. $B^{11} + He^4 \rightarrow N^{14} + X$ реакциясын толықтырып жазыңдар.

Берілгені
$^{11}B; ^4He \ ^{14}N$
${}_Z X^A - ?$

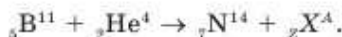
Есеп мазмұнын талдау

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 мынаған тең: $A_1 = 11$; $A_2 = 4$; $A_3 = 14$. Белгісіз X бөлшектің массалық санын A деп белгілейік.

Енгізілген белгілеулерді 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 санның 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: ${}_0\text{X}^1$.

Шешуі: ${}_Z\text{X}^A = {}_0\text{X}^1 = {}_0\text{n}^1$

Ізделінді бөлшек нейтрон болып шықты.

Жауабы: нейтрон.

§47.

РАДИОАКТИВТІ ҮДЫРАУ ЗАҢЫ

1. Біз жоғарыда ауыр ядролардың *бөлінуі* туралы баяндаған едік. Ал енді ядролардың *ыдырауы* дегеніміз не деп сұрауымызға болады. Ядролардың ыдырауы мен бөлінуінің арасында қандай ұқсастықтар мен айырмашылықтар бар?

Олардың ең басты ұқсастығы ретінде екі жағдайда да ядролардың түрленетінін айтуға болады. Екі жағдайда да ядролар түрленгенде зарядтық сандар мен массалық сандардың заңдары қатаң сақталады. Ал айырмашылықтарын айтар болсақ, ядролардың ыдырауы табиғи процесс болса, бөлінуі оларды нейтрондармен атқылау арқылы орындалады. Сонымен қатар ядролардың табиғи түрленуі «радиоактивті ыдырау заңы» деп аталатын заңға бағынады, ал олардың бөлінуі бұл заңға бағынбайды.

2. *Ядролардың өз бетімен альфа, бета және басқа да бөлшектер мен сәулелерді шығарып түрленулерін олардың радиоактивті ыдырауы деп атайды.*

Ауыр элементтер ядроларының ыдырау жылдамдықтарын сипаттау үшін *жартылай ыдырау 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, криптон-85 үшін $T = 10,6$ жыл, лантан-140 үшін $T = 40,2$ сағ, барий-140 үшін $T = 12,8$ тәул.

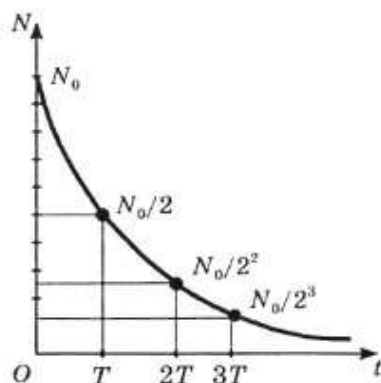
Жартылай ыдырау периодының анықтамасына сәйкес изотоптың алғашқы N_0 ядроларынан $t = 1T$ уақыт өткенде $\frac{N_0}{2}$ ядро, $t = 2T$ уақыт өткенде $\frac{N_0}{2} : 2 = \frac{N_0}{2^2}$ ядро, ал $t = 10T$, яғни он жарты периодқа тең уақыт өткенде $\frac{N_0}{2^{10}}$ ядро қалады. Қорыта келгенде, n 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 – ыдырамаған 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 сызбасы 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 сипаттайды. Өйткені атом ядросының ыдырауы **кездейсоқ оқиға** болып табылады: мысалы, қазір ыдырайды деп отырған ядро мыңдаған 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. Ықтималдық теориясына не-



Сурет 7.4.

Ядролардың ыдырау графигі

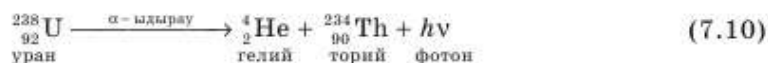
гізделген заңдылықтар тек аса көп бөлшектерден тұратын жүйелерде ғана орын алатын кездейсоқ құбылыстарды жалпы түрде сипаттай алады.

4. Тәжірибенің көрсетуі бойынша, өз бетімен табиғи ыдырайтын ядролар қатарын, массалық сандары 200-ден асатын химиялық элементтердің ядролары түзеді. Бұл элементтердің ядроларындағы нуклондардың байланыс энергиясы периодтық кестенің орта тұсындағы элементтердің байланыс энергияларынан аз (сурет 7.1). Сондықтан олардың ядролары байланыс энергиясы үлкендеу болатын бөліктерге (жеңілірек ядроларға) ыдырауға бейім тұрады. Мысалы, ондай бөліктерге Резерфорд тәжірибесінде ашылған альфа-бөлшегі, яғни гелий элементінің ядросы (${}^4_2\text{He}$) және басқа элементтердің ядролары жатады. Ядролар өз бетімен ыдырағанда да зарядтың және массалық сандардың сақталу заңдары қатаң сақталады. Осыған 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), ${}^4_2\text{He}$ – туынды гелий ядросы (α -бөлшегі), Y – туынды ядро.

Жоғарыдағы формулаға және зарядтық әрі массалық сандардың сақталу заңдарына сүйеніп, уран-238 изотопы ядросының α -ыдырау реакциясын жаза аламыз.



Уранның α -ыдырау реакциясында зарядтық сандардың (төменгі индекстер) сақталу заңының да ($92 = 2 + 90$), массалық сандардың (жоғарғы индекстер) сақталу заңының да ($238 = 4 + 234$) орындалатынын көреміз.

Альфа-ыдырауға қуатты ядролық күштер қарсы тұрады. Сондықтан элементтердің өз бетімен α -ыдырауы өте баяу жүреді.

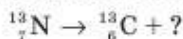


Сұрақтар

1. Радиоактивті ыдырау деп қандай ыдырауды айтады? Оның ядроның бөліну реакциясымен қандай ұқсастықтары 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 туындайды?
5. Төмендегі мысалдарда келтірілген есептердің шығару жолдарын түсіндіріңдер.

Есеп шығару мысалы

1-есеп. Азот изотопы $^{13}_7\text{N}$ – радиоактивті элемент. Осы изотоптың ядросы ыдырағанда, ядролық реакция мына сипатта жүреді:



Массалық және зарядтық сандардың сақталу заңдарын пайдаланып, белгісіз бөлшекті анықтаңдар. Ядроның мұндай түрленуі ыдыраудың қандай түріне жатады?

