

ФИЗИКА 10

МЕХАНИКА

КИНЕМАТИКА

ДИНАМИКА

МЕХАНИКАНЫҢ САҚТАЛУ ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

СТАТИКА ЖӘНЕ ГИДРОДИНАМИКА

МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР МЕН ТОЛҚЫНДАР

ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

ТҰРАҚТЫ ТОК ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

ТҮРЛІ ОРТАДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

Орта білім мекемелерінің 10-сыныбына арналған оқулық

Ўзбекстан Республикасы Халыққа білім беру министрлігі бекіткен

1-басылуы

ТАШКЕНТ – “NISO POLIGRAF” – 2017

УДК: 53(075.3)

ББК 22.3уа721

Ф49

Авторлар:

- Н.Ш.Турдиев** – Механика, IV тарау. “Статика және гидродинамика”, VIII тарау. “Тұракты ток заңдылықтары”, IX тарау. “Түрлі орталардағы электр тогы”;
- К.А.Турсунметов** – V тарау. “Механикалық тербелістер мен толқындар”;
- А.Г.Ганиев** – III тарау. “Механикадағы сақталу заңдылықтары”, VI тарау. “Термодинамика”;
- К.Т.Суяров** – I тарау. “Кинематика”, VII тарау. “Электродинамика”;
- Ж.Е.Усаров** – II тарау. “Динамика”, V тарау. “Механикалық тербелістер мен толқындар”;
- А.К.Авлиоқұлов** – III тарау. “Механикадағы сақталу заңдылықтары”, VI тарау. “Термодинамика”.

Пікір жазғандар:

- Ш. Усманов** – ӨзРФА Физика-техника институтының аға ғылыми қызметкері, физика-математика ғылымдарының кандидаты,
- Б. Нуруллаев** – Низами атындағы ТМПУ кафедра меңгерушісі, доцент, педагогика ғылымдарының кандидаты,
- З. Сангирова** – РБО бас әдіскері,
- Б. Саидхужаева** – Ташкент облысы Піскент ауданындағы №5 мектептің физика оқытушысы, Өзбекстанға еңбегі сіңген халыққа білім беру қызметкері,
- Ф. Норқобиллов** – Ташкент қаласы Сіргелі ауданындағы №303 мектептің оқытушысы,
- З. Тәжібаева** – П.Ф.Воровский атындағы медицина колледжінің оқытушысы,
- Н. Бердірасулов** – Ташкент қаласы Сіргелі ауданындағы №104 мектептің оқытушысы.

ШАРТТЫ БЕЛГІЛЕР:

-  – физикалық шамалардың сипаттамасы; негізгі заңдар;
-  – маңызды формулалар;
-  – бұл тақырыптар физиканы терең үйренгісі келетін оқушыларға арналған;
-  – оқушы орындайтын практикалық жұмыс;
-  – тақырып мәтінін оқып шыққан соң, қойылған сұрақтарға жауап бер.

Республикалық мақсатты кітап қорының қаржылары есебінен басылды.

ISBN 978-9943-4867-9-9

© Н.Ш.Турдиев және басқ.2017

© “Niso Poligraf” баспасы

(түпнұсқа-макет), 2017

МЕХАНИКА

1-тақырып. ФИЗИКАНЫҢ ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ

Табиғаттағы үдерістер мен құбылыстарды зерттеу бойынша физиканың өзіне тән әдістері бар.

Физика эксперименттік ғылым болып саналады. Сол себепті тәжірибе жүргізу үдерісі айрықша жағдайды талап етеді. Онда зерттелінетін үдеріске сыртқы ортаның ықпалы тимеуі көзделеді.

Бұдан тыс үдеріске тиісті физикалық параметрлер арасындағы байланыс математикалық өрнектер арқылы беріледі. Соған орай физиктер үдерістердің бұдан кейінгі барысын немесе одан бұрын қандай болғандығын өте анық айтып бере алатын болды. Ұлы итальян физигі Галилео Галилей былай деп жазған болатын: “Табиғат кітабын түсіну үшін ол жазылған тілді білу керек. Бұл тіл – математика”.

Бақылаулар барысында көптеген құбылыстар үшін белгілі бір заңдылықтар бар екендігі болжалданады. Бұндай болжалдар *ғылыми гипотеза (жорамал)* деп аталады.

Гипотезаны, яғни жорамалды тексеру үшін ғалымдар тәжірибе (эксперимент) өткізеді. Бұл үшін табиғи жағдайға жақындатылған *арнайы жағдайлар* туғызылады.

Гипотезаны қалыптастыру, экспериментті өткізу және оның нәтижелерін түсіндіру үшін сол үдерістің немесе құбылыстың моделі жасалады. Бірер үдерістің *моделі* дегенде оның ықшамдалған, реттелген, маңызды жақтары ерекшеленіп көрсетілген жағдайын түсінеміз. Бұған мысал ретінде материалдық нүкте мен идеал газ ұғымдарын айтуға болады.

Тәжірибе өткізу барысында сыртқы ортаның ықпалынан толық құтылу қиын. Сонда да болса, алынған нәтижеге қарап, идеал жағдайда қандай нәтиже шығатынын айтып беру мүмкін. Бұндай идеал жағдай *ғылыми идеалдандыру* деп аталады. Сырттан қарағанда нақ осы құбылыстар күрделі болып көрінгенмен, олар мойынсұнатын заңдылықтардың қарапайым екені байқалады.

Физикалық үдерістердің барысы жөніндегі гипотеза расталса, ол *физикалық заңға* айналады.

Механиканың негізгі мазмұнын ұлы ағылшын ғалымы Исаак Ньютон ашқан үш заң: бүкіләлемдік тартылыс заңы, серпімділік және үйкеліс күштеріне қатысты заңдар құрайды. Газ үдерістері бойынша оның қысымы, көлемі мен температурасы арасындағы байланыстылықты өрнектейтін заңдар ашылды. Тыныш күйдегі зарядталған бөлшектер арасындағы өзара әсер күші француз физигі Чарль Кулон ашқан заңға бағынады.

Кең ауқымды құбылыстарды түсіндіретін заңдар жиынтығы *ғылыми теория* деп аталады. Мәселен, Ньютон заңдары механиканың классикалық теориясын құрайды. Ағылшын физигі Д.К.Максвэлл жүйелеген заңдар электромагнитизмге арналған классикалық теорияның мазмұнын құрайды.

Ғылыми теория заңдармен қатар, бұл заңдарды жүйелеуде қолданылатын физикалық шамалар мен ұғымдардың сипатын да қамтиды.

Ең маңыздысы, физикалық теорияда анықталатын барлық шамалар *тәжірибе жүзінде өлшене алатын* болуға тиіс.

Барлық физикалық заңдар мен теориялар шындыққа жақын болуы керек. Өйткені теорияны жасау барысында әрқашан үдеріс пен құбылыстың моделі пайдаланылады. Соған орай заңдар мен теориялардың қолданылу шекарасы болады. Мысалы, классикалық механика заңдары тек жарық жылдамдығынан өте кіші жылдамдықпен қозғалатын денелер үшін ғана орынды. Бұл элементарлық бөлшектер жылдамдатқыштарында дәлелденген. Сондай-ақ классикалық механика өте шағын массалы бөлшектер (электрондар) қозғалысын дұрыс өрнектей алмайды.

Жаңадан табылған физикалық теориялар өзінен бұрынғыларды жоққа шығармайды, қайта оны толықтырып, айқындай түседі. Жаңа физикалық теорияға қойылған маңызды талаптардың бірі—*сәйкестік қағидаты*. Анығырақ айтқанда, жаңа теория белгіленген шекараға, яғни бұрынғы теорияға сәйкес келуі керек.



1. Неліктен физикалық теориядағы анықталатын барлық шамалар *тәжірибе жүзінде өлшене алатын* болуға тиіс?
2. Гипотеза қай кезде физикалық заңға айналады?

I тарау. КИНЕМАТИКА

2-тақырып. МЕХАНИКАЛЫҚ ҚОЗҒАЛЫС ТҮРЛЕРІ. ҚОЗҒАЛЫСТАРДЫҢ ТӘУЕЛСІЗДІК ҚАҒИДАТЫ

Сен 7-сыныпта түрлі механикалық қозғалыстармен танысқансың. Оларды еске түсірейік:

1. Түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс. Бұндай қозғалыста дененің қозғалыс траекториясы түзу сызықтан тұрады. Қозғалыс жылдамдығының мәні мен бағыты өзгермейді. Басып өтілген жол $s = v \cdot t$ формуласымен анықталады.

2. Түзу сызықты айнымалы қозғалыс. Бұндай қозғалыста дененің қозғалыс траекториясы түзу сызықтан тұрады. Қозғалыс жылдамдығының шамасы өзгереді, бірақ бағыты өзгермейді. Басып өтілген жол $s = v_{\text{орт}} \cdot t$ формуласымен анықталады. Бұндағы $v_{\text{орт}}$ – дененің орташа жылдамдығы.

3. Түзу сызықты бірқалыпты үдемелі (баяулайтын) қозғалыс. Бұндай қозғалыста дененің қозғалыс траекториясы түзу сызықтан тұрады. Қозғалыс жылдамдығының шамасы бірқалыпты үдеп (баяулап) отырады, яғни бірдей уақыт ішінде бірдей шамаға артады (кемиді), бірақ бағыты өзгермейді. Басып өтілген жол $s = v_0 \cdot t \pm \frac{at^2}{2}$ формуласымен анықталады. (“+”) өрнегі бірқалыпты үдемелі болғанда, $a > 0$, (“–”) өрнегі бірқалыпты баяулайтын ($a < 0$) болғанда қойылады.

4. Қисық сызықты бірқалыпты қозғалыс. Қисық сызықты қозғалыстың тәуелсіз күйі ретінде шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысты алуға болады. Бұндай қозғалыста әрқашан жылдамдықтың бағыты үздіксіз өзгеріп, траекторияға жанама бойлап бағытталады. Қозғалыстың негізгі параметрлері: v – сызықты жылдамдық; ω – бұрыштық жылдамдық; T – айналымдар кезеңі; ν – айналымдар жиілігі; $S_{\text{орын}}$ – орынның ұзындығы; s – басып өтілген жол.

Ерекше атап өтетін жері, жоғарыда келтірілген қозғалыстарда дененің тек бір қозғалысқа ғана қатысқан күйлері зерттелген. Күнделікті өмірде денелер көбінесе бір мезгілдің өзінде бірнеше қозғалысқа қатысады. Мысалы, өзен

бойымен қозғалып бара жатқан кеме, пойыз вагоны ішінде жүріп бара жатқан адам, ұшып бара жатқан ұшақтан тасталған жүк және т.б. Бұнда өзенде қозғалып бара жатқан кеме өз двигателінің тарту күші арқасында бір бағытта v_1 жылдамдықпен қозғалса, су оны v_2 жылдамдықпен ағыс бағытында қозғалтады. Бұл мысалда дененің екі қозғалысқа бірдей қатысқаны көрініп тұр.

Осы арада мынадай сұрақ туылады: кемеге өз двигателінің тарту күшімен берілген v_1 жылдамдық өзен ағысының жылдамдығына тәуелді ме?

Тәжірибелерден анықталғанындай, кеменің жылдамдығы судың ағыс жылдамдығына, ал ұшақтан тасталған жүктің түсу уақыты ұшақтың жылдамдығына тәуелді емес!

Бұдан мынадай қорытынды келіп шығады.

Дене қатысып отырған қозғалыстар тәуелсіз, олардың қозғалыс жылдамдығы (үдеуі) бір-біріне тәуелді емес. Бұны қозғалыстардың тәуелсіздік қағидаты дейді.

Осыған орай кез келген күрделі қозғалысты қарапайым қозғалыстардың жиынтығы деп қарауға болады. Бұл қозғалыстар бір-біріне ешқандай ықпал көрсетпейді. Егер олардың біреуі өз қозғалысын өзгертсе немесе толық тоқтатса, бұның басқаларға әсері болмайды. Нақ осы қағидат негізінде біз қарастырып отырған үдерістегі векторлық шамаларды дербес ұйымдастырушыларға бөлеміз. Оларды координата біліктеріне проекциялау да сол қағидатқа негізделген. Жылдамдық векторларын қосып, нәтижелік жылдамдықты шығару да осы қағидат негізінде жүргізіледі. Осыны негізге алып, бірнеше қозғалысқа қатысқан дененің қозғалысы үшін төмендегілерді жазамыз:

$$\begin{aligned}\vec{s}_{\text{жалгы}} &= \vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \vec{s}_3 + \dots + \vec{s}_n, \\ \vec{v}_{\text{жалгы}} &= \vec{v}_1 + \vec{v}_2 + \vec{v}_3 + \dots + \vec{v}_n \\ \vec{a}_{\text{жалгы}} &= \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 + \dots + \vec{a}_n \\ \vec{s} &= \vec{s}_0 + \vec{v}_{\text{жалгы}} t + \frac{a_{\text{жалгы}} t^2}{2}.\end{aligned}\tag{1.1}$$

Оларға сәйкес түрде шамалардың x және y біліктеріне проекциялары төмендегідей болады:

$$s_x = s_{0x} + v_x t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad s_y = s_{0y} + v_y t + \frac{a_y t^2}{2}.\tag{1.2}$$

Есепті шешу үлгісі

Теплоходтың тұнық судағы жылдамдығы 70 км/сағ. Егер ол ағыс бойымен жүзсе, бір-бірінен 36 км қашықтықта орналасқан айлақтар (пристань) аралығын қанша уақытта басып өтеді? Өзен ағысының жылдамдығы 2 км/сағ.

Берілгені:	Формуласы және шешілуі:
$s = 36$ км	$s = v \cdot t; v = v_{\text{теп}} + v_{\text{өзен}};$
$v_{\text{теп}} = 70$ км/сағ	$s = (v_{\text{теп}} + v_{\text{өзен}}) \cdot t;$
$v_{\text{өзен}} = 2$ км/сағ	Бұдан $t = \frac{s}{v_{\text{теп}} + v_{\text{өзен}}}; t = \frac{36}{(70+2)} \frac{\text{км}}{\text{км/сағ}} = 0,5$ сағат.
Табу керек:	Жауабы: 0,5 сағат.
$t - ?$	



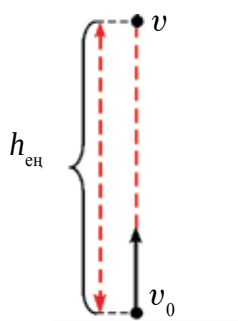
1. Қандай жағдайларда жылдамдық векторы ұйымдастырушыларға бөлінеді?
2. Қозғалыстардың тәуелсіздік қағидаты нелерден тұрады?
3. Дене бір мезгілде бірнеше қозғалысқа қатысатын болса, неліктен қозғалыстар бір-біріне ықпал көрсетпейді?

3-тақырып. ДЕНЕЛЕРДІҢ ВЕРТИКАЛЬ ҚОЗҒАЛЫСЫ

Біреп денені қолымызда ұстап тұрып, бірден тастап жіберсек, дене тарту күшінің әсерімен тұп-тура жер бетіне қарай қозғалады. Дененің бұндай қозғалысы төменге қарай вертикаль қозғалу деп аталады. Сен бұндай қозғалыстармен 7-сыныпта танысқан едің. Оны біз бүгінгі тақырыпта қозғалыстардың тәуелсіздік қағидаты тұрғысынан қарастырамыз.

Дене вертикаль қозғалғанда оған бір немесе бірнеше күштер (ауырлық күші, ауаның қарсылық күші, Архимед күші) әсер етеді. Дененің жоғары қарай тік (вертикаль) қозғалысында мәселені оңайлату мақсатымен ауаның қарсылық күші мен Архимед күшін есепке алмаймыз.

Денені жоғары қарай вертикаль бағытта v_0 бастапқы жылдамдықпен лақтырып, оның қозғалысын бақылайық (1.1-сурет). Егер дене жоғарыға қарай тек v_0 жылдамдықпен қозғалғанда, ол t уақыт ішінде $h_1 = v_0 \cdot t$ биіктікке көтерілген болар еді. Бірақ Жердің тарту күшінің әсерімен дененің осы t уақыт ішіндегі көтерілу биіктігі $h_2 = gt^2/2$ -ге төмендейді. Ондай жағдайда дененің көтерілуі мүмкін болған биіктік $h = h_1 - h_2$ -ге тең болады, яғни дененің қозғалыс теңдігі



1.1-сурет.

$$h = v_0 \cdot t - \frac{gt^2}{2} \quad (1.3)$$

арқылы өрнектеледі.

Жоғарыға қарай вертикаль лақтырылған дененің қозғалысы бірқалыпты баяулағыш қозғалыстан тұрады.

Дененің t уақыттан кейінгі жылдамдығы

$$v = v_0 - gt \quad (1.4)$$

өрнегінің көмегімен анықталады. Дене ең биік көтерілу нүктесіне жеткен соң тоқтайды ($v=0$) және төменге қарай вертикаль қозғалысын бастайды.

(1.4) өрнектің сол жағын нөлге теңесек, дененің көтерілуіне жұмсалған уақытты есептеу өрнегіне ие боламыз:

$$t_k = \frac{v_0}{g}. \quad (1.5)$$

Дененің ең жоғары көтерілу биіктігінің өрнегі төмендегідей болады:

$$h = \frac{v_0 t_k}{2} = \frac{gt_k^2}{2} = \frac{v_0^2}{2g}. \quad (1.6)$$

Ауаның қарсылығы есепке алынбайтындай дәрежеде әлсіз болған жағдайда жоғары қарай тік лақтырылған дененің көтерілуіне жұмсалған уақыт оның түсу уақытына тең болады, яғни $t_k = t_t$. Сондай-ақ дене жоғары қарай қандай жылдамдықпен лақтырылса, лақтырылған жеріне де дәл сондай жылдамдықпен қайтып түседі.

Төмен қарай вертикаль лақтырылған дененің қозғалысы бірқалыпты үдемелі қозғалыстан тұрады. Бұнда дененің t уақыттан кейінгі жылдамдығы

$$v = v_0 + gt \quad (1.7)$$

өрнегінің көмегімен анықталады. Төмен қарай вертикаль лақтырылған дене қозғалысының теңдігін былайша жазамыз:

$$h = v_0 t_t + \frac{gt_t^2}{2}. \quad (1.8)$$

Ұлы итальян ғалымы Г.Галилей дененің вертикаль қозғалысының заңдылықтарын бірінші болып тәжірибелер негізінде зерттеді. Жүргізілген

тажірибелер денелердің төмен қарай вертикаль түсуінде екі заңдылық бар екендігін анықтады. Біріншіден, дененің вертикаль түсуі түзу сызықты бірқалыпты үдемелі қозғалыстан тұрады, екіншіден, барлық денелер еркін түсу кезінде тұрақты үдемелі қозғалыста болады.

Дененің еркін түсуі бірқалыпты үдемелі қозғалыс болғандығы есепке алынса, бұл қозғалыс үшін де түзу сызықты бірқалыпты үдемелі қозғалыстың барлық теңдіктері орынды болады. Тек олардағы a үдеуді g еркін түсу үдеуімен, ал s жолды h биіктікпен ауыстыру керек (1-кесте).

Еркін түсу бірқалыпты үдемелі (жоғарыға қарай тік лақтырылған дене бірқалыпты баяулағыш) қозғалыста болғандықтан, дене қозғалысының орташа жылдамдығы төмендегі өрнек көмегімен анықталады:

$$v_{\text{орт}} = \frac{v_0 + v}{2}. \quad (1.9)$$

Есепті шешу үлгісі

1. Биіктігі 20 м болған ғимараттан түсіп келе жатқан дененің бастапқы жылдамдығы 15 м/сек. Оның жермен түйісу кезіндегі жылдамдығы неге тең болады?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$h = 20 \text{ м}$	$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$	$v = \sqrt{(15^2 + 2 \cdot 10 \cdot 20)} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
$v_0 = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$		
$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$		
Табу керек:		
$v - ?$		Жауабы: $25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

1-кесте

Бірқалыпты үдемелі қозғалыс теңдеулері	Еркін түсудегі қозғалыс теңдеулері
$v = v_0 + at$ егер $v_0 = 0$ болса, $v = at$	$v = v_0 + gt$ егер $v_0 = 0$ болса, $v = gt$
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$; егер $v_0 = 0$ болса, $s = \frac{at^2}{2}$	$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}$; егер $v_0 = 0$ болса, $h = \frac{gt^2}{2}$

$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$	$h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$
Егер $v_0 = 0$ болса, $v = \sqrt{2as}$	Егер $v_0 = 0$ болса, $v = \sqrt{2gh}$



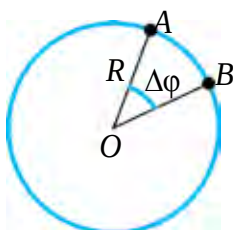
1. Жоғары қарай вертикаль лақтырылған дененің қозғалысы қандай тәуелсіз қозғалыстардан тұрады?
2. Жоғары қарай вертикаль лақтырылған дененің қозғалыс теңдеуінде үдеу неліктен минус мәнге алынған?
3. Дене жоғары қарай көтеріліп бара жатқанда оның үдеуі өзгере ме?



1. Жоғары қарай тік лақтырылған дененің көтерілу уақыты мен түсу уақытының теңдігін дәлелде.
2. Денені жоғары қарай қандай жылдамдықпен лақтырсақ, ол лақтырылған жеріне нақ сондай жылдамдықпен қайтып түсетінін дәлелде.

4-тақырып.

ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН АЙНЫМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС. АЙНАЛМА ҮДЕУ. ТАНГЕНЦИАЛ (ЖАНАМА) ҮДЕУ



1.2-сурет.

Сен 7-сыныпта шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс туралы мәлімет алғансың. Бұл тақырыпта шеңбер бойымен айнымалы қозғалыс жөнінде сөз болады. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысқа қатысты физикалық шамаларды еске түсірейік (1.2-сурет).

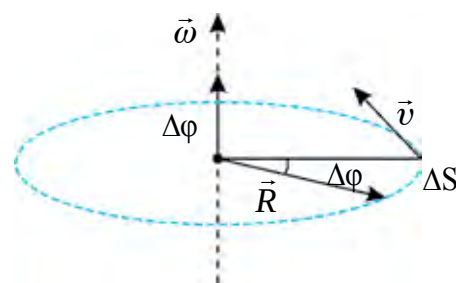
1. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалып бара жатқан материялық нүктенің уақыт бірлігі ішінде доға бойымен басып өткен жолына сандық тұрғыдан тең шаманы сызықты жылдамдық дейді және оны төмендегідей өрнектейді:

$$v = \frac{\tilde{S}_{AB}}{t}. \quad (1.10)$$

2. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыста шеңбер радиусы бұрылу бұрышының сол бұрылуға жұмсалған уақытқа қатынасы бұрыштық жылдамдық делінеді:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (1.11)$$

Бұрыштық жылдамдық та сызықты жылдамдық секілді векторлық шама болып саналады. Оның бағыты оң бұрама (винт) ережесі бойынша анықталады. Бұнда оң винт қалпағының айналу бағыты материялық нүктенің айналуына сәйкес келсе, оның ұшының бағыты бұрыштық жылдамдық векторының бағытымен сәйкес келеді (1.3-сурет).



1.3-сурет.

Көптеген жағдайларда айналма қозғалыс жасайтын денелер өзінің айналу жылдамдығын өзгертіп отырады. Мысалы, машина орнынан қозғалып, белгілі бір жылдамдыққа жеткенше, яки тежегіштің көмегімен тоқтатқанша оның доңғалақтары осындай қозғалыста болады.

Шеңбер бойымен қозғалып бара жатқан дененің бұрыштық жылдамдығы уақыт бірлігінде өзгеріп тұратын болса, бұндай қозғалысты айнымалы айналма қозғалыс дейді.

Айнымалы айналма қозғалыстар арасында бұрыштық жылдамдығы еркін тең уақыт аралығында тең мөлшерде өзгеріп тұратын қозғалыстар да кездеседі. Мысалы, аялдамаға жақындап келе жатқан немесе одан алыстап бара жатқан автобустың доңғалағы бірқалыпты айнымалы айналма қозғалыс жасайды. Бұндай қозғалыстарда бұрыштық жылдамдықтың өзгеру жеделдігі бұрыштық үдеу деп аталатын физикалық шамамен сипатталады.

Бұрыштық жылдамдық өзгерісінің сол өзгеріске жұмсалған уақытқа қатынасымен өлшенетін шама бұрыштық үдеу деп аталады.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (1.12)$$

Бірқалыпты айнымалы айналма қозғалыстың бұрыштық үдеуі уақыт бірлігі барысында өзгермейді, өйткені оның бұрыштық жылдамдығы да тең уақыт аралығында тең мөлшерге өзгереді. Егер қозғалыс үстіндегі материялық нүктенің бастапқы бұрыштық жылдамдығы ω_0 , Δt уақыт өткеннен кейінгі бұрыштық жылдамдығы ω болса, бұрыштық жылдамдықтың өзгерісі $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ болады. Олай болса, (1.12) теңдігі төмендегідей жазылады:

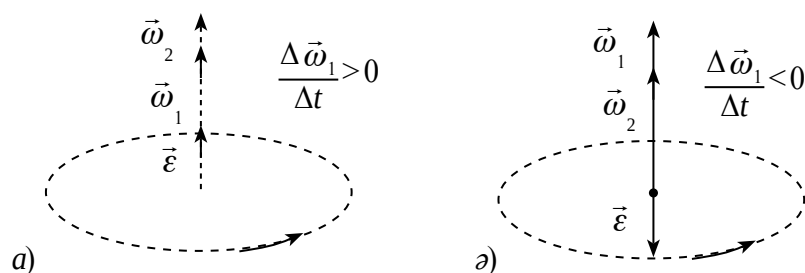
$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} \quad (1.13)$$

Бұдан бұрыштық үдеу бірлігі $[\varepsilon] = \frac{\text{рад}}{\text{сек}^2}$ келіп шығады. (1.13) өрнегінен еркін уақыт бірлігіндегі бұрыштық жылдамдықты анықтау формуласы туындайды:

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \Delta t.$$

(1.14)

Егер бұрыштық жылдамдық қозғалыс барысында бірқалыпты артып отырса, айналма қозғалыс бірқалыпты үдемелі болады ($\varepsilon > 0$) (1.4-а сурет). Айналма қозғалыстың бұрыштық жылдамдығы айналыс үдерісінде бірқалыпты төмендеп отырса, бұндай айналма қозғалыс бірқалыпты баяулайтын қозғалыс делінеді және $\varepsilon < 0$ болады (1.4-ә сурет).



1.4-сурет.

Айналма қозғалыста бұрыштық жылдамдық векторлық шама болғандықтан, оның бұрыштық үдеуі де векторлық шама болады. Өйткені (1.13) теңдіктегі Δt —скаляр, яғни сатылы шама. $\omega > \omega_0$ болғанда, $\varepsilon > 0$ болып, $\vec{\varepsilon}$ бұрыш жылдамдық векторымен бір жаққа, ал $\omega < \omega_0$ болғанда, $\varepsilon < 0$ болып, бұрыштық жылдамдыққа теріс бағытталады.

Бірқалыпты айнымалы айналма қозғалыстың теңдіктерін табу үшін бірқалыпты айнымалы түзу сызықты қозғалыс теңдіктеріндегі басып өтілген s жолды бұрылу бұрышы φ -мен жылдамдық v -ны бұрыштық жылдамдық ω және үдеу a -ны бұрыштық үдеу ε -мен ауыстырудың өзі жеткілікті. Бұл қозғалыстардың өзара салыстырылған теңдіктері төмендегі кестеде келтірілген:

Түзу сызықты бірқалыпты айнымалы қозғалыс ($a = \text{const}$)

$$s = v_{\text{орт}} \cdot t$$

$$v_{\text{орт}} = \frac{v_0 + v}{2}$$

$$v = v_0 + a \cdot t$$

Бірқалыпты айнымалы айналма қозғалыс ($\varepsilon = \text{const}$)

$$\varphi = \omega_{\text{орт}} \cdot t$$

$$\omega_{\text{орт}} = \frac{\omega_0 + \omega}{2}$$

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a \cdot s$$

егер $v_0 = 0$ болса,

$$v = a \cdot t \text{ және } v = \sqrt{2a \cdot s}$$

егер $a < 0$ болса,

$$v = v_0 - a \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$v_0^2 - v^2 = 2a \cdot s$$

$$\varphi = \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$$

$$\omega^2 - \omega_0^2 = 2\varepsilon \cdot \varphi$$

егер $\omega_0 = 0$ болса,

$$\omega = \varepsilon \cdot t \text{ және } \omega = \sqrt{2\varepsilon \cdot \varphi}$$

егер $\varepsilon < 0$ болса,

$$\omega = \omega_0 - \varepsilon \cdot t$$

$$\varphi = \omega_0 \cdot t - \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$$

$$\omega_0^2 - \omega^2 = 2\varepsilon \cdot \varphi$$

Айналма қозғалыста материялық нүктенің сызықты жылдамдығының сандық мәні өзгертін кездер де болады. Бұндай кездерде материялық нүктенің сызықты жылдамдығының өзгеруіне байланысты үдеу пайда болады. Бұл үдеу жылдамдықтың сандық мәнінің өзгеруі себепті пайда болғандықтан, оның бағыты жылдамдықтың бағытына сәйкес келеді. Осыған орай оны *жанама*, яғни *тангенциал* үдеу деп атаймыз, оның өрнегі төмендегідей болады:

$$\vec{a}_\tau = \frac{\Delta \vec{v}}{t}. \quad (1.15)$$

Айналма қозғалыстағы материялық нүктенің сызықты жылдамдығы да өзгерсе, оның жалпы үдеуі

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n \text{ немесе } a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \quad (1.16)$$

өрнегі арқылы анықталады. Бұл жерде: $a_\tau = \varepsilon R$ ға тең.



1. Бірқалыпты айнымалы қозғалыстың бұрыштық үдеуі деп қандай физикалық шаманы айтады? Ол қандай бірлікпен өлшенеді?
2. Бұрыштық жылдамдықтың бағыты қалай анықталады?
3. Қалыпты немесе тангенциал үдеуі жоқ қисық сызықты қозғалыс бола ма?
4. Доңғалақ бірқалыпты баяулайтын қозғалыс жасап, 1 минут ішінде жиілігін 300 1/мин-тан 180 1/мин-қа дейін төмендетті. Доңғалақтың бұрыштық үдеуін және сол кезеңдегі толық айналулар санын тап.

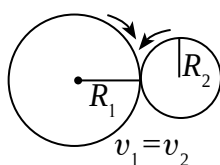
5-тақырып. АЙНАЛМАЛЫ ЖӘНЕ ІЛГЕРІЛЕМЕЛІ ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ ӨЗАРА БЕРІЛУІ

Күнделікті тұрмыста қозғалатын көлік құралдарының қозғалысын бақылайтын болсақ, олардың двигательдері бірдей жұмыс істеп тұрса да, қозғалыс жылдамдықтарының әр түрлі екендігін байқаймыз. Автомобиль тегіс жолда үлкен жылдамдықпен жүрсе, қия беткейге шыққанда, батпақты жерлерде баяу жүреді. Нақ сол сияқты тоқымашылықта, өнеркәсіпте қолданылатын станоктардың бөлшектері де әр түрлі жылдамдықпен айналып жатқанын көруге болады. Күнделікті тұрмыста пайдаланылатын тігін машинасында да айналма қозғалыс және оны барып-келетін (ілгерілемелі) қозғалысқа айналдырып беретін механизмдер қолданылады (1.5-сурет).

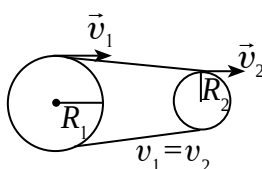


1.5-сурет.

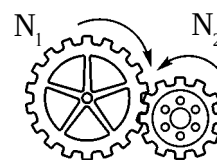
Бұндай механизмдерде айналмалы қозғалыс берілісінің фрикциялық, таспалы және тісті дөңгелек секілді әдістері бар. Бүгінгі тақырыпта солармен танысасың.



1.6-сурет.



1.7-сурет.



1.8-сурет.

Қозғалыстың фрикциялық әдіспен берілуі. Айналмалы қозғалысты фрикциялық әдіспен беру үшін диаметрлері әр түрлі қос дөңгелекті бір-біріне күшпен қысады. Олардың біреуі сағат тілінің бағыты бойынша айналса, екіншісі үйкеліс күшінің әсерімен қозғалысқа келіп, сағат тілінің бағытына қарама-қарсы айналады (1.6-сурет).

Фрикциялық беріліс әдісі тек берілу қуаты оншалықты үлкен емес жағдайларда ғана қолданылады. Бұл қозғалыста дөңгелектер бір-біріне қарсы сырғанамайды, сол себепті дөңгелектер біліктерінің сызықты жылдамдықтарының модульдері сан жағынан өзара тең болады: $v_1 = v_2$ немесе

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (1.17)$$

Қозғалыстың таспалы әдіспен берілуі. Айналмалы қозғалысты таспалы әдіспен беру үшін екі дөңгелек бір-біріне қатты тартылған таспамен біріктіріледі (1.7-сурет). Бұл әдісте беріліс үйкелудің есебінен жүзеге асады. Қозғалысты беретін шкивті (дөңгелекті) жетелеуші, ал қозғалысты қабылдайтын шкивті (дөңгелекті) жетеленетін шкив дейді. Таспалы берілісте де айналып жатқан дөңгелектердің сызықты жылдамдық модульдері өзара тең болады: $v_1 = v_2$.

Бұрыштық жылдамдықтары дөңгелектердің радиустары бойынша өзара төмендегідей қатынаста болады:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (1.18)$$

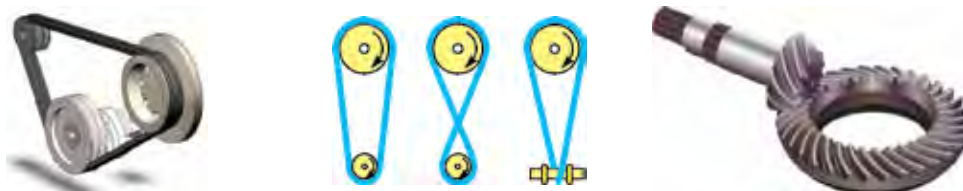
Қозғалыстың тісті дөңгелектер арқылы берілуі. Айналмалы қозғалысты диаметрлері әр түрлі екі тісті дөңгелектің тістерін бір-біріне кигізу арқылы беру әдісі тісті беріліс деп аталады (1.7-сурет). Бірінші дөңгелектегі тістер санын N_1 деп алайық, ол секундына v_1 рет айналсын. Ал онымен тістескен екінші дөңгелекте N_2 тіс бар, ол секундына v_2 рет айналсын дейік. Тістесу нүктесінде уақыт бірлігі ішінде бірінші дөңгелектің $N_1 \cdot v_1$ тісі өткенде, екінші дөңгелектің $N_2 \cdot v_2$ тісі өтеді. Екі дөңгелектің уақыт бірлігі ішінде тістесу нүктесінен өткен тістерінің саны өзара тең болады, яғни:

$$N_1 \cdot v_1 = N_2 \cdot v_2. \quad (1.19)$$

Бұдан бір-бірімен тістескен дөңгелектердің әрқайсысының айналу жиілігі оның тістерінің санына кері пропорционал болатыны келіп шығады:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{v_2}{v_1}. \quad (1.20)$$

1.9-суретте таспалардың жетелеуші және жетеленуші валдарды бір жаққа қарай және қарама-қарсы жаққа айналдыратын күйлері бейнеленген.



1.9-сурет.

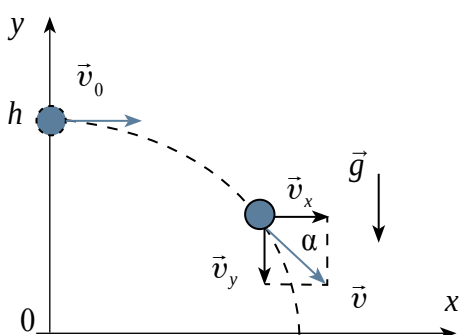


1. Айналмалы қозғалыстың фрикциялық берілісінің қандай ұнамды және ұнамсыз жақтары бар?
2. Айналмалы қозғалыстың таспалы берілісі қолданылатын механизмдерге мысалдар келтіре аласың ба?
3. Айналмалы қозғалыстың тісті берілісі қалайша жүзеге асырылады?

6-тақырып.

ГОРИЗОНТАЛЬ ЛАҚТЫРЫЛҒАН ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ

Биіктігі h -қа тең үстелдің үстінде түзу сызық бойымен қозғалып бара жатқан кішкене темір шардың қозғалысын бақылайық. Ол алғашында өз инерциясымен үстелдің беткі бөлігінде түзу сызықты қозғалыс жасайды.



1.10-сурет.