Берілгені
$^{13}_7\text{N}; A_2=13; Z_2=7$
$^{A_3}_{Z_3}\text{X} - ?$

Есеп мазмұнын талдау

Белгісіз туынды бөлшекті X деп белгілейік. Оның массалық саны A_3 , ал заряд саны Z_3 болсын. Көрсетілген белгілеулерді ескере отырып, азот ядросының ыдырау реакциясын мына түрде жазайық:

$$^{13}_7\text{N} \rightarrow ^{13}_6\text{C} + ^{A_3}_{Z_3}\text{X},$$

мұндағы $A_1 = 13$ – азот атомы

ядросының массалық саны, $A_2 = 13$ – көміртек атомы ядросының массалық саны, $Z_1 = 7$ – азот атомы ядросының зарядтық саны, $Z_2 = 6$ – көміртек атомы ядросының зарядтық саны. Массалық сандардың сақталу заңы бойынша мыналарды аламыз:

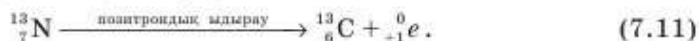
$$A_1 = A_2 + A_3 \text{ немесе } 13 = 13 + A_3, \text{ бұдан } A_3 = 0.$$

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 зарядтық саны бірге ($Z_3 = 1$) тең, яғни ^0_1X . Эксперименттік зерттеулер мұндай бөлшектің электронға ($^0_{-1}e$) кері бөлшек ($^0_{+1}e$) екенін анықтады. Олардың массалары да, зарядтары (e) да бірдей, алайда заряд таңбалары қарама-қарсы болып келеді. Бөлшектердің мұндай жұптарын **антибөлшектер** деп атайды. Электронның ($^0_{-1}e$) антибөлшегін **позитрон** ($^0_{+1}e$) деп атайды.

Қорытынды жауап: Азот атомының ядросы $^{13}_7\text{N}$ ыдырағанда, көміртек атомының ядросы $^{13}_6\text{C}$ және позитрон $^0_{+1}e$ пайда болады. Сондықтан мұндай ыдырау **позитрондық ыдырау** болып табылады:



2-есеп. Радиоактивті элементтің ядроларының саны 8 тәулікте 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:

$$N = N_0 \frac{1}{2^{t/T}} \tag{1}$$

Есептің шартын ескеріп, бұл заңды былай жазамыз:

$$\frac{N_0}{4} = N_0 \frac{1}{2^{t/T}}; \frac{1}{4} = \frac{1}{2^{8/T}} \text{ немесе } \frac{1}{2^2} = \frac{1}{2^{8/T}} \tag{2}$$

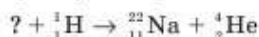
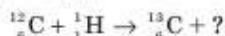
Шешуі: Соңғы өрнектегі теңдік белгісінің екі жағы өзара тепе-тең болғандықтан, бөлшектердің бөліміндегі 2 санының дәреже көрсеткіштері де өзара тең болады: $2=8/T$; бұдан $T = 4$ тәул.

Жауабы: 4 тәул.

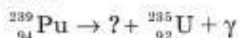


Жаттығу 7.3

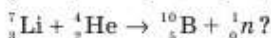
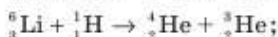
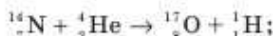
1. Мына ядролық реакциялардағы белгісіз бөлшектерді анықтаңдар.



2. Мына ядролық реакциялардағы белгісіз бөлшектерді анықтаңдар. Олар қандай ыдырауға жатады:



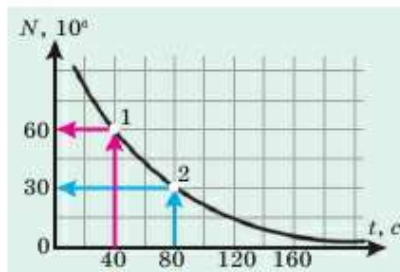
3. Мына ядролық реакцияларда энергия босай ма, әлде жұтыла ма?



Ескерту: Реакциялардың сол жағындағы бөлшектердің массаларының қосындысы ($\sum m_{\text{сол}}$) оң жағындағы бөлшектердің массаларының қосындысынан ($\sum m_{\text{оң}}$) артық болса ($\sum m_{\text{сол}} > \sum m_{\text{оң}}$), онда энергия босайды; кері жағдайда ($\sum m_{\text{сол}} < \sum m_{\text{оң}}$) энергия жұтылады.

4. Уран ядросы бөлінгенде пайда болған жарықшақтардың жиынтық массасы ядроның массасынан 0,25 протон массасына кіші. Уранның бір ядросы бөлінгенде қанша энергия босап шығады? Егер уранның тығыздығы $19,04 \text{ г/см}^3$ болса, онда оның 1 см көлеміндегі ядро бөлінгенде қанша энергия босап шығады?

5. Графикте (сурет 7.5) белгісіз химиялық элементтің ядроларының ыдырау қисығы көрсетілген. 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 жарылысы

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.

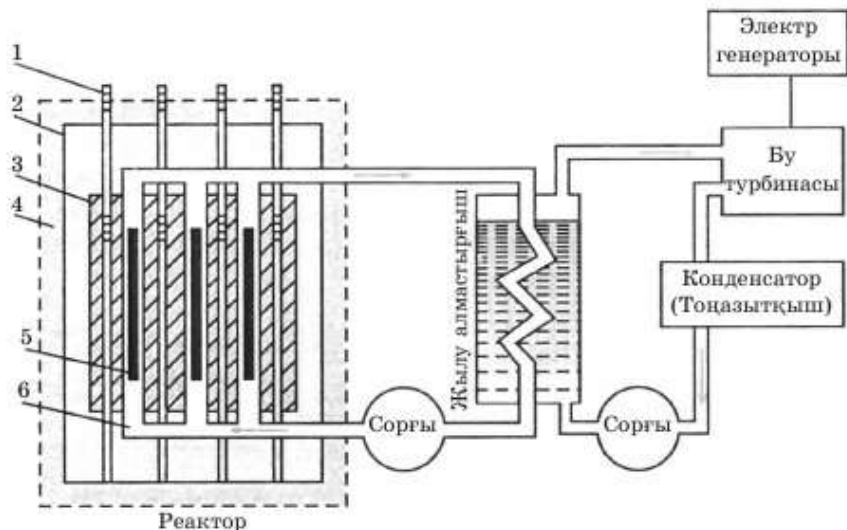
2. Реактордағы немесе атом бомбасындағы тізбекті реакция үздіксіз орындалуы үшін ядролық материалдың (уран, плутоний т.с.с.) белгілі бір массасы болуы керек. Егер ядролық отынның массасы аз болса, онда нейтрондар өз жолында жеткілікті мөлшерде жарылатын ядроларды кездестірмейді де, сыртқы ортаға тарап кетеді. Сондықтан ядролық тізбекті реакция жүрмей қалады.

Тізбекті бөліну 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. Әр бөліктің массасы сындық массадан кіші болады. Атом бомбасын жару үшін арнайы тетік арқылы ядролық зарядтың жеке бөліктері біріктіріліп, олардың біртұтас массасы сындық массаға 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 бөлігін *белсенді аумақ (активті зона)* құрайды (сурет 7.7). Белсенді аумақ *жылу шығарғыш 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) сұйықтар ағып өтетін түтіктер орналасқан. Жылу тасығыш қызметін су немесе сұйық металл, мысалы, натрий атқарады.

Нейтрондардың сыртқы ортаға ұшып шығуын азайту үшін белсенді аумақты *нейтрон қайтарғышпен* (2) қаптайды. Сыртқы ортаны аса қауіпті сәулелерден қорғау үшін нейтрон қайтарғыштың сыртын қалың болат сауытпен және биологиялық бетон қорғанмен (4) қоршайды.