Шар үстелдің шетінен жерге жетіп келгенше екі қозғалысқа қатысады. Яғни алғашқы бағытта оның өз қозғалысын жалғастырып бара жатқанын және вертикаль бағытта қозғалып, төменге құлдылағанын көреміз. Кішкене шардың бұл қозғалысы бірер биіктіктен горизонталь лақтырылған дененің қозғалысына мысал бола алады. Бұл қозғалысты сипаттау үшін ХОИ координата жүйесін тандап алып, оны

лақтыру жүйесімен байланыстырамыз (1.10-сурет). Ауаның қарсылығы есепке алынбайтындай дәрежеде аз болғанда, дене горизонталь бағытта өзгермейтін v_0 жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады. Сондықтан оның кез келген t уақыттан кейінгі горизонталь бағыттағы жылжуы немесе ұшу ұзақтығы төмендегідей анықталады:

$$x = s = v_0 \cdot t. \quad (1.21)$$

Дене жылдамдығының x және y біліктердегі проекциялары төмендегідей өрнектеледі:

$$v_x = v_0, \quad v_y = -g \cdot t. \quad (1.22)$$

Ал вертикаль бағытта дене h биіктіктен бастапқы жылдамдықсыз бірқалыпты үдемелі қозғалыс жасап, еркін түседі. Сондықтан да дененің кез келген t уақыттан кейінгі вертикаль бағыттағы күйі төмендегідей есептеледі:

$$y = h - \frac{gt^2}{2}. \quad (1.23)$$

Горизонталь лақтырылған дененің ХОИ жазықтағы қозғалыс траекториясының теңдігі (1.21) және (1.23) өрнектеріне орай төмендегідей болады:

$$y = h - \frac{g}{2v_0^2} x^2. \quad (1.24)$$

(1.24) өрнек парабола теңдігін өрнектейді. Демек, горизонталь лақтырылған дене парабола сызығын бойлап қозғалады. h биіктіктен лақтырылған дененің ұшу уақыты

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1.25)$$

өрнегінің көмегімен анықталады. Ондай жағдайда дененің ұшу ұзақтығы

$$s = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (1.26)$$

көрінісіне ие болады.

Горизонталь лақтырылған дене бір мезгілдің өзінде горизонталь бағытта бірқалыпты және вертикаль бағытта бірқалыпты үдемелі қозғалыс жасап, еркін түседі. Қозғалыстың соңындағы (t уақыт өткеннен кейін) горизонталь және вертикаль бағыттағы жылдамдықтар сәйкесінше $v_x = v_0$ және $v_y = g \cdot t$ болады. Ондай жағдайда дененің жерге түсу жылдамдығы төмендегідей анықталады:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2$$

немесе

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}. \quad (1.27)$$

Қисық сызық бойымен қозғалып бара жатқан дененің жылжуы оның басып өткен жолына тең болмайды. Сондай-ақ горизонталь лақтырылған дененің қозғалысы барысында жылдамдық векторының модулі мен бағыты үздіксіз өзгеріп тұрады.

Есепті шешу үлгісі

1. Дене 35 м биіктіктен 30 м/сек жылдамдықпен горизонталь лақтырылды. Оның жерге түсу жылдамдығын тап.

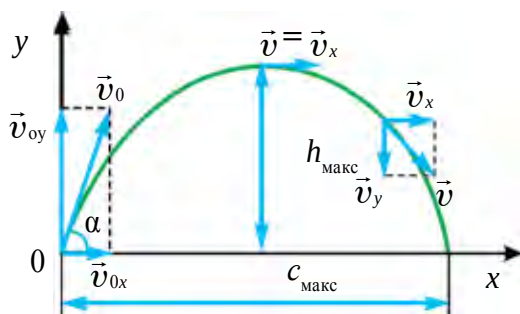
Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$h = 35 \text{ м}$ $v_0 = 30 \text{ м/сек}$ $g \approx 10 \text{ м/сек}^2$	$v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$	$v = \sqrt{(30 \text{ м/с})^2 + 2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 35 \text{ м}} =$ $= 40 \text{ м/сек.}$
Табу керек: $v = ?$		Жауабы: 40 м/сек.



1. Горизонталь лақтырылған дене қандай қозғалыстарға қатысады?
2. Горизонталь лақтырылған дененің траекториясы қандай сызықтан тұрады?
3. Горизонталь лақтырылған дене жылдамдығының горизонталь және вертикаль қатысушыларының қайсысы дене қозғалысы барысында өзгермейді?
4. Күнделікті тұрмыстан тақырыпқа қатысты қосымша мысалдар келтіре аласың ба?
5. 10 м/сек жылдамдықпен горизонталь бағытта лақтырылған дененің ұшу ұзақтығы лақтыру биіктігіне тең болды. Дене қандай биіктіктен лақтырылған?

7-тақырып.

КӨКЖИЕККЕ КӨЛБЕУ ЛАҚТЫРЫЛҒАН ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ



1.11-сурет.

Көкжиекпен салыстырғанда бірер бұрыш жасап көлбеутай лақтырылған дененің қозғалысын бақыласақ, оның алдымен горизонталь бағытта лақтырылған нүктесінен ұзақтап бара жатқанын және вертикаль бағытта көтеріліп бара жатқанын көреміз. Демек, көкжиекке көлбеу лақтырылған дене бір мезгілдің өзінде әрі горизонталь, әрі вертикаль бағыттар бойынша қозғалады екен.

Дене горизонталь бағытта бірқалыпты қозғалады. Ол вертикаль бағытта ең жоғары биіктікке жеткенше бірқалыпты баяулайтын, сосын төмен қарай бірқалыпты үдемелі қозғалыс жасайды (1.11-сурет).

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалыс траекториясы парабола көрінісінде болады. Дене ұшу үдерісінде бір мезгілдің өзінде әрі горизонталь, әрі вертикаль бағыттарда қозғалып бара жатқандықтан, дененің v_0 бастапқы жылдамдығын горизонталь (v_{0x}) және вертикаль (v_{0y}) ұйымдастырушыларға ажыратамыз:

$$\begin{cases} v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha, \\ v_{0y} = v_0 \cdot \sin \alpha. \end{cases} \quad (1.28)$$

Есептеулерді оңайлату үшін ауаның қарсылығын есепке алмаймыз. Дененің кез келген t уақыттан кейінгі горизонталь бағыттағы жылжуы төмендегі

$$s_x = v_{0x} \cdot t = v_0 \cdot t \cdot \cos \alpha \quad (1.29)$$

теңдігінен анықталады.

Дененің кез келген t уақыттағы горизонталь және вертикаль бағыттар бойынша жылдамдығы төмендегі теңдіктерден анықталады:

$$\begin{aligned} v_x &= v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha, \\ v_y &= v_{0y} - gt = v_0 \cdot \sin \alpha - gt. \end{aligned} \quad (1.30)$$

Көкжиекке көлбеу лақтырылған дененің қозғалысы барысында қозғалыстың горизонталь ұйымдастырушысы өзгермесе де, жылдамдықтың вертикаль ұйымдастырушысы көтерілу кезінде жайлап азая береді және траекторияның ең жоғарғы нүктесінде нөлге тең болады. Демек, көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене траекториясының ең жоғарғы нүктесінде ең төмен жылдамдыққа ие болады:

$$v_{\min} = v_0 \cdot \cos \alpha. \quad (1.31)$$

Содан соң дене сол нүктеден v_{0x} жылдамдықпен горизонталь лақтырылған денеге ұқсап қозғалады.

Дене траекториясының ең жоғарғы көтерілу нүктесінде $v_y = 0$ немесе $v_0 \sin \alpha - gt = 0$ қатынасынан көтерілу уақытын анықтаймыз:

$$t_k = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g}. \quad (1.32)$$

Дененің ең жоғарғы көтерілу биіктігі төмендегідей болады:

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}. \quad (1.33)$$

Дененің төменге қарай қозғалу (түсу) уақыты оның жоғарыға көтерілу уақытына тең, яғни $t_k = t_t$. Бұдан дененің жалпы ұшу уақыты келіп шығады:

$$t = \frac{2v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (1.34)$$

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене горизонталь бағытта бірқалыпты қозғалады. Сол себепті дененің ұшу ұзақтығы жылдамдықтың тек горизонталь ұйымдастырушысына байланысты болады. Ұшу ұзақтығын есептеу үшін ұшу уақытының өрнегін $s_x = v_0 \cdot t = v_{0x} \cdot t \cdot \cos \alpha$ өрнегіне қоямыз және

$$s_x = v_{0x} \cdot t = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

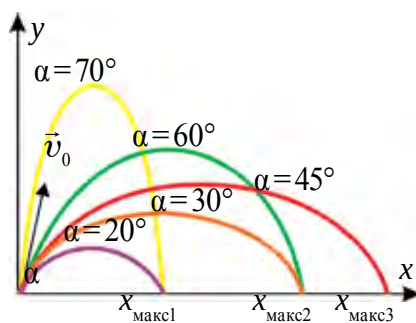
немесе

$$s = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g} \quad (1.35)$$

ие боламыз. Бұл өрнектен көрініп тұрғанындай, көкжиекпен салыстырғанда бұрыш жасап лақтырылған дененің ұшу ұзақтығы лақтыру бұрышына байланысты. 1.12-суретте дененің ұшу ұзақтығы мен көтерілу биіктігінің лақтыру бұрышына қатыстылығы келтірілген. Суреттен көрініп тұрғанындай, бұрыш артқан сайын көтерілу биіктігі де арта түседі.

Бастапқы лақтыру бұрышы артқан сайын дененің ұшу ұзақтығы да арта береді және 45° -қа тең болғанда ең жоғарғы мәніне жетеді. Содан соң бұрыштың артуына байланысты ұшу ұзақтығы төмендейді.

Көкжиекпен салыстырғанда бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалыс траекториясының теңдігін шығарайық. Бұл үшін



1.12-сурет.

$$y = v_{oy} t - \frac{gt^2}{2}$$

теңдігіне (1.29) теңдіктен $t = \frac{x}{v_0 \cos \alpha}$ уақытты тауып қойсақ, траектория теңдігі төмендегідей көріністе болатындығы келіп шығады:

$$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g \cdot x^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha} \quad (1.36)$$

Демек, көкжиекке көлбеутай лақтырылған дене координата басынан өтетін парабола бойымен қозғалады екен. Өйткені $x=0$ -де $y=0$ болады. Бұл теңдіктегі x^2 алдындағы коэффициенттің теріс мәнді болғандығы парабола мүйіздерінің төменге қарай бағытталғанын білдіреді.

Нақты жағдайларда ауаның қарсылығы ұшудың ұзақтығына елеулі әсер етеді. Мысалы, 100 м/сек жылдамдықпен атылған снаряд вакуум жағдайында 1000 м-ге ұшып барса, ауада 700 м-ге ұшып барады. Жүргізілген тәжірибелер ату бұрышы $30\text{--}40^\circ$ етіп алынса, атылған дененің ең ұзақ қашықтыққа баратынын көрсетеді.

Есепті шешу үлгісі

1. Доп 10 м/сек жылдамдықпен көкжиекке 30° көлбеу етіп лақтырылды. Ол қандай биіктікке көтеріле алады?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$v_0 = 10 \text{ м/сек}$ $\alpha = 30^\circ$ $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$	$h_{\text{макс}} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}$	$h_{\text{макс}} = \frac{\left(10 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 \cdot 1/4}{2 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2} = 1,27 \text{ м.}$
Табу керек: $h - ?$		Жауабы: 1,27 м.



1. Баскетболишы допты торға түсіру кезінде өзінің бойын есепке ала ма?
2. Көкжиекке көлбеу лақтырылған дене ауа қарсылығы ескерілген кезде қандай траектория бойымен қозғалады?
3. Нысана көздеу жарысына қатысқан спортшы садақ жебесін көкжиекке қандай бұрыш астында көлбеу атуға тиіс?

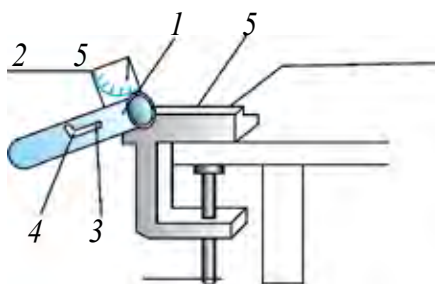


Ауладағы немесе ваннадағы су шүмегіне шланг жалғап, суды түрлі бұрыштар бойынша сеуіп көр. Нәтижені талда.

8-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: КӨКЖИЕККЕ КӨЛБЕУ ЛАҚТЫРЫЛҒАН ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты. Дененің ұшу ұзақтығының лақтыру бұрышына байланыстылығын тексеру.

Қажетті аспаптар мен жиһаздар. Баллистикалық тапанша, металл шар, өлшеу таспасы, 2–3 парақ ақ және қара қағаз (көшірме қағаз).



1.13-сурет.

Жұмысты орындау тәртібі.

1. Баллистикалық тапанша зертхана үстелінің шетіне орнатылады (1.13-сурет).

2. Баллистикалық тапаншаның көлбеулік бұрышы 30° етіп тұтқаға орнатылады (көлбеулік бұрыш тапаншаға бекітілген транспортирдің көмегімен анықталады).

3. Тұтқа артқа тартылады да, үстел ілгегіне ілінеді.

4. Металл шар үстелдің ішкі жағына орналастырылады.

5. Тұтқа ілгектен шығарып жіберіледі де, шардың түсетін жері анықталады.

6. Тәжірибе жоғарыдағыдай етіп 3 рет қайталанады.

7. Баллистикалық тапаншаның көлбеулік бұрышы 45° -қа қойылып, тәжірибе тағы қайталанады.

8. Есептелген шамалардың мәні төмендегі кестеге жазылады:

Лақтырылу бұрышы	Тәжірибе	l , ұшу ұзақтығы, (м)	$l_{\text{орт}}$, (м)	Δl , (м)	$\Delta l_{\text{орт}}$, (м)
30°	1-тәжірибе				
	2-тәжірибе				
	3-тәжірибе				
45°	1-тәжірибе				
	2-тәжірибе				
	3-тәжірибе				



1. Көкжиекке көлбеу лақтырылган дене қозғалысының траекториясы қандай болады?
2. Көкжиекке көлбеу лақтырылган дененің ұшу ұзақтығы қандай шамаларға байланысты?
3. $v = 0$ бастапқы жылдамдықпен бұрыш жасай лақтырылган дененің түсіп бара жатқан кездегі жылдамдығы қандай болады және ол көкжиекпен қандай бұрыш жасайды?
4. Тәжірибеден алынган нәтижелерге орай ұшу ұзақтығы мен ұшу уақытының мәні лақтыру бұрышына байланыстылығын талда.

1-жаттығу

1. Моторлы қайық өзен бойындағы межесіне жетіп бару үшін 1,8 сағат, ал қайтып келу үшін 2,4 сағат уақыт жұмсады. Егер қайықтың орнына сал жіберілсе, сол межеге қанша уақытта жетіп баруға болады? (Жауабы: 14,4 сағат.)
2. Метродағы эскалатор адамды 30 сек-та жоғарыға алып шығады. Егер адам мен эскалатор бірге қозғалса, адам жоғарыға 10 сек-та көтеріледі. Эскалатор тоқтап тұрған кезде адам жоғарыға қанша уақытта көтеріледі? (Жауабы: 15 сек.)
3. Дене 80 м биіктіктен еркін түсіп келеді. Түсудің соңғы секундтағы жылжуын тап. Қозғалыс барысындағы орташа жылдамдықты анықта. Дененің бастапқы жылдамдығын нөлге тең деп ал. (Жауабы: 35 м, 20 м/сек.)
4. Егер жоғары қарай вертикаль лақтырылган дене жолдың соңғы $\frac{1}{4}$ бөлігін 3 сек-та басып өткен болса, ол қанша уақыт көтерілген? Оның бастапқы жылдамдығы қандай болған? (Жауабы: 6 сек, 60 м/сек.)
5. Егер бастапқы жылдамдықсыз еркін түсіп келе жатқан дене соңғы секундта 75 м жолды басып өткен болса, ол қандай биіктіктен түскен? Дененің қозғалыс соңындағы жылдамдығы неге тең? (Жауабы: 320 м, 80 м/сек.)
6. Екі металл шар бір нүктеден 20 м/сек бастапқы жылдамдықпен 1 секундтық уақыт интервалы бойынша жоғары қарай вертикаль атылды. Шарлар алғашқы шар атылган уақыттан қанша өткенде түйіседі? (Жауабы: 2,5 сек.)
7. Маховик айналганда қалағындағы нүктелердің жылдамдығы 6 м/сек, ал олардың арасындағы білікке 1,5 см жақынырақ орналасқан нүктелердің жылдамдығы 5,5 м/сек болса, маховиктің радиусы қандай болғаны? (Жауабы: 18 см.)

8. Механикалык қозғалыс 1-доңғалактан 2-доңғалаққа таспа арқылы берілген. Егер 2-доңғалақтың бұрыштық жылдамдығы $100 \text{ } \pi \text{ } \text{s}^{-1}$, доңғалақтардың радиустары сәйкесінше 30 және 10 см болса, 1-доңғалақ минутына неше рет айналады? (Жауабы: 300 рет.)

9*. Магнитофонның орағышы 4 м/сек жылдамдықпен таспаны 40 сек-та орап алды. Егер орағыштың бастапқы радиусы 2 см, соңғы радиусы 6 см болса, таспаның қалыңдығы қандай екенін анықта. (Жауабы: 0,063 мм.)

10. h биіктіктен v_0 бастапқы жылдамдықпен горизонталь лақтырылған дене барып түсетін нүктесіне дәл түсуі үшін оны $h/3$ биіктіктен қандай горизонталь жылдамдықпен лақтыру керек? (Жауабы: $v = \sqrt{3} v_0$).

I тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

- Өзен бойымен жүзген моторлы қайықтың жағалаумен салыстырғандағы жылдамдығы 6 м/сек, ал ағысқа қарсы жүзгендегі жылдамдығы 4 м/сек. Өзен ағысының жылдамдығы (м/сек) неге тең?
A) 0,5; B) 1; C) 2,5; D) 5.
- Дене 15 м/сек жылдамдықпен вертикаль төменге тасталды. Ол 2 секундтан соң қандай жылдамдыққа ие болады (м/сек)?
A) 25; B) 35; C) 30; D) 45.
- Дене жоғары қарай қандай жылдамдықпен вертикаль лақтырылса, 6 секундтан соң лақтырылған жеріне қайтып түседі (м/сек)?
A) 20; B) 35; C) 30; D) 40.
- Жоғары қарай тік лақтырылған дененің жылдамдығы 2 сек-тан соң екі есеге азайды. Ол қандай жылдамдықпен лақтырылған?
A) 30; B) 40; C) 50; D) 60.
- Массалары 100 г және 150 г болған екі металл шар бірдей жылдамдықпен тік жоғары атылды. Олардың қайсысы биігірек көтеріледі? Ауаның қарсылығын есепке алма.
A) массасы шағын болған шар; B) массасы үлкен болған шар;
C) екеуі де бірдей биіктікке көтеріледі;
D) берілген мәліметтер жеткілікті емес.
- Айналма қозғалыс 50 тісті доңғалактан 150 тісті доңғалаққа берілуде. Бірінші доңғалақ 2 сек-та толық бір рет айналса, екінші доңғалақтың айналу уақыты қанша болады?
A) 3 сек; B) 7,5 сек; C) 5 сек; D) 6 сек.

7. Қисық сызықты бірқалыпты қозғалыс кезінде төмендегі шамалардың қайсысы өзгермейді?
 А) жоғары жылдамдық модулі; В) үдеу модулі;
 С) орташа жылдамдық модулі; D) үдеу векторы.
8. Қисық сызықты бірқалыпты қозғалыста үдеу векторының бағыты қандай болады?
 А) траекторияның қисықтық радиусы бойынша орталықта;
 В) траекторияға жанама;
 С) қозғалыс траекториясы бойынша;
 D) қисық сызық радиусы бойынша орталықтан сыртқа.
9. Дене биіктігі 125 м-лік мұнарадан 30 м/сек жылдамдықпен горизонталь бағытқа лақтырылды. Дененің ұшу ұзақтығын анықта.
 А) 300 м; В) 120 м;
 С) 240 м; D) 150 м.
10. Дене көкжиекпен салыстырғанда 30° бұрыш астында жерден 20 м/сек жылдамдықпен лақтырылды. Бастапқы жылдамдық векторының горизонталь және вертикаль ұйымдастырушыларын анықта (м/сек).
 А) 10 және 14,1; В) 17,3 және 10;
 С) 14,1 және 10; D) 20 және 10.

I тарауда берілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Ғылыми бақылау	Ғылыми зерттеу әдісі болғандықтан жүйелі, белсенді, белгілі бір мақсатқа бағытталады.
Гипотеза	Біріңгер үдеріс, құбылыс туралы жорамалдап айтылатын пікір
Тәжірибе (эксперимент)	Гипотезаның дұрыстығын тексеру үшін арнаулы зертханаларда жүргізіледі.
Модель	Ықшамдалған, ретке салынған, маңызды жақтары бөлініп көрсетілген күй.
Ғылыми идеалдандыру	Алынған нәтижеге қарап, идеал жағдайда қандай нәтиже шығатынын айтып беру.
Ғылыми теория	Кең ауқымды құбылыстарды түсіндіретін заңдар жинағы.
Сәйкестік қағидаты	Жаңа теория мен бұрынғы теорияның белгіленген шекарада бір-бірімен сәйкес келуі.

Қисық сызықты бірқалыпты қозғалыс	Қозғалыс траекториясы қисық сызықтан тұратын, жылдамдығының шамасы өзгермейтін, бірақ бағыты траекторияға жанама түрде өзгереді қозғалыс.
Қозғалыстардың тәуелсіздік қағидаты яки суперұстанымы	Дене қатысып отырған қозғалыстар тәуелсіз болып, олардың қозғалыс жылдамдығының (үдеуінің) бір-біріне тәуелді болмауы.
Жоғары қарай вертикаль қозғалыс	Жердің тарту күші бағытына қарама-қарсы қозғалыс. Қозғалыс теңдігі $h = v_0 \cdot t - \frac{gt^2}{2}$.
Төмен қарай вертикаль қозғалыс	Жердің тарту күші бағытындағы қозғалыс. Қозғалыс теңдігі $h = v_0 \cdot t + \frac{gt^2}{2}$.
Айнымалы айналма қозғалыс	Бұрыштық жылдамдығы уақыт бірлігі барысында өзгеріп тұратын айналма қозғалыс.
Бұрыштық үдеу	Бұрыштық жылдамдық өзгерісінің сол өзгеріске жұмсалған уақытқа қатынасымен өлшенетін шама $\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$.
Шеңбер бойымен бірқалыпты айнымалы қозғалыста кез келген уақыттағы бұрыштық жылдамдықты анықтау формуласы	$\omega = \omega_0 + \varepsilon\Delta t$.
Тангенциал үдеу	Жылдамдықтың сандық мәнінің өзгеруі себепті пайда болатын үдеу $\vec{a}_\tau = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$.
Қисық сызықты қозғалыстың толық үдеуі	$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n, a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}$.
Қозғалысты фрикциялық әдіспен беру	Әр түрлі радиусты қос дөңгелектің бір-біріне сыртқы беттерімен үйкелуі (тиюі) арқылы берілетін қозғалыс.

Қозғалысты таспа арқылы беру	Қозғалыс бір дөңгелектен екіншісіне керіп тартылған таспа арқылы беріледі.
Қозғалысты тісті дөңгелектер арқылы беру	Айналмалы қозғалысты диаметрлері әр түрлі екі тісті дөңгелектің тістерін бір-біріне кигізу арқылы беру.
Горизонталь лақтырылған дененің ұшу ұзақтығы және жерге соғылу жылдамдығы	$s = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}.$
Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ең төменгі жылдамдығы	$v_{\min} = v_0 \cdot \cos \alpha.$
Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің көтерілу жылдамдығы	$h_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}.$
Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ұшу уақыты	$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$
Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ұшу ұзақтығы	$s = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}.$
Горизонталь лақтырылған дененің қозғалыс траекториясының теңдігі	$y = h - \frac{g}{2v_0^2} x^2.$
Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалыс траекториясының теңдігі	$y = x \cdot \operatorname{tg} \alpha - \frac{g \cdot x^2}{2v_0^2 \cdot \cos^2 \alpha}.$

II тарау. ДИНАМИКА

9-тақырып. ДИНАМИКА ЗАҢДАРЫ

Бізді қоршаған ортадағы денелердің қозғалысы механика заңдарына бағынады.

Дене қозғалысының өзгеру себептерін XVI ғасырдың соңы мен XVII ғасырдың бас кезінде тұңғыш рет тәжірибелер негізінде егжей-тегжейлі зерттеген ғалым Галилео Галилей еді. Галилей дене қозғалысының өзгеру себептері туралы былай деп жазған болатын:

Егер денеге басқа ешқандай денелер әсер етпесе, дене Жерге сәйкес өзінің тыныштықтағы күйін яки түзу сызықты бірқалыпты қозғалысын өзгертпейді.

Галилей ашқан бұл заңдылық механиканың негізгі заңдарын қалыптастыру жолындағы алғашқы қадам болды.

Бұл заңдарды ашу үшін Ньютонға ешқандай күрделі аспап-құралдар қажет болмаған. Ол үшін қарапайым тәжірибелердің өзі жеткілікті еді. Бұндағы ең басты қиыншылық денелердің сан алуан қозғалыстары арасынан ең маңыздысын, ең бәріне ортағын тауып алуда ғана болды.

Динамика—грекше “динамис” сөзінен алынған, ол “күш” деген мағынаны білдіреді. Егер біз әлдеқандай дененің қозғалысқа келгенін көрсек, оған әсер еткен басқа бір денені де көреміз. Өзге дене қозғалысқа келген денені тартуы, итеруі немесе қашықтан тұрып оған ықпал көрсетуі мүмкін (мысалы, магниттің темірге әсері). Жерден белгілі бір биіктікке көтерілген денені тастап жіберсе, ол төменге түседі. Бұл тәжірибелердің барлығында да **дене жылдамдығының өзгеруі (яғни үдеуі) әрқашан өзге бір дененің ықпал етуінен туындайды.** Бұл Ньютон механикасының ең маңызды тұжырымы болып саналады.

Денелердің бір-бірімен өзара ықпалдасу үдерісі—**өзара әсер** деп аталады. Физикада барлық өзара әсерлер міндетті түрде жұп болып келеді. Яғни кез келген әсер қарсы әсерді туғызады.

Алайда бундай тұжырым оңай қабылданбаған. Ұлы ойшыл Аристотель де дене қозғалысының өзгеру себебін ашуға әрекет жасады. Оның жазуына қарағанда, “Егер денеге итеруші күш әсер етпей қойса, қозғалушы дене тоқтап қалады”. Ол Жерге салыстырғандағы тыныш күйді дененің табиғи күйі деп түсіндірген.

Ол замандарда Жерді Әлемнің орталығы деген көзқарас орын алғандықтан, маңызды бір себеп болмаса, дене өзінің тыныш күйіне қайтады деп түсіндірген. Шындығында да тегіс асфальт жолмен келе жатқан автомобильдің бензині таусылса, двигателі сөнөді. Автомобиль біраз жүріп барып тоқтайды. Нақ сондай тұжырымды велосипедке, көлдегі қайыққа да қолдануға болады.

Жүргізілген бақылаулар мен тұжырымдар негізінде динамиканың бірінші заңы табылған. Ол төмендегідей сипатталады:

Инерциялық жүйе деп аталатын санақ жүйелері бар, ондағы дене басқа денелерден жеткілікті деңгейде ұзактау орналасқан болса, тыныш күйде немесе түзу сызықты бірқалыпты қозғалыста болады.

Бұл заң, бір жағынан, инерциялық санау жүйесіне сипаттама берсе, екінші жағынан, расында да бундай жүйелердің бар екендігін тексеру мүмкіндігін туғызады. Механиканың бірінші заңы инерциялық санау жүйесін даралап, айрықша орынға қояды.

Айналып жатқан қатты дененің әрбір нүктесі үдемелі қозғалыста болады. Кез келген бөліктің үдеуі денедегі басқа бөліктердің әсерінен туындайды. Былайша айтқанда, қатты денені құрайтын бөлшектер “еркін дене” бола алмайды және оған Ньютонның бірінші заңын қолдануға болмайды.

Осылайша денелердің тыныш немесе түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс күйінен шығу себебі басқа денелердің әсері екенін біліп алдық. Денелердің бір-біріне әсері күшпен айқындалады.

Ньютонның айтуына қарағанда, механикада, денелердің бір-біріне әсері нәтижесінде үдеудің туындауына себеп болатын мөлшерлік өлшем күш деп аталады.

Бұл–күшке сапалық тұрғыдан берілген сипаттама. Біз бұл арқылы механикаға екі анықтама енгіздік:

- 1) денелердегі үдеу күштің әсерінен туындайды;
- 2) үдеу туғызатын күш басқа денелердің әсерінен туындайды.

Күш ұғымы екі денеге тиесілі. Күш векторлық шама болғандықтан, өзіндік бағытқа ие. Күшті мөлшерлік тұрғыдан анықтау үшін оны өлшеу керек. Бұл үшін ол өзге бір эталондық күшпен салыстырылады.

Табиғаты тұрғысынан қандай болуына қарамастан, күштердің денеге бір мезгілдегі әсері оның жылдамдығын өзгертпесе (яғни оған үдеу бермесе), модулі тұрғысынан тең және қарама-қарсы бағытталған болады.

Тәжірибелерден анықталғанындай, дененің алған үдеуі оған қойылған күштен тысқары оның қасиеттеріне байланысты. Демек, бұл қасиетті анықтап алу қажет. Механикада бұл қасиет **дене массасымен** сипатталады.

Денеге берілген күштің дене алған үдеуге қатынасы өзгермейтін шама болып табылатыны Саған 7-сыныптан белгілі.

$$\frac{F}{a} = \text{const.}$$

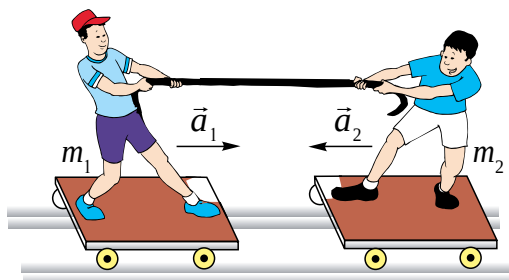
Денеге қатысты $\frac{F}{a}$ қатынаспен өлшенетін шама **инертті масса** деп аталады.

Масса—дененің инерттілік қасиетін белгілейді, яғни оның күш әсерінен қаншалықты үдеу алатын қабілетін айқындайды.

Масса ұғымы енгізілген соң, динамиканың екінші заңы төмендегідей сипатталады:

Дененің алған үдеуі берілген күшке тура, ал дененің массасына кері пропорционал болады:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (2.1)$$



2.1-сурет.

Бұл өрнек табиғаттың ерекше айнымас формуласы болып табылады, оған алып аспан денелерінің қозғалысы да, жел ұшырған ұсақ құм түйіршігінің қозғалысы да мойынсұнады.

Жоғарыда айтылғанындай, өзара әсер әрқашан жұп болады. Мысалы, 2.1-суретте *Абзал Бейбарысқа* арқан арқылы әсер етсе, *Бейбарыс* та *Абзалға* арқан арқылы әсер көрсетеді. Соның нәтижесінде *Абзал* да, *Бейбарыс* та үдеу алады.

Бұл тәжірибені және соған құбылыстарды бақылау нәтижесінде динамиканың үшінші заңы шығарылады:

Кез келген әсер кері әсерді туғызады. Олар сандық мәні тұрғысынан бір-біріне тең болады да, бір түзудің бойымен қарама-қарсы бағытталады:

$$\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}. \quad (2.2)$$

Бұл күштер әр түрлі денелерге берілгендіктен, бір-бірін тепе-теңдікте ұстай алмайды. Яғни өзара ықпалдасатын күштер бұл күштердің әсерімен жеке-жеке үдеу алады:

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

Есепті шешу үлгісі. F күштің әсерімен m_1 массалы дене 2 м/сек^2 үдеу алады. Ал m_2 массалы дене сол күштің әсерімен 5 м/сек^2 үдеу алады. Егер осы денелер өзара жалғанса, олар сол күштің әсерімен қандай үдеу бойынша қозғалады?

Берілгені: $a_1 = 2 \text{ м/сек}^2$ $a_2 = 5 \text{ м/сек}^2$ m_1, m_2 .	Формуласы: $F = m_1 \cdot a_1; \quad F = m_2 \cdot a_2$ $m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2; \quad m_1 = \frac{a_2}{a_1} m_2$ $F = (m_1 + m_2) \cdot a;$ $m_2 a_2 = \left(\frac{a_2}{a_1} m_2 + m_2 \right) \cdot a$ $a = \frac{a_1 a_2}{a_1 + a_2}$	Шешуі: $a = \left(\frac{2 \cdot 5}{2 + 5} \right) \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = \frac{10}{7} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1,43 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$ <i>Жауабы:</i> $1,43 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$
Табу керек: $a - ?$		



1. Динамика заңы бойынша Галилей айтқан пікірде қандай қателік бар еді?
2. Инертті масса дегенде нені түсінеміз?
3. Өзіңе белгілі болған өзара әсерлерді айт және мысалдар келтір.
4. Денелер жылдамдықтарын өзара әсер нәтижесінде әрқашан да өзгерте бермейтіні неліктен?

10-тақырып. ГАЛИЛЕЙДІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫҚ ҚАҒИДАТЫ. ИНЕРЦИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ИНЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС САНАҚ ЖҮЙЕЛЕРІ

Салыстырмалық қағидатының ашылуына негізгі себептердің бірі – Жердің қозғалысы, анығырағы, оның өз білігін айналуы жөніндегі гипотеза болды. Осы арада мынадай сұрақ туылады: егер Жер өз білігін айналатын болса, неліктен біз оны Жер бетінде өткізілген тәжірибелерде сезінбейміз? Осы проблема бойынша талқылауларға қатысқан ортағасырлық Николай Орема (XIV ғасыр), Алавуддин Әли әл-Құшшы (XV ғасыр) секілді ғалымдар мынадай қорытындыға келді: Жердің айналуы оның үстінде өткізілген тәжірибелерге әсер етпейді.

Сен өз сыныптастарыңмен бірге үлкен кеменің ішінде, сыртқы терезе әйнектері қараңғыланған бөлмеде отырсыңдар делік. Сонда сыныптастарыңның біреуі: “Қазір кеме тыныштық күйде тұр ма, әлде қозғалыста ма?” – деп сұрады. Сыртқы палубаға шықпай тұрып бұны қалай анықтауға болады? Балалардың тағы біреуі: “Келіндер, тәжірибе өткізіп көрейік. Үстелдегі заттардың бірін жоғарыдан төменге тастайық. Егер кеме қозғалыссыз болса, ол вертикаль түседі. Ал қозғалыс үстінде болса, түсу кезінде кеменің едені алға кетіп, зат аздап артқа түседі”, – деген ұсыныс жасады. Сөйтіп, терезеден әр түрлі заттар тасталғанда, олардың барлығы да еденге тік түрде, бір жерге түсті. Балалар кеме тыныштық күйде тұр деген қорытындыға келді. Сосын бәрі жабыла палубаға шығып қараса, кеме шайқалмай бірқалыпты жүзіп бара жатқан екен! Демек, механикалық тәжірибелер тыныштық күйдегі сынып бөлмесінде жүргізілсе де, түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі вагон яки кеме ішінде жүргізілсе де бірдей өтеді.

Бұл мәселеге бірінші болып Галилей назар аударған болатын. Галилей де саған ұқсап, үлкен кеменің ішінде бақыланған механикалық үдерістер, кеме түзу сызықты бірқалыпты қозғалып бара жатса да, нақ тыныштық күйдегідей өтетін болса, сондай болатынын жазып қалдырған. Бұнда санақ жүйесі ретінде Жер емес, қозғалып бара жатқан вагон яки кеме алынады.

Тыныштық күйде тұрған яки түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі санақ жүйелері инерциялық санақ жүйелері деп аталады.

Кеме бірқалыпты ағып жатқан өзенде ағыс бойымен жүзіп келе жатқан болса, санақ жүйесі ретінде жағалауды немесе суды алуға болады. Нақ сол сияқты түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі пойыз вагонында бара жатқан адам үшін санақ жүйесі ретінде вагонды немесе Жерді алуға болады.

Адамның вагонға сәйкес жылдамдығын v деп, вагонның Жерге сәйкес жылдамдығын u деп алайық. Егер адам қозғалыс бағытымен бір бағытта қозғалса, оның Жерге сәйкес жылдамдығы $u+v$ болады. Қозғалыс қарама-қарсы бағытта болса, $u-v$ болады. Бұл **Галилейдің жылдамдықтарды қосу ережесі** деп аталады.

Жүргізілген тәжірибелер әмбебап (универсал) санақ жүйелерінде сағаттар бірдей уақытпен жүретінін көрсетті.

Денелердің жылжуы санақ жүйелерінде бірдей болмайды. Өйткені қозғалып бара жатқан вагон ішіндегі адамның вагонға сәйкес жылжуы Жерге сәйкес жылжудан кіші болады. Дене массасы тыныштық күйде тұрған вагон ішінде өлшенгенде де, түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі вагонда өлшенгенде де бірдей болып шығады.

Сөйтіп, әмбебап санақ жүйелерінде уақыт, масса, үдеу және күш *бір түрлі (инвариант)* болады.

Тыныштық күйдегі санақ жүйесінде күш F -ке, масса m -ге, үдеу a -ға тең болса, түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі жүйеге сай түрде F' , m' және a' болады. $F=F'$, $m=m'$ және $a=a'$ болғандығы себепті Ньютонның екінші заңы $F=F'=ma$ немесе $F'=m'a'$ түрінде өрнектеледі. Бұдан Ньютон заңдарының барлық әмбебап санақ жүйелерінде орынды болатыны келіп шығады.

Галилейдің салыстырмалық қағидатын жалпы түрде төмендегідей сипаттауға болады:

Барлық механикалық үдерістер барша әмбебап санақ жүйелерінде бірдей өтеді.

Бірақ мына бір нәрсені де естен шығармау керек. Біз түзу сызықты бірқалыпты қозғалыстың сирек кездесетінін білеміз. Ал бұл әмбебап санақ жүйелері өте аз болатынын білдіреді. Соған орай әрқашан әмбебап санақ жүйесіне жақын болатын жүйелер бар екенін есте сақтауға тиіспіз. Біз Жерді әмбебап санақ жүйесі деп атаймыз. Себебі ол өз білігі айналасында және Күн төңірегінде айналады. Айналма қозғалыста әрқашан да үдеу болады. Соған қарамастан Жерді әмбебап санақ жүйесіне енгіземіз. Бұның себебі сол, бұл үдеу өте шағын. Мысалы, бұл үдеу экваторда $0,035 \text{ м/сек}^2$ -қа тең, еркін түсу үдеуімен салыстырғанда да өте шағын. Соған орай оны есепке алмай, қозғалысты бірқалыпты деп қарауға болады. Жердің Күн төңірегінде айналуындағы үдеу бұдан да шағын. Сондықтан Жерді әмбебап санақ жүйесіне енгіземіз. Нақ сол сияқты Жерге сәйкес түзу сызықты бірқалыпты қозғалып бара жатқан пойызды да әмбебап санақ жүйесіне енгізуге болады.

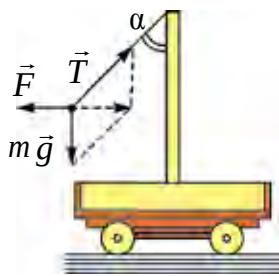
Жоғарыда атап көрсетілгеніндей, түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі жүйелерде Ньютон заңдары орынды болады. Егер санақ жүйесі қисық сызықты немесе үдемелі қозғалыста болса ше? Бұндай жүйелер **әмбебап емес санақ жүйелері** деп аталады. Әмбебап емес санақ жүйелерінде Ньютон заңдарын қалай пайдалануға болады? Оларды пайдалану үшін үдеудің пайда болу себебін еске түсірейік. Үдеудің пайда болуының себебі—күш. Демек, Ньютонның екінші заңын пайдалану үшін денеге басқа денелер арқылы әсер етіп жатқан күштермен бірігіп, **инерция күшін** енгіземіз. Инерция күші денеге басқа күштер арқылы емес, санақ жүйесінің үдемелі қозғалысы арқылы әсер етеді. Ондай жағдайда Ньютонның екінші заңы төмендегідей

$$m \vec{a}_{\text{сал.}} = \vec{F} + \vec{F}_{\text{ин}} \quad (2.3)$$

көрінісінде болады.

Инерция күшінің өрнегін табу үшін үдеудің абсолют мәні $\vec{a}_{\text{абс.}}$ мен үдеудің салыстырмалы мәні $\vec{a}_{\text{сал.}}$ -ның айырмасын пайдаланамыз. Ондай жағдайда инерция күшінің өрнегі төмендегідей болады:

$$\vec{F}_{\text{ин}} = m(\vec{a}_{\text{абс.}} - \vec{a}_{\text{сал.}}). \quad (2.4)$$



2.2-сурет.

Айтылғандарды мысал жүзінде қарастырайық. Шағын арбашыққа бағана орнатылған, оған 2.2-суретте көрсетілгеніндей етіп маятник ілінген. Арбашық Жерге сәйкес $\vec{a}_{\text{абс.}}$ тұрақты үдеумен қозғалып барады. Маятник арбашыққа сәйкес қозғалмайтын етіп бекітілген: $a_{\text{сал.}} = 0$. Маятникке $m\vec{g}$, $m\vec{a}_i$ және $\vec{T}$ күштер әсер көрсетеді. $\vec{T}$ —маятник ілінген жіптің керілу күші. Бірақ бұл күштер маятникке үдеу бермейді.

Ньютонның екінші заңы орындалу үшін оған инерция күші $\vec{F}_{\text{ин.}} = -m\vec{a}_{\text{ин.}}$ -ді енгізу керек. Ондай жағдайда

$$m\vec{g} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{ин.}} = 0.$$

Демек, Ньютонның екінші заңы шартты түрде орындалады. Маятниктің ауытқу бұрышы $\text{tg}\alpha = \frac{a_{\text{ин.}}}{g}$.



1. Әмбебап санақ жүйелері дегенде нені түсінеміз?
2. Әмбебап санақ жүйелерінде қандай физикалық шамалар бір түрлі болады?
3. Ньютонның үшінші заңы инерциялық санақ жүйелері үшін орынды бола ма?

11-тақырып. ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ АЛАҢДАҒЫ ҚОЗҒАЛЫС

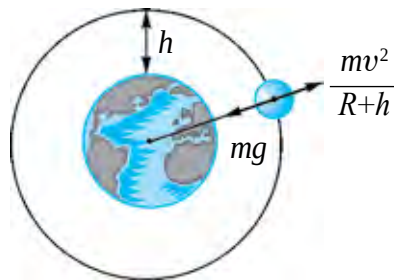
Сен 7-сыныпта Жер өзінің айналасында тұрақты тартылу алаңын қалыптастыратынын және сол алаң арқылы денелерді өзіне тартып тұратынын біліп алғансың. Демек, бұл тартылу алаңы Жерде болатын барлық қозғалыстарға өз әсерін тигізеді.

Тау шыңына шығып, одан горизонталь бағытқа v_0 жылдамдықпен бірер денені лақтырдық дейік. Дене ұшып барып, A нүктеге түседі. Оның бұл көрінісі Ньютон сызған 2.3-суретке ұқсайды.

Егер дененің жылдамдығы арттырылса, ол B және C нүктелерге түседі. Дене жылдамдықтың белгілі бір мәнінен бастап Жерге түспей, Жер төңірегінде айналма қозғалыс жасауға өтеді. Сөйтіп, бұл дене Жердің жасанды серігі болып қалады. Жасанды серіктің қозғалысы тартылу алаңындағы қозғалыс болады. *Серік неліктен Жерге түспейді? Бұл жағдай қандай жылдамдықта байқалады?* Ең алдымен, серікке әсер етіп жатқан күштерді қарастырайық. Серікке Жердің тарту күші тұрақты әсер етеді. Бұдан тыс ауаның қарсылық күші де әсерін тигізеді. Қарсылық күші аз болуы үшін серікті атмосфераның ең жоғары қабаттарына алып шығу керек.



2.3-сурет.



2.4-сурет.

Іс жүзінде Жер бетінен 300–400 км биіктікте ауаның қарсылығы мүлде жоқ деуге болады. Демек, бұндай биіктікте Жердің тарту күшін серігіне берілген жылдамдыққа байланысты пайда болған орталықтың қосымша күші толықтырады (2.4-сурет).

Ондай жағдайда:

$$mg = \frac{mv^2}{R_{\text{Жер}} + h} \quad \text{тан} \quad v^2 = g(R_{\text{Жер}} + h).$$

h биіктікті Жердің радиусы $R_{\text{Жер}}$ -ге сәйкес есепке алмаса да болатын күй үшін $R_{\text{Жер}} + h \approx R_{\text{Жер}}$ және

$$v^2 = g \cdot R_{\text{Жер}}$$

(2.5)

Оны есептеу үшін $R_{\text{Жер}} \approx 6400$ км, $g = 9,8$ м/сек² деп алса, v –ның мәні:

$$v = 7,91 \text{ км/сек}$$

-қа тең болады.

Бұл жылдамдық **бірінші ғарыштық жылдамдық** деп аталады.

Осындай жылдамдықпен қозғалған Жердің жасанды серігі

$$T_1 = \frac{2\pi R_{\text{Жер}}}{v_1} = 84 \text{ мин } 12 \text{ сек-та Жерді бір рет айналып шығады.}$$

Іс жүзінде Жерді бір рет айналып шығуға кеткен уақыт есептеп табылған уақыттан үлкен болады. Бұның себебі – серік орбитасының радиусы мен Жер радиусының бір-бірінен айырмашылығында.

Сонымен үлкен радиусты орбиталарда қозғалатын серіктердің жылдамдығы Жер бетіне жақын орбиталарда қозғалатын серіктердің жылдамдығынан төмен болады.

Бұндай серіктердің айналу кезеңі:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi R_{\text{Жер}}}{v_1} \sqrt{\left(\frac{r}{R_{\text{Жер}}}\right)^3} = T_1 \sqrt{\left(\frac{r}{R_{\text{Жер}}}\right)^3}. \quad (2.6)$$

Бұл жерде: T_1 – Жер бетіне жақын орбиталарда қозғалатын серіктердің айналу кезеңі.

Кез келген биіктікте айналып жүрген серіктің айналу кезеңі формуласын пайдаланып, серік Жерден белгілі бір биіктіктегі бірер нүктеде “қимылдамай” тұруға тиісті биіктікті табуға болады. Демек, серіктің айналу кезеңі 24 сағатқа тең болуы үшін ол қандай биіктікте қозғалуы керек? Есептеулер көрсеткеніндей, биіктік

$$h = 6,6 R_{\text{Жер}} \text{ яғни шамамен } 42000 \text{ км-ге тең болуы керек!}$$

Бұндай орбита **геостационарлық орбита** деп аталады.

Біздің ғаламшарымызда адамзат тарихында бірінші рет бұрынғы КСРО-да 1957 жылдың 4 қазанында Жердің жасанды серігі ұшырылды. Серік шар тәрізді, диаметрі 58 см, массасы 83,6 кг еді. Серік Жер төңірегін 1400 рет айналып шығып, жалпы мөлшері 60 миллион км қашықтықты басып өтті. Ал 1961 жылы 12 сәуірде адам баласы тұңғыш рет ғарышқа шықты. Бірінші ғарышкер Юрий Алексеевич Гагарин бұрынғы КСРО азаматы еді. Бертін келе 1969 жылы 20 шілдеде американ астронавтары Нейл Армстронг пен Эдвин Олдриндер де бірінші болып Айға қонды.

Күн жүйесіне енетін ғаламшарларға бару үшін ғарыш кемесіне *екінші ғарыштық жылдамдық* берілуі керек. Оның сандық мәні 11,2 км/сек-қа тең.

Ал сонау қиырдағы жұлдыздарға бару үшін Күн жүйесінің тарту күшін жеңіп шығу қажет. Бұл үшін ғарыш кемесі *үшінші ғарыштық жылдамдыққа* ие болуға тиіс. Оның мәні 16,7 км/сек-қа тең.

Ғарышты игерген ғарышкерлер арасында біздің отандастарымыз В.Жәнібеков пен өзбек ұлтының өкілі С.Шарипов та бар.



1. Неліктен Жер өзінің айналасында қозғалып бара жатқан жасанды серікті тартып алмайды?
2. Айды да бірінші ғарыштық жылдамдықпен қозғалып бара жатқан жасанды серік деп қарауға бола ма?
3. Жасанды серіктің Жер бетінен биіктігі артуына байланысты оның жылдамдығы қалай өзгереді?

12-тақырып. ДЕНЕ САЛМАҒЫНЫҢ ҚОЗҒАЛЫС ТҮРІНЕ БАЙЛАНЫСТЫЛЫҒЫ

Бүгінгі таңда көптеген әкімшілік ғимараттары мен тұрғын үйлер көп қабатты етіп салынып жатыр. Жоғарғы қабаттарға шығып-түсу үшін лифттер пайдаланылады. Енді лифтке шығып жатқан және түсіп жатқан адамның қозғалысын қарастырайық.

1. Массасы m болған адам лифтте тұр. Лифт төменге немесе жоғарыға қарай тұрақты $\vec{v} = \text{const}$ жылдамдықпен қозғалып бара жатқан кезде (2.5-а сурет) адамның лифт еденіне (тірекке) беретін әсері (салмағы) $P = mg$ болады. Былайша айтқанда, лифт тұрақты жылдамдықпен қозғалғанда дененің салмағы лифтің тыныштық күйінде қандай болса, сондай болып қала береді.

2. Лифт төменге қарай $\vec{a}$ үдеумен түсіп келеді (2.5-ә сурет). Бұл жағдайда Ньютонның екінші заңына орай

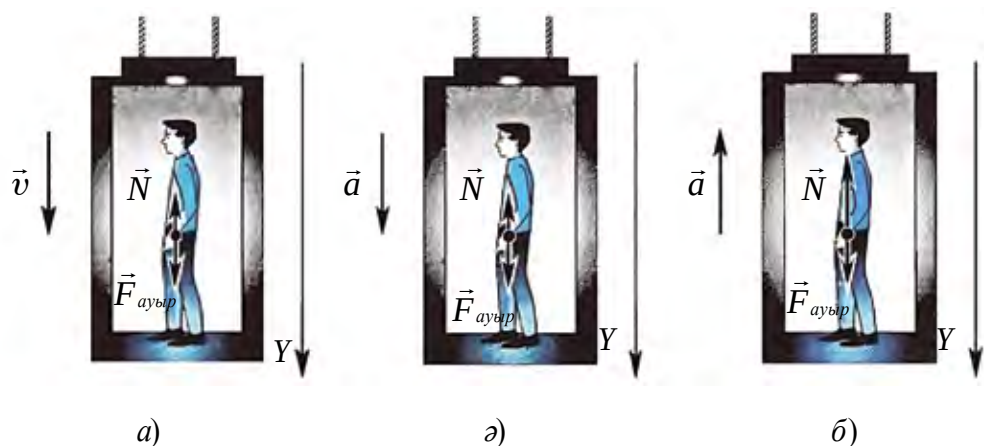
$$\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}. \quad (2.7)$$

Бұл жерде $\vec{N}$ – лифт еденінің реакциялық күші, m – дененің массасы.

Ньютонның үшінші заңына орай дененің салмағы $\vec{P} = -\vec{N}$. Соған сәйкес (2.7)-ні есепке алып жазамыз:

$$\vec{P} + m\vec{g} = m\vec{a}.$$

Дененің қозғалыс кезіндегі нәтижелік салмағы



2.5-сурет.

$$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a}) \quad (2.8)$$

болады.

Бұдан көрініп тұрғанындай, лифт төменге қарай a үдеумен қозғалса, адамның салмағы ma -ға төмендейді. Егер лифтті ұстап тұратын темір арқан (трос) бірден босатылса, лифт төмен қарай $a=g$ үдеумен қозғалады, ал адамның салмағы

$$P = m(g - a) = 0$$

болады.

Дененің тірекке немесе ілгекке әсер ететін күші нөлге тең болатын, яғни салмағы жойылатын күйі салмақсыздық деп аталады.

Демек, дене салмақсыздық күйіне өтуі үшін төмен қарай $g=9,81$ м/сек² үдеумен қозғалуға тиіс. Бұдан денелер еркін түсіп келе жатқанда салмақсыздық күйінде болатыны келіп шығады. Ішінара салмақсыздық күйі әткеншек тепкенде, секірудің түсу бөлігінде, қия беткейден инерциясымен секірген мотоциклшіде байқалады. Бұл өте-мөте қысқа уақытқа созылады. Жердің жасанды серіктерінде, орбиталық станцияларда жасайтын ғарышкерлер ұзақ уақыт бойы салмақсыздық күйінде болады. Бұндай кездерде адам ағзасында қан айналымы мен ас қорыту жүйесі бұзылады. Орбиталық станциялардағы салмақсыздық күйінің зардапты салдарларын жою үшін арнаулы шаралар қарастырылады.

3. Лифт жоғары қарай $\vec{a}$ үдеумен көтеріліп барады (2.5-б сурет). Бұнда адамның лифт еденіне (тірекке) түсіретін салмағы

$$\vec{P} = m(\vec{g} + \vec{a}) \quad (2.9)$$

ға тең болады.

Бұдан көрініп тұрғанындай, лифт жоғары қарай үдеумен көтерілсе, адамның салмағы ma мәнге артады. Бұл күй **артықша жүктеме** деп аталады.

Жүктеме дененің қозғалыс кезіндегі салмағының тыныштық күйдегі салмағына қатынасымен табылады:

$$n = \frac{m(g+a)}{mg} = 1 + \frac{a}{g}. \quad (2.10)$$

Бұндай күйде толық жүктеме тірекке түседі. Алайда адамның тұлғасын бойлап ішінара жүктемелер пайда болады. Мысалы, адам басының салмағы оның мойнына, ал бастың, мойынның, иық пен қолдардың салмағы белге және нақ сол сияқты аяқтарға түседі. Егер лифтің үдеуі $0,3-1 \text{ м/сек}^2$ айналасында болса, адам оны сезбейді. Бірақ дыбыстан жылдам ұшатын ұшақтарда, зымыранның көтерілуінде үдеу 100 м/сек^2 -қа дейін барады. Бұндай күйге түскен ұшқыштар мен ғарышкерлердің айтуларына қарағанда, салмақ оларды орындыққа шегелеп тастайды, қолдарды көтерудің өзі мұң болады, қабақты көтеріп, көзді ашу шектен тыс қиынға соғады.

Есепті шешу үлгісі

Лифт төменге қарай $4,5 \text{ м/сек}^2$ үдеумен құлдылап барады. Ондағы дененің салмағы неше есе азаяды?

Берілгені: $a = 4,5 \text{ м/сек}^2$ $g = 10 \text{ м/с}^2$	Формуласы: $P = m(g-a)$ $F = mg \quad n = \frac{F}{P}$ $n = \frac{mg}{m(g-a)} = \frac{g}{g-a}$	Шешуі: $n = \frac{10}{(10-4,5)} \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{10}{5,5} = 1,82$ Жауабы: 1,82 есе.
Табу керек: $n - ?$		

-  1. Ұшақтан секірген парашютші: а) парашют ашылғанға дейін еркін түсуде; ә) парашют ашылған сәтте; б) парашютте бірқалыпты қозғалыспен түсіп бара жатқан кезінде қандай күйде болады?
2. Егер жоғары қарай көтеріліп бара жатқан немесе төменге түсіп бара жатқан лифт тежеле бастаса, ондағы адам қандай күйде болады?
3. Дене горизонталь бағыт бойынша үдемелі қозғалыста болса, оның салмағы өзгере ме?

13-тақырып. ДЕНЕНІҢ БІРНЕСЕ КҮШ ӘСЕРІНДЕГІ ҚОЗҒАЛЫСЫ

Ньютонның екінші заңын үйрену кезінде денеге тек бір ғана күш әсер еткен күй қарастырылған болатын. Ньютонның үшінші заңын үйрену кезінде денелер әсерлескенде бірнеше күштің өзара әсерлесетінін көрдік.

Күнделікті өмірде де денеге тек бір ғана күш әсер еткен күй кездеспейді. Қозғалыс үстіндегі денелерге тарту күшінен тыс үйкеліс күші де әсер етеді. Горизонталь бетте тұрған m массалы денеге F_t тарту күші әсер етіп жатыр делік. Бұл кезде оған $F_{жұм.}$ үйкеліс күші де әсер етеді. Егер $F_t > F_{жұм.}$ болса, дене қозғалысқа келеді. Бұнда дененің алған үдеуін анықтау үшін қайсы күшті пайдаланамыз? Бұнда *тең әсер ететін күш* ұғымы пайдаланылады. Тең әсер ететін күш дегенде денеге берілген барлық күштердің геометриялық жиындысын, яғни нәтижелік күшті түсінеміз. Бұндай күйде

$$\vec{F} = \vec{F}_t + \vec{F}_{жұм.} \text{ болады.}$$

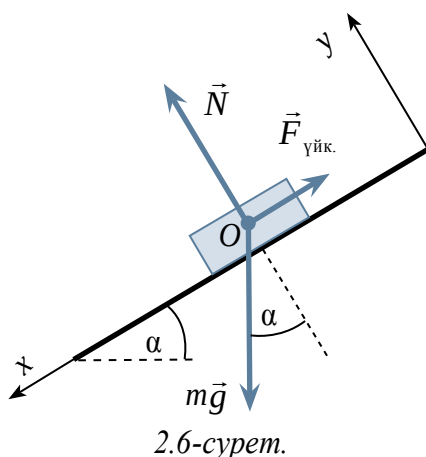
Тарту күші мен үйкеліс күшінің векторлық жиындысын координата біліктеріне проекциялармен ауыстырып, алгебралық жиынды алынады. Ондай күйде денеге әсер ететін күштер өзара қарама-қарсы бағытталғандықтан оның модулі

$$F = F_t - F_{жұм.} \text{ -пен анықталады.}$$

Дененің алған үдеуі Ньютонның екінші заңына орай

$$a = \frac{F_t - F_{жұм.}}{m} \quad (2.11)$$

мен анықталады.



Денеге бірнеше күш әсер ететін күй үшін екі мәселені қарастырайық.

1. Көлбеу жазықтыққа қойылған дененің тепе-теңдік шарты мен түсу үдеуін алып көрейік (2.6-сурет). Бұндағы α – көлбеу жазықтықтың қиялық бұрышы. Көлбеу жазықтық пен оған қойылған тақтай арасындағы үйкеліс коэффициенті μ -ға тең.

Көлбеу жазықтықта тұрған тақтайға ауырлық күші $m\vec{g}$, қалыпты реакция күші

$\vec{N}$ және көлбеу жазықтық бойымен жоғары қарай бағытталған тыныштық күйдегі үйкеліс күші $\vec{F}_{\text{үйк.}}$ әсер етеді.

x білігін көлбеу жазықтық бойымен төмен қарай бағыттаймыз, y –білігін жазықтыққа перпендикуляр бағыттаймыз.

Көлбеу жазықтықтағы дененің тепе-теңдігін сақтау үшін оған әсер ететін күштердің тең әсер етушісі нөлге тең болуға тиіс:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{үйк.}} = 0.$$

Бұдан координата біліктеріне проекциялар үшін теңдіктер жүйесін жазамыз:

$$1) x \text{ білігінің бағыты бойынша } mg \sin \alpha - \vec{F}_{\text{үйк.}} = 0;$$

$$2) y \text{ білігінің бағыты бойынша } -mg \cos \alpha + N = 0.$$

Дене көлбеу жазықтықта тепе-теңдікте қалуы үшін $\vec{F}_{\text{үйк.}} \geq mg \cdot \sin \alpha$ теңсіздігі орындалуы керек.

Бірінші теңдікке орай $\vec{F} = mg \cdot \sin \alpha$, N екінші теңдікке орай $N = mg \cdot \cos \alpha$ болады. Бұл өрнектер мен $\vec{F}_{\text{үйк.}} = \mu N$ теңдігін есепке алсақ, $mg \sin \alpha \leq \mu mg \cos \alpha$ теңсіздігі орындалады. Бұдан $\tan \alpha \leq \mu$ келіп шығады.

Осылайша $\tan \alpha \leq \mu$ шарты орындалғанда, тақтай көлбеу жазықтықта тепе-теңдігін сақтап қалады.

Егер $\tan \alpha \geq \mu$ болса, дене көлбеу жазықтықты бойлап төмен қарай үдеумен қозғалады. Үдеуді табу үшін $ma = mg \cdot \sin \alpha - \mu mg \cdot \cos \alpha$ теңдігін түземіз. Теңдіктің екі жағын да m -ге қысқартып,

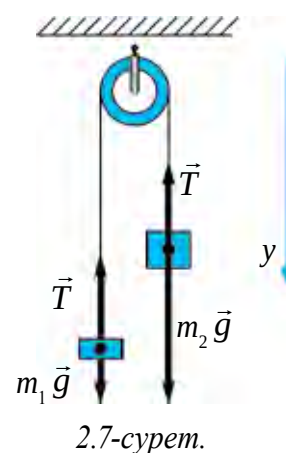
$$a = g (\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \quad (2.12)$$

ге ие боламыз.

2. Массасы есепке алынбайтындай дәрежеде шағын болған жылжымайтын блокқа m_1 және m_2 массалы жүктер ілінген (2.7-сурет). Егер $m_2 > m_1$ болса, жүктердің қозғалыс үдеуі мен жіптің керілуі табылсын. Блоктағы үйкеліс күші мен жіптің массасы есепке алынбасын.

Әрбір жүкке екі күш әсер етеді: ауырлық күші және жіптің керілу күші.

Блок пен жіптің массасын және үйкелісін есепке алмау жөніндегі талап мынаны аңғартады, жіптің екі жақтағы керілуі бірдей болады. Оны T -мен белгілейміз.



Жүктерге арнап Ньютонның екінші заңының теңдігін жазып аламыз:

Жіп созылмайтын болғандықтан, жүктердің жылжу модулі және соған сәйкес жылдамдығы мен үдеулері де тең болады. Жүктердің үдеу модулін a -мен белгілейміз. Ондай жағдайда y білігін төменге бағыттап, оның проекциялары үшін теңдіктер жүйесін жазамыз:

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

Екінші теңдіктен бірінші теңдікті айырамыз:

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

Бұдан

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g. \quad (2.13)$$

Бірінші теңдіктен екінші теңдікті айырып, $T = m_1(g + a)$ -ны, екіншіден біріншіні айырып, $T = m_2(g - a)$ -ны туғызамыз. Бұл—бірі төменге, екіншісі жоғарыға қарай үдемелі қозғалып бара жатқан денелердің салмағы. Жүктер үдемелі қозғалыста болғандықтан, олардың массалары әр түрлі болғанымен, салмақтары бірдей болады. Үдеу үшін табылған өрнекті жіптің кез келген жағы үшін жазылған өрнекке қойсақ,

$$T = 2 \frac{m_2 m_1}{m_2 + m_1} g \quad (2.14)$$

қа ие боламыз. Осы өрнекпен әрбір жүктің салмағы табылады.

$$P_1 = P_2 = 2 \frac{m_2 m_1}{m_2 + m_1} g. \quad (2.15)$$



1. Денеге берілген тең әсер ететін күш қалайша анықталады?
2. Күштердің координата біліктеріндегі проекцияларымен жұмыс істеудің векторларды қосуға қарағанда қандай артықшылықтары бар?
3. Денеге бірнеше күш әсер еткенде оның тепе-теңдікте болу шарты қалай анықталады?
4. Блоктағы жіптерге ілінген жүктердің салмағы қозғалыс кезінде неге тең болады?

2-жаттығу

1. Үйдің шатыры көкжиекпен салыстырғанда 30° -ты құрайды. Шатыр үстінде жүрген адамның аяқ киімінің табаны мен үйдің шатыры арасындағы үйкеліс коэффициенті қандай болғанда ол сырғанамай жүре алады? (Жауабы: 0,58).

2. Жылжымайтын блок арқылы өткізілген арқанның екі ұшына 50 г-дық және 75 г-дық жүктер ілінген. Арқан мен блоктың массасы есепке алынбайтын дәрежеде шағын. Арқанды созылмайды деп санап, жүктердің қозғалыс үдеуін және арқанның керілу күшін тап. (Жауабы: $1,96 \text{ м/сек}^2$; $0,6 \text{ Н}$).

3. Арбаға ішіне сұйықтық құйылған ыдыс тиелген. Арба горизонталь бағыт бойынша a үдеумен қозғалып барады. Сұйықтықтың сырты тұрақты күйде болғанда, ол көкжиекпен қандай бұрыш жасайды? (Жауабы: $\text{tg}\alpha = \frac{a}{g}$).

4. Тұрақты күштің әсерімен қозғалыс бастаған дене алғашқы секундта $0,5 \text{ м}$ жол басты. Егер дененің массасы 25 кг болса, оған әсер етуші күш неге тең болады? (Жауабы: 25 Н).

5. Тұрақты күштің әсерімен қозғалыс бастаған 50 г массалы дене 2 секундта 1 м жол басты. Әсер етуші күш неге тең? (Жауабы: $0,025 \text{ Н}$).

6. Лифттегі су құйылған шелекте дене жүзіп жүр. Егер лифт жоғарыға (төменге) қарай a үдеумен қозғалса, дененің бату тереңдігі өзгере ме?

7. Массасы M болған цилиндрге жіп оралды. Сосын цилиндр төменге қарай тасталып, жіп жоғары қарай тартылып тұрылды. Сонда цилиндрдің масса орталығы жіптің жайылуы кезінде нақ бірдей биіктікте қалды. Жіптің керілу күші неге тең болады?

8. Горизонталь орналасқан тақтайда жүк тұр. Жүк пен тақтай арасындағы үйкеліс коэффициенті $0,1$. Тақтайға горизонталь бағыт бойынша қандай a үдеу берілсе, оның үстіндегі жүк сырғанап түседі? (Жауабы: 1 м/сек^2).

9. Қағаз парағының үстінде дұрыс цилиндр тұр. Цилиндрдің биіктігі 20 см және негізінің диаметрі 2 см . Қағазды қандай төмен үдеумен тартқанда, цилиндр аударылып түседі? (Жауабы: $a=0,1 \text{ м/сек}^2$).

10. Массасы 6 т , жүк тиелмеген автомобиль $0,6 \text{ м/сек}^2$ үдеумен қозғала бастады. Егер ол сол тарту күшімен орнынан $0,4 \text{ м/сек}^2$ үдеумен қозғалса, онда тиелген жүктің массасы қанша болған? (Жауабы: 3 т).

II тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

- Сөйлемді толықтыр. Тыныштық күйде тұрған немесе түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс үстіндегі санақ жүйелері ... деп аталады.**
 A) ... салыстырмалы санақ жүйелері;
 B) ... әмбебап санақ жүйелері;
 C) ... әмбебап емес санақ жүйелері;
 D) ... абсолют санақ жүйелері.
- Массасы 10 кг-дық дене 20 N күштің әсерімен қалай қозғалады?**
 A) 2 м/сек жылдамдықпен бірқалыпты;
 B) 2 м/сек² үдеумен үдемелі;
 C) 2 м/сек² үдеумен баяулайтын;
 D) 20 м/сек жылдамдықпен бірқалыпты.
- 1 м/сек² үдеумен жоғарыға көтеріліп бара жатқан лифтте 50 кг массалы адам тұр. Адамның салмағы қаншаға (N) тең?**
 A) 50; B) 500; C) 450; D) 550.
- Жылжымайтын блокқа арқан арқылы массалары m_1 және m_2 болған жүктер ілінген. Олар қандай үдеумен қозғалады? $m_1 < m_2$ деп алынсын.**
 A) $a = \frac{m_2 + m_1}{m_2 - m_1} g$; B) $a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1} g$; C) $a = \frac{m_1 - m_2}{m_2 + m_1} g$; D) $a = 0$.
- Лифттің қандай қозғалысында ондағы денеде жүктеме пайда болады?**
 A) Жоғары қарай тұрақты жылдамдықпен;
 B) Төмен қарай тұрақты жылдамдықпен;
 C) Жоғары қарай үдемелі жылдамдықпен;
 D) Лифт қозғалыссыз болғанда.
- Серіктің геостационарлық орбитасы дегенде нені түсінеміз?**
 A) Серіктің Жер бетінен ең төмен орбитасын;
 B) Серіктің Жер бетінен ең жоғары орбитасын;
 C) Серіктің Жер бетінен белгілі бір биіктікте жылжымай тұру орбитасын;
 D) Серікте ғарышкерлер бақылау жүргізетін орбитаны.
- Динамометрдің ұшына әрқайсысы 60 N -нан тұратын екі қарама-қарсы күш қойылса, динамометр неше ньютонды көрсетеді?**
 A) 15; B) 30; C) 60; D) 120.
- 3 Н және 4 Н күштер бір нүктеге қойылған. Күш бағыттары арасындағы бұрыш 90°-қа тең. Тең әсер ететін күштің модулі қандай (Н)?**
 A) 1; B) 5; C) 7; D) 3.

II тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

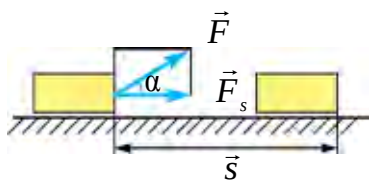
Динамиканың бірінші заңына Галилей берген сипаттама	Егер денеге басқа ешқандай денелер әсер етпесе, дене Жерге сәйкес өзінің тыныштық күйін немесе түзу сызықты бірқалыпты қозғалысын сақтайды.
Динамиканың бірінші заңы	Әмбебап жүйе деп аталатын санақ жүйелері бар, ондағы дене басқа денелерден жеткілікті дәрежеде ұзақ орналасқан болса, тыныштық күйде немесе түзу сызықты бірқалыпты қозғалыста болады.
Күш	Денелердің бір-біріне әсері нәтижесінде үдеу алуға себеп болатын мөлшерлік өлшем.
Инертті масса	Денеге тиесілі $\frac{F}{a}$ қатынасымен өлшенетін шама.
Динамиканың екінші заңы	Дененің алған үдеуі берілген күшке тура пропорционал, ал дененің массасына кері пропорционал болады: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$. Дене массасының оның үдеуіне көбейтіндісі денеге тең әсер ететін күшке тең: $F = m \vec{a}$.
Динамиканың үшінші заңы	Әсер әрқашан кері әсерді туғызады. Олар сандық мәні тұрғысынан бір-біріне тең болады, бір түзуді бойлап қарама-қарсы бағытталады: $\vec{F}_{1,2} = -\vec{F}_{2,1}$.
Инерциялық санақ жүйелері	Салыстырмалы тыныштық күйде тұрған немесе түзу сызықты бірқалыпты қозғалып бара жатқан санақ жүйелері.
Инерциялық емес санақ жүйелері	Қисық сызықты немесе үдемелі қозғалыстағы санақ жүйелері.
Инерция күші	Санақ жүйесі үдемелі қозғалғандықтан пайда болған күш.
Бірінші ғарыштық жылдамдық	Жердің жасанды серігі болып қалуы үшін дене ие болуға тиісті жылдамдық—7,91 км/сек.

Екінші ғарыштық жылдамдық	Күн жүйесіне енетін ғаламшарларға бару үшін қажет болатын жылдамдық – 11,2 км/сек.
Үшінші ғарыштық жылдамдық	Күн жүйесінің тарту күшін жеңіп өту үшін қажет болатын жылдамдық – 16,7 км/сек.
$\vec{a}$ үдеумен вертикаль қозғалып бара жатқан дененің салмағы	$\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})$ – төменге түсіп бара жатқан дененің салмағы. $\vec{P} = m(\vec{g} + \vec{a})$ – жоғарыға көтеріліп бара жатқан дененің салмағы.
Салмақсыздық	Дененің тірекке немесе ілгекке әсер ететін күші нөлге тең болатын, яғни салмағы жойылатын күй.
Жүктеме	$n = \frac{P}{mg} = \frac{g+a}{g}.$

III тарау. МЕХАНИКАДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ

14-тақырып. ЭНЕРГИЯ ЖӘНЕ ЖҰМЫС. ЭНЕРГИЯНЫҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫ. ДЕНЕНІҢ КӨЛБЕУ ЖАЗЫҚТЫҚ БОЙЫМЕН ҚОЗҒАЛУЫНДА ОРЫНДАЛҒАН ЖҰМЫС

Энергия – әр түрлі пішіндегі қозғалыстар мен өзара әсерлердің мөлшерлік өлшемі (ол грекше *энергия* – *әсер* сөзінен алынған). Энергия табиғаттағы қозғалыстардың пішініне қарай алуан түрлі болады. Мысалы, механикалық, жылу, электромагниттік, ядролық энергиялар және т.б.с.с. Өзара әсердің нәтижесінде бір түрдегі энергия басқа түрге айналады. Алайда бұл үдерістердің барлығында да бірінші денеден екінші денеге берілген энергия (қандай пішінде болуына қарамастан) екінші дененің бірінші денеден алған энергиясына тең болады.



3.1-сурет.

Ньютонның екінші заңынан белгілі болғанындай, дененің механикалық қозғалысын өзгерту үшін оған басқа денелердің әсері болуға тиіс. Былайша айтқанда, аталмыш денелердің ортасында энергиялар алмасу жүзеге асады. Механикада нақ осындай энергия алмасуды сипаттау үшін *механикалық жұмыс* ұғымы

енгізілген және ол физикада A әрпімен белгіленеді.

Механикалық жұмыс. Күштің сол күш әсерін бағыттауда орын алған жылжуға скалярлық көбейтіндісіне тең болған шама *механикалық жұмыс* деп аталады, яғни

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{s}) = F \cdot s \cdot \cos \alpha. \quad (3.1)$$

Бұл жерде: α – күш $\vec{F}$ пен жылжу $\vec{s}$ арасындағы бұрыш (3.1-сурет).

Егер $\cos \alpha = \frac{F_s}{F}$; $F_s = F \cdot \cos \alpha$ екендігін ескерсек, (3.1) төмендегідей көрініске ие болады:

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha = F_s \cdot s. \quad (3.2)$$

Бұл жерде F_s – күштің жылжу бағытына проекциясы.

(3.2) өрнекті негізге алып, төмендегідей қорытынды шығаруға болады: егер $\alpha < \frac{\pi}{2}$ болса, $0 < \cos \alpha < 1$ – күштің жұмысы оң, күш пен жылжу бағыты сәйкес келеді;

егер $\alpha > \frac{\pi}{2}$ болса, $-1 < \cos \alpha < 0$ – күштің жұмысы теріс, күш пен жылжу бағыты қарама-қарсы болады;

егер $\alpha = \frac{\pi}{2}$ болса, $\cos 90^\circ = 0$ болып, күштің орындаған жұмысы нөлге тең, ал күш жылжу бағытына тік болады.

Жұмыс аддитив (*аддитив* – латынша *жиынды*) шама болып табылады (физикада аддитив сөзі – жүйедегі физикалық шама жалпы алғанда біртұтас болып саналады да, ол сол шаманы құрайтын денелердің жиындысынан тұрады деген мағынаны білдіреді).

Егер денеге бірнеше күш әсер етіп жатқан болса,

$$F_s = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + \dots + F_{sn}$$

болады, онда толық жұмыс сол күштердің тең әсер етушісі орындайтын жұмысқа тең болып табылады.

$$A = F_s \cdot [\Delta s] = F_{s1} \cdot [\Delta s_1] + F_{s2} \cdot [\Delta s_2] + F_{s3} \cdot [\Delta s_3] + \dots + F_{sn} \cdot [\Delta s_n]$$

немесе

$$A = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n.$$

Жұмыстың бірлігі. Жұмыстың SI -дегі бірлігі Джоуль (Дж):

$$[A] = [F] \cdot [s] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}. \quad (3.3)$$

Жұмыстың SI -дегі бірлігі ретінде 1 Н күштің денені 1 м қашықтыққа жылжытуында орындаған жұмысы қабылданған.