Тізбекті реакцияны қопарылысқа 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 жұтып алатын заттардан жасалады. Мұндай таяқшаларды белсенді аумаққа енгізгенде бомбалаушы нейтрондар саны кемиді де, ядролық реакция баяулайды немесе тоқтайды.

4. Атом электр стансыларында (АЭС-тарда) ауыр элементтердің (уран, 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). Сөйтіп, уран ядросы бөлінгенде өзінің біраз массасын «жоғалтады». Сонда «жоғалған» 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 мегаэлектронвольтпен 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 электрмагниттік энергиясына түрленеді. Бұл бөлшектер белсенді аумақта суытқыш сұйықтың молекулаларымен бейберекет соқтығысуы салдарынан бірте-бірте тежеліп, олардың ішкі энергиясын молайтады. Сөйтіп, туынды бөлшектердің кинетикалық энергиясы мен γ -кванттарының сәулелік энергиясы реактордағы суытқыш сұйықтың жылу энергиясына айналады.

Реактордың белсенді аумағындағы артық жылу мөлшері екінші контурдағы жылу алмастырғышқа 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 электрмагниттік энергиясына, ал ол энергия жылу энергиясына, жылу энергиясы электр энергиясына айналады.



Сұрақтар

1. Ядролық реактор деп қандай қондырғыны 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 босатуға 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. ${}_{92}^{235}\text{U}$ уранның бір ядросы екі жарықшаққа бөлінгенде, 220 МэВ шамасында энергия алынады. Осы изотоптың 1 г-ы ядролық реакторда «жанғанда» қандай мөлшерде энергия босайды?
2. Тәулігіне 220 г уран ${}_{92}^{235}\text{U}$ изотопын шығындайтын ПӨК-і 25% атом электрстансысының электрлік қуаты қандай?

§49.

ТЕРМОЯДРОЛЫҚ РЕАКЦИЯЛАР

1. Жеңіл элементтерді (сутек, гелий, литий т. б.) жүздеген миллион градусқа дейін қыздырғанда, олардың бейтарап атомдары тұтастығын жойып, ядролар мен электрондарға ыдырайды. Нәтижесінде оң зарядты ядролардан, теріс зарядты электрондардан тұратын ерекше орта **жоғарғы температуралық плазма** пайда болады. Мұндай ыстық плазмада жылдамдықтары аса үлкен шамаға жеткен оң зарядты ядролар кулондық тебіліс бөгетін (барьерін) жеңе алатын кинетикалық энергияға ие болады:

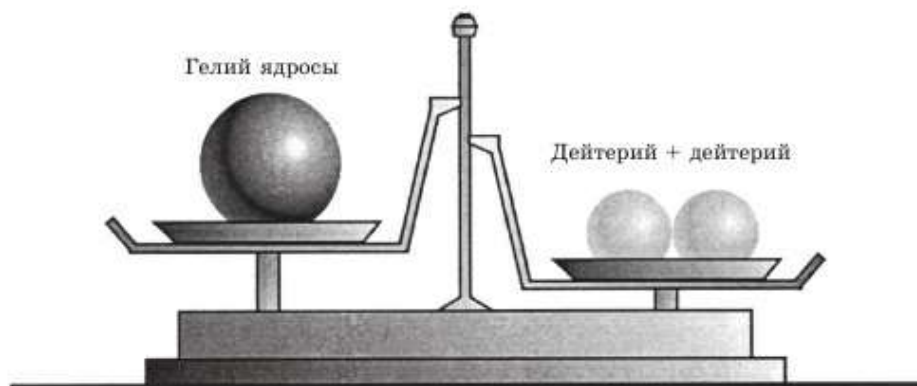
$$E_{\text{к}} = \frac{3}{2} kT = \frac{mv^2}{2},$$

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 жақындап, ядролық күштердің әрекет аймағына енеді. Сол сәтте-ақ тегеурінді ядролық күш оларды біріктіріп, жаңа ядроны түзеді. Бұл кезде пайда болған Δm масса ақауы есебінен аса мол $\Delta E = \Delta mc^2$ энергия босап шығады.

Теориялық және эксперименттік зерттеулер екі дейтерий ядросының қосынды массасы, олардың бірігуінен туған гелий ядросының массасынан үлкен болатынын көрсетеді (сурет 7.9). Жеңіл ядролардың бірігуі 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

Миллиондаған 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) *сутек бомбасын* жару арқылы жүзеге асырылды. Термоядролық бомбаның ішіне жоғары температура алу үшін атом бомбасының заряды және жеткілікті мөлшерде сутек изотоптары (мысалы, дейтерий) орналастырылады. Термоядролық жарылыста әуелі атом бомбасының заряды іске қосылады да, температура миллиондаған градусқа көтеріліп, сутек изотоптарының ядролары жаппай біріге бастайды. Осылайша әп-сәтте атом бомбасының жарылысы сутек бомбасының жарылысына ұласады.

3. Қолдан басқарылатын термоядролық реакцияларды іске асыру зор қиындықтарға кезікті. Оларды жүзеге асыру үшін, негізінен, үш мәселені ғылыми-техникалық тұрғыда шешу керек.

Біріншіден, сутек газын қыздыру арқылы ыстық плазманың температурасын ондаған миллион градусқа көтеру қажет.

Екіншіден, термоядролық реакцияны тұтандыру үшін ыстық плазманы суытпай, белгілі бір көлемде кем дегенде $10^{-1} - 10^{-2}$ с ұстап тұру қажет.

Үшіншіден, термоядролық реакция қарқынды жүріп, энергия шығымы қажетінше мол болуы үшін ыстық плазмадағы дейтерий ядроларының тығыздығы белгілі бір шамадан кем болмауға тиіс, яғни 1 м^3 көлемде кем дегенде 10^{22} бөлшек болуы керек.

Осы үш шарт қатарынан орындалса ғана 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 қоғамын мәңгі бақи рақатқа бөлейтін екі ұлы артықшылығы бар. Біріншіден, жеңіл элементтердің ядроларының бірігу реакциясында ауыр элементтердің ядроларын бөлетін реакциядағыдай аса зиянды қалдықтар мен қоқыстардың орнына кәдімгі таза су түзіледі. Екіншіден, термоядролық энергияның «отыны» – жеңіл элементтің (сутектің) қоры ғаламда да, Жер бетінде де шексіз мол. Ал өндіруі қиын әрі зардапты ауыр элементтердің (уранның) қоры 2–3 мың жылға ғана жетеді.

4. Термоядролық плазманы ұстап тұрудың бір тәсілін Нобель сыйлықтарының иегерлері ресейлік А.Д. Сахаров пен И.Е. Тамм 1950 ж.

ұсынды. Бұл тәсіл бойынша ыстық плазманы салқын қабырғаларға тигізбей, аса қуатты магнит өрісінде ұстап тұруға болады. Расында да, Лоренц күші плазманың зарядталған бөлшектерін термоядролық реактордың ішкі өзегіндегі магнит өрісінің күш сызықтарына «байлап», оларды ұстап тұра алады.

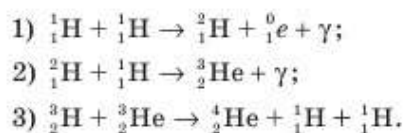
Ыстық плазманы магний өрісінде ұстап тұруға негізделіп жасалған қондырғыны *токамак* деп атайды. Оның аты *тор*, *камера*, *магниттік катушка* сөздерінің алғашқы буындарынан құралған. Токамак болашақ *термоядролық реактордың* негізі болады деген үміт бар.

5. Күн мен жұлдыздардағы энергияның негізгі көзі сутек ядроларын гелий ядроларына айналдыратын термоядролық реакциялар болып



Сурет 7.10. Сутек ядроларының бірігу реакциясы

табылады. Жұлдыздарда термоядролық реакциялар үшін қажетті жағдайлардың бәрі де бар. Жалпы алғанда, Ғаламдағы заттардың 99% -ын сутек құрайды. Сондықтан жұлдыздар қойнауындағы мол сутек ядролары жоғары қысым мен температураның салдарынан бір-бірімен бірігіп, гелий ядросына айналады (сурет 7.10). Сутек изотоптарын гелийге айналдыратын термоядролық реакциялар мына ретпен орындалады:



Мұндағы ${}_1^1\text{H}$ және ${}_1^2\text{H}$ – сутек изотоптары (сутек және дейтерий), ${}_1^0e$ – позитрон (антиэлектрон), γ – нейтрино, ${}_2^3\text{He}$ және ${}_2^4\text{He}$ – гелий изотоптары.

Осылайша орындалатын протон – протондық термоядролық реакцияда тұрақты гелий изотопы ${}^4_2\text{He}$ 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 жұмсап, 560 млн т гелий өндіреді. Сондағы туындайтын $\Delta m = 4$ млн тонна масса ақауы есебінен (бұл алғашқы массаның 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

$E = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ}$ формуласын пайдаланып, төмендегі есептерді шығарыңдар. Формуладағы $\Delta m = \sum m_{\text{соз}} - \sum m_{\text{оц}}$ 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 қанша 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 қанша энергия босайды?



Семей ядролық полигоны тарихынан

Кеңес Одағында ядролық қару бірінші рет Семей полигонында 1949 жылы 29 тамыз айында сыналды. Оның жарылыс қуаты 22 килотоннаны құрады. 1953 жылдың 12 тамызында қуаты 400 килотонна болатын термоядролық (сутек) бомба Жер бетінде сынақтан өтті. Ал 1955 жылдың 2 қарашада қуаты бұдан да жоғары термоядролық бомба Жер бетінен 2 км биіктікте ауада жарылды. Ядролық қаруды сынау қарқынының артқандығы сондай, тек алғашқы 14 жылдың ішінде Семей полигонында жарылған ядролық қарудың жалпы қуаты Жапонияның Хиросима қаласын 1945 жылы тұрғындарымен бірге жермен-жерсен еткен Американың атом бомбасының қуатынан 2500 есе асып түсті. Міне, осылайша Қазақстан аймағында атом қаруын Жер бетінде де, атмосфера

а)



ә)



Сурет 7.11. а) Полигондағы қондырғы; ә) «Атом» көлі

мен жер қойнауында да сынау үзіліссіз 40 жылға ұласты. Олардан қалған «ескертікшітер» де жетерлік (сурет 7.11). Суреттегі «Атом» көлі қуаты 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, тереңдігі 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. Өйткені жарылыста пайда болған радиоактивті сәулелер мен тозаңдарды, тіпті сонау алыста жатқан Скандинавия елдерінің де ғалымдары өз аймақтарында тіркеп отырған. Еуропаның бірнеше елдерінің байтағын қамтуға жарарлық 18500 км² аумақты алып жатқан бұл полигонның 300 км² бөлігі аса қауіпті аймаққа жатады. Өйткені бұл аймақта шашылған радиоактивті элемент плутонийдің толық ыдырауы үшін 100000 жылдан аса уақыт қажет. Алайда соған қарамастан әлемдегі ядролық полигондардың ішінде адамдар суын ішіп, жерін басып тұрып жатқан бірден-бір полигон Семей ядролық полигоны болып табылады.

Халқымызға аса мол қасірет әкелген бұл полигон ел тәуелсіздігі қарсаңында 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 сәулеленулердің дозасы сағатына 10–20 миллирентгеннен асады.

1. Радиоактивті изотоптарды ғылыми зерттеулерде, өнеркәсіпте, ауыл-шаруашылығында, медицинада, басқа да салаларда қолдану күннен-күнге артып келеді. Алайда табиғи радиоактивті изотоптарды пайдалану көптеген қолайсыздықтар туғызады. Оның себебін түсіндіру де қиын емес.

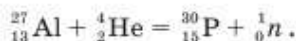
Табиғи радиоактивті нуклидтердің (мысалы, уран, радий ядролары т.с.с.) массалық сандары жоғары болып келеді. Сонымен қатар олардың жартылай ыдырау периодтары да 4,5 млрд жыл құрайды. Оның үстіне ауыр элементтер табиғатта шашыранды түрде сирек кездеседі.

Сонымен, *әрі арзан, әрі жеңіл және жартылай ыдырау периоды өте қысқа жасанды радиоактивті изотоптар шығаруға болмас па?* деген сұрақ туды. Ондай радиоактивті изотоптар қоршаған ортаға да көп зиян келтірмейді. Қолданыс тапқаннан кейін оның радиоактивті нуклидтері тез ыдырап, қауіпті сәулелер шығармайды.

Зерттеулер жеңіл элементтерді әртүрлі 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 атқылап, ядролық реакция туғызу 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:

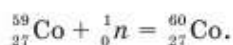


Мұндай ядролық реакциялардан таза сутек өндіруге болатыны көрінеді. Сутек термоядролық отын ғана емес, тамаша химиялық та отын болып табылады. Ол оттеппен қосылып жанғанда (химиялық реакцияға түскенде), күл немесе түгін-күйе орнына қоршаған ортаны ластамайтын, тап-таза мөлдір су түзеді. Осылайша жер қойнауындағы қоры азайып келе жатқан органикалық отын орнына сутекті пайдалану идеясы туындайды.

Жасанды радиоактивтікті 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 сәулелері арқылы сол ортаның жай-күйі туралы үнемі хабар беріп тұрады. Сондықтан *радиоактивті изотоптардың атомдарын таңбалы атомдар* деп атайды. Өйткені олардың белгілі ортадағы қозғалысын және мөлшерін (концентрациясын) радиоактивті сәулелерді тіркейтін сезгіш аспаптар арқылы біліп отыруға болады.