Ауырлық күшінің жұмысы. Жер бетіне жақын биіктіктерде денеге Жерден $P = mg$ ауырлық күші әсер етеді. Жер бетінен h биіктіктегі B нүктеден

Жер деңгейінен есептелген h_2 биіктіктегі С нүктеге лақтырылған дененің жылжуы $h_1 = h - h_2$ -ге тең (3.2-сурет). Бұл жерде ауырлық күшінің орындаған жұмысы төмендегідей өрнектеледі:

$$A = Ph_1 = mg(h - h_2) = mgh - mgh_2. \quad (3.4)$$

Бұл жерде: P —дененің салмағы, m —оның массасы, g —еркін түсу үдеуі, h —вертикаль бойымен, h_1 және h_2 —деңгейлер арасындағы қашықтық.

Ауырлық күшінің орындаған жұмысы жолдың пішініне байланысты емес, тек түсу биіктігіне ғана байланысты. Сондықтан да ауырлық күшінің әсерімен орындалған жұмыстар траекторияның пішініне емес, дененің бастапқы және соңғы күйіне байланысты. Бұндай күштерді *потенциялық* немесе *консервативтік* күштер дейді. Ал бұл күштердің алаңы *потенциялық алаң* деп аталады.



3.2-сурет.

Дене төмен қарай қозғалғанда ауырлық күші мен жылжу бағыты бір-біріне сай келетіндіктен, орындалған жұмыс оң, ал жоғыраға қарай қозғалғанда, қарама-қарсы бағытталатын теріс мәнді болады. Сондықтан да дене ауырлық күшінің әсерімен жылжып, тағы да бастапқы күйіне қайтқан кездегі жалпы жұмыс нөлге тең болады.

Жүйенің кинетикалық және потенциялық энергияларының жиындысы оның толық механикалық энергиясы деп айтылады.

Мәселен, Жердің бетінен h биіктікте Жермен салыстырғанда v жылдамдықпен қозғалып келе жатқан m массалы дененің толық механикалық энергиясы

$$E = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + mgh. \quad (3.4)$$

Денелердің өзара әсер уақыты өтіп кеткенімен толық механикалық энергия өзгермейді:

$$E = E_k + E_p = \text{const}. \quad (3.5)$$

Бұл *механикалық энергияның сақталу заңы* деп аталады.

Жүргізілген көптеген тәжірибелер мен теориялық тұжырымдар энергияның сақталу заңының қатаң орындалатынын көрсетеді. Тек табиғатта ғана энергияның бір түрінен екіншісіне (мысалы, механикалық энергиядан жылу энергиясына) айналу үдерісі болады. Сондықтан да бұл заңды

энергияның сақталу және айналу заңы деп те атайды. Ол табиғаттың негізгі заңдарының бірі болғандықтан, тек макроскопиялық денелер үшін ғана емес, микроскопиялық денелер үшін де орынды болып табылады.

Энергия ешқашан жойылып кетпейді, жоқтан пайда болмайды, ол тек бір түрден екіншісіне айналуы ғана мүмкін.

Жабық жүйеде толық энергия сақталады.

Мысалы, h биіктіктен түсіп келе жатқан дененің потенциялық энергиясы оның ауырлық күшіне байланысты, тәжірибенің қай уақытта өткізілуіне мүлде байланысты емес.

Пайдалы әсер коэффициенті. Машиналар мен двигательдердің өзіне жұмсалып жатқан энергияның қанша бөлігі пайдалы әсерге айналатынын көрсететін шама енгізілген.

Пайдалы жұмыстың толық жұмысқа қатынасы пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) деп аталады және ол η әрпімен белгіленеді.

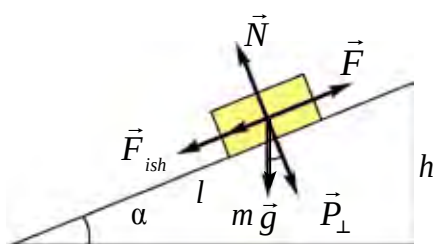
Егер пайдалы жұмысты A_f –мен, ал толық жұмысты A_t –мен белгілесек, ондай жағдайда ПӘК формуласы төмендегідей жазылады:

$$\eta = \frac{A_f}{A_t} \cdot 100\%. \quad (3.6)$$

ПӘК бірден (100% -дан) үлкен болмайды. Машиналар мен двигательдерде үйкеліс күшінің жұмысы себепті толық энергияның бір бөлігі ысырап болады және соған байланысты ПӘК әрқашан 1-ден кіші болады.

Көлбеу жазықтықтар мен дене жоғарыға тартылғанда орындалатын жұмысты қарастырайық. Механиканың алтын ережесіне сәйкес күшті неше есе ұтса, жолдан сонша есе ұтылады.

Көлбеу жазықтық та жұмыстан ұтыс бермейді. Көлбеулік бұрышын азайтса, жүкті көтергенде жұмсалатын күштен ұтылады. Бірақ жылжу қашықтығы артқандығына байланысты орындалған жұмыс өзгермейді.



3.3-сурет.

Ұзындығы l , биіктігі h көлбеу жазықтықта жоғары қарай қозғалып бара жатқан ауырлығы P денені қарастырайық (3.3-сурет). Бұнда денеге $F_{\text{үйк}}$ үйкеліс күші, көлбеу жазықтыққа параллель F_t жоғарыға тарту күші, көлбеу жазықтыққа перпендикуляр бағытталған $P_{\perp}$ күш және жазықтыққа перпендикуляр күшке

қарама-қарсы бағытталған N күш (жазықтықтың реакция күші) әсер етеді.

Егер үйкеліс күші есепке алынбаса,

$$A_s = A_1 = mgh \quad (3.7)$$

ға тең болады. Бірақ үйкеліс есепке алынса,

$$A_t = A_1 + A_2 \quad (3.8)$$

және

$$A_2 = F_{\text{үйк.}} \cdot l = \mu N \cdot l = \mu mg \cdot \cos \alpha \cdot \frac{h}{\sin \alpha} = \mu mg \cdot \operatorname{ctg} \alpha \quad (3.9)$$

болады. Онда A_t төмендегідей көрініске ие болады:

$$A_t = mgh + \mu mgh \cdot \operatorname{ctg} \alpha = mgh(1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha). \quad (3.10)$$

Пайдалы әсер коэффициенті:

$$\eta = \frac{A_f}{A_t} = \frac{mgh}{mgh(1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha)} = \frac{1}{1 + \mu \cdot \operatorname{ctg} \alpha}. \quad (3.11)$$

Жүкке әсер ететін тарту күші

$$\vec{F} = \vec{F}_p + \vec{F}_{\text{үйк.}} = \vec{P} \cdot \sin \alpha + \mu \vec{N} \cos \alpha = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha). \quad (3.12)$$



1. Механикалық жұмыс қалай анықталады?
2. Ауырлық күшінің жұмысы неге тең?
3. Табиғатта энергияның сақталу заңы әрқашан орындала бере ме?
4. Көлбеу жазықтық жұмыстан ұтыс бере ме?

15-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: КӨЛБЕУ ЖАЗЫҚТЫҚТА ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Көлбеу жазықтықты және оны қандай мақсатқа пайдалануды үйрену. Динамометрдің көмегімен денелердің салмағын өлшеу білігін қалыптастыру. Пайдалы және толық жұмыс, сондай-ақ пайдалы әсер коэффициенті туралы білімдерді іс жүзінде нығайту. Қателіктерді есептеу дағдыларын қалыптастыру.

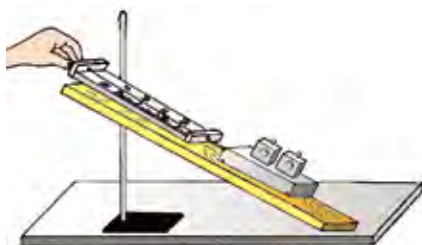
Қажетті жабдықтар: ұзын жұқа тақтай, қысқышты штатив, ағаш кесіндісі, жүктер топтамасы, динамометр.

Жұмыстың орындалуы:

1) жұқа тақтай штативке бекітіледі. Сосын көлбеу жазықтықтың ұзындығы l мен биіктігі h өлшенеді;

2) динамометрдің көмегімен ағаш кесіндісінің салмағы P анықталады;

3) ағаш кесіндісі көлбеу жазықтыққа қойылып, динамометрдің көмегімен көлбеу жазықтық бойымен F күшпен жоғары қарай бірқалыпты (сілкімей) тартылады;



3.4-сурет.

4) $A_t = F \cdot l$ көмегімен толық жұмыс, $A_f = P \cdot h$ көмегімен пайдалы әсер есептеледі;

5) $\eta = \frac{A_f}{A_t}$ өрнегінің көмегімен көлбеу жазықтықтың пайдалы әсер коэффициенті есептеледі.

Тәжірибе кемінде 3 рет қайталанады және нәтижелер төмендегі кестеге жазылады:

№	l , (м)	h , (м)	F , (Н)	P , (Н)	A_t , (Дж)	A_f , (Дж)	η , (%)
1							
2							
3							

Тәжірибе алуан түрлі көлбеу жазықтықтар (түрлі h биіктіктер) үшін өткізіліп, пайдалы әсер коэффициентінің көлбеу жазықтық бұрышына байланыстылығы жөнінде қорытындылар шығарылады.



1. Көлбеу жазықтықтар қандай қондырғыларда және қандай мақсаттар үшін қолданылады?

2. Пайдалы және толық жұмыстар қалай анықталады?

3. Пайдалы жұмыстың толық немесе аз болуының себебі неде?

4. Пайдалы әсер коэффициентінің көлбеу жазықтық бұрышына байланыстылығын қалай түсіндіресің?

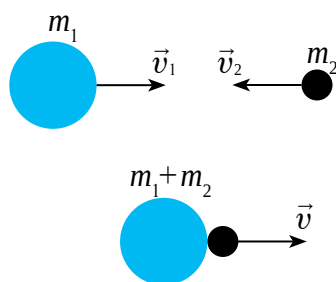
16-тақырып. ДЕНЕЛЕРДІҢ АБСОЛЮТ СОЗЫЛМАЛЫ ЖӘНЕ СОЗЫЛМАЙТЫН ТҮЙІСУІ

Екі немесе одан көп денелердің өте қысқа уақыт ішіндегі әсерлесуі **түйісу** деп аталады.

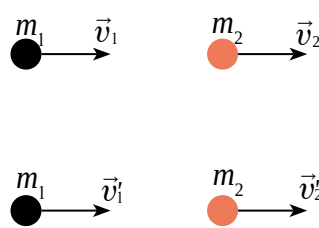
Түйісу табиғатта өте көп кездеседі. Биллиард шарларының түйісуі, адамның жерге секіріп түсуі, шегенің балғамен қағылуы, футболшының допты тебуі және басқалар түйісуге мысал бола алады.

Түйісу нәтижесінде денелердің деформациялануына қарай олар екі түрге: абсолют созылмалы және абсолют созылмайтын түйісулерге бөлінеді.

Абсолют созылмайтын түйісу. Деформацияланатын екі шардың түйісіп бірге немесе бірдей жылдамдықпен қозғалуын абсолют созылмайтын түйісу деп атаймыз. Түйіскен соң шарлар бірігіп қозғалуы мүмкін. Ермексаздан немесе балшықтан жасалған шарлардың түйісуі бұған мысал бола алады (3.5-сурет).



3.5-сурет.



3.6-сурет.

m_1 массалы дененің түйісуден бұрынғы жылдамдығы $\vec{v}_1$, m_2 массалы дененің түйісуден бұрынғы жылдамдығы v_2 болсын делік. Түйісуден кейінгі жылдамдық $\vec{v}$ болса, импульстің сақталу заңын қолданып, төмендегіні аламыз:

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

Бұдан

$$\vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}. \quad (3.13)$$

Абсолют созылмайтын түйісуде механикалық энергияның сақталу заңы орындалмай, оның бір бөлігі шарлардың ішкі энергиясына айналады.

Деформацияланбайтын екі шардың түйісуі абсолют созылмалы түйісу деп аталады. Бұнда шарлардың түйісуден бұрынғы кинетикалық энергиялары түйісуден кейін де толығымен кинетикалық энергияға айналады.

Абсолют созылмалы түйісуде импульстың және кинетикалық энергияның сақталу заңдары орындалады.

m_1 және m_2 массалы шарлардың түйісуінде олардың жылдамдықтары сәйкесінше $\vec{v}_1$ және $\vec{v}_2$, ал түйіскеннен кейін $\vec{v}'_1$ және $\vec{v}'_2$ болсын. Олардың қозғалыс бағыттарын есепке алып, оң жаққа бағытталған қозғалысты оң, сол жаққа бағытталған қозғалысты теріс өрнекпен белгілейміз (3.6-сурет). Бұл жағдай үшін импульс пен кинетикалық энергияның сақталу заңдары төмендегідей болады:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 \quad (3.14)$$

$$\frac{m_1 \cdot v_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2^2}{2} = \frac{m_1 \cdot v_1'^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_2'^2}{2}$$

Жоғарыдағы формулаларды бірге шешіп, v'_1 және v'_2 жылдамдықтарды табуға болады:

$$v'_1 = \frac{2m_2 v_2 + (m_1 - m_2)v_1}{m_1 + m_2}, \quad v'_2 = \frac{2m_1 v_1 + (m_2 - m_1)v_2}{m_1 + m_2}. \quad (3.15)$$



1. Абсолют созылмайтын түйісу деп қандай түйісуді айтамыз?
2. Абсолют созылмайтын түйісуде энергияның сақталу заңы орындала ма?
3. Абсолют созылмалы түйісу деп қандай түйісуді айтамыз?

Есепті шешу үлгісі

Вагон тұрақты F күштің әсерімен 5 м жолды басып өтті және 2 м/сек жылдамдық алды. Егер вагонның массасы 400 кг және үйкеліс коэффициенті 0,01 болса, күш орындаған A жұмысты анықта.

Берілгені:	Шешуі:
$F = \text{const};$ $s = 5 \text{ м};$ $v = 2 \text{ м/сек}$ $m = 400 \text{ кг};$ $\mu = 0,01$	Күштің орындаған жұмысы: A_0, вагонды жылжытудағы жұмыс және оған кинетикалық энергия E_k беру үшін орындалған жұмыстардың жиындысына тең $A = A_0 + E_k.$ Бұл жерде: $F_{\text{үйк.}} = \mu P$. $P = mg$ екендігін есепке алсақ, $A_0 = F_{\text{үйк.}} \cdot s = \mu mgs.$ Өз кезегінде вагон алған кинетикалық энергия $E_k = \frac{mv^2}{2}$ Сонымен F күш орындаған жұмыс $A = \mu mgs + \frac{mv^2}{2}$. Берілгендерді пайдаланып $A = 0,01 \cdot 400 \cdot 9,8 \cdot 5 \text{ Дж} + \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 4 \text{ Дж} = 996 \text{ Дж}.$ Жауабы: $A = 996 \text{ Дж}.$
Табу керек: $A = ?$	

3-жаттығу

1. 0,3 м/сек жылдамдықпен қозғалып бара жатқан 20 т массалы вагон 0,2 м/сек жылдамдықпен қозғалып бара жатқан 30 т массалы вагонды қуып жетеді. Егер түйісу созылмайтын болса, олар өзара соғылғаннан кейін вагондардың жылдамдығы қандай болады? (Жауабы: $v = 0,24 \text{ м/сек}$).

2. Адам массасы 2 кг-дық денені 1 м биіктікке 3 м/сек² үдеумен көтергенде қанша жұмыс орындайды? (Жауабы: $A = 26 \text{ Дж}$).

3. Массасы 6,6 т ғарыш кемесі орбита бойымен 7,8 м/сек жылдамдықпен қозғалып бара жатса, оның кинетикалық энергиясы неге тең болады? (Жауабы: $E_k = 200 \text{ ГДж}$).

4. 5 м биіктіктен еркін түсіп келе жатқан массасы 3 кг дененің Жер бетінен 2 м биіктіктегі потенциялық және кинетикалық энергиялары неге тең болады? (Жауабы: $E_p = 60 \text{ Дж}$; $E_k = 90 \text{ Дж}$).

5. Жерден қайыра $2h$ биіктікке көтерілуі үшін допты h биіктіктен төмен қарай қандай бастапқы жылдамдық v_0 -пен тастау керек? Түйісу абсолют созылмалы деп саналсын. Жауабы: $v_0 = \sqrt{2gh}$).

6. Массасы 1 кг материялық нүкте шеңбер бойымен 1 м/сек жылдамдықпен бірқалыпты қозғалып барады. Уақыттың төрттен бір үлесінде, жартысында және толық үлесінде импульстің қалай өзгеретінін тап. (Жауабы: 14 кг·м/сек; 20 кг·м/сек; 0).

III тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Энергия	Түрлі пішіндегі қозғалыстар мен өзара әсерлердің мөлшерлік өлшемі. Оның SI-дағы бірлігі 1 Дж.
Механикалық жұмыс	Күштің сол күштің әсерімен орын алған жылжуға скалярлық көбейтіндісіне тең шама. $A = F \cdot s \cdot \cos\alpha$.
Жүйенің толық механикалық энергиясы	Жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергияларының жиынтығы.
Энергияның сақталу заңы	Энергия ешқашан өзгермейді, жоқтан бар болмайды, ол тек бір түрден екінші түрге ғана айналады.
Пайдалы әсер коэффициенті	Пайдалы жұмыстың толық жұмысқа қатынасы: $\eta = \frac{A_f}{A_t} \cdot 100\%.$
Түйісу	Екі немесе одан көп денелердің өте қысқа уақыт ішіндегі әсерлесуі.
Абсолют созылмалы түйісу	Деформацияланбайтын екі шардың түйісуі.
Абсолют созылмайтын түйісу	Деформацияланатын екі шардың түйісіп, бірге немесе бір түрлі жылдамдықпен қозғалуы.

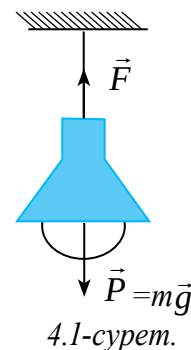
IV тарау. СТАТИКА ЖӘНЕ ГИДРОДИНАМИКА

17-тақырып. ДЕНЕЛЕРДІҢ ТЕПЕ-ТЕҢДІКТЕ БОЛУ ШАРТТАРЫ

Үйдің шаңырағына ілінген люстра мысалында берілген күштерді қарастырайық (4.1-сурет).

Бұл үшін, ең алдымен, денелердің масса орталығы жөнінде 6-сыныпта өтілген ұғымдарды еске түсірейік. Масса орталығы дегенде дененің барлық массасы жинақталған ойдағы нүктені түсінеміз.

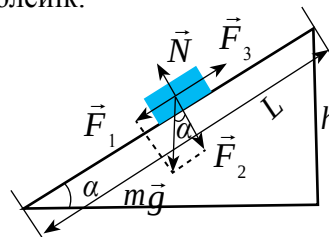
Соған орай денеге әсер етіп жатқан күштерді масса орталығына сәйкес аламыз. Ілінген шамға төмен қарай бағытталған ауырлық күші $\vec{P}$ әсер етеді. Соның нәтижесінде оны ұстап тұратын жіп керіліп тұрады. Жіпте пайда болған керілу күші $\vec{F}$ пен ауырлық күші $\vec{P}$ масса орталығынан өтетін түзу сызықтың бойында жатады және бағыты тұрғысынан қарама-қарсы болады. Бұл күштер сандық мәні тұрғысынан тең болады. Енді бұл күштерді векторлық шамаларды қосу ережесіне орай қосатын болсақ, нәтижелік күш нөлге тең болып шығады. Соған сәйкес шам тепе-теңдік күйінде қалады.



Біреу дененің көлбеу жазықтықта тепе-теңдікте тұрған күйін қарастырайық (4.2-сурет). Бұнда денеге берілген күштерді масса орталығына сәйкес қарастырамыз. Ең алдымен денеге ауырлық күші mg әсер етеді.

Бұл күшті $\vec{F}_1$ және $\vec{F}_2$ ұйымдастырушыларына бөлейік.

Бұнда $\vec{F}_1$ -күш денені көлбеу жазықтық бойлап төмен қарай сырғанатуға әрекет жасайды. $\vec{F}_2$ -күш көлбеу жазықтықтың бетіне түсетін қысым күшін туындатады. Бұл күш беттің денеге реакция күші— $\vec{N}$ пайда болуына әкеледі. Дененің сырғанауына қарама-қарсы бағытта үйкеліс күші— $\vec{F}_3$ әсер етеді.



Бұл жағдайда да денеге әсер етіп жатқан барлық күштердің векторлық жиындысы нөлге тең болады.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{N}_1 + \vec{F}_3 = 0.$$

Жоғарыдағыларды ескере отырып төмендегідей қорытынды шығаруға болады:

Айналу білігі жоқ дене немесе денелер жүйесі тепе-теңдікте қалуы үшін оған әсер етіп жатқан күштердің векторлық жиындысы нөлге тең болуы керек.

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n = 0.$$

Тепе-теңдік түрлері.

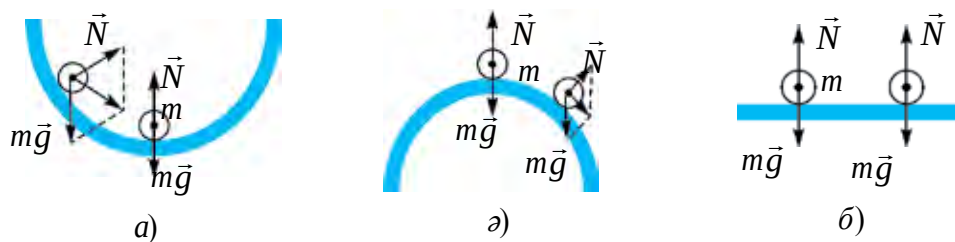


4.3-сурет.

Егер бірер дене тепе-теңдікте тұрған болса, оны әрқашан сол күйде қалады деуге болмайды (4.3-сурет). Өйткені нақты жағдайларда оған тыстан кездейсоқ түрткілер берілуі әбден мүмкін. Денелерді бұндай түрткілерден толық сақтап қалудың мүмкіндігі жоқ. Ең маңыздысы, бұндай түрткілерден соң дене тепе-теңдікте қала ма, әлде тепе-теңдік бұзыла ма – соны білген жөн. Бұл үшін сыртқы түрткі құралы арқылы тепе-теңдік күйінен айырылған денеге әсер ететін нәтижелік күш бағытын анықтау керек. Пайда болатын нәтижелік күштің бағытына қарай тепе-теңдік үш түрлі болады.

1. Тұрақты тепе-теңдік. Денені тепе-теңдік күйінен шығарғанда, оны бастапқы жағдайына қайтаратын күш пайда болатын тепе-теңдікті *тұрақты тепе-теңдік* дейді (4.4-а сурет). Мысалы, жарты сфераның ішіне қойылған шарды тепе-теңдік күйінен шығарғанда, оған әсер етіп жатқан күштердің тең әсер етушісі оны тағы да тепе-теңдік күйіне қайтарады.

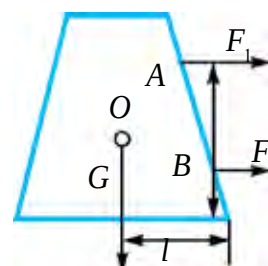
2. Тұрақсыз тепе-теңдік. Денені тепе-теңдік күйінен шығарғанда, оны бастапқы күйінен алыстататын күш туындататын тепе-теңдікті *тұрақсыз тепе-теңдік* дейді (4.4-ә сурет). Бұнда жарты сфера үстіне қойылған шар тепе-теңдік күйінен шығарылғанда, оған әсер етіп жатқан күштердің тең әсер етушісі оны тепе-теңдік күйінен тағы да алыстатады.



4.4-сурет.

3. Айырмасыз тепе-теңдік. Денені тепе-теңдік күйінен шығарғанда, оның күйін өзгертетін ешқандай күш пайда болмаса *айырмасыз тепе-теңдік* деп аталады (4.4-б сурет). Горизонталь беттің үстіне қойылған шарға сырттан түрткі берілгенде, ол орнынан қозғалады. Бірақ оған әсер етіп жатқан күштердің тең әсер етушісі нөлге тең болады.

4.5-суретте келтірілген денеге ауырлық орталығынан төменде орналасқан B нүктеге F_1 күшпен әсер етсе ($F_1 > F_{\text{үйк.}}$, $F_{\text{үйк.}}$ – үйкеліс күші), дене ілгерілемелі қозғалысқа келеді. Күштің шамасын өзгертпей тұрып оны A нүктеге жылжытсақ, дене қисая бастайды. Ауырлық орталығынан төменге бағытталған G вектор мен дененің төменгі негізі контурының шеткі нүктесі арасындағы қашықтық l азая бастайды. Күштің әсер етуі жалғасса, G вектор дене негізін шекаралайтын контурдың ішінен шығады да, дене аударылады.



4.5-сурет.

Осылайша дененің тұрақтылығы (өзгермейтіндігі):

- 1) дененің салмағына;
- 2) дене негізі бетінің үлкендігіне;
- 3) аудару күшінің ауырлық орталығынан қаншалықты төменде орналасуына байланысты.

$$F_1 = \frac{mgl}{h}. \quad (4.1)$$

Есепті шешу үлгісі

1. Массасы 10 кг дене екі созылмайтын арқанға ілінген. Олар өзара 60° бұрыш жасаған күйі тепе-теңдікте қалады. Арқандардың керілу күштерін есепте.

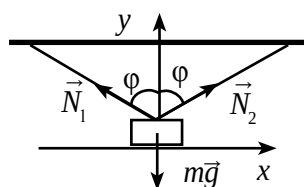
Берілгені:

$m = 10 \text{ кг}$

$\varphi = 60^\circ$

Табу керек:

$N_1 = ?; N_2 = ?$



Шешуі:

Сызбаға қарағанда, жүкке әсер ететін барлық $\vec{N}_1$, $\vec{N}_2$ және $m\vec{g}$ күштер бір нүктеде қиылысады. Соған орай тепе-теңдік шарты екі теңдеумен анықталады.

$$N_1 \sin \varphi - N_2 \sin \varphi = 0;$$

$$N_1 \cos \varphi + N_2 \cos \varphi - mg = 0.$$

Олармен математикалық өзгерістер жүзеге асырылған соң

$$N_1 = N_2; 2 N_1 \cos \varphi = mg; N_1 = N_2 = \frac{mg}{2 \cos \varphi};$$

$$N_1 = N_2 = \frac{10 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cos 60^\circ} = 100 \text{ Н}.$$

Жауабы: 100 Н.



1. Денелердің масса орталығы орналасқан нүкте бағытына күш әсер етсе, нелер байқалады?
2. Айналу білігі жоқ денелерге әсер етіп жатқан күштердің векторлық жиындысы нөлге тең болса, нелер байқалады?
3. Тепе-теңдіктің түрлеріне тұрмыстан және техникадан мысалдар келтір.

18-тақырып. МОМЕНТТЕР ЕРЕЖЕСІ НЕГІЗІНДЕ ЖҰМЫС ІСТЕЙТІН МЕХАНИЗМДЕР

Сен 6-сыныпта рычаг, қозғалатын және қозғалмайтын блоктар, шығыр және лебёдка секілді қарапайым механизмдермен танысқансың. Олардың жұмыс істеуіне назар аударсаң, барлығында да айналу біліктері бар екенін байқайсың.

Бұндай денелердің тепе-теңдікте болуы үшін оларға әсер ететін күштердің векторлық жиындысы нөлге тең болуы жеткілікті еместігі де айтылған еді. Бұл ретте күш берілген нүктенің айналу білігінен қандай қашықтықта болуы да маңызды рөл атқарады.

Күш берілген нүктеден айналу білігіне дейінгі ең қысқа қашықтық **күш иіні** деп аталады. Бұнда күш пен иін әрқашан өзара перпендикуляр болады.

Күштің күш иініне көбейтіндісін күш моменті дейміз: $M = F \cdot l$.

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

Дене күш моментінің әсерімен айналу білігі төңірегінде бұрылады. Бұнда денеге әсер етіп жатқан күш моменті жұп күштің әсеріне ұқсас болады. **Жұп күш** дегенде, бағыты қарама-қарсы, шамалары тең, бірақ бір білікте жатпайтын күштерді түсінеміз.

Бұған мысал ретінде автомобиль рулінің бұрылуын алуға болады (4.6-сурет). Айналу білігі рульдің ортасында орналасқан, оған бір жұп F_1 күштер әсер етеді.

Нәтижелік күш моменті рульді бір жаққа бұратын моменттерді өзара қосу жолымен табылады:

$$M = F_1 \frac{d_1}{2} + F_1 \frac{d_1}{2} = F_1 d_1.$$

Егер айналу білігіне ие болған денеге бірнеше күш әсер етіп жатқан болса, бұл күш моменттерін өзара қосу арқылы нәтижелік момент табылады. Бұнда денені сағат тілінің бағыты бойынша айналдыратын күш моменттерін оң мәнмен, ал сағат тіліне қарама-қарсы бағытта айналдыратын күш моменттері теріс мәнмен алынады.

4.7-суретте масштабты сызғыштың О нүктесінен штативке ілініп, одан түрлі қашықтыққа қойылған жүктер бейнеленген. Бұнда А нүктеге ілінген жүктердің ауырлығы F_1 -ге, айналу білігінен ұзақтығы l_1 -ге тең болып, сызғышты сағат тілі бағытында қозғалтатын моментті туғызады. В нүктеде ілінген жүктердің ауырлығы F_2 -ге, айналу білігінен ұзақтығы l_2 -ге тең болып, сызғышты сағат тілі бағытына қарама-қарсы айналдыратын күш моментін туғызады. Нәтижелік күш моментін табу үшін денеге әсер етуші күш моменттерінің өрнегін есепке алып қосамыз:

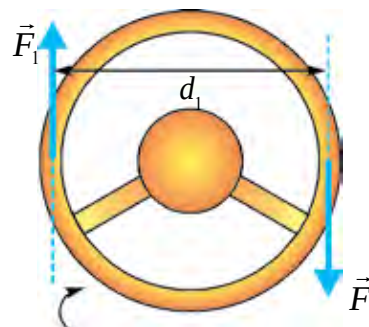
$$M = F_2 l_2 + (-F_1 l_1) = F_2 l_2 - F_1 l_1.$$

Бұдан көрініп тұрғанындай, дене тепе-теңдікте қалуы үшін $M=0$ болуы керек.

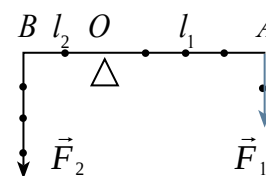
Соған орай айналу білігіне ие денелердің тепе-теңдік шарты төмендегідей болады:

Айналу білігі бар денеге әсер етуші күш моменттерінің векторлық жиындысы нөлге тең болғанда дене тепе-теңдік күйінде қалады:

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 + \dots + \vec{M}_n = 0. \quad (4.2)$$



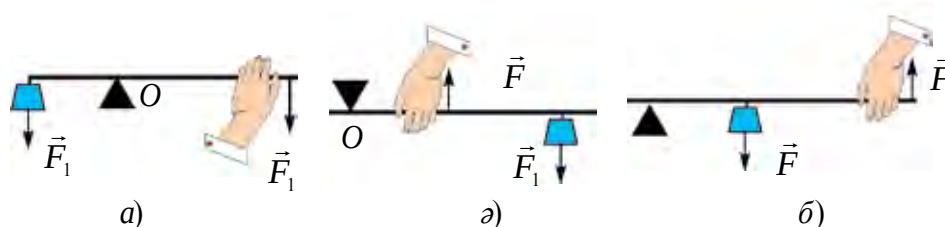
4.6-сурет.



4.7-сурет.

Архимед тапқан бұл ереже **моменттер ережесі** деп аталады. **Моменттер ережесіне сүйеніп жұмыс істейтін қарапайым механизмдер:** рычаг, жылжитын және жылжымайтын блоктар, шығыр, бұранда (домкрат) сияқтылардың жұмыс істеу қағидаты моменттер ережесіне негізделген.

Рычаг. Практикада рычагтардың үш түрі қолданылады (4.8-сурет):



4.8-сурет.

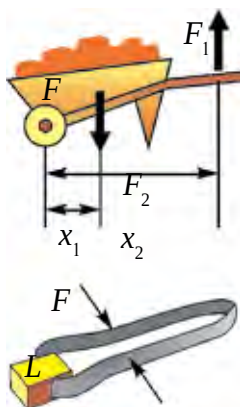
Қос иінді рычагта (4.8-а сурет) тірек рычагтың күштер берілген нүктелерінің аралығында болады.

Бір иінді рычагта (4.8-ә сурет) тірек рычагтың бір ұшына бағытталады да, жүк рычагтың екінші ұшына қойылады. Ұстап тұратын күш тірек пен жүк қойылған нүктелер аралығына орналастырылады. Олардағы күштер антипараллель бағытталады. Адамның қолы, жаңғақ шағатын қысқаш секілділер бұларға мысал бола алады (4.9-сурет).

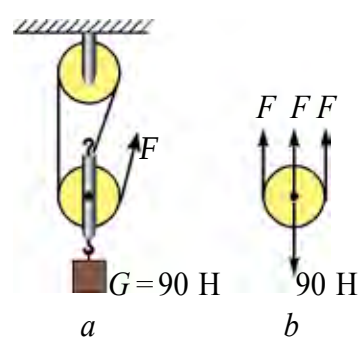
Рычагтың үшінші түрінде (4.8-б сурет) тірек рычагтың бір ұшына орналастырылады да, жүк тірек және ұстап тұратын күш берілген нүктелер аралығына қойылады. Оларда да күштер антипараллель бағытталады. Зембіл, откүрек сияқтылар оларға мысал бола алады (4.10-сурет).



4.9-сурет.



4.10-сурет.



4.11-сурет.

Блоктар. Тұрмыс пен техникада блоктар жиі пайдаланылады. Әсіресе жылжитын және жылжымайтын блоктар кешені көп кездеседі. Кешенде блоктар өзара жалғанып, **дәрежелі полиспаст** жасалады.

4.11-суретте сондай **дәрежелі полиспаст** көрсетілген. Дәрежелі полиспастқа ілінген жүктің салмағы блоктарға оралған арқандарға бөлінеді.

$$F = \frac{P}{n}.$$

(4.3)

Соған орай полиспасттағы жүк неше арқанға бөлінсе, жүкті көтеруге жұмсалатын күш те сонша есе аз болады.



1. Денеге әсер ететін күш моменттері қандай ереже негізінде қосылады?
2. Айналу білігі бар дененің тепе-теңдігіне қатысты мысалдар келтір.
3. Полиспасттағы жылжымайтын блоктардың саны көбейе түссе, оның күшті арттырып беретін шамасы қалай өзгереді?

19-тақырып. АЙНАЛМА ҚОЗҒАЛЫСТЫҢ ДИНАМИКАСЫ

Сен көптеген шытырман оқиғалы фильмдерді тамашалаған кездерінде жүргізуші автомобиль рулін шұғыл бұрып жібергенде, машинаның аударылып кеткенін көргенсің. Циркте мотоциклистің қабырға бойымен айналып жүргенін көргендер де көп.

Мынадай тәжірибе өткізіп көрейік. Шелектің ішіне аздап су құйып, оны вертикаль жазықтықта айналдырайық. Шелек айналу барысында жоғары нүктеден өтіп бара жатса да, шелектегі су төгілмейді.

Жоғарыда келтірілген мысалдардан машинаны аударатын, мотоциклисті қабырғаға қысып тұратын және шелектегі судың салмағын тепе-теңдікте ұстайтын күш қажеттігі туындайды.

Бұл күш қалай пайда болады және оның шамасы нелерге байланысты?

Бұл үшін шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалып бара жатқан денеде орталыққа ұмтылатын күш болатынын еске түсірейік:

$$F_{\text{о.ұ.к.}} = \frac{mv^2}{R}.$$

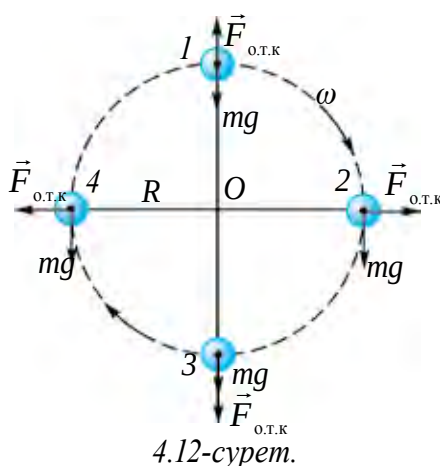
(4.4)

Ньютонның үшінші заңына орай:

$$F_{\text{о.у.к}} = F_{\text{о.т.к}}$$

орталықтан тебетін күш $\vec{F}_{\text{о.т.к}}$ те пайда болады.

Міне, сол орталықтан тебетін күш шұғыл бұрылған машинаны аударып жібереді және айналып жатқан шелектің төңкерілген күйінде де судың төгілуіне жол бермейді.