Жерасты құбырларымен ағатын сұйықтарға таңбалы атомдардан азғана қосып, олардың қозғалысын арнайы детектор арқылы бақылап, құбырдың жарылған жерін тез тауып алуға болады. Радиоактивті изотоптарды медицинада өртүрлі ауруларды емдеу үшін қолданады. Кобальт-60 шығаратын гамма-сәулелерді рак ісіктеріне қарсы пайдаланады. Кобальт-60 радиоизотопын қалыпты кобальт-59 изотопын нейтрондармен атқылау арқылы алынады:



Гамма-сәулелер бұйымдардағы ақау мен жарықшақтарды анықтауға да қолданылады. Электр энергиясымен жұмыс істейтін рентгендік аппараттарға қарағанда шағын кобальт-60 изотопы алып жүруге ыңғайлы және тұрақты электр көзін қажет етпейді. Өрине, аса өткіш гамма-сәулелерден сақтану ережелерін қатаң орындап 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. Сөйтіп, ішкі органдардың күйін біліп, ондағы жара мен ісіктердің диагностикасы жасалады.

Таңбалы атомдар бағалы заттарды, қымбат бұйымдарды, 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. Табиғи және жасанды радиоактивті изотоптарда ядролардың өздігінен ыдырау процесі үздіксіз жүріп жатады. Демек, олар сыртқы ортаға α және β -бөлшектері мен гамма кванттарын үнемі атқылаумен болады. *Мұндай радиоактивті сәулелерді радиация немесе иондағыш сәулелер деп атайды.* Олардың кинетикалық және электромагниттік

энергиялары үлкен шамаға жетеді. Сондықтан ондай бөлшектер жолындағы денелердің атомдары мен молекулаларының химиялық-физикалық қасиеттерін өзгертіп, олардың араларындағы қалыпты байланыстарды үзеді. Осылайша биологиялық денелер де, басқа табиғи денелер де өзгеріске ұшырайды. Әсіресе тірі табиғат, яғни адам мен жан-жануарлар, өсімдіктер мен басқа да тіршілік иелері зор зардап шегеді.

Атом бомбалары мен уран кеніштерін айтпағанның өзінде, атомдық реакторлар мен атом электрстансылары да радиацияның көзі болып табылады. Сондай-ақ Күн радиациясының, ғарыштан келетін басқа да бөлшектердің зиянды әсерін де білуіміз қажет. Ол үшін изотоптардың сәуле атқылау белсенділігін, сондай-ақ радиацияға душар болған денелердің алған сәулелерінің 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 сәулелерден қорғау үшін олардың өтімділік қасиеттерін білген жөн. Радиоактивті изотоптармен жұмыс істегенде, олардың өтімділігіне орай тиісті қауіпсіздік ережесін бұлжытпай орындау керек.

Альфа-бөлшек парақ қағаздан өте алмайды. Алайда адамның ішкі органдарына тыныс жолымен немесе жеген тағамы арқылы өтіп кетсе өте қауіпті.

Бета-бөлшектердің өтімділік қабілеті үлкенірек. Олар адам ағзасына 1–2 см тереңдеп 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 секундта 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 биологиялық 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 тура байланыс бар. Жаздың ыстық күндерінде білмеген адамға ерсі көрінгенімен, өзбек пен тәжіктің ала шапан киюінде, қырғыз бен түрікменнің ақ киіз қалпағы мен елтірі бөрігін, дала қазағының 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, жүздеген мың километрге шапшып, төңірегіне тарайды. Осындайда өте өтімді күн радиациясынан денені қорғамау денсаулыққа зиян келтіреді.

Дененің бір килограммында жұтылған радиация энергиясының мөлшері жұтылған доза деп аталады: $D = \frac{E}{m}$, мұндағы E – (организмде) денеде жұтылған радиация энергиясы, яғни сәулелену дозасы, m – дененің массасы. Жұтылған дозаның бірлігіне *грей (Гр)* алынады: $1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Бұрын жұтылған доза рад бірлігімен өлшенген:

$$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр.}$$

Қоршаған ортада табиғи радиация (ғарыш сәулесі, радиоактивті элементтердің шығаратын сәулелері) әрқашан болған, бар және бола да бермек. Оны *радиацияның табиғи фоны* дейді. Ондай фон қоршаған ортадағы барлық денелерде, соның ішінде адамда да бар. Табиғи 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 өлшейтін арнайы құралдарды *дозиметр* деп атайды. Олардың жан қалтаға салып жүретін түрлері де бар. Өкінішке қарай, ондай дозиметрлер радиациялық қоқыстардың көптігіне қарамастан, біздің елімізде кең қолданылмай келеді.

6. Айналадағы ортаны радиация қалдықтарымен ластау адамға да, табиғатқа 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 келтірместей етіп сақтау адамзат алдындағы ең күрделі мәселелердің біріне айналып отыр. Бұл мәселелерді оңтайлы шешу үшін ұлттық деңгейде арнайы радиациялық қауіпсіздік шараларды қабылдап, іске асырылуы керек. Кері жағдайда табиғатта үздіксіз жүріп жататын зат алмасулары салдарынан, радиоактивті бөлшектер жер беті мен су көздерін ластап, тіршілікті бірте-бірте жоятын болады. Міне, сондықтан қоршаған 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 сәулелер, таңбалы атомдар қай жерде және қандай мақсатта қолданылады?
4. Радиоактивті сәулелердің өтімділік қасиеттері қандай?
5. Изотоптардың активтілігі дегеніміз не және ол қандай бірлікпен өлшенеді?
6. Сәулелену 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 түсіндіріңдер.
8. Халықты, қоршаған ортаны радиациядан қорғау үшін қандай шаралар 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:**

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + N \cdot m_n) - M_n.$$

- **Ядроның байланыс энергиясы:**

$$E_с = \Delta m c^2 \text{ немесе } E_с = \Delta m \cdot 931,5 \text{ МэВ.}$$

- **Ядроның меншікті байланыс энергиясы:**

$$E_n = E_с / A.$$

- **Заряд сандарының сақталу заңы:**

$$\Sigma Z_n = \Sigma Z_n = \text{const.}$$

- **Массалық сандардың сақталу заңы:**

$$\Sigma A_n = \Sigma A_n = \text{const.}$$

- **Альфа және бета ыдыраулардың формулалары:**



- **Ядролардың радиоактивті ыдырау заңы** (Резерфорд пен Содди формуласы):

$$N = \frac{N_0}{2^n} = \frac{N_0}{2^{t/T}}.$$

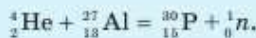
- **Уран-235 изотопы ядросының бөліну формуласы:**



- **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:**




$$D = E/m,$$

мұндағы E – дене жұтқан сәуленің энергиясы, m – дененің массасы.

VIII ТАРАУ

ӘЛЕМНІҢ ҚАЗІРГІ ФИЗИКАЛЫҚ БЕЙНЕСІ

ОҚУШЫЛАР МЕҢГЕРУГЕ 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 жоғарыда көрсетілген бағдарламалық оқу мақсаттарымен қатар, әр оқушының есінде ұзақ сақталуға тиісті мына физикалық ұғымдар қарастырылады: «Дүниетаным», «Жаңа технология», «Қоршаған орта», «Экология», «Экологиялық мәдениет».