4.12-суретте R радиусты шеңбер бойымен қозғалып бара жатқан денеге әсер етуші күштер көрсетілген. Бірінші жағдайда орталықтан тебетін күш $\vec{F}_{\text{о.т.к}}$ ауырлық күші $m\vec{g}$ -ге қарама-қарсы бағытталғандығы себепті дененің салмағы азаяды:

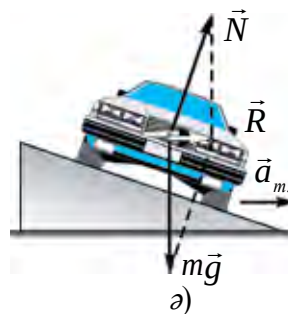
$$P_1 = mg - \frac{mv^2}{R}. \quad (4.5)$$

Үшінші жағдайда дененің ауырлық күші мен орталықтан тебетін күш төменге, яғни бір жағына қарай бағытталған. Соған орай дененің салмағы артады:

$$P_2 = mg + \frac{mv^2}{R}. \quad (4.6)$$

Орталықтан тебетін күш айналмалы денелерде және дене қозғалыс барысында бұрылуға тиісті жағдайларда ескеріледі.

Нақ осындай жолдың бұрылу бөліктерінде орталыққа ұмтылатын күштің әсерімен вертикаль күйден ауытқуы байқалады. Бұл күй апатқа соқтырмауы үшін велосипедшілер мен мотоциклшілер айналу орталығына қарай біраз ауытқып қозғалуға тиіс (4.13-а сурет). Автомобильдегі бұл күштің тепе-теңдігін сақтау үшін жолдың бір жағын көтеріңкілеу етіп салатын болды (4.13-ә сурет). Ал трамвайлар мен пойыздар жолының бұрылатын жерлеріндегі рельстердің сыртқы шеңбері біраз көтеріліп салынады.



4.13-сурет.

Мәселе шешу үлгісі

Дене бірер биіктіктен түсіп, доға бойымен қозғалып барады. Доғаның радиусы қандай болғанда дене доғаның T нүктесінен түсіп кетпейді? Дененің T нүктедегі жылдамдығы 30 м/сек.

Берілгені:

$$v = 30 \text{ м/сек}$$

$$g = 10 \text{ м/сек}^2$$

Табу керек:

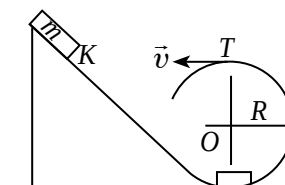
R —?

Шешілуі:

Дене T нүктеден түсіп кетпеуі үшін $F_{\text{ауыр.}} = F_{\text{о.т.к}}$ шарт орындалуы керек.

$$mg = \frac{mv^2}{R} \Rightarrow g = \frac{v^2}{R} \Rightarrow R = \frac{v^2}{g};$$

$$R = \frac{30^2}{10} \frac{\text{м}^2/\text{с}^2}{\text{м}/\text{с}^2} = 90 \text{ м.}$$



Жауабы: 90 м.



1. Орталықтан тебетін күштің әсеріне негізделіп жұмыс істейтін қандай аспап-құралдарды білесің?
2. Неліктен жолдың бұрылу бөліктерінде автомобильдердің жүру жылдамдығы шектеледі?
3. Машина жүргізушісі шұғыл бұрылатын жерге жақындағанда не істеуі керек? Неліктен жүргізушіден жауын-шашын кезінде, жол үстіне жапырақтар көп төгілгенде және көктайғақта өте-мөте сергек болу талап етіледі?

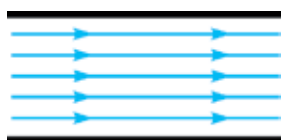
20-тақырып. СҰЙЫҚТАР МЕН ГАЗДАРДЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ, АҒЫСТЫҢ ҮЗДІКСІЗДІК ТЕОРЕМАСЫ. БЕРНУЛЛИ ТЕНДЕУІ

Сен тыныштық күйде тұрған сұйықтар мен газдардың ыдыс қабырғасына қысым түсіретінін білесің. Табиғат пен күнделікті тұрмыста сұйықтықтар тыныштық күйден тыс, қозғалыста да болады. Арық-атыздарда, каналдарда, өзендер мен су құбырларында ағып жатқан суда қандай күштер бар? Бұны зерттеу үшін арықта ағып жатқан су бетінің күйін бір еске түсірейік. Суы мол, кең каналда ағып жатқан судың орташа қысымы бірқалыпты, шамамен бір сызықтың бойымен қозғалады. Бұны сумен бірге ағып келе жатқан шөп-шаламның қозғалысына қарап білуге болады (4.14-сурет). Бұндай ағыс **қабатты** немесе **ламинарлық ағыс** деп аталады. Таудан түсіп келе жатқан арық суы жылдам ағады. Оған тасталған ұсақ шөптер мен жапырақтар қозғалысын бақыласақ, көптеген жерлерде иірімдердің, яғни айналма

көріністегі қозғалыстардың пайда болғанын көреміз (4.15-сурет). Бұндай ағыстарды **турбуленттік ағыс** деп атаймыз. Демек, сұйықтық бірер түтікпен аққанда, сұйықтықтың түтік қабырғаларына үйкелуі себепті қабаттардың жылжуы түтіктің орта тұсында жылдамырақ, ал шеткі бөліктерінде баяуырақ болады.

Үйкелісті есепке алмай, сұйықтың көлденең қимасының беті өзгеретін түтік бойындағы ағуын қарастырайық (4.16-сурет).

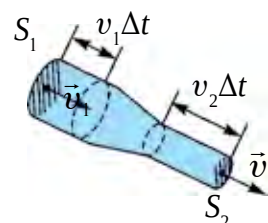
Сұйықтық түтіктің S_1 бетке ие бөлігіне v_1 жылдамдықпен еніп, S_2 бетті бөлігінен v_2 жылдамдықпен шығып кетеді. Қысқа ғана Δt уақыттың ішінде S_1 беттен m_1 массалы сұйықтық, ал S_2 беттен m_2 массалы сұйықтық ағып өтеді. Массаның үйкеліс заңы негізінде $m_1 = m_2$. Массалардың орнына сұйықтықтың тығыздығы ρ және көлемі V өрнегін қойсақ, $\rho_1 S_1 v_1 \Delta t = \rho_2 S_2 v_2 \Delta t$. Сұйықтықтың тығыздығын ескерсек, $\rho_1 = \rho_2$ болады. Ондай жағдайда



4.14-сурет.



4.15-сурет.



4.16-сурет.

$S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t$ болады. Теңдеудің екі жағын да Δt -ға бөліп жіберсек,

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad (4.7)$$

ға ие боламыз. Алынған нәтижені төмендегідей сипаттауға болады:

Әр түрлі қима бетті түтікте ағып жатқан сығылмайтын сұйықтық жылдамдығының модулі сұйықтықтың қима беттеріне кері пропорционал болады. Бұл сығылмайтын сұйықтық үшін *ағыстың үздіксіздігі* теңдеуі деп аталады.

Осылайша ағыс түтігінің кең бөлігінде сұйықтың жылдамдығы төмен, ал тар жерінде жоғары болады. Су құбыры шлангісінен су сепкен кезде суды ұзағыраққа себу үшін шлангтың ұшы қысылады.



4.17-сурет.

Қозғалатын сұйықтардағы қысымның бөлінісін қарастырайық.

Жоғарғы бөлігіне жіңішке өлшеу түтіктері жалғанған, қимасы әр түрлі түтік бойымен сұйықтық ағып жатыр делік (4.17-сурет). Сұйықтықтың стационарлық ағысындағы әрбір өлшеу

түтігі бойымен сұйықтық көтеріледі. Сұйықтық бағаналарының биіктіктеріне орай түтіктің қабырғаларына түскен қысым жөнінде пікір өрбітуге болады. Тәжірибелер көрсеткеніндей, түтіктің кең бөлігіндегі қысым, оның тар бөлігіне қарағанда үлкен болады. Ағыстың үздіксіздігі теңдеуіне сәйкес түтіктің кең бөлігінде ағыс жылдамдығы төмен, ал тар бөлігінде жоғары болады. Бұдан төмендегідей тұжырым жасаймыз:

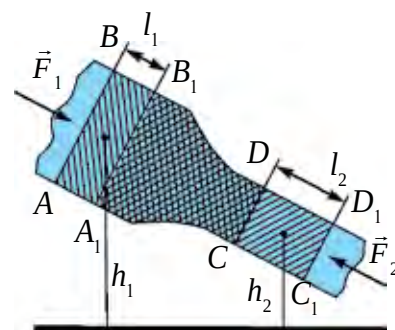
Сұйықтықтың ағу жылдамдығы жоғары жерлерінде оның қысымы аз, бұған керісінше ағу жылдамдығы төмен жерлерінде қысым үлкен болады.

Сұйық қысымының ағыс жылдамдығына байланыстылығының математикалық өрнегін 1738 жылы Д. Бернулли анықтаған болатын.

Бернулли теңдеуін сұйықтың ағысында механикалық энергияның сақталу заңын қолданып шығаруға да болады.

Сұйық ағысының көлденең қимасы өзгеретін түтікті көкжиекке көлбеу етіп орнатайық (4.18-сурет).

Түтіктің кең бөлігіндегі AB қимасынан белгілі бір сұйық көлемін бөліп алайық. Бұл көлем ағып өтуі үшін t уақыт керек дейік. Сұйық сығылмайтын болғандықтан, сол уақыт ішінде түтіктің тар бөлігіндегі CD қимасынан да сонша көлемдегі сұйық ағып өтеді. Сұйықтың AB қимасын S_1 деп, одан ағып өту жылдамдығын v_1 деп, ал CD қимасын S_2 деп, одан ағып өту жылдамдығын v_2 деп белгілейік. Қысым күштері F_1 мен F_2 және бөліп алынған көлемдегі сұйықтық ауырлық күшінің әсерімен t уақыт ішінде оңға қарай жылжиды. Бұнда орындалған жұмыс



4.18-сурет.

$$A = A_1 + A_2 = F_1 l_1 - F_2 l_2 = p_1 S_1 v_1 \Delta t + p_2 S_2 v_2 \Delta t.$$

Сұйықтың стационарлық ағысында $A_1 B_1$ және CD аралығындағы (4.18-суретте штрихталған бет) сұйықтың энергиясы өзгермейді, яғни $AB B_1 A_1$ көлемін иелеген сұйық жылжып, $CDD_1 C_1$ көлемін иелейді. Энергияның сақталу заңына орай сыртқы күштердің орындаған жұмысы энергияның өзгерісіне тең болады:

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

$S_2 l_2 = S_1 l_1 = \Delta V$ екендігі ескеріліп, ΔV -ге қысқартылса,

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}. \quad (4.8)$$

Бұл идеал сұйықтық немесе газ ағысы үшін **Бернулли тендеуі** деп аталады.

Егер $h_1 = h_2$ болса,

$$p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \text{ болады.}$$

Мәселені шешу үлгісі

Түбінде тығынмен бекітілген шағын тесігі бар ыдысқа биіктігі 1 м етіп су құйылған. Судың бетіне массасы 1 кг және беті 100 см^2 поршень қойылған. Ыдыстың қабырғасы мен поршеньнің арасынан су өтпейді. Егер тығын бірден алынса, су тесіктен қандай жылдамдықпен атылып шығады?

Берілгені:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$h = 1 \text{ м}$$

Табу керек:

$$v = ?$$

Шешуі:

Бернулли тендеуін пайдаланамыз. Су ағынының қысымы атмосфералық қысым p_0 -ға тең. Тесіктен есептейтін болсақ, h биіктіктегі поршеньнің астындағы қысым $p_0 + \frac{mg}{S}$ -ға тең. Бернулли тендеуі бойынша

$$p_0 + \frac{\rho v^2}{2} = p_0 + \rho gh + \frac{mg}{S}.$$

$$\text{Бұдан } v = \sqrt{2gh + \frac{2mg}{\rho S}} \approx 4,9 \text{ м/сек.}$$

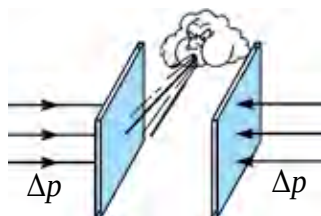
Жауабы: 4,9 м/сек.



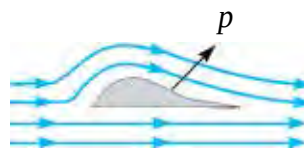
1. Сұйықтың динамикалық қысымы дегенде нені түсінесің?
2. Ламинарлық және турбуленттік ағыстар қалай сипатталады?
3. Өзің жасайтын жердегі су көздерінің қандай көрініспен ағатынын сипаттап бер.
4. Сұйықтың жылдамдығы артқанда, қысымы төмендейтіні неліктен?

21-тақырып. ҚОЗҒАЛЫСТАҒЫ ГАЗДАР МЕН СҰЙЫҚТАР ҚЫСЫМЫНЫҢ ЖЫЛДАМДЫҚҚА БАЙЛАНЫСТЫЛЫҒЫН ТЕХНИКАДА ПАЙДАЛАНУ

Тыныштық күйде тұрған сұйықтың қысымы қозғалыс барысында өзгергенін көрдік. Бұл қысым **динамикалық қысымға** байланысты делінеді. Динамикалық қысым сұйықтың не газдың жылдамдығына байланысты болатынын бақылау үшін төмендегідей тәжірибе өткізейік. Алдымен екі парақ қағаз алып, оларды тік күйінде ұстап тұрайық. Сосын қағаздар арасына үрлейік (4.19-сурет). Сонда қағаздар бір-біріне қарай ұмтылып, жақындайды. Бұның себебі сол, қағаздар арасындағы ауа үрлеудің нәтижесінде қозғалысқа келеді де, ол жердегі қысым төмендейді. Қағаздардың сыртқы жағындағы қысым ішкі бөліктегіден гөрі жоғары болғандықтан, қағаздарды сығатын күш пайда болады. Бір бағытқа қарай қозғалып бара жатқан екі кеменің кейде ешқандай себепсіз соқтығысып қалған жағдайлары бақыланған. Бұның себебі де нақ жоғарыдағы қағаздың екі парағы арасына үрлегенде, қысымның өзгеруімен түсіндіріледі.



4.19-сурет.

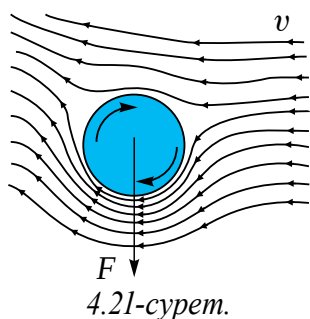


4.20-сурет.

1. Ұшақтың қанатын көтеретін күш. Ұшақтардың самғауы да нақ осы құбылысты зерттеу арқылы жүзеге асырылған. Бұны ұшақ қанатының арнайы құрылысымен түсіндіруге болады (4.20-сурет).

Ұшақтың қанаты сүйірленген пішінде жасалады, оған келіп соғылған жел қанаттың астыңғы және үстіңгі жағынан өтеді. Үстіңгі бөлігіндегі жел өтуге тиісті жол төменгі бөліктегіден гөрі көбірек. Сол себепті үстіңгі бөлігіндегі жел жылдамдығы астыңғы бөліктегіден үлкен болуға тиіс. Демек, желдің жылдамдығы үлкен болған жердегі қысым p_1 желдің жылдамдығы төмен болған астыңғы бөліктегі қысым p_2 -ден кіші болады. Соның нәтижесінде төменнен жоғарыға бағытталған қысымдардың айырмасы $p = p_2 - p_1$ пайда болады. Ағыс турбуленттік болса, қысымдар арасындағы айырма үлкен

болады. Қысымдардың айырмасы себепті ұшақтың қанатын көтеретін күш пайда болады.

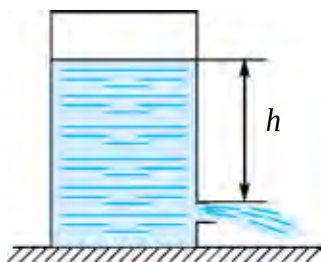


2. Магнус эффектісі. Футбол алаңында бұрыштан тебілген доптың бұрылып барып қақпаға кіргенін теледидардан яки стадионда отырып көргендер көп. Допты бұрылуға не мәжбүр етті? Бұның себебі сол, допты қақ ортадан емес, бір шетінен тепкен шебер футболшы оны түзу сызықты қозғалыс барысында айналуға мәжбүр етеді. Соның нәтижесінде доптың сол және оң жақтарындағы ауа ағысының жылдамдығы өзгереді де, қысымдар

айырмасы туындап, доп қақпаға қарай бұрылады. Бұны **Магнус эффектісі** деп атайды (4.21-сурет).

3. Ыдыс саңылауынан атылып шығып жатқан сұйықтың жылдамдығын есептеу.

Бернулли теңдеуін пайдаланып, сұйықтың бетінен h тереңдіктегі ыдыс саңылауынан атылып шығып жатқан сұйықтың жылдамдығын есептеуге болады (4.22-сурет).



Ыдыстағы сұйықтың үстіңгі бетіндегі қысым атмосфералық қысым p_0 -ге тең. Сұйықтың жылдамдығы $v_0=0$. Сұйық шығатын саңылау алдындағы қысым да p_0 -ге тең. Саңылаудан шығатын сұйықтың жылдамдығын v -мен белгілеп, бұл екі орын үшін 4.9-формуланы қолданамыз:

$$p_0 + \frac{\rho v^2}{2} = p_0 + \rho gh, \text{ бұдан}$$

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (4.10)$$

Бұны идеал сұйықтыққа арналған **Торричелли формуласы** деп атайды.

Мәселе шешу үлгісі

Бойы 5 м-лік цистернаға жерден 50 см биіктікте шүмек орнатылған. Егер шүмек ашылса, сұйықтық одан қандай жылдамдықпен атылып шығады?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$H = 5 \text{ м}$ $h = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$ Табу керек: $v = ?$	$v = \sqrt{2g(H - h)}$	$v = \sqrt{2 \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (5 \text{ м} - 0,5 \text{ м})} =$ $= \sqrt{20 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} 4,5} \approx 9,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ <i>Жауабы: $\approx 9,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$</i>



1. Үйде қағаздан әр түрлі көріністегі батпырауықтар жаса. Қайсы батпырауықта көтеруші күш үлкен болатынын негіздеуге тырыс.

2. Дене шынықтыру сабағында футбол добын бұрыштан теуіп, бағытынан бұруға әрекет жаса.



1. Батпырауық қандай күштердің әсерінен жоғары көтеріледі?

2. 4.22-суреттегі ыдыстан атылып шығып жатқан сұйықтың жылдамдығы саңылаудың бетіне байланысты ма?

3. Көптеген автомобильдердің сыртқы көрінісін неліктен үшбұрышты, төртбұрышты яки соған ұқсас етіп жасамайды?

4. Магнус эффектісін тағы қандай жерлерде пайдалануға болады?

3-жаттығу

1. Арқанды салбырамайтын етіп тартуға бола ма?

2. Массасы $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг}$ құбыр жерде жатыр. Оның бір ұшынан көтеру үшін қандай күш керек? (Жауабы: $\approx 6 \cdot 10^3 \text{ Н}$).

3. Массасы $1,35 \text{ т}$ автомобильдің доңғалақтары орнатылған біліктер бір-бірінен 3 м қашықтықта орналасқан. Автомобильдің масса орталығы алдыңғы біліктен $1,2 \text{ м}$ ұзақта орналасқан. Автомобильдің әрбір білігіне берілген күштерді анықта.

4. Куб пішініндегі денені аудару үшін оның үстіңгі қырына қандай күшпен әсер ету керек? Бұл жағдайда кубтың еденге үйкелу коэффициентінің ең төмен мәні қаншаға тең болуға тиіс? Кубтың қабырғасы a -ға, массасы M -ға тең.

5. Негізі квадраттан тұратын ұзын тақтай горизонталь жазықта тұр. Тек сызғышты ғана пайдаланып, тақтай мен жазықтық арасындағы үйкеліс коэффициентін қалай анықтауға болады?

6. Денеге шамасы 100 Н -нан тұратын үш күш әсер етіп жатыр. Егер бірінші және екінші күштер арасындағы бұрыш 60° , екінші және үшінші күштер арасындағы бұрыш 90° болса, күштердің тең әсер етушісін тап. (Жауабы: 150 Н).

7. Ұзындығы 10 м-лік кір кептіру арқанында ауырлығы 20 Н костюм ілулі тұр. Костюм ілінген киімлігіш арқанның ортасында, ал арқан бекітілген нүктелер арқылы өткен горизонталь сызықтан 10 см төмен орналасқан. Арқанның керілу күшін тап. (Жауабы: 500 Н).

8. Вертикаль қабырғаға арқанмен ілінген жәшік 4.23-суретте көрсетілген жағдайда қала ма?

9. Ұзындығы 10 м, массасы 900 кг рельс екі параллель троспен көтеріліп барады. Тростардың біреуі рельстің ұшына, ал екіншісі екінші ұшынан 1 м әріректе орналасқан. Тростардың керілу күштерін тап. (Жауабы: 4 кН; 5 кН).

10. Бір жынысты ауыр металл стержень бүктелді және ол бір ұшынан еркін ілінді. Егер бүктелу бұрышы 90° болса, стерженьнің ілінген ұшы вертикальмен қандай бұрыш жасайды? (Жауабы: $\text{tg}\alpha = 1/3$).

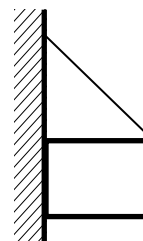
11. Өзен суы оның қай жерінде жылдам ағады: судың сыртқы бөлігінде ме, әлде белгілі бір тереңдікте ме; өзеннің ортасында ма, әлде жағалауға жақын жерінде ме?

12. Су құбыры тесіліп, сол жерден жоғары қарай су атылып шыға бастады. Егер тесіктің беті 4 мм^2 , судың атылып шығу биіктігі 80 см болса, бір тәулікте қанша су ысырап болады? (Жауабы: 1380 л).

13. Сүңгуір қайық 100 м тереңдікте жүзіп барады. Оқу жаттығуы кезінде қайықта кішкене тесік пайда болды. Егер тесіктің диаметрі 2 см болса, оған су қандай жылдамдықпен кіріп келеді? Бұл тесіктен бір сағатта қанша су кіруі мүмкін? Қайық ішіндегі қысым атмосфералық қысымға тең. (Жауабы: 44,3 м/сек; 50 м^3).

14. Өрт сөндіру үшін пайдаланылатын су құбырындағы судың жұмсалуды 60 л/мин. Егер құбырдан шыққан судың беті $1,5 \text{ см}^2$ болса, 2 м биіктікте судың беті қаншаға тең болады?

15. Неліктен қайнатылған жұмыртқаға атылған оқ оны тесіп өтеді, ал шикі жұмыртқаны бөлшектеп жарып жібереді?

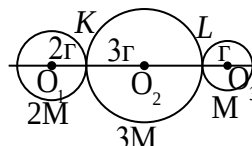


4.23-сурет.

IV тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

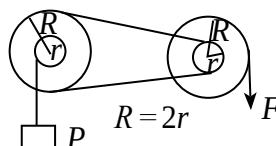
1. Массалары $2M$, $3M$ және M болған шеңбер пішініндегі денелер суреттегідей етіп орнатылған. Олардың ауырлық орталығы қай нүктеде орналасқан?

- A) KL нүктелері арасында;
B) L нүктесінде;
C) M нүктесінде;
D) LM нүктелері арасында.



2. Суретте келтірілген жүйе тепе-теңдікте тұр. F күш R -дің қандай бөлігіне тең?

- A) $1/2$;
B) $1/4$;
C) $1/8$;
D) 2.

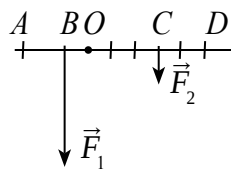


3. Күш иіні—бұл....

- A) рычагтың ұзындығы;
B) рычагтың айналу білігінен соңына дейінгі қашықтық;
C) күш векторы бағытынан айналу білігіне дейінгі ең қысқа аралық;
D) рычагқа әсер етуші жұп күштер арасындағы ең қысқа аралық.

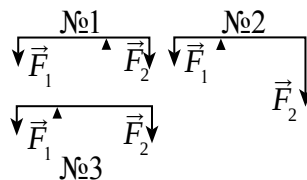
4. Суретте рычагқа әсер етуші $\vec{F}_1$ және $\vec{F}_2$ күштер келтірілген. $\vec{F}_1$ және $\vec{F}_2$ күштердің иіндерін көрсет.

- A) OA; OD;
B) BD; CA;
C) AB; CD;
D) OB; OC.



5. Суретте келтірілген рычагтардың қайсысы тепе-теңдікте болады?

- A) Тек 1;
B) Тек 2;
C) Тек 3;
D) Тек 1 мен 3



6. Күш моменті қандай бірлікпен өлшенеді?

- A) Ньютон метр ($N \cdot m$);
B) Джоуль (Дж);
C) Ватт секунд ($Wt \cdot сек$);
D) Джоуль/секунд (Дж/сек).

7. “Эр түрлі бетті түтікпен ағып жатқан сығылмайтын сұйықтық жылдамдықтарының модулі сұйықтықтың беттеріне кері пропорционал болады”. Бұл тұжырымның аты не?
 A) Ағыс үздіксіздігінің теңдеуі; B) Торричелли теңдеуі;
 C) Бернулли теңдеуі; D) Магнус эффекті.
8. Торричелли формуласын көрсет.
 A) $v = \sqrt{2gR}$; B) $v = \sqrt{gh}$;
 C) $v = \sqrt{2gh}$; D) $p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \text{const.}$
9. Бернулли теңдеуін көрсет.
 A) $v = \sqrt{2gR}$; B) $v = \sqrt{gh}$;
 C) $v = \sqrt{2gh}$; D) $p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \text{const.}$
10. Бойы 5 м-лік цистернаның астына шүмек орнатылған. Шүмек ашылса, одан атылып шыққан сұйықтың жылдамдығы қандай болады?
 A) 9,5 м/сек; B) 95 см/сек; C) 9,8 м/сек; D) 10 м/сек.

IV тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Тұрақты тепе-теңдік	Дене тепе-теңдік күйінен шығарылғанда, оны бастапқы күйіне қайтарушы күш пайда болатын тепе-теңдік.
Тұрақсыз тепе-теңдік	Дене тепе-теңдік күйінен шығарылғанда, оны бастапқы күйінен алыстатушы күш пайда болатын тепе-теңдік.
Айырмасыз тепе-теңдік	Дене тепе-теңдік күйінен шығарылғанда, оның күйін өзгертетін ешқандай күш пайда болмайтын тепе-теңдік.
Күш моменті	Күштің күш иініне көбейтіндісі: $M = F \cdot l$
Айналу білігі бар дененің тепе-теңдік шарты	Денеге әсер етіп жатқан күш моменттерінің вектор жиындысы нөлге тең болғанда дене тепе-теңдікте қалады: $\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 + \dots + \vec{M}_n = 0$.
Қос иінді рычаг	Тірек рычагтың күштер берілген нүктелері аралығында болады.

Бір иінді рычаг	Тірек рычагтың бір ұшына орналастырылады да, жүк рычагтың екінші ұшына қойылады.
Дәрежелі полипласт	Жылжитын және жылжымайтын блоктар кешені $F = \frac{P}{n}$ P –жүктің салмағы; F –тарту күші.
Ламинарлық ағыс	Сұйықтың қабат-қабат болып ағуы.
Турбуленттік ағыс	Сұйықтың үйірілген көріністе қозғалуы.
Ағыстың үздіксіздігі теңдеуі	Әр түрлі бетті түтікпен ағып жатқан сығылмайтын сұйықтар жылдамдықтарының модулі, сұйық беттеріне кері пропорционал болады: $S_1 v_1 = S_2 v_2$.
Бернулли теңдеуі	$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$ Сұйықтың ағу жылдамдығы үлкен болған жерлерінде қысым төмен, ал бұған керісінше ағу жылдамдығы төмен болған жерлерінде қысым үлкен болады.
Магнус эффекті	Айналма қозғалыстағы дененің жақтарында газдың немесе сұйықтың қысым айырмалары пайда болуы нәтижесінде дененің қозғалыс бағытының өзгеруі.
Динамикалық қысым	Сұйықтың қозғалуы нәтижесінде пайда болатын қысым.
Торричелли формуласы	$v = \sqrt{2gh}$ v – судың ағу жылдамдығы; h – биіктік.

V тарау. МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР МЕН ТОЛҚЫНДАР

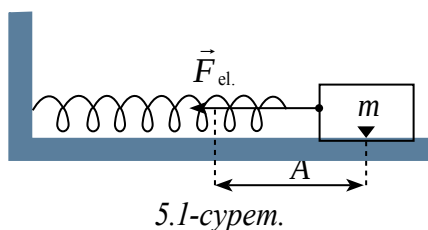
22-тақырып. ГАРМОНИЯЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР

Тұрмыста кездесетін қозғалыстардың кейбіреулері тең уақыт аралығында қайталанып тұрады. Бұндай қозғалыстарды **периодты (кезеңдік)** қозғалыстар дейді. Кезеңдік қозғалыстар арасында дененің тепе-теңдік күйі айналасында біресе бір жаққа, біресе екінші жаққа қарай жасалатын қозғалыстар жиі кездеседі. Дененің бұндай қозғалысы **тербелмелі қозғалыс** яки қысқаша **тербелістер** деп аталады.

Тепе-теңдік күйінен шығарылған дененің ішкі күштердің әсерімен өзінен-өзі жасайтын тербелістерін **дербес (еркін) қозғалыстар** деп атаймыз. Тербелістегі дененің тепе-теңдік күйінен алыстау аралығын оның **жылжуы** (x) дейді. Тепе-теңдік күйден ең үлкен алыстау **тербеліс амплитудасы** (A) деп аталады.

Механикалық тербелістерді бақылау үшін серіппенің ұшына бекітілген жүктің тербелістерімен танысайық (5.1-сурет). Бұл суреттегі серіппеге бекітілген жүк горизонталь стерженьге үйкеліссіз қозғала алады, өйткені шардың ауырлық күшін стерженьнің реакция күші тепе-теңдікке келтіреді.

Серіппенің серпінділік коэффициенті k , ал массасы ескерілмейтін дәрежеде шағын. Жүйенің массасы жүкке, ал бірлігі серіппеге шоғырланған деп есептеуге болады.



Егер тепе-теңдік күйінде тұрған жүкті оң жаққа қарай A қашықтыққа созып тұрып, бірден жіберсек, жүк созылған серіппеде (5.1-сурет) пайда болған серпінділік күші

$$F_{\text{с.к.}} = -kA \quad (5.1)$$

эсерімен тепе-теңдік күйіне қарай қозғала бастайды. Уақыт өткен сайын жүктің жылжуы A -дан азая береді, бірақ жүктің жылдамдығы арта түседі. Жүк тепе-теңдік күйіне жетіп келген соң, оның жылжуы (x) нөлге тең болғандықтан, серпінділік күші де нөлге теңеледі. Дегенмен жүк *инерциясына* байланысты сол жаққа қарай қозғала бастайды. Серіппеде пайда болған серпінділік күшінің модулі де артады. Бірақ серпінділік күші әрқашан жүктің жылжуына кері бағытталғандықтан, ол жүкті тежеуге кіріседі. Соның нәтижесінде жүктің қозғалысы баяулап барып тоқтайды. Енді жүк сығылған серіппеде пайда болған серпінділік күшінің эсерімен тағы да тепе-теңдік күйіне қарай қозғалады.

Периодты түрде тербеліп жатқан жүйенің белгілі бір уақыт ішінде қайсы заң бойынша өзгергенін анықтау үшін воронкаға құм толтырайық та, оны жіпке іліп, тербелтейік. Воронканың тербеліс үдерісінде оның астындағы картон қағазды бірқалыпты түрде жайлап тарта бастасақ, құмның қағаздағы ізінің синусоида пішінінде екеніне куә боламыз. Бұдан төмендегідей тұжырым келіп шығады: *Периодты тербелетін дененің ығысуы уақыт өткен сайын синустар немесе косинустар заңы бойынша өзгереді*. Бұнда ығысудың ең үлкен мәні A амплитудаға тең болады:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (5.2)$$

бұл жерде: ω_0 —тербелістегі жүйенің параметрлеріне байланысты болатын циклдік жиіліктер, φ_0 —бастапқы фаза. Ал $(\omega_0 t + \varphi_0)$ тербелістің басталуынан t уақыт өткендегі тербеліс фазасы.

Математикадан белгілі болғанындай, $\sin \alpha = \cos\left(\alpha - \frac{\pi}{2}\right)$; сондықтан (5.2)-ні

$$x = A \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right) \quad (5.3)$$

деп жазуға да болады.

Уақыт барысында параметрлері синустар яки косинустар заңы бойынша өзгереді тербелістер гармониялық тербелістер деп аталады.

Демек, тепе-теңдік күйінен шығарылған серіппелі маятник гармониялы түрде тербеледі екен. Жүйе гармониялы түрде тербелуі үшін: 1) дене тепе-теңдік күйінен шығарылғанда, онда жүйені тепе-теңдік күйіне қайтарушы ішкі күштер пайда болуы; 2) тербелістегі дене инерттікке ие болып, оған үйкеліс және қарсылық күштері эсер етпеуі шарт. Бұл шарттарды тербелмелі қозғалыстың жүзеге асу шарттары дейміз.

Гармониялық тербелістердің негізгі параметрлері:

а) тербеліс периоды T —бір рет толық тербелуге жұмсалған уақыт:

$$T = \frac{t}{N}; \quad (5.4)$$

ә) тербеліс жиілігі ν —1 секундта болатын тербелістер саны:

$$\nu = \frac{N}{t}; \quad (5.5)$$

Бірлігі $[\nu] = \text{с}^{-1} = \text{Гц}$;

б) циклдік жиілік— 2π секундтағы тербелістер саны:

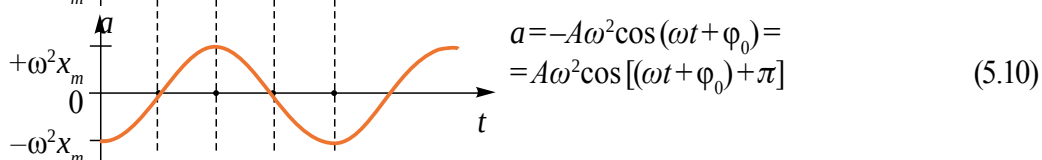
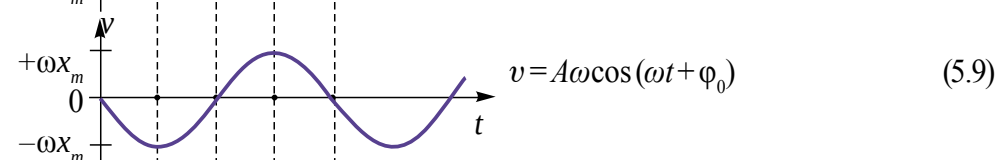
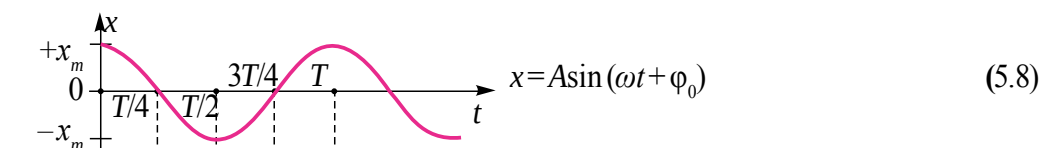
$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (5.6)$$

Гармониялық тербелістер теңдеуі (5.2)-ні (5.5) пен (5.6)-ны ескере отырып төмендегідей көріністермен жазуға болады:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = A \sin\left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0\right) = A \sin(2\pi \nu t + \varphi_0). \quad (5.7)$$

Ығысуы уақыт ішінде синустар немесе косинустар заңы бойынша өзгертін гармониялық тербелістерді мөлшерлік тұрғыдан сипаттайтын шамалардың басым көпшілігі (жылдамдық, үдеу, кинетикалық және потенциялық энергиялар) де гармониялық түрде өзгереді.

Бұны төмендегі графиктер мен теңдеулерден көре аламыз:



5.2-сурет.

Мәселе шешу үлгісі

1-мәселе. Нүкте гармониялық тербеліспен қозғалып барады. Ең жоғары ығысуы мен жылдамдығы сәйкесінше 0,05 м және 0,12 м/сек-қа тең. Ең жоғары үдеуді тап және ығысу 0,03 м-ге тең болған моменттегі нүктенің жылдамдығы мен үдеуін анықта.

Берілгені:	Формуласы және шешілуі:
$A = 0,05 \text{ м}$	$x = A \sin(\omega t + \varphi), a_{\text{макс}} = \frac{v_{\text{макс}}^2}{A};$
$v_{\text{макс}} = 0,12 \text{ м/сек}$	$v = v_{\text{макс}} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{A}\right)^2} = \frac{v_{\text{макс}}}{A} \sqrt{A^2 - x^2}$
Табу керек:	$v = \omega A \cos \omega t; a = -\omega^2 A \sin \omega t = -\omega^2 x;$
$a_{\text{макс}} - ?$	$a = -\frac{v_{\text{макс}}^2}{A^2} x = -\frac{(0,12)^2 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{(0,05)^2} \cdot 0,03 = -(7,3 \cdot 10^{-2} \text{ м/сек}^2)$
$v - ?$	$a_{\text{макс}} = \frac{(12)^2 \cdot 10^{-4} \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{5 \cdot 10^{-2}} = 29 \cdot 10^{-2} \text{ м/сек}^2;$
$a - ?$	$v = \frac{0,12 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{0,05} = \sqrt{(0,05^2 - 0,03^2) \text{ м}^2} \approx 9,6 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}.$



1. Периодты қозғалыс деп қандай қозғалысты айтады? Периодты қозғалысқа тұрмыстан және техникадан мысалдар келтір.
2. Гармониялық тербелістің қозғалыс теңдеуін жаз.
3. Гармониялық тербелістің ығысуы, амплитудасы, периодтығы, жиілігі деп нелерді айтамыз?