Тараудағы физика терминдерінің қазақ, орыс және ағылшын тілдеріндегі минимумы

Қ а з а қ ш а	О р ы с ш а	А ғ ы л ш ы н ш а
Дүниетаным	Мировоззрение	Worldview
Жаңа технология	Новая технология	New technology
Қоршаған орта	Окружающая среда	Environment
Экология	Экология	Ecology
Экологиялық мәдениет	Экологическая культура	Ecological Culture

ЭЛЕМЕНТАР БӨЛШЕКТЕР – ДҮНИЕНІҢ КІРПІШІ

1. Өз құрылымы мен құрамы болмайтын бөлшекті *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 ғана 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 кірпіші*, 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 бөлшектерді жіктеп топтастырудың көптеген түрлері қарастырылуда. Төменде элементар бөлшектерді 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 төмендегіше 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 әрекеттесулерге қатысуларына қарай жіктейді. Мысалы, ядродағы нуклондардың арасындағы күшті әрекеттесуге қатысатын бөлшектерді *адрондар* деп атайды. Ал тек әлсіз (мысалы, электрмагниттік) әрекеттесулерге қатысатын бөлшектерді *лептондар* дейді (сурет 8.1).

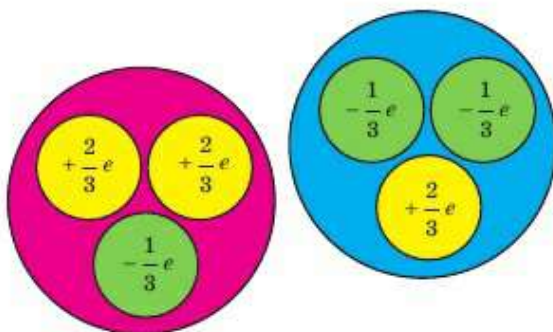


Сурет 8.1. Элементар бөлшектердің жіктелуі

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 «нағыз іргелі элементар бөлшектер» деуге болатын үш түрлі *кварк* пен үш түрлі *антикварк* деп жорта аталған бөлшектерден тұрады.

Бір қызығы, олардың зарядтары элементар зарядқа (e) бүтін санға еселенбей, бөлшек түрінде (мысалы: $-\frac{1}{3}e$; $+\frac{2}{3}e$) еселенеді. Үш түрлі кварктің үш түрлі антикварктері болады. Гелл-Манның теориясы бойынша үш түрлі кварктер орналасуларына қарай әртүрлі адрондық немесе лептондық бөлшектерді құрайды.

Мысалы, адрондар тобына кіретін протон мен нейтрон үш кварктің жиынтығынан тұратын күрделі құрылым болып табылады (сурет 8.2). Ал кварктер құрылымсыз нағыз элементар бөлшектер ретінде қарасты-



Сурет 8.2. Протон мен нейтронның кварктік құрылымы

рылады. Өз кезегінде адрондарға жататын мезондар кварк пен антикварк жұбынан тұрады. Соңғы жылдардағы зерттеулер Гелл-Ман болжамының дұрыстығын 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 келтіріңдер.

§52.

ФИЗИКА МЕН АСТРОНОМИЯНЫҢ ДҮНИЕТАНЫМДЫҚ МАҢЫЗЫ

1. Бізді қоршаған барша ғаламның адам санасындағы шынайы бейнекерінісі оның *ғылыми дүниетанымын* анықтайды. Ғылымның әр саласы адамның біртұтас дүниетанымын қалыптастыруға өз үлесін қосады. Солардың ішінде ең жетекші орынды физика мен астрономияның ақиқат заңдары және теориялары иеленеді. Өйткені дүниенің физикалық-астрономиялық көрінісі оның адам санасындағы ең жалпы және ең нақты бейнелік формасы (түрі) болып табылады.

Ғылыми теориялардың жетіліп дамуына сәйкес дүниенің адам санасындағы көрінісі де тереңдеп, жетіле түсіп отырады. Мысалы, механикалық физика мен астрономияның алғашқы даму кезеңінде Ньютонның классикалық теориялары қанат жайып, адамзат санасында *дүние-*

нің механикалық көрініс-бейнесі қалыптасты. Мұндай көзқарастың 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 Ғаламға ортақ іргелі әмбебап гравитациялық тұрақты деп аталады.

Сөйтіп, 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 электрдинамикалық көрінісімен жетіле* түсті. Әлемнің жаңа физикалық көрінісі гравитациялық өріске мүлде ұқсамайтын **электрмагниттік 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 дененің төңірегінде *электр өрісінің*, ал қозғалыстағы зарядталған дененің төңірегінде *магнит өрісінің* пайда болатындығы ашылды. Сонымен қатар айнымалы электр және айнымалы магнит өрістері алма-кезек бірін-бірі туғызып, *электрмагниттік* деп аталатын айрықша өріс пайда болады.

Электрмагниттік өрістің кеңістікте толқын түрінде тарайтындығын Максвелл теория жүзінде дәлелдеді. Ол Күннен және басқа да қызған денелерден тарайтын жарық сәулелері кеңістікте тараған электрмагниттік толқын деп жорыды. Жарықтың таралу жылдамдығын да $c = \lambda \cdot \nu = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ Максвелл есептеп берді.

Оның теориялық болжамдары кейінірек эксперименттерде толығымен дәлелденді.

Сөйтіп, бізді қоршаған дүниенің негізін құрайтын материяның екі түрі: **заттық** және **өрістік** формалары белгілі болды.

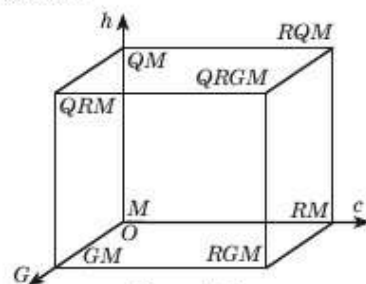
Жарық жылдамдығы да (c) гравитациялық тұрақты (G) сияқты *іргелі әмбебап тұрақты* болып табылады. Ол масса мен энергияның байланысын беретін Эйнштейн формуласында да ($\Delta E = \Delta m \cdot c^2$) көрініс тапты. Осылайша адамзат санасында дүниенің жетіле түскен жаңа физикалық бейнесі – *әлемнің электрдинамикалық көрінісі* қалыптасты.

3. Физика ғылымының дамуындағы үшінші бетбұрысты кезең жылудық сәулеленулердің эксперименттік заңдылықтарын Ньютон мен Максвеллдің теориялары түсіндіре алмауынан, яғни «ультрақұлгін апатынан» басталады. Қиындықтан шығудың амалын Планк тапты. Ол энергия үзілісті үлес түрінде сәулеленіп 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 тұрақты шама. Осылайша бүкіл Ғаламға ортақ әмбебап **Планк тұрақтысы** (h) деп аталатын *үшінші іргелі тұрақты* шама белгілі болды.

Энергия үздіксіз және үзіліссіз тарайды дейтін классикалық теория ұғымдарына 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 – *дүниенің кванттық-өрістік көрінісі* қалыптаса бастады.