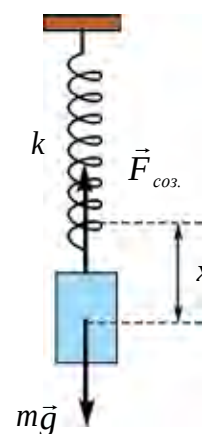
23-тақырып. СЕРІППЕЛІ ЖӘНЕ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МАЯТНИКТЕР

Периодты тербелмелі қозғалыс жасайтын дене яки денелер жүйесі **маятник** деп аталады. Табиғатта кездесетін тербелмелі қозғалыстардың басым көпшілігі: серіппелі және математикалық маятниктердің қозғалысына ұқсас болады.

Бұрандалығы k болған серіппеге ілінген m массалы жүктен тұратын жүйені **серіппелі маятник** деп атайды (5.3-сурет). Серіппе ілінген жүктің әсерімен x_0 қашықтыққа созылады. Оның тепе-теңдік шарты

$$ma = -kx_0 \quad (5.11)$$

мен анықталады. Серіппені біраз x -ке созып тұрып, бірден босатып жіберсек, жүк вертикаль бағыт бойынша тербелмелі қозғалыс жасайды.



5.3-сурет.

Тәжірибенің көмегімен жүк жылжуының уақытқа тәуелділігі

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

заң бойынша өзгертінін анықтаған едік. Гармониялық тербелістегі дененің үдеуін (5.10) $a = -\omega_0^2 x$ екендігін ескерсек, (5.10) теңдеуі төмендегі көрініске келеді:

$$-\omega_0^2 x + \frac{k}{m} x = 0.$$

Бұл теңдеуден

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.12)$$

ға ие боламыз.

Демек, гармониялық тербелістегі дененің циклдік тербелу жиілігі тербеліс жүйесіне енетін денелердің параметрлеріне тәуелді екен. (5.12) формуласы серіппелі маятниктің циклдік (периодтық) жиілігін табу формуласы деп аталады. Тербеліс периодының сипаттамасына орай $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{2\pi\nu} = \frac{2\pi}{\omega_0}$ -дан

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{k}{m}}} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}},$$

яғни

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (5.13)$$

Серіппелі маятниктің тербелу периоды ілінген жүктің массасынан шығарылған квадрат түбірге тура пропорционал, ал серіппе бұрандасынан шығарылған квадрат түбірге кері пропорционал болады.

Серіппелі маятниктегі энергия алмасуды қарастырайық. Маятниктің кинетикалық энергиясы серіппенің массасын есепке алмағанда, $E_k = \frac{mv^2}{2}$ жүктің кинетикалық энергиясына тең болады. Өткен тақырыпта жылдамдық $v = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ өрнекпен анықталатыны көрсетілген еді. Ондай жағдайда маятниктің кинетикалық энергиясы

$$E_k = \frac{1}{2} m A^2 \omega_0^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (5.14)$$

ға тең болады.

Серіппелі маятниктің потенциялық энергиясы серіппенің деформациялық энергиясына тең, яғни:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (5.15)$$

Көбінесе жүйенің толық энергиясы $E_t = E_k + E_p$ -ны білудің үлкен маңызы бар:

$$E_t = E_k + E_p = \frac{1}{2} m A^2 \omega_0^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{1}{2} k A^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)$$

Егер $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$ екендігін ескерсек,

$$E_t = \frac{1}{2} k A^2 [\cos^2(\omega_0 t + \varphi_0) + \sin^2(\omega_0 t + \varphi_0)] \quad (5.16)$$

немесе

$$E_t = \frac{1}{2} k A^2 = \text{const} \quad (5.17)$$

екендігі келіп шығады.

Назар аударсаң, серіппелі маятниктің толық энергиясы уақытқа тәуелді емес тұрақты шама екенін, яғни механикалық энергияның сақталу заңы орындалғанын байқайсың.

Созылмайтын әрі салмақсыз жіпке ілінген, тепе-теңдік күйі айналасында периодты тербелмелі қозғалыс жасайтын материялық нүкте **математикалық маятник** деп аталады.

Маятник тұрақты тепе-теңдік күйінде болғанда материялық нүктенің ауырлығы ($P = mg$) керілу күші T -ны тепе-теңдікке келтіреді (5.4-сурет). Өйткені олардың модульдары тең, бір түзуді бойлап қарама-қарсы жаққа бағытталған. Егер маятникті α бұрышқа ауытқытсақ, mg және T күштер өзара бұрыш жасап бағытталғандығы үшін бір-бірін теңестіре алмайды. Бұндай күштердің қосылуынан маятникті тепе-теңдік күйіне **қайтарушы күш** пайда болады.

Маятникті босатып жіберсек, ол қайтарушы күштің астында тепе-теңдік күйіне қарай қозғала бастайды. 5.4-суреттен

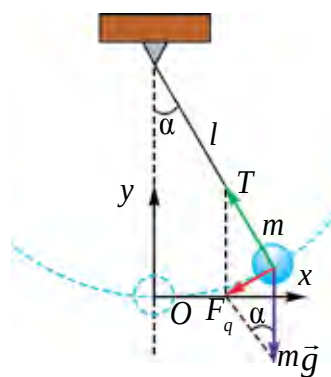
$$F_q = P \sin \alpha = mg \cdot \sin \alpha \quad (5.18)$$

екендігін көреміз.

Ньютонның екінші заңына орай, F_q күш материялық нүктеге a үдеу береді. Сондықтан

$$-mg \sin \alpha = ma. \quad (5.19)$$

Өте шағын ауытқу бұрыштарында ($\alpha \leq 6^\circ \div 8^\circ$) болғандығы және F күш әрқашан жылжуға қарама-қарсы бағытталғандығы үшін (5.19) -ды



5.4-сурет.

$$ma \approx -mg \cdot \frac{x}{l} \quad (5.20)$$

көрінісінде жазуға болады. Егер материялық нүктенің (шардың) тербеліс үдерісіндегі сығылуын x әрпімен белгілесек, сондай-ақ $a = -\omega_0^2 x$ қатынас ескерілсе, $-m\omega_0^2 x = mg \frac{x}{l}$.

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (5.21)$$

болады. Тербеліс периодының сипаттамасына орай, $T = \frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{2\pi\nu} = \frac{2\pi}{\omega_0}$ болғаны үшін:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (5.22)$$

Математикалық маятниктің тербеліс периоды анықтайтын бұл формула **Гьюгенс формуласы** деп аталады. Бұдан математикалық маятниктің төмендегі заңдары келіп шығады:

1) математикалық маятниктің ауытқу бұрышы (α) шағын болғанда, тербеліс периоды оның тербеліс амплитудасына тәуелді емес.

2) математикалық маятниктің тербеліс периоды оған ілінген жүктің массасына да тәуелді емес.

3) математикалық маятниктің тербеліс периоды оның ұзындығынан шығарылған квадрат түбірге тура пропорционал және еркін түсу үдеуінен шығарылған квадрат түбірге кері пропорционал екен.

Бұнда математикалық маятниктің тербелісі

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

өрнекпен белгіленеді.

Тағы бір атап өтетін жері, тербеліс амплитудасы яки ауытқу бұрышы үлкен болғанда, математикалық маятниктің тербелісі гармониялық болмайды.

Өйткені $\sin \alpha \approx \frac{x}{l}$ -ға тең болмайды және маятниктің қозғалыс теңдеуінің шешімі синус немесе косинус көрінісінде болмай қалады.

Мәселе шешу үлгісі

1-мәселе. Бірінші маятниктің тербеліс периоды 3 сек-қа, ал екіншісінікі 4 сек-қа тең. Олардың ұзындықтарының жиындысына тең болған маятниктің тербеліс периоды тап.

Берілгені: $T_1 = 3$ сек $T_2 = 4$ сек $l = l_1 + l_2$	Формуласы: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}; T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{l_1}{g}}; T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{l_2}{g}};$ $T = 2\pi\sqrt{\frac{l_1 + l_2}{g}} \cdot l_1 = \frac{T_1^2 \cdot g}{4\pi^2}$ және $l_2 = \frac{T_2^2 \cdot g}{4\pi^2}; T = \sqrt{T_1^2 + T_2^2}$	Шешілуі: $T = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5$ сек. Жауабы: 5 сек.
Табу керек: $T - ?$		



1. Серіппелі маятниктің циклдік жиілігін екі есе арттыру үшін оның қайсы параметрін неше есе арттыру керек?
2. Математикалық маятник ілінген жіптің ауытқу бұрышы қайсы заңға сәйкес өзгереді?
3. Қандай шарт орындалғанда математикалық маятниктің тербелістері гармониялық болады?

24-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: МАТЕМАТИКАЛЫҚ МАЯТНИКТИҢ КӨМЕГІМЕН ЕРКІН ТҮСУ ҮДЕУІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: Еркін түсу үдеуін математикалық маятниктің көмегімен анықтау әдісін меңгеру.

Керекті аспаптар мен жабдықтар: Математикалық маятник, зертхана-лық әмбебап штатив, секундомер, өлшеу таспасы.

Жұмысты орындау тәртібі:

1. Жіп мүмкіндігі барынша ұзынырақ етіп бекітіліп, оның ұзындығы өлшенеді. Шардың радиусы r анықталады. Алынған нәтиже кестеге жазылады. $l_1 = (l_{ip} + r)m$.

2. Шар тепе-теңдік күйінен онша үлкен емес бұрышқа ($6^\circ - 8^\circ$) ауытқытылып, қозғалысқа келтіріледі. Сол сәтте секундомер іске қосылады.

3. Математикалық маятниктің тербелістер саны саналады. Маятник $N_1 = 20$ рет тербелгенде, секундомер тоқтатылады.

4. Секундомердің көрсеткіші тіркеліп, кестеге жазылады.

5. $T = \frac{t}{n}$ -дан тербеліс периоды анықталады.

6. $g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}$ өрнегіне орай еркін түсу үдеуі есептеледі.

7. Маятник жібінің ұзындығын өзгертпей, тербелістер саны $N_2=30$ және $N_3=40$ күйлерін анықтау тәжірибесі нақ жоғарыдағыдай қайталанады.

8. Алынған нәтижелер негізінде маятниктің тербеліс периодының және еркін түсу үдеуінің мәндері анықталып, кестеге жазылады.

9. Алынған нәтижелер негізінде төмендегі кесте толтырылады.

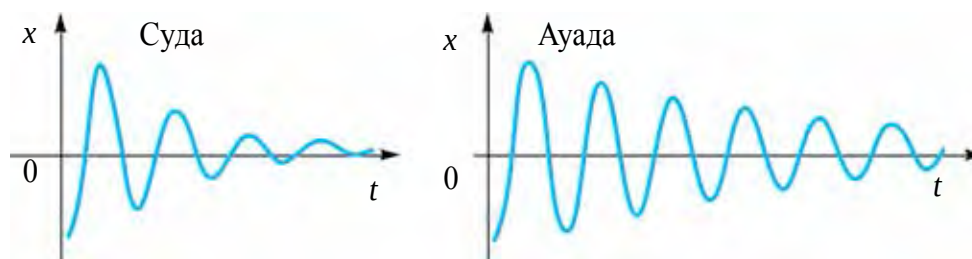
l_i , м	N_i	t_i , с	g_i , м/сек ²	$\bar{g}$, м/сек ²	Δg , м/сек ²	$\Delta \bar{g}$, м/сек ²	$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{g}}{\bar{g}} \cdot 100\%$
	20						
	30						
	40						



1. Неліктен маятниктің тербеліс периоды маятник шарының массасына тәуелді емес?
2. Жердің түрлі географиялық ендіктерінде осындай тәжірибе өткізілсе, нәтижелер әр түрлі болып шығатыны неліктен?
3. Математикалық маятник шарының өлшемдері өзгертілсе, оның тербеліс периоды қалай өзгереді?

25-тақырып. ЕРІКСІЗ ТЕРБЕЛІСТЕР. ТЕХНИКАДАҒЫ РЕЗОНАНС

Біре ортада болып жатқан еркін тербелістер сөнгіш болады (5.5-сурет). Өйткені тербеліс периодында тербелуші дене қоршаған ортадағы үйкеліске байланысты қарсылыққа кездеседі.



5.5-сурет.

Сол себепті еркін тербелістер іс жүзінде пайдаланылмайды.

Тербелістер сөнбеуі үшін пайдаланылған энергияны периодты түрде толтырып тұру керек. Бұл үшін тербелуші жүйеге сыртқы күш арқылы периодты әсер көрсетіп отыру қажет болады. Міне, сондай сыртқы күш әсер етіп тұратын қондырғының қарапайым макеті 5.6-суретте көрсетілген. Серіппеге ілінген жүкті төменге тартып тұрып, бірден босатып жіберсе, ол тербелмелі қозғалыс жасайды. Бұл кезде серіппе ілінген темір өзектің білігі айналдырылса, тербелістер сөнбейді. **Жүйенің периодты түрде сырттан әсер етіп тұратын күштің әсерімен болатын тербелістері еріксіз тербелістер деп аталады.**

Бұндай еріксіз тербелістерді туғызатын периодты айнымалы сыртқы күшті **мәжбүрлеуші күш** дейді.

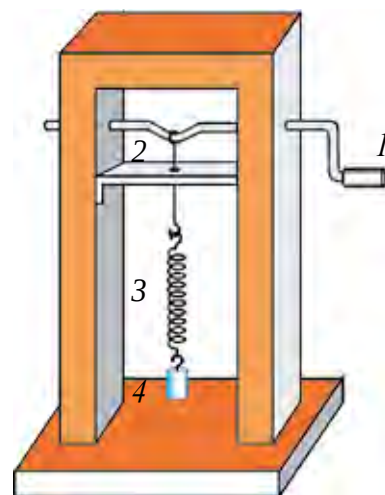
Еріксіз тербелістерге күнделікті тұрмыстан көптеген мысалдар келтіруге болады. Сен сүйіп тыңдайтын радиодағы, магнит таспасындағы, теледидардағы радиокернейлердің *мембранасы* одан өтетін токтың әсерімен тербеледі. Үйіңнің немесе сыныбыңның жанынан ауыр жүк тиелген машиналар өте қалса, терезе әйнектерінің сықырлағанын естисің. Ескі бетон қондырғыларды (іргетас, бағана) бөлшектеп, талқандайтын, тау жыныстарын қопаратын зырылдауық *пневматикалық балғалар* да периодты түрде әсер ететін сыртқы күштің ықпалымен жұмыс істейді. Еріксіз тербелістерді пайдалану немесе зиянды әсерлерін жою үшін оларды жан-жақты үйрену керек. 5.6-суреттегі қондырғыны пайдаланып, сыртқы мәжбүрлеуші күштің тербелетін жүйеде пайда болатын тербелістерге әсерін қарастырайық.

Жүк (4) байланған серіппенің (3) ұшы ілмекті (2) сымның ұшына ілінген. Ілмектің ұшы доға тәрізді болғандықтан, темір өзектің (1) садақ тәрізді иілген бөлігінде сырғанайды. Темір өзекті айналдыра бастасақ, жүкті серіппе тербелуге кіріседі.

Өзектің тұтқасын жылдамырақ айналдырсақ, жүктің тербелістері әуелі біраз артта қалғанымен, аздаң соң теңеседі. Сонда **тербелістер тұрақты** болады.

Бұл жерде өзек уақыт бірлігі ішінде неше рет айналса, жүкті серіппе де сонша рет айналады. Демек, **тербелуші жүйеде туындайтын еріксіз тербелістер мәжбүрлеуші күштің жиілігіне тең** болады екен.

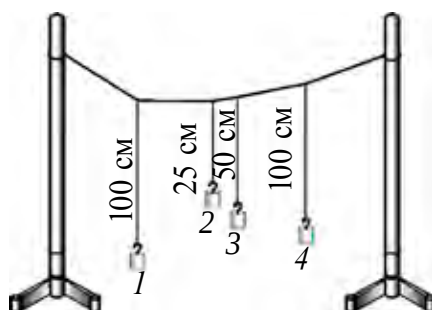
Еріксіз тербелістер *сөнбейтін тербелістер* болып саналады.



5.6-сурет.

Резонанс құбылысы

Енді тербелуші жүйеде болып жатқан тербелістер амплитудасының мәжбүрлеуші күшке қалай тәуелді болғанын қарастырайық. Бұл үшін қарапайым тәжірибе жүргіземіз. Ұзындығы 4–5 м жіпті бөлменің бір бұрышынан екінші бұрышына босандау етіп керіп қоямыз.



5.7-сурет.

Сосын оларға ұзындықтары әр түрлі жіпке ілінген 3–4 жүкті байлаймыз (5.7-сурет).

Бірінші жүк ілінген жіптің ұзындығын төртінші жүк ілінген жіптің ұзындығымен бірдей етіп таңдаймыз. Бірінші маятникті тепе-теңдік күйінен шығарып, бірден босатып жіберсек, ол тербеле бастайды. Оның тербелісі жіп арқылы басқа маятниктерге де өтіп, олар да бірте-бірте тербелмелі қозғалысқа келеді. Маятниктерде тұрақты тербелістер пайда болған соң екінші, үшінші және төртінші маятниктердің тербелісіне назар аударғанымызда, төртінші маятниктің амплитудасы ең үлкені екенін көреміз. Төртінші және бірінші маятниктердің ұзындықтары бірдей болғандықтан, олардың еркін тербелістер периоды (жиілігі) өзара тең болып шығады.

Демек, *еріксіз тербелістерде мәжбүрлеуші күштің жиілігі тербелуші жүйенің еркін тербелісінің жиілігіне теңелгенде, тербелістер амплитудасы ең үлкен болады, яғни резонанс туындайды.*

Сыртқы мәжбүрлеуші күштің жиілігі тербелуші жүйенің еркін жиілігіне тең болғанда, тербелістер амплитудасының шұғыл арту құбылысы резонанс деп аталады.

Резонанс кезінде амплитуданың артуына себеп болған—мәжбүрлеуші күштің бағыты мен тербелуші қозғалыс бағытының өзара сәйкес келуі.

Резонанс құбылысы техникада және тұрмыста кең пайдаланылады. Бұны сағаттардан, барлық түрдегі қоңыраулардан, сиреналардан, пневматикалық балғалардан және т.б. көруге болады.

Алайда резонанс құбылысы кей жағдайларда зиянды болатынын ұмытпауға тиіспіз.

Мысалы, адам өзен үстіне салынған аспалы көпірден өтіп бара жатқанда, ол тербеліп тұрады. Өтіп бара жатқан адамның баяу не жылдам жүруіне қарап, көпірдің тербелуі де жылдамдайды не баяулайды. Егер адымдау жиілігі көпірдің еркін жиілігіне сәйкес келіп қалса, көпірді ұстап тұрған темір арқандар үзіліп кетуі мүмкін.

Резонанс зиянды болған жағдайларда оның салдарын азайту мақсатымен тиісті шаралар қарастырылады. Кәсіпорындарда станок бөлшектерінің айналуы нәтижесінде резонанс туындамауы үшін ғимараттың іргетасы ауыр әрі үлкен етіп салынады. Автомобиль тербелістерін тез сөндіру үшін *амортизаторлар* орнатылады.

Автотербелістер. Сөнбейтін еріксіз тербелістерді туғызу үшін сыртқы периодты күштердің әсері қажет. Бірақ жүйедегі тербелістер сыртқы периодты күштерсіз де сөнбейтін болуы мүмкін. Егер еркін тербелетін жүйенің ішінде энергия көзі болса, бұл көзді тербелуші дене жоғалтқан энергияның орнын баса алатындай етіп энергияның келіп тұруын жүйенің өзі реттеп тұрса, бұндай жүйеде сөнбейтін тербелістер пайда болады.

Маятникті қарапайым сағаттар бұндай типтегі жүйенің ең қарапайым мысалы болып табылады. Бұл жүйенің белгілі бір энергия қоры, яғни жерден әлдеқандай биіктікке көтерілген жүктің потенциялық энергиясы немесе сығылған серіппенің энергиясы бар.

Энергия көзінен қамтамасыз етілетіндіктен, сөнбейтін тербелістер туғызатын жүйелер *автотербелісті жүйелер* деп аталады. Электрқоңырауды, адамның жүрегі мен өкпесін де автотербелісті жүйе деп санауға болады.

Жүйеде сыртқы периодты күштің әсерінсіз ішкі көздің әсерінде бола алатын сөнбейтін тербелістер *автотербелістер* деп аталады.

Еріксіз тербелістердің жиілігі сыртқы күштер жиілігімен бірдей болады. Автотербелістердің жиілігі мен амплитудасы жүйенің жеке ерекшеліктерімен белгіленеді. Автотербелістер амплитудасы сол тербелістерді туғызған бастапқы қысқа уақытты әсер (түрткі) шамасына тәуелді емес.



1. Еркін тербелістерді сөнбейтін тербелістерге айналдыру үшін не істеу керек?
2. Қандай тербелістерді еріксіз тербелістер дейді?
3. Резонанс құбылысы қандай жағдайда пайда болады?
4. Резонанстың пайдалы және зиянды болатын кездеріне мысалдар келтір.



Допты қолыңа алып, баскетболишыларға ұқсап жерге соғып ойна. Доптың қозғалысы қандай қозғалысқа жатады? Доптың жермен түйісу жиілігін және жоғары шапшу биіктігін өзгерт. Қандай жағдайда доптың қозғалысы тұрақты болатынына көңіл бөл.

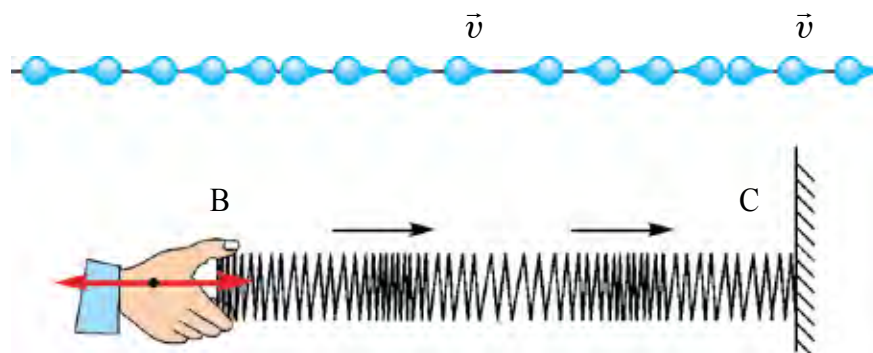
26-тақырып. МЕХАНИКАЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ҚОРШАҒАН ОРТАҒА ТАРАЛУЫ. УЛЬТРА ЖӘНЕ ИНФРАДЫБЫСТАРДЫ ТҰРМЫС ПЕН ТЕХНИКАДА ПАЙДАЛАНУ

Бізге белгілі болғанындай, бірер дененің қоршаған ортадағы тербелмелі қозғалысы сол дене тұрған ортаға беріледі. Егер тербеліс ауада болса, өзінің қозғалысын ауа бөлшектеріне береді. Ауа бөлшектерінің тербелмелі қозғалысы ауа бойлап барлық бағыттарға таралады. Бұл құбылыс сұйықтарда да, қатты денелерде де жүреді. Механикалық толқындар тек ауасыз жерде (вакуумда) ғана таралмайды.

Тербелістің қоршаған ортаға уақыт бойынша таралу үдерісі **толқын** деп аталады.

Жалпы алғанда, механикалық толқындар екі түрлі болады: бойлама және көлденең толқындар.

Толқын таралып жатқан ортада бөлшектердің тербелу бағыты толқынның таралу бағытымен бір білікте болса, бұндай толқынды **қума (бойлық) толқын** деп атайды.

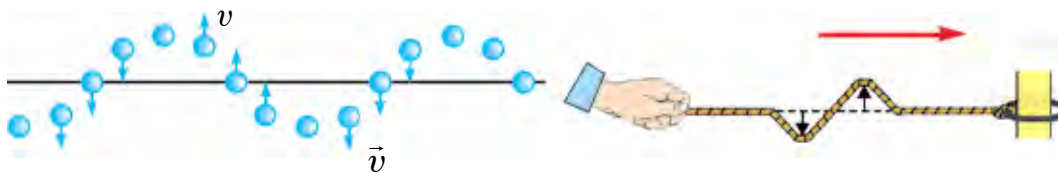


5.8-сурет.

Қума толқындар таралғанда орта сығылу және ұлғаю деформациясына ұшырайды (5.8-сурет). Сұйықтар мен газдарда бұндай деформация орта бөлшектерінің тығыздалуы яки сирексуі арқылы болады. Қума толқындар барлық ортада: қатты, сұйық және газ тәрізді орталарда таралуы мүмкін.

Қума толқындарға мысал ретінде созылмалы стерженьдегі толқынды немесе ауаға таралған дыбысты келтіруге болады.

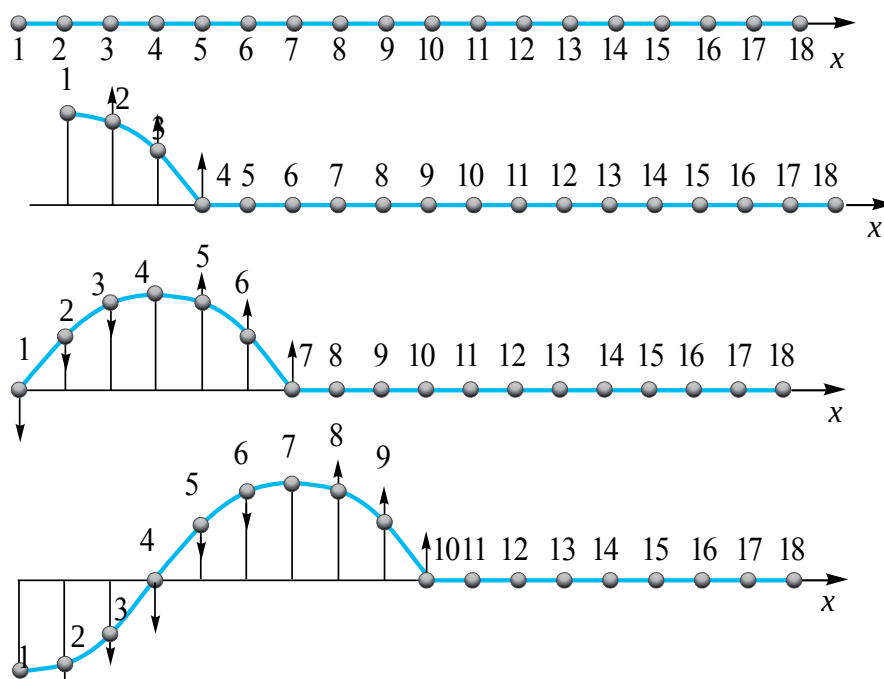
Толқын таралып жатқан ортада бөлшектердің тербелу бағыты толқынның таралу бағытына перпендикуляр болса, бұндай толқынды **көлденең толқын** дейді.



5.9-сурет.

Көлденең толқындар таралғанда ортаның бір қабаты екіншісімен салыстырғанда ығысады (ұйтқиды). Бұндай толқындар тараған кезде ортада дөңдер мен ойыстар пайда болады (5.9-сурет). Қатты денелерден айырмасы сол, сұйықтар мен газ қабаттарының ығысуында серпімділік қасиет болмайды. Соған орай көлденең толқындар тек қатты денелерде ғана тарай алады.

Көлденең толқынның тербелісті нүктеден нүктеге ұзату үдерісін егжей-тегжейлі қарастырайық. 5.10-суретте көлденең толқынның $\frac{1}{4} T$ уақыттағы жағдайы келтірілген.



5.10-сурет.

5.10-суретте бөлшектердің әлдеқандай моменттегі күйі цифрланған шарлар көрінісінде берілген. Шарлар бір-біріне жақын орналастырылғандықтан, олардың арасында өзара әсер күші бар. Егер бірінші шарды тербелмелі қозғалысқа келтірсек, шарлар арасындағы өзара әсерге байланысты басқа шарлар да оның қозғалысын қайталайды. Бірақ олардың қозғалысы

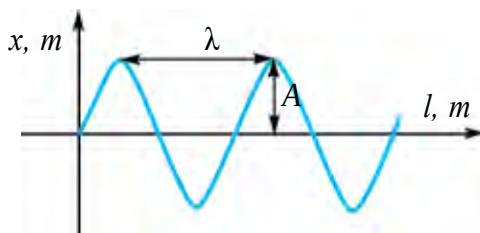
алдыңғысына карағанда аздап кешіккен (фаза тұрғысынан жылжыған) күйде болады.

Мысалы, төртінші шар бірінші шардан $\frac{1}{4}$ тербеліске артта болады. Жетінші шардың қозғалысы бірінші шардан $\frac{1}{2}$ тербеліске, оныншысы $\frac{3}{4}$ тербеліске артта қалады. Он үшінші шар бірінші шардан толық бір тербеліс артта қалады, яғни онымен бір фазада тербеледі.

Бір-біріне ең жақын аралықта орналасқан және бірдей фазада тербеліп жатқан екі нүкте арасындағы қашықтық *толқын ұзындығы* деп аталады.

Толқын ұзындығы гректің λ (“ламбда”) әрпімен белгіленеді. Бірінші және оныншы шар, екінші және он төртінші, үшінші және он бесінші шарлар арасындағы қашықтық бір толқын ұзындығына тең болады.

Демек, бір кезең ішінде толқын таралған қашықтық толқын ұзындығына тең болып шығады:



5.11-сурет.

$$\lambda = vT.$$

Бұл жерде v – толқынның таралу жылдамдығы (5.11-сурет). Тербелу кезеңінің жиілікке байланыстылығы $\nu = \frac{1}{T}$ ескерілсе, $\lambda = \frac{v}{\nu}$ болады. Бірлігі $[\lambda] = 1 \text{ m}$.

Желсіз тымық уақытта әуізге немесе су бетіне тас тастасақ, тас түкен нүктеден барлық жаққа бірдей тербеліс толқындары тарайды. Бұл толқындар шеңбер түрінде болғанымен, көптеген дөңдер мен ойыстардан тұратынын көреміз.

Домбыра ішегі тербелістерінің сол аспап бойлап таралуы қарапайым толқынға мысал бола алады.

Ондағы тербелістердің таралу жылдамдығы $v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ және сондықтан:

а) таралу жылдамдығы домбыра ішегінің керілу күші T -ға және оның сызықты тығыздығы $\rho = \frac{m}{l}$ -ға байланысты;

ә) ортаның серпінділігі қаншалықты үлкен болса, тербелістердің таралу жылдамдығы соншалықты үлкен болады.

Дыбыс және оның табиғаты. Серпінді ортада тербеліп жатқан толқындардың жиілігі 20 Гц -тен (кейбір әдебиеттерде 16 яки 17 Гц) 20 000 Гц -ке дейін болса, адам бұндай механикалық толқындарды есту мүшесі арқылы

сезеді. Бұл толқындар **дыбыс толқындары** немесе **дыбыс** деп аталады. Жиілігі 20 Гц -ден төмен толқындар инфрадыбыс деп аталады, бұны адам сезбейді.

Физиканың жиілігі 1 Гц-ден 10^{13} Гц-ге дейінгі толқындардың ерекшеліктерін зерттейтін бөлімі *акустика* деп аталады.

Дыбыс қума толқын болса, ортаның тығыздығына, оның ерекшеліктеріне байланысты жылдамдықпен таралады.

Ерекше атап өтетін жері, ортаның температурасы тұрақты болғанда, қысымның өзгеруі тығыздықтың өзгеруіне тура пропорционал және $\frac{P}{\rho} = \text{const}$ болғаны себепті, газдарда дыбыстың таралу жылдамдығы қысымға тәуелді болмайды.

Бірақ газдарда толқынның таралу жылдамдығы оның температурасына тәуелді. Ал қатты денелерде әрі қума, әрі көлденең дыбыстар тарала береді, сондықтан дыбыстың қума толқында таралу жылдамдығы $v_b = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, көлденең толқындағы таралу жылдамдығы $v_k = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ формуламен есептеледі.

Бұл жерде: E —ортаға арналған таралу модулі, G —ауытқу модулі. Қатты денелерде қума толқындардың таралу жылдамдығы көлденең толқындардың таралу жылдамдығынан екі есе дерлік үлкен, өйткені $E > G$.

Сол себепті біз жердің сілкінуін екі рет сезінеміз, өйткені жер сілкіну орталығынан біз тұрған жерге қума толқын бұрынырақ, ал көлденең толқын кешірек жетіп келеді.

Адам құлағының дыбысты сезу және есту саласы жиілігі 16 Гц-тен 20 000 Гц-ке дейінгі дыбыстарды қабылдай алады.

Жиілігі 20 кГц-тен жоғары дыбыс толқындары ультрадыбыстар деп аталады. Ультрадыбыстардың өзіне тән ерекшеліктері бар, яғни олар жарық сияқты ғарышта жіңішке сәуле көрінісінде таралады.

Ультрадыбыстар төмендегі салаларда кең қолданылады:

- 1) металдар ішіндегі жарықтарды, су астындағы заттарды, сондай-ақ теңіз балықтарының табыны орналасқан жерлерді анықтауда;
- 2) қатты, сұйық және газ күйіндегі денелердің физикалық қасиеттерін зерттеуде;
- 3) өте қатты және морт денелерді механикалық өңдеу мен тазалауда;
- 4) медицинада бүйрек, бауыр, жүктілік және сол сияқты адамның ішкі мүшелерінің күйін зерттеуде т.б.

Жарғанаттар өзі шығаратын ультрадыбыстардың қарсысындағы бөгеттен шағылып қайтқан бөлігін қабылдап, бөгетті сезгендіктен, оған соғылмайды.



1. Қума және көлденең толқындар бір-бірінен несімен ерекшеленеді?
2. Қума толқындар тараған кезде орта қандай деформацияға ұшырайды?
3. Толқын ұзындығын қалай анықтауға болады?

5-жаттығу

1. Математикалық маятник 1 мин 40 сек ішінде 50 рет тербелді. Маятниктің тербелу ұзындығы мен циклдік жиілігін тап. (Жауабы: 2 сек, $\pi \frac{1}{\text{сек}}$).

2. Тербелісті қозғалыс теңдеуі $\pi=0,06 \cos 100\pi t$ көрінісінде берілген. Теңдеудің қозғалыс амплитудасын, жиілігі мен ұзындығын табындар (Жауабы: 6 см, 50 Гц, 20 мсек).

3. Нүкте гармониялық тербелмелі қозғалыс жасайды. Ең үлкен ығысу $A=10$ см, жылдамдықтың ең үлкен мәні $v_m=20$ см/с. Тербелістердің циклдік жиілігі мен нүктенің ең жоғары жылдамдығы табылсын. (Жауабы: 2 рад/сек; 0,4 м/сек²)

4. Нүкте амплитудасы $A=0,1$ м, кезеңі $T=2$ сек болған гармониялық тербелмелі қозғалыс жасап барады. Ығысу $x=0,06$ м болған моменттегі жылдамдық пен тербеліс табылсын. (Жауабы: 0,25 м/сек; 0,6 м/сек²)

5. Кезеңнің қандай бөлігінде нүктенің жылдамдығы оның ең жоғары мәнінің жартысына тең болады? Гармониялық тербелістердің бастауыш фазасы нөлге тең. (Жауабы: $\frac{1}{12} T$).

6. Материялық нүкте амплитудасы $A=5$ см гармониялық тербелмелі қозғалыс жасап барады. Егер нүктеге $F=0,2$ Н серпінділік күші әсер етсе, нүктенің кинетикалық, потенциялық және толық энергиясы табылсын.

7. Бірлігі 100 Н/м, жүгінің массасы 10 г-дық серіппелі маятниктің тербеліс жиілігі қандай болады? (Жауабы: 16 Гц)

8. Егер серіппелі маятник серіппесінің жартысы кесілсе, оның тербелістерінің жиілігі қалай өзгереді?

9. Математикалық маятниктің ұзындығы 2,5 м, оған ілінген шардың массасы 100 г. Тербеліс кезеңі қандай болады? (Жауабы: 3,14 сек).

10. Түбінде кішкене тесігі бар сулы шелек арқанға ілінген күйі тербеліп тұр. Су азайған сайын тербеліс кезеңі қалай өзгереді?

11. Бірдей уақыт аралығында бірінші маятник 50 рет, екінші маятник 30 рет тербелді. Егер олардың біреуі екіншісінен 32 см қысқа болса, маятниктердің ұзындықтары қандай екенін тап.

12. Массасы 20 кг оқушы әткеншек тебуге. Әткеншек тепе-теңдік қалпынан ең жоғарысы 1 м-ге ауытқып, минутына 15 рет тербеліп жатқан болса, тербелу кезеңінің $1/12$ бөлігіндегі кинетикалық және потенциялық энергияны тап.

V тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

1. Тербелістер амплитудасы 2 есе арттырылса, оның кезеңі қалай өзгереді?

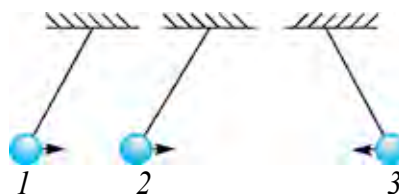
- A) 2 есе артады; B) 2 есе төмендейді;
C) 4 есе артады; D) өзгермейді.

2. Математикалық маятниктің ұзындығы 16 есе азайтылса, оның еркін (дербес) тербеліс кезеңі қалай өзгереді?

- A) 16 есе азаяды; B) 16 есе артады;
C) 4 есе артады; D) 4 есе азаяды.

3. Шарлар өзара қандай фазада тербеліп тұр?

- A) 1 мен 3 қарама-қарсы, 2 мен 3 бірдей фазада;
B) 1 мен 2 қарама-қарсы, 2 мен 3 бірдей;
C) 1 мен 2 бірдей, 2 мен 3 қарама-қарсы;
D) 1 мен 2 қарама-қарсы, 1 мен 3 бірдей.



4. Қума толқындар қандай орталарда таралады? 1–қатты денелерде; 2–сұйықтарда; 3–газтәрізді заттарда.

- A) тек 1; B) тек 2;
C) тек 3; D) 1, 2 және 3-те.

5. Сөйлемді толықтыр. “Тербелістер таралып жатқан ортада бірдей фазада тербеліп жатқан екі нүкте арасындағы ең ... деп аталады”.

- A) ... жақын қашықтық толқын ұзындығы;
B) ... үлкен ығысу амплитуда;
C) ... ұзақ қашықтық толқын ұзындығы;
D) ... үлкен тербелістер саны жиілік.

6. Сөйлемді толықтыр. “Көлденең толқындар ... толқындары болып табылады”.
- A) ... сығылу; B) ... ұлғаю;
C) ... сығылу-ұлғаю; D) ... ығысу.
7. Ортада таралып жатқан толқынның кезеңі 10 сек, толқын ұзындығы 5 м болса, толқынның таралу жылдамдығы неге тең болады?
- A) 0,5 м/сек; B) 2 м/сек; C) 50 м/сек; D) 5 м/сек.
8. Егер материялық дене тербелістерінің амплитудасы 4 см болса, оның бір толық тербеліс барысында басып өткен жолы қандай (см) болады?
- A) 0; B) 4; C) 8; D) 16.
9. Циклдік жиілік деп нені айтады?
- A) 1 секундағы тербелістер саны;
B) бір тербеліске жұмсалған уақыт;
C) 2π секундағы тербелістер саны;
D) бұрыштық жылдамдықтың 1 секундағы өзгерісі.
10. Бұрандалығы 160 Н/м болған серіппеге 400 г жүк ілінді. Пайда болған маятниктің тербелу жиілігі (Гц) қандай?
- A) 1,6; B) 3,2; C) 5,4; D) 20.

V тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Тербелмелі қозғалыс	Кез келген қайталанатын қозғалыс.
Тербелістер кезеңі	Бір рет толық тербелуге жұмсалған уақыт. $[T]=1$ сек.
Еркін тербелістер	Тек бастапқы энергияның есебінен пайда болатын тербелістер.
Тербеліс үстіндегі дененің ығысуы	Тербеліп жатқан дененің кез келген сәттегі тепе-теңдік қалпына сәйкес орналасқан орнын көрсететін шама.
Тербеліс жиілігі	Уақыт бірлігі ішіндегі тербелістер саны. $\nu=1/T$; $[\nu]=1/\text{сек}=1$ Гц.
Серіппелі маятник	Бұрандалығы k болған серіппеге m массалы жүк ілініп, еркін тербеле алатын жүйе: $T=2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

Математикалық маятник	Созылмайтын, салмақсыз жіпке ілінген, өлшемдері жіп ұзындығымен салыстырғанда есепке алынбайтындай шағын шардан тұратын тербелетін жүйе. $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.
Сөнетін тербелістер	Уақыт өткен сайын амплитудасы азая беретін тербелістер. Еркін тербелістер – сөнетін тербелістер.
Резонанс құбылысы	Сырттан мәжбүрлейтін күш жиілігі тербеліс жүйесінің еркін (дербес) тербелістері жиілігіне тең болғанда тербелістер амплитудасының шұғыл артуы.
Қума толқындар	Толқын таралып жатқан орта бөлшектерінің тербеліс бағыты мен толқынның таралу бағыты өзара сәйкес келетін толқындар. Қатты, сұйық және газтәріздес орталарда таралады.
Көлденең толқындар	Толқын таралып жатқан орта бөлшектерінің тербеліс бағытымен толқынның таралу бағыты өзара перпендикуляр болған толқындар. Олар тек қатты денелерге ғана таралады.
Толқын ұзындығы	Толқынның бір кезең ішінде басып өткен қашықтығы: $\lambda = vT$. Бірлігі $[\lambda] = 1 \text{ м}$.

VI тарау. ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ

27-тақырып. ЖЫЛУ ҮДЕРІСТЕРІНІҢ ҚАЙТЫМСЫЗДЫҒЫ. ТЕРМОДИНАМИКА ЗАҢДАРЫ

Термодинамикалық үдерісте жүйе бастапқы күйден аралық күйлер арқылы соңғы күйге өтеді. Бұл өту қайтымды және қайтымсыз болуы ықтимал.

Бірер күйде тұрған жүйенің соңғы күйден бастапқы күйге сол аралық күйлер арқылы кері тізбекпен өтуін қайтымды үдеріс дейді.

Үйкеліссіз болатын барлық таза механикалық үдерістер қайтымды үдеріске мысал бола алады. Ұзын ілгекке ілінген ауыр маятниктің тербелісі де қайтымды үдеріске жақын. Бұл жағдайда кинетикалық энергия іс жүзінде толығымен потенциялық энергияға айналады. Бұның кері жағы да орынды. Ортаның қарсылығы шағын болғандықтан, тербеліс амплитудасы жайлап төмендейді де, тербеліс үдерісі ұзаққа созылады.

Белгілі бір қарсылыққа ұшырайтын яки ыстық денеден суық денеге жылу ұзату арқылы көрінетін кез келген үдеріс қайтымсыз болады. Іс жүзінде барлық нақты үдерістер қайтымсыз үдерістер болып табылады. Жоғарыда келтірілген маятник мысалындағы үдеріс те қайтымсыз, өйткені үйкелісті ешқашан жоя алмайсың. Сол себепті механикалық энергияның бір бөлігі әрқашан да жылуға айналады және қайтымсыз үдеріс ретінде қоршаған ортаға шашылып кетеді. Демек, айналадағы денелерде өзгеріс болады, сол себепті бұл үдеріс қайтымсыз деп аталады.

Сондай-ақ ыстық денеден суық денеге жылу мөлшерінің ұзатылу үдерісі де қайтымсыз үдерістерге мысал бола алады. Жалпы алғанда, табиғатта қайтымды үдерістер жоқ. Нақты үдерістердің барлығы да қайтымсыз. Қайтымды үдерістер дегеніміз – идеалдандырылған ұғым ғана.

Ішкі энергия. Термодинамикалық жүйе көптеген молекулалар мен атомдардан құралғандығын сен жақсы білесің. Молекулалар әрқашан қозғалыста болғандықтан, онда ішкі энергия, яғни кинетикалық энергия бар.

Сонымен қатар заттың молекулалары арасындағы өзара әсердің күштілігі себепті молекулалар өзара әсердің потенциалық энергиясына да ие болады.

Жүйенің барлық молекулаларының бейберекет қозғалысының кинетикалық энергиялары мен олардың өзара әсер потенциалық энергияларының жиынтығы термодинамикалық жүйенің ішкі энергиясы деп аталады.

Дененің ішкі энергиясын механикалық энергиямен шатастырмау керек, өйткені механикалық энергия дененің басқа денелерге сәйкес қозғалысы мен орналасуына байланысты болса, сол дененің ішкі энергиясы денені құрайтын бөлшектердің қозғалысына және бір-біріне сәйкес орналасуына байланысты.

Ішкі энергия термодинамикалық жүйенің дара мәнді функциясы болып табылады, яғни жүйенің әрбір күйіне ішкі энергияның нақты бір мәні тура келеді, дегенмен ол жүйенің бұл күйге қалай келіп қалғанына байланысты емес. Егер газды қыздырсақ, молекулалар мен атомдардың жылдамдықтары да арта түседі. Ал бұл ішкі энергияның артуына себеп болады. Егер қысым немесе салыстырмалы көлем өзгертілсе, бұл да ішкі энергияның өзгеруіне соқтырады, өйткені молекулалар арасындағы қашықтық өзгереді. Демек, олардың өзара әсер потенциалық энергиялары да өзгереді.

Қалыпты жағдайда жүйенің ішкі энергиясы $T=0$ К-да нөлге тең деп саналады, бірақ бұл айрықша маңызды емес. Себебі жүйе бір күйден екінші күйге өткенде ішкі энергияның өзгеруі ΔU ерекше маңызды болады.

Термодинамиканың бірінші заңы. Бұған мысал ретінде қыздырылып жатқан шәйнекті алып көрейік. Шәйнек алып жатқан жылудың мөлшері Q ішіндегі судың қызуына, яғни судың ішкі энергиясының артуына ΔU және су буының шәйнек қақпағын көтергенде сыртқы күштерге қарсы (қақпақтың ауырлық күші) орындалатын A күшке жұмсалады. Бұл үдеріс үшін энергияның сақталу және айналу заңы

$$Q = \Delta U + A \quad (6.1)$$

көрінісіне ие болады. Бұл—термодинамиканың бірінші заңының математикалық сипатталуы.

Термодинамикалық жүйеге берілетін жылу мөлшері оның ішкі энергиясының артуы мен сыртқы күштерге қарсы орындалған жұмысының жиынтығына тең.

Егер жүйеге жылу мөлшері беріліп жатқан болса, Q оң, егер жүйеден жылу мөлшері алынып жатқан болса, Q теріс өрнекпен алынады. Сондай-ақ жүйе сыртқы күштерге қарсы жұмыс жүргізіп жатқан болса, A жұмыс оң, ал сыртқы күштер жүйеге қарсы жұмыс жүргізіп жатқан болса, A жұмыс теріс болады.

Термодинамиканың бірінші заңы **1-текті мәңгі двигатель (лат. *перпетуум мобиле*)** жасау мүмкін еместігін тұжырымдайды. 1-текті “перпетуум мобиле” негізінде тең мөлшерде энергия жұмсамастан жұмыс орындай алатын машина жасау жөнінде пікір өрбітіледі. Ал энергияның сақталу және айналу заңы болған термодинамиканың бірінші заңында табиғаттағы барлық үдерістерде энергия өзінен-өзі пайда болмайды, жоғалмайды да, тек бір көріністен басқа көрініске айналуы мүмкін деп атап көрсетіледі. Термодинамиканың бірінші заңы былайша да сипатталады:

Жүйе бір күйден екінші күйге өткенде ішкі энергияның өзгеруі сыртқы күштердің жұмысы (A') мен жүйеге берілген жылу мөлшерінің (Q) жиындысына тең болады:

$$\Delta U = Q + A'. \quad (6.2)$$

Термодинамиканың бірінші заңы энергияның сақталу және айналу заңын бейнелесе де, термодинамикалық үдерістің орын алу бағытын көрсете алмайды. Мәселен, бірінші заң жылу мөлшерінің жылы денеден салқын денеге өту мүмкіндігі қандай болса, салқын денеден жылы денеге өту мүмкіндігі де сондай деп көрсетеді. Ал шынтуайтында “Табиғатта өзінен-өзі қандай үдерістер туындауы мүмкін?” деген сұрақ пайда болады. Бұған термодинамиканың екінші заңы жауап береді.

Термодинамиканың екінші заңы. Бұл заң сипаттамасының бірнеше түрі бар, олардың ең қарапайымы болып саналатын Клаузиус сипаттамасын келтірейік.

|| **Жылу қоршаған ортада ешқандай өзгеріс туғызбай салқын денеден жылы денеге өздігінен ауыса алмайды.**

Іс жүзінде шексіз үлкен мұхит суларындағы жылу өздігінен температурасы төмендеу денеге ғана өтуі мүмкін. Жылуды температурасы төмен денеден температурасы жоғары денеге өткізу үшін қосымша жұмыс орындау керек. Сонымен қатар жылу мөлшері жұмысқа толық айналмай, бір бөлігі қоршаған ортаны жылытуға жұмсалады.

Осы тұрғыдан алғанда, Планктың мына сипаттамасы назар аударуға тұрады: табиғатта жылу мөлшері толығымен жұмысқа айналатын үдеріс болуы мүмкін емес.

Жылуды жұмысқа айналдыру үшін қыздырғыш және салқындатқыш болуға тиіс. Барлық жылу машиналарында қыздырғыштан салқындатқышқа берілетін энергияның бір бөлігі ғана пайдалы әсерге айналады. Онда жылу машиналарының ПӘК қандай шамаларға байланысты және оны арттыру үшін не істеу керек деген сұрақ туылады. Бұл сұраққа термодинамиканың екінші заңының Карно сипаттамасы жауап береді: **идеал жылу машинасының**

пайдалы эсер коэффициенті жылу беруші мен жылу алушы температураларының айырмасымен ғана анықталады.

Термодинамика заңдары іс жүзінде қандай жылу машиналарын жасауға болатыны және олардың ПӘК-ін арттыру үшін нелерге назар аудару керектігі туралы бағыт-бағдар береді.

2-текті мәңгі двигатель (“перпетуум мобиле”). 2-текті мәңгі двигатель мұхит суларындағы көлемді мөлшердегі энергияны жұмыс орындамай-ақ пайдалануға болады деген идеяға негізделген. Ал термодинамиканың екінші заңы жылу мөлшері өздігінен тек жылы денеден ғана салқын денеге өтуі мүмкін, ал керісі үшін қосымша жұмыс орындау қажет деп атап көрсетеді. Бұл тұжырым назарымызды 2-текті мәңгі двигатель жасау мүмкін еместігіне аударады.

Егер 2-текті мәңгі двигательді жасау мүмкін болғанда, адамзат өте үлкен энергия көзіне ие болатын еді. Мұхиттардағы жалпы көлемі 10^{21} кг судың температурасын 1°C -ге төмендетсе, бұл 10^{24} Дж жылу мөлшерін айырып алуға мүмкіндік беретін еді. Егер осыншама энергия беретін көмірді теміржол составына тиесек, оның ұзындығы 10^{10} км-ді құрайтын болады. Ал бұл Күн жүйесінің диаметрінен де артық қашықтыққа тең.



1. Термодинамиканың бірінші заңы үдерістің орын алу бағытын көрсетпе ала ма?
2. Термодинамиканың екінші заңының сипаттамаларын айт.
3. Термодинамиканың екінші заңының маңызы неде?
4. Табиғатта жылу мөлшері толығымен жұмысқа айналатын үдеріс болуы мүмкін бе?
5. Жылу машинасының пайдалы жұмыс коэффициенті нелерге байланысты?

28-тақырып. АДИАБАТТЫҚ ҮДЕРІС. ЖЫЛУ МАШИНАСЫНЫҢ ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІ. КАРНО ЦИКЛІ

Адиабаттық үдеріс.

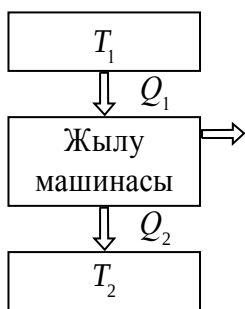
Сыртқы ортадан жылу алмай, не оған жылу бермей өтетін үдеріс адиабаттық үдеріс деп аталады.

Адиабаттық үдеріске өте шапшаң өтетін үдеріс мысал бола алады. Мәселен, газ жедел сығылғанда орындалған жұмыс оның жылуының, яғни ішкі энергияның артуын туғызады. Жылудың артуы нәтижесінде айналаға жылу мөлшері таралуы үшін белгілі бір уақыт керек. Сондықтан да $Q = 0$. Іштен жану двигателінде жанармай қоспасының жануы адиабаттық үдеріске мысал болады.

Адиабаттық үдеріс үшін термодинамиканың бірінші заңы төмендегідей көріністе болады:

$$\Delta U + A = 0 \quad \text{немесе} \quad A = -\Delta U, \quad (6.3)$$

яғни адиабаттық үдерісте жұмыс ішкі энергияның өзгеруі есебінен орындалады.



6.1-сурет.

Жанармайдың ішкі энергиясын механикалық энергияға айналдырып беретін машиналар жылу машинасы деп аталады.

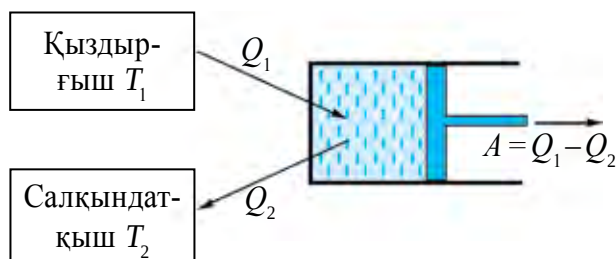
Жылу машинасының жұмыс істеу қағидаты 6.1-суретте көрсетілген. Бір циклде T_1 температуралы қыздырғыштан Q_1 жылу мөлшері алынып, T_2 температуралы салқындатқышқа Q_2 жылу мөлшері бөлінеді және $A = Q_1 - Q_2$ мөлшердегі жұмыс орындалады. 6.2-суретте жылу машинасының құрылысы көрсетілген.

Кез келген двигатель үш бөліктен тұрады: жұмыстық зат (газ яки бу), қыздырғыш және салқындатқыш. Қыздырғыштан Q_1 жылу мөлшерін алған жұмыстық зат ұлғайып, жұмыс орындайды. Отынның жануы нәтижесінде қыздырғыштың температурасы T_1 тұрақты болып қалады.

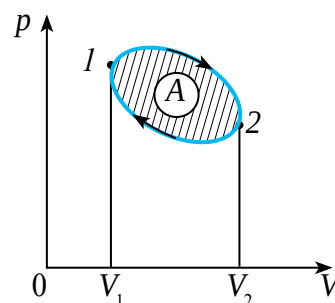
Сығылған кезде жұмыстық зат Q_2 жылу мөлшерін T_2 температуралы салқындатқышқа береді. Жылу двигателі циклді түрде жұмыс істеуге тиіс.

Жүйе бірқатар күйлерден өтіп, бастапқы күйіне қайтатын үдерісті айналма үдеріс немесе цикл дейді (6.3-сурет). Сағат тілінің айналу бағытымен жүретін үдеріс (газ алдымен ұлғаяды, сосын сығылады) оң цикл, ал сағат тілінің бағытына қарама-қарсы бағытпен (газ алдымен сығылады, сосын ұлғаяды) жүретін үдеріс теріс цикл деп аталады. Жылу машиналары

оң цикл бойынша, ал салқындатқыштар теріс цикл негізінде жұмыс істейді. Цикл аяқталғанда жұмыстық зат өзінің бастапқы күйіне қайтады, яғни оның ішкі энергиясы бастапқы мәніне ие болады.



6.2-сурет.

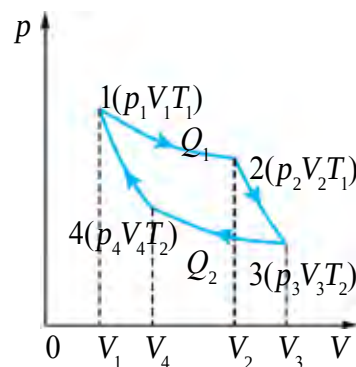


6.3-сурет.

Карно циклі – өзара кезекті түрде ауысып отыратын екі изотермиялық адиабаттық үдерістен тұратын қайтымды айналма жылу үдерісі болып табылады (6.4-сурет).

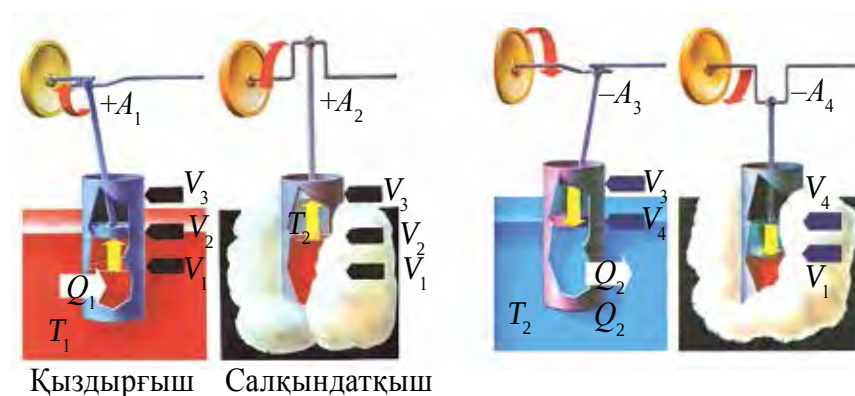
Карно циклі деп аталатын екі изотермиялық және екі адиабаттық үдерістерден тұратын циклді 6.5-суретте келтірілген тірсекті вал мен шатунь орнатылған поршеньді цилиндр мысалынан көруге болады.

1. Цилиндрдегі поршень ең төменгі күйде, газ қысымы V_1 -ді құрайды. Цилиндр T_1 температуралы қыздырғышы бар ыдысқа орналастырылған. Бастапқы күйдегі газдың температурасы T_1 , қысымы p_1 және көлемі V_1 болсын, бұл үдерісті 6.4-суреттегі pV диаграммасында газдың бастапқы күйін 1 деп белгілейміз. T_1 температуралы қыздырғыштан цилиндрге Q_1 жылу мөлшері беріледі және газдың қыздығыштан алып жатқан жылу мөлшері есебінен оның изотермиялық көлемі V_2 -ге дейін ұлғаюы жүзеге асады. Соңында газдың екінші күйдегі параметрлері p_2 , V_2 , T_1 болады. Бұл күйде газ A_1 жұмыс орындайды. 6.4-суреттегі pV диаграммасында газдың изотермиялық ұлғаюы 1–2 изотермамен көрсетілген.



6.4-сурет.

2. Ұлғаюдың екінші адиабаттық кезеңінде Q_1 жылу мөлшері азайса да, поршень V_2 -ден V_3 -ке дейін ұлғаяды. Газдың ішкі энергиясы есебінен поршень A_2 жұмыс орындайды да, газдың температурасы төмендейді. 6.4-суреттегі pV диаграммасында газдың адиабаттық ұлғаюы 2–3 адиабатамен көрсетілген, газдың бұл күйдегі параметрлері p_3 , V_3 , T_2 болады.



6.5-сурет.

3. Газдың изотермиялық сығылуын жүзеге асыру үшін цилиндр T_2 салқындатқышқа орналастырылады да, поршень сығылады, газ көлемі V_3 -тен V_4 -ке дейін төмендей бастайды. Бұл үдеріс изотермиялық болуы үшін A жұмыс толығымен жылуға айналып, газ Q_2 жылу мөлшерін салқындатқышқа береді, 6.5-э суреттегі pV диаграммада газдың изотермиялық сығылуы 3-4 изотермамен көрсетілген, газдың бұл күйдегі параметрлері p_4 , V_4 , T_2 болады.

4. Циклдің соңғы бөлігінде газ адиабаттық сығылады да, поршень газ көлемін V_4 -тен V_1 -ге дейін төмендетеді. Бұнда орындалған жұмыс газ температурасын бастапқы дәрежесіне көтеруге жұмсалады және жүйенің ішкі энергиясы артады. 6.5-суреттегі pV диаграммада газдың адиабаттық сығылуы 4-1 адиабатамен көрсетілген, газдың бұл күйдегі параметрлері p_1 , V_1 , T_1 болады, яғни бастапқы күйдегі мәніне ие болады.

Осылайша идеал газ өзінің бастапқы күйіне қайтады және ішкі энергиясын толық қалпына келтіреді. Цикл барысында идеал газ қыздырғыштан Q_1 жылу мөлшерін алады да, салқындатқышқа Q_2 жылу мөлшерін береді. Термодинамиканың бірінші заңына орай, $Q_1 - Q_2$ жылу мөлшері жұмысты орындауға жұмсалады және бұл жұмыс сандық мәні тұрғысынан циклді қоршап тұрған бетке тең болады.

Жылу машинасының пайдалы әсер коэффициенті. Жылу машинасының немесе Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) деп төмендегі шама айтылады:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}. \quad (6.4)$$

Егер жылу машинасының орындаған жұмысы есепке алынса, яғни $A = Q_1 - Q_2$ болса, онда

$$\eta = \frac{A}{Q_1}. \quad (6.5)$$

Сондай-ақ Карно циклінің ПӘК-ін қыздырғыштың T_1 және салқындатқыштың T_2 температуралары арқылы да өрнектеуге болады:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (6.6)$$

Демек, идеал жылу машинасының ПӘК-і жұмыстық заттың түріне байланысты болмай, қыздырғыш пен салқындатқыштың температураларымен ғана анықталады.

(6.6) өрнектен тағы мынадай тұжырымдар келіп шығуы мүмкін:

1) жылу машинасының ПӘК-ін көтеру үшін қыздырғыштың температурасын арттыру, ал салқындатқыштың температурасын төмендету керек;

2) жылу машинасының ПӘК-і әрқашан 1-ден кіші болады.

(6.6) ға сәйкес Карно ПӘК туралы теорема жазған. Қыздырғыш пен салқындатқыштың берілген температураларында кез келген двигателдің ПӘК Карно циклінің ПӘК-інен үлкен болмайды.



1. Жылу машинасы деп қандай құрылғыны айтады?
2. Карно циклі деп нені айтады?
3. Жылу машинасының пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) қалай анықталады?
4. ПӘК жұмыстық заттың түріне тәуелді ме?
5. Жылу машинасының ПӘК-ін арттыру үшін не істеу керек?

29-тақырып. ЖЫЛУ ДВИГАТЕЛЬДЕРІНІҢ АДАМ ӨМІРІНДЕГІ МАҢЫЗЫ. ЖЫЛУ ДВИГАТЕЛЬДЕРІ ЖӘНЕ ЭКОЛОГИЯ

Жылу двигательдері. Жылу двигательдеріне бу машинасы, бу турбинасы, іштен жану двигателі және реактивтік двигательдер жатады.

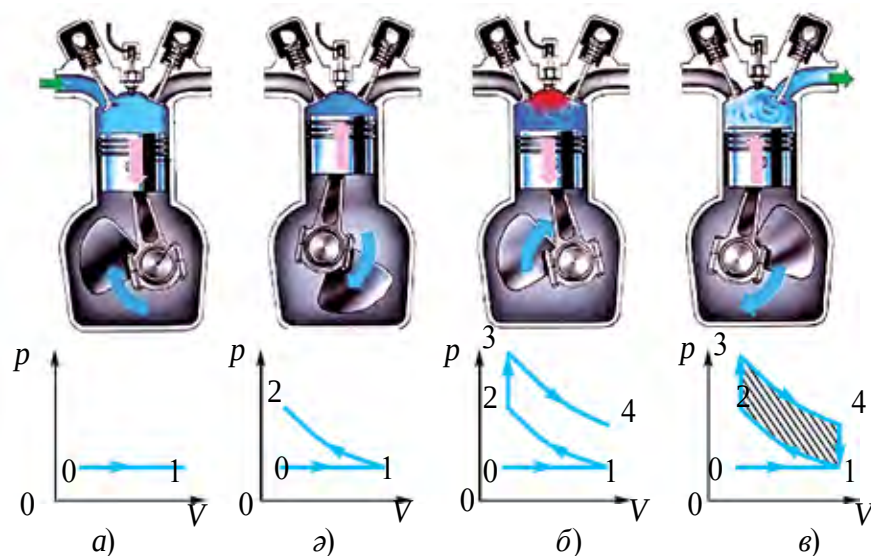
Бу машинасы. Бу машиналары мен бу турбиналарында қыздырғыш міндетін бу қазаны, жұмыстық зат міндетін бу, ал салқындатқыштың міндетін атмосфера яки пайдаланылған буды салқындататын қондырғы–конденсатор атқарады.

Іштен жану двигателі. Іштен жану двигателінде қыздырғыш пен жұмыстық зат міндетін жанармай, ал салқындатқыш міндетін атмосфера өтейді.

Қалыпты жағдайда отын ретінде бензин, спирт, керосин және дизель майы қолданылады. Арнаулы қондырғы (мысалы, бензинді двигательдерде карбюратор) көмегімен жанармай мен ауа қоспа түрінде әзірленіп, цилиндрге

беріледі. Қоспа цилиндрде жанады. Ал жану өнімдері атмосфераға шығарылады. Енді кейбір түрдегі двигательдерге толығырақ тоқаталайық.

Карбюраторлы двигатель. Төрт тактілі карбюраторлы двигательдің жұмыс істеу қағидаты мен жұмыс диаграммасын қарастырайық (6.6-сурет). Сыртқы күштердің әсерімен поршень төмен қарай қозғалғанда (6.6-а сурет) енгізу клапаны ашылып, жұмыстық қоспа цилиндрге түседі.



6.6-сурет.

Үдеріс атмосфералық қысым астында изобара түрінде жүреді. Поршень ең төменгі күйге жеткенде енгізу клапаны жабылып, бірінші такт (сору такты) аяқталады: бұл үдеріс графикте 0–1 түзу сызығымен көрсетілген. Екінші (сығу) тактісі де (6.6-а сурет) сыртқы күштің әсерімен жүзеге асады.

Екі клапан да жабық болғандықтан, газ адиабаттық түрде қызады. Бұл үдеріс графиктегі 1–2 сызығына тура келеді. Үшінші такт–жұмыс үдерісінде ұшқындап жану (6.6-б сурет). Поршень ең жоғары күйге жеткенде от алдыратын свеча ұшқыны қоспаны тұтандырады да, газдың қысымы күрт артады. Графикте бұл 2–3 изохориялық үдеріске тура келеді. Клапан жабық тұрып, поршень төмен қарай қозғалады, яғни адиабаттық түрде ұлғаяды. 3–4 сызық жұмыстық жол тактісіне тура келеді (6.6-б сурет). Көрініп тұрғанындай, бұл тактіде газдың қысымы төмендейді, көлемі артады, температурасы төмендейді. Бұл күйде орындалған жұмыс оң болады да, ол газдың ішкі энергиясының азаюы есебінен орындалады. Төртінші шығару тактісі 6.6-в суретте бейнеленген. Поршень ең төменге жеткенде шығару клапаны ашылады да, жану өнімдері шығару қондырғысы арқылы қоршаған

ортаға шығарып тасталады. Газдың қысымы төмендейді және такт соңында атмосфера қысымына тең болып қалады. Графикте осынау изохориялық үдеріс 4–1 сызықпен көрсетілген. Поршень маховиктің энергиясы есебінен жоғарыдағы күйіне қайтады да, такт аяқталады.

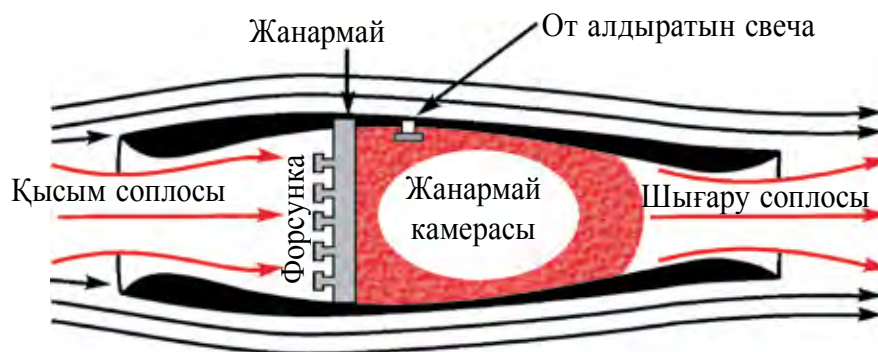
Жабық үдерісте орындалған жұмыс үдерістер сызығымен бөлінген, штрихталған пішіннің бетіне тең болады. Графикті талдау көрсеткеніндей, 3–4 бөлімдегі ұлғаю 1–2 бөлімдегі ығысуға сәйкес үлкенірек қысыммен жүзеге асады. Нақ осының нәтижесінде двигатель пайдалы жұмыс орындайды. 3–2 және 4–1 изохориялық үдерістерде ($V = \text{const}$) жұмыс нөлге тең және жоғарыда айтылғанындай, пайдалы жұмыс адиабаттық ұлғаю мен кішіреюдің айырмасымен айқындалады.

Практикада іштен жану двигательдерінің ПӘК 20–30%-ды құрайды. Олардың ПӘК-ін арттыру үшін қоспаны көбірек сығу керек. Бірақ іштен жану двигательдерінде жанармай қоспасын өте қатты сығуға болмайды, өйткені сығылған жанармай қызып, өздігінен тұтанып кетуі ықтимал. Ал бұл двигательдің жұмыс қағидатын бұзады.

Дизель. Неміс инженері Дизель жоғарыдағы қиыншылықтардан ада және ПӘК-і айтарлықтай жоғары двигатель жасады. Дизельдерде сығу дәрежесі едәуір жоғары еді, оның соңында жанармай өздігінен тұтануы үшін ауаның температурасы жеткілікті дәрежеде биік болады. Ал жанармай карбюраторлы двигательдердегідей бірден емес, жайлап, поршень қозғалысының бірер бөлігі барысында жанады. Жанармайдың жану үдерісі жұмыстық кеңістіктің көлемі артуы барысында жүзеге асады. Сондықтан да газдардың қысымы жұмыс барысында өзгермей, өз күйінде қалады. Осылайша дизельде қоспаның жану үдерісі тұрақты қысымда жүзеге асады. Ал карбюраторлы двигательдерде бұл үдеріс тұрақты көлемде жүзеге асатын еді. Дизельді двигатель карбюраторлы двигательге карағанда үнемдірек, ПӘК те едәуір жоғары—40%-дан астамды құрайды. Оның қуаты да айтарлықтай үлкен болуы мүмкін. Сонымен қатар анағұрлым арзан жанармаймен де жұмыс істей береді. Дизельдер стационарлық құрылғыларда, теміржол, ауа және су көліктерінде кеңінен қолданылады. Бүгінгі таңда шағын қуатты дизельдер автомашиналар мен тракторларда да жиі қолданылып келеді.

Реактивті двигатель. 6.7-суретте реактивті двигательдің құрылыс нобайы келтірілген. Оның жұмыс істеу қағидаты төмендегідей. Ұшақ ұшқан кезде қарсы алдынан келе жатқан ауа ағыны сопло арқылы өтіп, форсунка шашқан жанармаймен араласып, жұмыстық жағаротынды құрайды. Содан соң жану камерасына түседі де, от алдырғыш свечаның көмегімен жанады. Жұмыстық

қоспаның жануы нәтижесінде пайда болған газдар шығару тесігі—сопло арқылы үлкен жылдамдықпен сыртқа шығарылады. Қоспаның жануы қысымның күрт артуына себеп болады да, нәтижеде соплодан шығатын газдың жылдамдығы двигателге кіретін газдың жылдамдығынан әжептәуір үлкен болады. Нақ осы жылдамдықтардың айырмасы нәтижесінде импульстің сақталу заңына орай реактивті тарту күші туындайды.



6.7-сурет.

Қазіргі жылу машиналарының ПӘК-і 40% -дан (іштен жану двигателдері) 60%-ға (реактивті двигателдер) дейін болуы мүмкін. Сондықтан да ғалымдар қолда бар двигателдерді жетілдіру жолында тынымсыз ізденістер жүргізіп жатыр. Сонымен қатар іштен жану двигателдерінің үздіксіз көбейіп бара жатқандығы табиғатқа және қоршаған ортаға үлкен қауіп туғызып отыр. Экологиялық тұрғыдан таза двигателдерді жасау бүгінгі таңдағы ең көкейкесті ділгірліктердің біріне айналған.

Табиғатты қорғау. Табиғаттың ең ұлы өнімі болып есептелетін адам да, басқа тіршілік иелері де осы табиғаттың бір бөлігі болып табылады. Олардың өмір сүруі мен дамуы үшін ең қажетті өнімдер—таза ауа, таза су, таза өнімдер керек. Біз тыныс алатын ауа Жер атмосферасын құрайтын газдардың қоспасы болып саналады. Оның құрамында оттегі, азот, сутегі және басқа табиғи газдардан тыс шаң, түтін, тұз түйіршіктері және басқа қоспалар бар. Бұдан тыс ауаның құрамында өнеркәсіп шығындылары да болады.

Жылу двигателінің көп мөлшерде жұмыс істетілуі де қоршаған ортаға кері әсерін тигізеді. Есептеулерге қарағанда, қазіргі уақытта Жер жүзінде жыл сайын 2 миллиард тонна көмір мен 1 миллиард тонна мұнай жағылады. Ал бұл Жердегі температураның көтерілуіне және мұздықтардың еріп, мұхиттардағы су деңгейінің көтерілуіне соқтыруы мүмкін. Бұдан тыс атмосфераға 120 миллион тонна күл мен 60 миллион тоннаға дейін зиянды газ шығарылып жатыр.

Әлемдегі 200 миллионнан астам автомобиль күн сайын атмосфераны көмірқышқыл газбен, азотпен және көмірсутегімен ластайды. Жылу және атом электр станциялары қуаттарының артуына байланысты суға деген сұраныс та арта түседі. Сондықтан да бүгінде ауа мен су түйіршіктерінің ластануынан сақтанудың тікелей және жанама тәсілдері пайдаланылып келеді. Тікелей тәсіл–түрлі газдар мен түтіндерді тазалап шығару; атмосфераны аз ластандыратын жанармайларды–табиғи газды, алтынкүкіртсіз мұнай мен басқаларды пайдалану; бензинсіз жүретін автомобиль двигателдерін жасау және т.б.

Жанама тәсілдер атмосфераның төменгі қабатындағы зиянды заттар концентрациясының шұғыл азаюына әкеледі. Бұлар шығындылар шығаратын қайнаркөздердің биіктігін арттыру, метеорологиялық жағдайларды есепке алып, қоспаларды ауаға шашып жіберудің түрлі әдістерін пайдалану және тағы с.с.



1. Жылу двигателдеріне нелер жатады?
2. Карбюраторлы двигательдің жұмыс қағидатын түсіндір.
3. Иштен жану двигателінің ПӘК-ін арттырудың қандай қиыншылықтары бар?
4. Дизельдің жұмыс істеу қағидатын түсіндір.
5. Реактивті двигательдің жұмыс істеу қағидатын түсіндір.
6. Табиғатты қорғау үшін қандай іс-шаралар қолданылып келеді?

Мәселе шешу үлгісі

Пайдалы әсер коэффициенті 0,4-ке тең болатын Карно циклінде газдың изотермиялық түрде ұлғаюында орындалған жұмыс 8 Дж болса, газдың изотермиялық түрде сығылғандағы жұмыс анықталсын.