4. Дүниеге физикалық көзқарастың бетбұрысты үш даму кезеңінде *үш іргелі әмбебап тұрақты* ашылды. Олар: **гравитациялық тұрақты** (G), **жарық тұрақтысы** (c) және **Планк тұрақтысы** (h). Физикадағы болашақ зерттеулер, сондай-ақ олардан туындайтын жаңа дүниетанымдық көзқарастар осы әмбебап тұрақтылардың арасындағы қатынастар мен байланыстарды анықтау бағытында дамиды деп күтілуде. Көрнекілік үшін осы үш іргелі тұрақтылардың қатысуларымен ашылған немесе болашақта ашылуға тиісті физикалық теориялардың біртұтас модельдік көрінісін бейнелеуге болады (сурет 8.3).



Сурет 8.3. Физикалық теориялардың моделі

Суреттегі модельде біртұтас дүниетанымдық көзқарасты сипаттайтын **физиканың сегіз іргелі теориясы** бейнеленген. Олар физиканың өткенін, бүгінгісін және болашақтағы теориялық зерттеулерін елестетеді.

Сонымен, суреттегі Әлемнің біртұтас физикалық бейнесінің теориялық моделі үшөлшемді куб тәріздес болып келеді де, оның үш қырына, яғни координаталар өстеріне әлемнің үш іргелі тұрақтысы: G – *гравитациялық тұрақты*, c – *жарық жылдамдығы*, h – *Планк тұрақтысы* орналасқан. Біздерге таныс және болашақта дамитын іргелі физикалық теориялардың барлығы да аталған үш тұрақтыға негізделмек. Модель ашылған және ашылуға тиісті сегіз іргелі физикалық теориялардың араларындағы жүйелі байланысты, қатынасты олардың тарихи дамуымен ұштастырып, 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 тұрақтыларды қамтымағандықтан, суреттен көрініп тұрғандай, координаталар жүйесінің бас нүктесінде орналасқан.

2) Сондай-ақ G гравитациялық тұрақтыны қамтитын және осы өсте орналасқан Бүкіләлемдік тартылыс заңына негізделген классикалық ньютондық **гравитациялық механика** да (GM) іргелі физикалық теория қатарына қосылады.

3) Электрмагниттік толқынның (жарықтың) таралу жылдамдығын, яғни c тұрақтысын қамтитын Максвеллдің электрдинамикасы мен салыстырмалылықтың арнайы теориясы, яғни **релятивтік механика** (ағылшынша белгіленуі 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** ($QRGM$) сегізінші іргелі физикалық теорияның жүгін көтереді.

Жоғарыдағы модельді сипаттай отырып, физика ғылымының үнемі даму үстінде екендігіне, физикалық теориялардың ашылуы мен жетілуі толастамайтын үздіксіз процесс екендігіне көз жеткізе аламыз. Ендеше, 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 нені айтамыз? Дүниетанымдық көзқарасты қалыптастыру не себепті физика мен астрономияда жетекші орын алады?
2. Физика ғылымының дамуының қай кезеңінде қоршаған орта туралы қандай дүниетанымдық көрініс қалыптасты?
3. Не себепті адамзат қоршаған әлем туралы дүниетанымдық көзқарасы өзгеріп отырады? Біртұтас дүниетанымдық көзқарастың дамуына қандай физикалық теориялар өз үлестерін қосты немесе қосады деп күтілуде?

4. Әлемнің біртұтас теориялық физикалық көрінісін қалыптастыруға қандай іргелі әмбебап тұрақтылар қатысады және қандай арақатынаста қатысады? Жауаптарыңды плакат бетінде сызылған көрнекі модельдің жәрдемімен түсіндіріңдер.

§53.

ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МӘДЕНИЕТ

1. Физика мен астрономияның ғылым мен техникаға қосқан ұшан-теңіз үлесі мен жетістіктері туралы біз 7–9-сынып оқулықтарында көптеген деректер келтірдік. Бұл пәндер ғылым мен техникада соңғы ХХ ғасыр ішінде түбегейлі төңкеріс жасады. Оның әсерін барлық ғылымдар, солардың ішінде, қоғамдық және гуманитарлық бағыттағы ғылымдар да күшті сезінді.

Физика мен астрономияның, әсіресе макро- және микроәлемдегі құбылыстарды түсіндірудегі жетістігі адамдардың дүниетанымдық өрісін кеңейтті. Бұл құбылыстар, сонымен қатар ғылыми-техникалық прогреске негізделген өркениеттің дамуына аса қажетті энергияның жаңа көздерін ашуға жәрдемдесті. Атом ядроларындағы энергияның мол қорын босату бұрын-соңды болмаған алып қондырғыларды, қуатты қозғалтқыштарды жасауға мүмкіндік берді. Бұлар қоғамның өндіргіш күшін еселеп арттырып, әлеуметтік-экономикалық салаға игі әсерін тигізді.

Ғылыми-техникалық прогреске негізделген өндіріс күшінің еселеп артуы, өкінішке қарай, жаңа проблемалар туғызды. Бұлар ғылым мен техниканың жетістігін орынсыз қолданудан туған биоэкологиялық проблемалар болып табылады.

Адамзаттың ұжымдық қарекетіне душар болған табиғи орта ноосфера деп аталады.

Қазіргі кезде ноосфера өзінің табиғи үйлесімді дамуынан ауытқып, техногендік апат алаңына айналуға бастады. 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 өскелеңдігін сипаттайды.

Қоғамдық санаға қаяу түскенде табиғи орта да, әлеуметтік орта да үлкен зардап шегеді. Өкінішке қарай, экологиялық дағдарысты жайттарға аяқ басқан сайын кез боламыз.

Сұлулығы мен табиғи 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. Арал теңізі мен басқа да өзен-көлдердің суалуы; жүздеген атомдық, сутектік бомбалардың жарылуы; химиялық және бактериологиялық жаппай қырып жоятын қарулардың сыналуы; жан-жануарлар мен өсімдіктердің көптеген түрлерінің жойылуы, адамдардың ағзаларындағы ауытқулардың молаюы – міне, осылардың бәрі экологиялық апат болып табылады.

Рухани және экологиялық мәдениеті биік қоғам ғана адамзат пен табиғаттың үйлесіміне қол жеткізе алады.

Экологиялық мәдениеттің биігіне жету үшін жалаң білім жеткіліксіз. Білім байлығына рухани байлықтың қосылуы ғана адамды шынайы мәдениетті етеді. Ондай адамның экологиялық мәдениеті де биік болады. Экологиялық мәдениеті жоғары адам, мамандық түріне қарамастан, табиғи ортаның да, әлеуметтік ортаның да тазалығы үшін күрескер бола алады. Міне, нақ осындай көкейтесті мәселелерді шешуге бағыттайтын ұлы жолды Елбасы Н.Ә. Назарбаев 2017 жылы жарық көрген **Болашаққа бағдар: Рухани жаңғыру** деген тарихи еңбегінде айқындап берді. Халқымыздың санасын асқақтатып, рухын көкке көтеретін осы ұлы жолды әр азамат өзінің өмірлік мұраты деп қабылдауы 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 ұстазы, қазақ топырағының ұлы перзенті Әбу Насыр әл-Фараби мен әйгілі физик, Нобель сыйлығының лауреаты А.Д. Сахаров тұр.

Әл-Фараби бұдан 1100 жылдай бұрын талай ғасыр ұрпақтарына қолдан түспес оқулық болған көптеген кітаптар жазды. Солардың ішінде «Физиканың кейбір принциптері туралы», «Вакуум жайында», «Химия өнеріне қажеттілік туралы», «Адам (денесі) мүшелері хақында», «Ақылдылық негіздері», «Философтардың сұрақтарына жауап» сияқты ғылыми-жаратылыстанымдық трактаттары, «Қайырлы қала тұрғындарының көзқарасы» деген еңбегі рухани азбаушылыққа арналып, адамгершілік парасаттың биік белестеріне жетелейді. Ол: «Білім мен тәрбие жас ұрпақтың қос қанаты, тәрбиесіз білім адамзатқа қасірет әкеледі», – деп ескертті. Біз ұлы гуманистің: «Бақытқа кенелу үшін халықтар бір-біріне көмектесетін болса, онда барша Жер қайырымдылық мекеніне айналады», – деген өміршең өсиетін 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 тазартуға, 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, осындай күрескерлердің арқасында қоғамдық сана түзеліп, табиғи орта да, әлеуметтік орта да сауығу жолына түседі. Экологиялық зардаптардың көзін тауып, себеп-салдарын ашып, оларды үнемі сауықтырып отыру – қазақстандықтардың, әсіресе Отанымыздың келешегі – жастардың алдында тұрған зор міндет.



Сұрақтар

1. Физика мен астрономия саласындағы қандай жетістіктер ғылым мен техниканың дамуына төңкеріс жасады?
2. Ноосфера туралы не білесіңдер? Ноосферадағы экологиялық дағдарыс дегеніміз не?
3. Экологиялық мәдениеттің және рухани жаңғырулардың негізін қандай ғалымдар мен қайраткерлердің еңбектері құрайды?
4. Өзіңнің туған жеріңнің, өскен ортаңның экологиялық күйі қандай?
5. Табиғатты қалпына келтіру үшін не істеу керек?

VIII тараудағы ең маңызды түйіндер

- *Элементар бөлшек* – өз құрамы мен құрылымы болмайтын бөлшек.
- *Антибөлшек* – массалары бірдей, зарядтары қарама-қарсы бөлшек.
- *Ғарыш сәулелері* – Ғалам кеңістігінен Жер бетіне келетін энергиясы аса үлкен бөлшектер.
- *Дүниетаным* – физика мен астрономия заңдары негізінде адам санасында қалыптасатын көзқарас.
- *Ноосфера* – адамзаттың ұжымдық қарекеттері өтетін табиғи орта.
- *Экологиялық мәдениет* – адам қарекетінің табиғат 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) $2,5 \cdot 10^5$ 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) $2 \cdot 10^{20}$ 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 мкГц. 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) $3,45 \cdot 10^{-26}$ 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; 10^5 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) $9 \cdot 10^{18}$ 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; бөлінеді; 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>I тарау. Кинематика негіздері</i>	
§1. Механикалық қозғалыс.....	6
§2. Векторлар және оларға амалдар қолдану. Вектордың координаталар өстеріндегі проекциялары.....	9
§3. Түзусызықты теңайналымы қозғалыс. Үдеу.....	14
§4. Түзусызықты теңайналымы қозғалыстың жылдамдығы. Орын ауыстыру.....	16
№1 зертханалық жұмыс. «Теңүдемелі қозғалыс кезіндегі дененің үдеуін анықтау».....	22
§5. Дененің еркін түсуі. Еркін түсу үдеуі.....	23
№2 зертханалық жұмыс. «Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысын зерттеу».....	28
§6. Қисықсызықты қозғалыс. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысы. Центрге тартқыш үдеу.....	29
§7. Сызықтық және бұрыштық жылдамдықтар.....	34
<i>II тарау. Астрономия негіздері</i>	
§8. Жұлдызды аспан. Аспан сферасы.....	42
§9. Аспан координаталарының жүйелері.....	48
§10. Өртүрлі географиялық ендіктегі аспан шырақтарының көрінерлік 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
<i>III тарау. Динамика негіздері</i>	
§14. Ньютонның бірінші заңы. Инерциялық санақ жүйелері.....	66
§15. Механикадағы күштер.....	69
§16. Ньютонның екінші заңы. Масса.....	73
§17. Ньютонның үшінші заңы.....	78
§18. Бүкіләлемдік тартылыс заңы.....	82
§19. Дененің салмағы. Салмақсыздық.....	87
§20. Денелердің ауырлық күшінің әрекетінен қозғалуы.....	91
§21. Жердің жасанды серіктерінің қозғалысы.....	96
<i>IV тарау. Сақталу заңдары</i>	
§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 тарау. 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 түсу үдеуін анықтау»	159
§31. Еркін және еріксіз тербелістер. Резонанс	160
§32. Еркін электрмагниттік 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. Электрмагниттік толқындар	185
§37. Электрмагниттік толқындар шкаласы.....	191

VI тарау. Атом құрылысы. Атомдық құбылыстар

§38. Жылулық сөуле шығару.....	197
§39. Жарық кванттары туралы Планк гипотезасы	200
§40. Фотозффе́кт құбылысы.....	204
§41. Рентген сөулелері	209
§42. Радиоактивтілік. Радиоактивті сөулеленудің табиғаты	214
§43. Резерфорд тәжірибесі. Атомның құрамы	216

VII тарау. Атом ядросы

§44. Атом ядросы. Ядролық өзара әрекеттесу. Ядролық күштер.....	222
§45. Масса ақауы. Атом ядросының 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 тарау. Әлемнің қазіргі физикалық бейнесі

§51. Элементар бөлшектер – дүниенің кірпіші	259
§52. Физика мен астрономияның дүниетанымдық маңызы	261
§53. Экологиялық мәдениет.....	265
Жаттығулардың жауаптары	268

Оқу басылымы
Башарұлы Рахметолла
Шүйіншіна Шолпан
Сейфоллина Күлжан
ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің 9-сыныбына арналған

Редакторы *Ү. Өмірзақ*

Көркемдеуші редакторы *А. Искаков*

Техникалық редакторы *Ү. Рысалиева*

Корректоры *Е. Амангелді*

Компьютерде беттеген *Ж. Есетова*

ИБ №083

Теруге 10.02.2019 берілді. Басуға 10.06.2019 қол қойылды. Пішімі 70×90^{1/16}.
Офсеттік қағаз. Мектептік әріп. Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 19,89.

Есептік баспа табағы 16,66. Таралымы 40000 дана. Тапсырыс №4356.

«Атамұра» корпорациясы» ЖШС-і, 050000, Алматы қаласы, Абылай хан даңғылы, 75.

Қазақстан Республикасы «Атамұра» корпорациясы» ЖШС-нің
Полиграфкомбинаты, 050002, Алматы қаласы, М. Мақатаев көшесі, 41.