Берілгені:	Формуласы және шешілуі:
$\eta = 0,4$	Циклдің pV -диаграммасын жасаймыз $\eta = 0,4$; 1–2 өту газдың изотермиялық ұлғаюын; ал 3–4 өту изотермиялық сығылуын көрсетеді.
$A = 8 \text{ Дж}$	
$T = \text{const}$	
Табу керек:	
$A_s - ?$	

Карно циклінің ПӘК-і төмендегідей анықталады:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

бұл жерде: Q_1 —газдың қыздырғыштан алған жылу мөлшері, Q_2 —газдың салқындатқышқа берген жылу мөлшері. Изотермиялық ұлғаюда орындалған A_k жұмыс газдың қыздырғыштан алған Q_1 жылу мөлшеріне, ал изотермиялық сығылудағы A_s жұмыс газдың салқындатқышқа берген Q_2 жылу мөлшеріне тең болады, яғни $Q_1 = A_k$; $Q_2 = A_s$.

Онда циклдің ПӘК төмендегі көрініске ие болады:

$$\eta = \frac{A_k - A_s}{A_k}.$$

Бұдан A_s -ны тауып, берілгендерді орнына қойып, есептейміз:

$$A_s = (1 - 0,4) \cdot 8 \text{ Дж} = 4,8 \text{ Дж.} \quad \text{Жауабы: } A_s = 4,8 \text{ Дж.}$$

6-жаттығу

1. Температурасы 20°C -ге артқанда 200 г гелийдің ішкі энергиясы қаншаға өзгереді? (Жауабы: $\Delta U = 12,5 \text{ кДж}$).

2. 320 г оттегіні 10 К-ға изобариялы қыздырғанда қанша жұмыс орындалады? (Жауабы: $A = 830 \text{ Дж}$).

3. 15°C температуралы 1,5 кг суы бар ыдысқа 100°C температуралы 200 г су буы енгізілді. Бу конденсацияланған соң жалпы температура қандай болады? (Жауабы: $t = 89^\circ\text{C}$).

4. Массасы 290 г ауаны 20 К-ге изобариялы қыздырғанда ол қанша жұмыс орындайды және оған қанша жылу мөлшері берілген? (Жауабы: 1,7 кДж; 5,8 кДж).

5. 800 моль газды 500 К-ге изобариялы қыздырғанда оған 9,4 МДж жылу мөлшері берілді. Газ ортындағы жұмысты және оның ішкі энергиясы қанша өзгергенін анықта. (Жауабы: 3,3 МДж; 6,1 МДж.)

6. Температурасы 27°C болған 160 г оттегі изобариялы түрде қыздырылғанда оның көлемі екі есе ұлғайды. Газдың ұлғаюында орындалған жұмысты, оттегіні қыздырғанда жұмсалған жылу мөлшерін, ішкі энергияның өзгерісін тап. (Жауабы: 12,5 кДж; 44,2 кДж; 31,7 кДж.)

7. Идеал жылу машинасы қыздырғышының температурасы 117°C , салқындатқыштікі 21°C . Машинаның 1 сек-та қыздырғыштан алып жатқан жылу мөлшері 60 кДж-ға тең. Машинаның ПӘК-ін, 1 сек-та салқындатқышқа беріліп жатқан жылу мөлшерін және машинаның қуатын есепте. (Жауабы: 23% ; 146 кДж; 14 кВт).

8. Идеал жылу машинасында қыздырғыштан алынып жатқан әрбір килоджоуль энергияның есебінен 300 Дж жұмыс орындалады. Егер салқындатқыштың температурасы 280 К болса, машинаның ПӘК-ін және қыздырғыштың температурасын анықта. (Жауабы: 30%; 400 К).

9. 110 кВт қуатқа ие болатын және бір сағатта 28 кг дизель жанармайын жұмсайтын трактор двигателінің ПӘК-ін тап. (Жауабы: 34%).

10. Егер мотоцикл 108 км/сағ жылдамдықпен қозғалып, 100 км жол жүргенде 3,7 л бензин жұмсап, двигательдің ПӘК 25% болса, мотоцикл двигателі жеткен орташа қуат қандай болады? (Жауабы: 8,9 кВт).

VI тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

1. Термодинамиканың бірінші заңын көрсет.

- A) $\Delta U = Q + A$;
- B) $Q = \Delta U + A$;
- C) $Q = \Delta U - A$;
- D) $\Delta U = Q - A$.

2. Сөйлемді толықтыр. Қоршаған орта мен жылу мөлшері ауыспай жүзеге асатын үдеріс ... үдеріс деп аталады.

- A) ... изотермиялық;
- B) ... изохориялық;
- C) ... адиабаттық;
- D) ...изобаралық.

3. Сөйлемді толықтыр. Карно циклінің пайдалы әсер коэффициенті ...

- A) ... бірге тең;
- B) ... бірден үлкен;
- C) ... нөлге тең;
- D) ... бірден кіші.

4. Жылу мөлшері салқын денеден ыстық денеге өздігінен өтпейді. Бұл сипаттама нені бейнелейді?

- A) Термодинамиканың бірінші заңын;
- B) Термодинамикалық тепе-теңдікті;
- C) Термодинамиканың екінші заңын;
- D) Термодинамикалық үдерісті.

5. Сөйлемді толықтыр. Жанармайдың ішкі энергиясын механикалық энергияға айналдырып беретін машинаны ... дейді.

- A) ... жылу двигателі;
- B) ... жылу машинасы;
- C) ... реактивті двигатель;
- D) ... бу турбинысы.

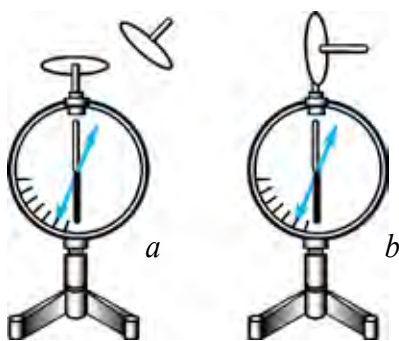
VI тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Термодинамикалық жүйе	Өзара және сыртқы денелермен әсерлесіп, энергия алмасатын заттар мен денелер кешені.
Температура	Макроскопиялық жүйенің термодинамикалық тепе-теңдік күйін сипаттайтын физикалық шама.
Макроскопиялық жүйе	Өте көп санды атомдар мен молекулалардан тұратын жүйе.
Термодинамикалық тепе-теңдік	Жүйенің макроскопиялық параметрлері ұзақ уақыт бойы өзгермей тұратын үдеріс.
Термодинамикалық үдеріс	Термодинамикалық жүйенің тым болмағанда бірер параметрінің өзгеруі.
Қайтымды үдеріс	Жүйенің соңғы күйден бастапқы күйге аралық күйлер арқылы, кері бағыт бойынша қоршаған ортада ешқандай өзгеріс туғызбай өтуі.
Қайтымсыз үдеріс	Белгілі бір қарсылыққа кездесетін немесе жылы денеден салқын денеге жылу ұзату арқылы орын алатын кез келген күй.
Ішкі энергия	Заттың барлық молекулаларының бейберекет қозғалысының кинетикалық энергиясы мен олардың өзара әсер потенциалдық энергиясының жиындысы.
Термодинамиканың бірінші заңы	$Q = \Delta U + A$ Q – жылу мөлшері; ΔU – ішкі энергияның өзгерісі; A – орындалған жұмыс.

Термодинамиканың екінші заңы	Жылу мөлшері салқын денеден жылы денеге өздігінен өтпейді.
Адиабаттық үдеріс	Қоршаған ортамен жылу мөлшерін алмаспай жүзеге асатын үдеріс.
Жылу машинасы	Жанармайдың ішкі энергиясын механикалық энергияға айналдырып беретін машиналар.
Айналма үдеріс яки цикл	Жүйенің бірқатар күйлерінен өтіп, өзінің бастапқы күйіне қайтатын үдеріс.
Карно циклі	Өзара алма-кезек ауысып тұратын екі изотермиялық және екі адиабаттық үдерістерден тұратын қайтымды айналма жылу үдерісі
Жылу машинасының пайдалы әсер коэффициенті	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, Q_1 – қыздырғыштан алынған жылу мөлшері, Q_2 – салқындатқышға берілген жылу мөлшері.

VII тарау. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

30-тақырып. ЗАРЯДТЫҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫ. НҮКТЕЛІК ЗАРЯД АЛАҢЫ. ЭЛЕКТР ӨРІСІ КЕРНЕУІНІҢ СУПЕРПОЗИЦИЯ ҚАҒИДАТЫ



7.1-rasm.

Зарядтардың сақталу заңы. Денелер электрленгенде олардағы жалпы заряд мөлшері өзгере ме? Бұл сұраққа жауап табу үшін төмендегідей тәжірибе өткізейік (7.1-а сурет).

Электромметрдің стерженіне металл диск орнатайық. Диск үстіне қалың мәуіті жауып, оның үстінен изоляциялық қабығы бар басқа бір дискіні ысқылайық. Сонда электромметрдің стрелкасы жылжиды. Бұл

жағдай мәуітіде және оған ысқыланған дискіде электр зарядтары пайда болғанын көрсетеді.

Тәжірибені одан әрі жалғастырайық. Мәуітіге ысқыланған дискіні екінші электромметрдің стерженіне тигіземіз (7.1-ә сурет). Бұнда екінші электромметрдің стрелкасы да бір жағына ауытқығанын көреміз. Стрелканың жылжу бұрышы бірінші электромметр стрелкасының ауытқу бұрышына тең болады. Ал бұл екі дискінің де сандық мәні тұрғысынан тең мөлшерде зарядталғанын көрсетеді. Егер екі электромметрдің стерженьдері металл өткізгішпен тұтастырылса, екі стрелка да нөлдік күйге келеді. Бұл құбылыс электромметрлер (дискілер) сандық мәні тұрғысынан тең, бірақ өрнектері әр түрлі зарядтарға ие болғанын көрсетеді. Сол себепті бұл зарядтардың жиындысы нөлге тең болып шықты.

Электрлену бойынша өткізілген барлық тәжірибелер біртұтас жалғыз денені зарядтауға болмайтынын көрсетті. Денені зарядтау үшін екінші дененің болуы шарт. Электрлену үдерісінде бір дене қанша теріс заряд алса, екінші

дене де сонша оң зарядка ие болады. Осының нәтижесінде денелердегі жалпы заряд мөлшері өзгеріссіз сақталады.

Кез келген жабық жүйе ішіндегі барлық денелер зарядтарының алгебралық жиындысы өзгермейді, яғни:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.} \quad (7.1)$$

Бұл тұжырым *электр зарядтарының сақталу заңы* деп аталады.

Зарядтардың сақталу заңын 1750 жылы американ ғалымы, саяси қайраткер Бенджамин Франклин енгізген.

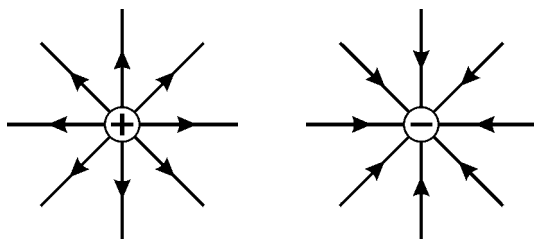
Фарадей мен Максвеллдің теориясына орай зарядталған денелердің айналасында **электр өрісі** пайда болады. Өзара әсерлесу сол электр өрісі арқылы жүзеге асады. Бұл өрісті қолмен ұстап, көзбен көре алмайсың. Оны тек әсерлеріне қарап ғана сезуге болады.

Электр өрісінің зарядты бөлшектерге әсерін зерттеу дәлелдегеніндей, өрістің әсері зарядталған дененің жанында күшті болады да, одан алыстаған сайын әлсірей береді. Электр зарядтары туындатқан өрістің күшті немесе әлсіз екенін көрсету үшін электр өрісінің кернеуі деп аталатын шама енгізілген. **Электр өрісінің кернеуі**

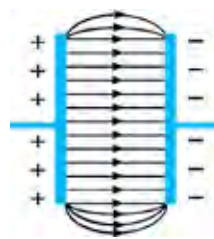
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (7.2)$$

формуласымен анықталады. Бұнда $\vec{E}$ – өрістің бірер нүктесіндегі өріс кернеуі; q_0 – өрістің сол нүктесіне енгізілген заряд мөлшері; $|\vec{F}|$ – электр өрісі тарапынан енгізілген q_0 зарядқа әсер ететін күш.

Электр өрісі күш сызықтарының яки кернеу сызықтарының көмегімен сипатталады (7.2 және 7.3-суреттер). Электр өрісінің кернеуі – векторлық шама, ол күш сызықтары бағытында болады.



7.2-сурет.



7.3-сурет.

Кернеу бірлігі $[E] = \frac{|F|}{|q|} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$ немесе $1 \frac{\text{В}}{\text{м}}$.

Нүктелік q зарядтың r қашықтықта туындатқан өріс кернеуін есептеп көрейік:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}; \quad F = k \frac{|q| \cdot |q_0|}{r^2}; \quad E = \frac{k \frac{|q| \cdot |q_0|}{r^2}}{|q_0|} = k \frac{|q|}{r^2};$$

$$E = k \frac{|q|}{r^2}.$$

(7.3)

Бұл жерде: r —нүктелік заряд пен өріс кернеуі анықталатын нүкте арасындағы қашықтық; $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Электр өрісін негізінен зарядтар жүйесі туғызады. Мысалы, q_1 және q_2 зарядтар жүйесі туындатқан өрістің бірер нүктесіне сынақ зарядын енгізсек, онда әрбір заряд жағынан $\vec{F}_1$ және $\vec{F}_2$ күштер әсер етеді (7.4-сурет). Сынақ зарядына әсер етіп жатқан бұл күштердің тең әсері төмендегідей болады:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2. \quad (7.4)$$

Онда A нүктедегі өрістің кернеуі төмендегіге тең:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2. \quad (7.5)$$

(7.5) өрнегі төмендегідей сипатталады:

Зарядтар жүйесінің бірер нүктеде туғызған электр өрістерінің кернеуі жүйеге енетін әрбір зарядтың сол нүктеде жеке-жеке туындатқан өріс кернеулерінің векторлық жиындысына тең.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n. \quad (7.6)$$

Бұл электр өрісінің суперпозиция қағидаты деп аталады.

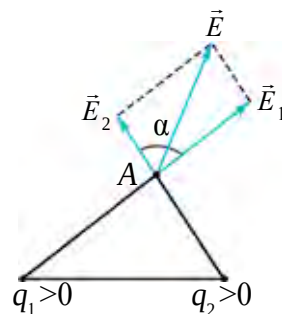
Суперпозиция сөзінің сөздік мағынасы “қабаттасу” немесе “беттестіру” дегенді білдіреді.

Суперпозиция қағидатына орай бір-бірінен r қашықтықта орналасқан екі нүктелік зарядтың бірер нүктедегі өрістік кернеуін есептеп көрейік (7.4-сурет).

Әрбір зарядтың қарастырылып отырған нүктедегі өрістік кернеуі $\vec{E}_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2}$ және $\vec{E}_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2}$ өрнектеріне орай анықталады. Зарядтардың бұл нүктедегі нәтижелік өріс кернеуі суперпозиция қағидаты негізінде төмендегі өрнек бойынша есептеледі:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cdot \cos \alpha}. \quad (7.7)$$

Бұл жерде: E_1 және E_2 сәйкес түрде нүктелік зарядтардың қарастырылып отырған нүктедегі өрістік кернеуі, α —өріс кернеуінің векторлары арасындағы бұрыш.



7.4-сурет.

Мәселе шешу үлгісі

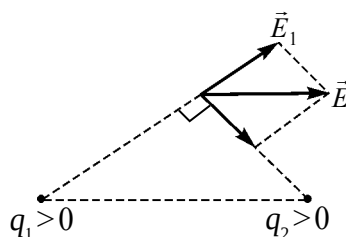
Зарядтары 4 нКл-ден болған екі қарама-қарсы өрнекте зарядталған нүктелік зарядтар бір-бірінен 10 см қашықтықта орналасқан. Бірінші зарядтан 8 см, екінші зарядтан 6 см қашықтықта орналасқан нүктедегі өрістің кернеулігі неге тең болады?

Берілгені:

$$\begin{aligned} q_1 &= 4 \text{ нКл} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ q_2 &= -4 \text{ нКл} = -4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ r &= 10 \text{ см} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ r_1 &= 8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ r_2 &= 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м} \\ k &= 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2 \end{aligned}$$

Табу керек:
 E —?

Формуласы және шешілуі:



$r_1^2 + r_2^2 = r^2$ болғандықтан, $\alpha = 90^\circ$

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = k \cdot q \sqrt{\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2}}$$

$$\begin{aligned} E &= 9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-9} \sqrt{\frac{1}{(8 \cdot 10^{-2})^2} + \frac{1}{(6 \cdot 10^{-2})^2}} = \\ &= 750 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}. \end{aligned}$$

Жауабы: $750 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$.



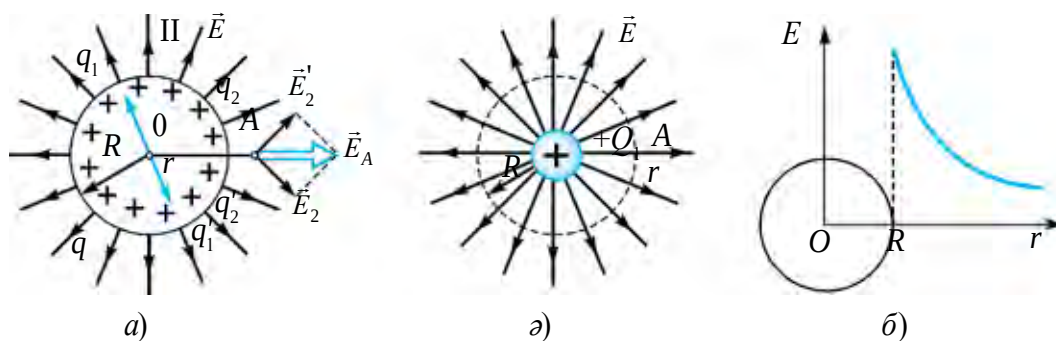
1. Нүктелік зарядтың қарастырылып отырған нүктедегі өріс кернеулігі қалай есептеледі?
2. Суперпозиция сөзінің мағынасы не?
3. Суперпозиция қағидатын сипатта және оның формуласын жаз.

31-тақырып. ЗАРЯДТАЛҒАН ШАРДЫҢ ЭЛЕКТР ӨРІСІ. ДИЭЛЕКТРЛІК ӨТІМДІЛІК

Радиусы R -ге тең электр өткізетін шар q зарядпен зарядталған делік (7.5-а сурет). Зарядталған бұндай шар (сфера) туындатқан электр өрісі кернеулігін оның орталығында, сыртында және одан тысқары жерде анықтайық. Бұл үшін біз алдымен q зарядты бетті бойлап бірқалыпты бөлінген бірдей мөлшердегі бірнеше зарядтарға бөлеміз, яғни $q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q'_1 + q'_2 + q'_3 + \dots$

Мөлшері бірдей кез келген q_1 және q_2 сияқты зарядтардың шар орталығындағы нәтижелік өрістің кернеулігі суперпозиция қағидатына орай нөлге тең болады. Демек, зарядталған сфераның ішіндегі өрістің кернеулігі нөлге тең болады.

Шардан тысқарыда одан r қашықтықта орналасқан ерікті A нүктедегі өрістің кернеулігін табайық. OA сызыққа симметриялы орналасқан q_1 және q_2 зарядтар жұбын айырып алайық. Бұл зарядтар Or білігін бойлай бағытталған білікке кернеу түсіреді. Демек, шардың сыртындағы нүкте өрісі кернеулігінің күш сызықтары шардың ортасына қойылған оң зарядталған нүктелік заряд өрісінің күш сызықтарымен беттесіп түседі (7.5-ә сурет).



7.5-сурет.

Зарядталған шардың сыртындағы электр өрісінің кернеулігі төмендегідей анықталады:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}.$$

Зарядталған шардың қарсысындағы нүктеде пайда болған өрістің кернеулігі мен заряд туындатқан өрістің бірдейлігінен шардың қарсысындағы ($r \geq R$) нүктеде пайда болған өріс кернеулігін төмендегі формуладан білуге болады:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0 r^2} = k \cdot \frac{|q|}{r^2}. \quad (7.6)$$

Осыған орай шар сыртынан алыстаған сайын өріс кернеулігі қашықтық квадратына кері пропорционал түрде төмендей береді (7.5-б сурет).

Электр өрісінің кернеулігі өрісті туғызған заряд орын тепкен ортаның қасиеттеріне байланысты. Қарама-қарсы өрнекке зарядталған екі пластинаның аралығына диэлектрик енгізілген күйді қарастырайық (7.6-сурет).

Диэлектрикте еркін электрондар өте аз. Негізгі электрондар атомның электрондық қабығына орналасқан. Пластинадағы электр зарядтарының өрісі әсерімен электронды қабық деформацияланады. Соның нәтижесінде атомдағы оң және теріс зарядтардың орталықтары бір-біріне беттесіп түспейді. Бұл құбылыс *диэлектриктің поляризациялануы* деп аталады.

Поляризацияланған атомдардың (молекулалардың) зарядтарынан пайда болған өріс кернеулігі $\vec{E}'$, негізгі өріс кернеулігі $\vec{E}_0$ -ге қарама-қарсы бағытталады. Соның нәтижесінде жалпы өріс $\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}'$ -ге дейін төмендейді.

Диэлектриктің себебінен өрістің неше есе төмендегенін көрсететін шама диэлектриктің *диэлектрлік өтімділігі* деп аталады:

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}. \quad (7.7)$$

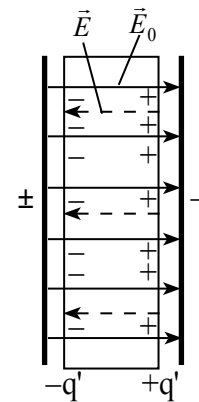
Ондай жағдайда диэлектриктің ішіне орналастырылған нүктелік зарядтан r қашықтықта тұрған нүктедегі өріс кернеулігі де ϵ есе азаяды:

$$E = k \frac{|q|}{\epsilon \cdot r^2}. \quad (7.8)$$

Сондай-ақ бір жынысты диэлектриктің ішіне орналасқан нүктелік зарядтар арасындағы өзара әсер күші вакуумдағы әсер күшінен ϵ есе кіші болады және бұл әсер күші төмендегі өрнек жәрдемімен есептеледі:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\epsilon \cdot r^2}. \quad (7.9)$$

Диэлектрлік өтімділік өлшемсіз шама болып табылады.



7.6-сурет.

- ?** 1. Неліктен зарядталған шардың ішіндегі электр өрісі нөлге тең болады?
2. Зарядталған шардың бетіндегі және сырт жағындағы электр өрісі қалай есептеледі?
3. Неліктен диэлектрик заттар электр өрісін нашарлатады?

32-тақырып. НҮКТЕЛІК ЗАРЯД ӨРІСІНІҢ ПОТЕНЦИАЛЫ. ПОТЕНЦИАЛДАР АЙЫРМАСЫ

Электр өрісінің күшті яки әлсіз екендігін анықтау үшін оның өрісіне сынақ заряды енгізіліп, өріс жағынан оған қандай күш әсер ететіні анықталған болатын. Сондықтан да электр өрісі кернеулігі өрістің басты ерекшелігі болып саналады.

Өріске сынақ зарядының енгізілуіне негізгі заряд өрісі қарсылық жасайды (7.7-сурет). Соған орай өріс күштеріне қарсы жұмыс орындау қажет болады.

Атқарылған бұл жұмыс қалай анықталады?

Бұл жұмыс негізгі заряд пен енгізілген сынақ зарядының өзара әсер потенциалық энергиясына айналады:

$$W_{-q} = -k \frac{Qq}{r}. \quad (7.9)$$

Формулада минус өрнегінің қойылуы зарядтар арасында тартылыс күшінің әсері бар екенін көрсетеді.

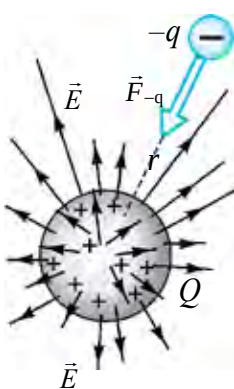
Тұрақты Q оң зарядынан r қашықтықта тұрған $+q$ зарядының потенциалық энергиясы былайша өрнектеледі:

$$W_{+q} = k \frac{Qq}{r}. \quad (7.10)$$

Формулаға оң өрнектің қойылуы зарядтар арасында тебілу күшінің әсер ететінін көрсетеді.

Потенциалық энергияның нөлдік есебі ретінде формулаға сәйкес шексіз үлкен қашықтық алынады. Бұндай қашықтықта зарядтар өзара әсерлеспейді.

Осылайша электр өрісі күш ерекшелігіне ие болумен қатар энергетикалық мінездемеге де ие болады. Ол электр өрісінің потенциалы деп аталатын шама арқылы өрнектеледі.



7.7-сурет.

Нүктелік зарядтың электр өрісінің потенциалы дегенде, негізгі және өріске енгізілген сынақ зарядтарының өзара әсер потенциалдық энергиясының сынақ заряды мөлшеріне қатынасымен өлшенетін шаманы түсінеміз:

$$\varphi = \frac{W_{-q}}{q}. \quad (7-11)$$

Нүктелік q зарядтың потенциалы былайша анықталады:

$$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon \cdot r}. \quad (7.12)$$

Потенциал ұғымын пайдалана отырып, q_1 зарядын өріс түзетін q зарядтан r_1 қашықтағы нүктеден r_2 қашықтықтағы нүктеге ауыстыру бойынша орындалған жұмысты табамыз:

$$A = W_1 - W_2 \text{ немесе } A = q_1 \left(k \frac{q}{\varepsilon \cdot r_1} - k \frac{q}{\varepsilon \cdot r_2} \right) = q_1 (\varphi_1 - \varphi_2). \quad (7.13)$$

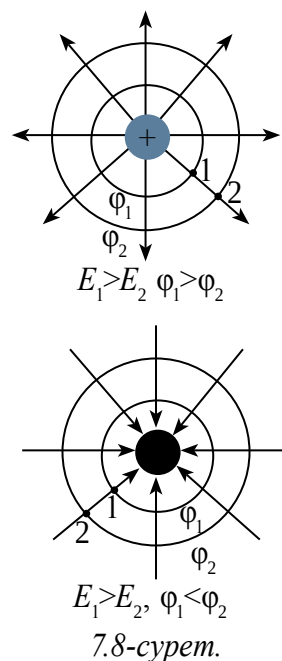
Бұл өрнектегі $\varphi_1 - \varphi_2$ айырма нүктелер арасындағы **потенциалдар айырмасы**нан тұратын болғандықтан, **электр кернеулігі** деп аталады да, төмендегі көріністе жазылады:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2. \quad (7.14)$$

Потенциал мен потенциалдар айырмасының бірлігі итальян ғалымы Вольтаның құрметіне вольт (В) деп аталады. $\varphi = \frac{W}{q}$ -дан $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$ тең. Сипаттамасына орай 1 Кл зарядты электр өрісінің бір нүктесінен екінші нүктесіне ауыстырғанда электр алаңы 1 Дж жұмыс орындайтын нүктелер потенциалдарының айырмасы 1 В-ға тең болады.

Нүктелік зарядтан бірдей ұзақтықта орналасқан нүктелердің потенциалдары тең болады. Егер осы нүктелер біріктіріліп сызылса, онда пайда болған бет **эквипотенциал бет** деп аталады.

Нүктелік зарядтың эквипотенциал беті заряд төңірегіне концентрлік шеңберлер пішінінде орналасады (7.8-сурет). Өріс күш сызықтары эквипотенциал бетке әрқашан перпендикуляр болады.



Электр өрісі кернеулігі мен потенциалдар айырмасы ортасында төмендегі қатынас бар:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}, \quad (7.15)$$

d —потенциалдары φ_1 және φ_2 болған нүктелер арасындағы қашықтық. Бұдан өріс кернеулігінің бірлігі $1 \frac{\text{В}}{\text{м}}$ келіп шығады.

Мәселе шешу үлгісі

Ашық жерде тұрған радиусы 5 см металл сфераға 30 нКл заряд берілді. Зарядталған сфера орталығынан 2 см, сфера бетіндегі және сфера бетінен 5 см ұзақта орналасқан нүктедегі өрістің потенциалы табылсын.

Б е р і л г е н і:	Ф о р м у л а с ы:	Ш е ш у і:
$q = 30 \text{ нКл} = 30 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ $r = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $r_1 = 2 \text{ см} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $r_2 = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$	$\varphi_{\text{ішінде}} = \varphi_{\text{бетінде}} =$ $= k \frac{q}{r}$ $\varphi_{\text{сыртында}} =$ $= k \frac{q}{r + r_2}$	$\varphi_{\text{ішінде}} = \varphi_{\text{бетінде}} = 9 \cdot 10^9 \frac{30 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-2}} = 5400 \text{ В};$ $\varphi_{\text{сыртында}} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{30 \cdot 10^{-9}}{5 \cdot 10^{-2} + 5 \cdot 10^{-2}} =$ $= 2700 \text{ В.}$ Бірлігі $[\varphi] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{\text{Кл}}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В.}$
Табу керек: $\varphi_{\text{ішінде}} - ?$ $\varphi_{\text{бетінде}} - ?$ $\varphi_{\text{сыртында}} - ?$		Жауабы: 5400 В; 2700 В.

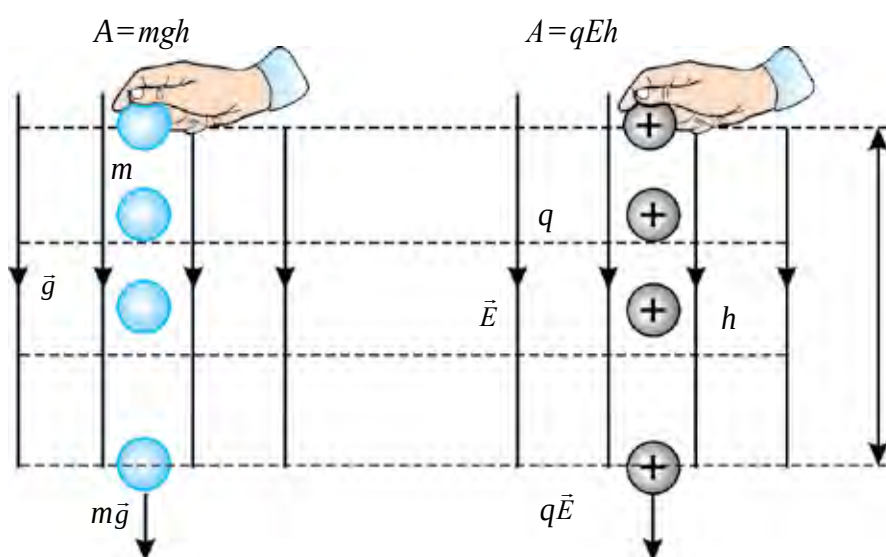


1. Электростатикалық күштің орындаған жұмысы мен өріске ауысқан зарядтың потенциалық энергиясы арасындағы байланысты жаз.
2. Электр өрісінде тұрған зарядтың потенциалық энергиясы қалай анықталады?
3. Протоннан $5,3 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ ұзақтықтағы электр өрісінің потенциалын тап. Протоннан осындай қашықтықта орналасқан орбита бойлап қозғалып бара жатқан электронның потенциалық энергиясы неге тең болады?

33-тақырып. ЭЛЕКТРОСТАТИКАЛЫҚ ӨРІСТЕГІ ЗАРЯДТЫ АУЫСТЫРУДА АТҚАРЫЛҒАН ЖҰМЫС

Механикада енгізілген физикалық шамалар (ауысу, күш, күштің атқарған жұмысы, потенциалдық энергия) кез келген фундаментальдық өзара әсерлерді, соның ішінде электромагниттік әсерлерді өрнектеуде пайдаланылады.

Жердің бір жынысты ($g = \text{const}$) гравитациялық өрісінде денені $\vec{g}$ бойлап h қашықтыққа ауыстырса (7.9-сурет), ауырлық күшінің атқарған жұмысы $A = mgh$ болатын еді.



7.9-сурет.

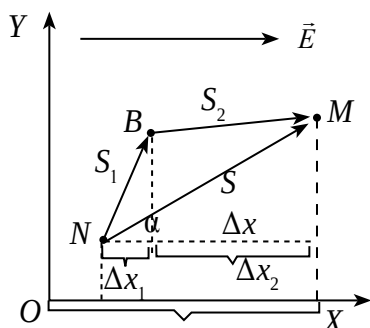
$+q$ зарядты бір жынысты ($\vec{E} = \text{const}$) электр өрісінің күш сызықтарын бойлап ауыстырғанда атқарылған жұмыс

$$A_q = qEh \quad (7.16)$$

ға тең болады. Бұл формула электр өрісі кернеулігі мен ауыстыру бағыты сәйкес келгенде орынды болады.

Олардың бағыты сәйкес келмейтін күйді де қарастырайық.

Бір жынысты электр өрісіне енгізілген заряд q ($q > 0$, болғанда) электр өрісі бағытында немесе оған қарсы бағытта ($q < 0$, болғанда) ауысқанда электр өрісі жұмыс орындайды. Жұмысты бастау үшін алдымен X білікті өрістің ауысуымен бір бағытта таңдаймыз (7.10-сурет).



7.10-сурет.

Оң өрнекті зарядка өріс жақтан әсер етіп жатқан күш те X білігімен бір жаққа қарай бағытталады. Өрістегі заряд $\vec{F} = q\vec{E}$ күштің әсерімен s жолды бойлап N нүктеден M нүктеге ауысқан болса, оны ауыстыруға жұмсалған электр күшінің атқарған жұмысы төмендегідей анықталады:

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha = q \cdot E \cdot s \cdot \cos \alpha. \quad (7.17)$$

Бұл жерде: α – күш пен ауысу арасындағы бұрыш.

$\Delta x = x_2 - x_1 = s \cdot \cos \alpha$ екендігінен (7.17) теңдік

төмендегі көрініске келеді:

$$A = qE\Delta x. \quad (7.18)$$

Енді электростатикалық өрісте q зарядты NBM сынық сызық бойлап ауыстыруда орындалған жұмысты есептеп көрейік. Жұмыс скалярлық шама болғандықтан, NBM жолда орындалған жұмыс NB және BM жолдарда орындалған жұмыстардың алгебралық жиындысына тең болады: $A = A_1 + A_2$.

Зарядты ауыстырудағы A_1 және A_2 жұмыстар нақ сол зарядты NM жол бойлап ауыстыру кезінде орындалған жұмыс сияқты анықталады, яғни:

$$A_1 = qE\Delta x_1 \text{ және } A_2 = qE\Delta x_2. \quad (7.19)$$

Δx_1 және Δx_2 – сәйкесінше s_1 және s_2 ауысу векторларының X білігіндегі проекциялары. Ондай жағдайда (7.18) және (7.19) өрнектері қойылса, төмендегі көрініске келеді:

$$A = qE(\Delta x_1 + \Delta x_2) = qE\Delta x.$$

Бұдан төмендегі тұжырым келіп шығады. Бір жынысты электр өрісінде зарядты ауыстыру бойынша орындалған жұмыс ауысу жолының пішініне байланысты болмай, тек заряд ауысқан нүктелердің бастапқы және соңғы күйлеріне (яғни Δx -ке) байланысты болады. Бұндай өріс *потенциал өріс* деп аталады. Демек, электростатикалық өрісте зарядты жабық контур бойлап ауыстыруда істелген жұмыс әрқашан нөлге тең болады. Істелген жұмысы зарядтың қозғалыс траекториясына байланысты емес күш **консервативті күш** деп аталады.

$E \cdot \Delta x = \varphi_2 - \varphi_1$ екендігі есепке алынса,

$$A = q(U_2 - U_1) \quad (7.20)$$

ға ие боламыз. Бұл формула q электр зарядын электр өрісінде потенциалы ϕ_2 болған нүктенен потенциалы ϕ_1 болған нүктеге ауыстыруда орындалған жұмысты есептеу формуласы болып табылады.

Мәселе шешу үлгісі

100 $\mu\text{Кл}$ заряд нүктелік заряд өрісінің кернеулігі 4 кВ/м болған бір жынысты электр өрісінде 4 см қашықтыққа ауысқанда электростатикалық өріс 8 мДж жұмыс атқарды. Өрістің күш сызықтары мен ауысу векторы арасындағы бұрыш қандай болған?

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$q = 100 \mu\text{Кл} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$	$A = q \cdot E \cdot s \cdot \cos \alpha$	$\cos \alpha = \frac{8 \cdot 10^{-3}}{10^{-4} \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^{-2}} = \frac{1}{2}$
$E = 4 \text{ кВ/м} = 4 \cdot 10^3 \text{ В/м}$	$\cos \alpha = \frac{A}{q \cdot E \cdot s}$	$\cos \alpha = \frac{1}{2}$
$s = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$		$\alpha = 60^\circ$
$A = 8 \text{ мДж} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$		
Табу керек:		Жауабы: 60° .
$\alpha = ?$		



1. Потенциал өріс деп қандай өрісті айтады?
2. Электростатикалық өрісте зарядты жабық сызық бойлап ауыстыру бойынша атқарылған жұмыс неге тең?
3. 7.20 формуланы пайдаланып потенциалдар айырмасын сипаттап бер.

34-тақырып. ЭЛЕКТР ӨРІСІ ЭНЕРГИЯСЫ

Өткізгішті зарядтау үшін зарядтар арасындағы өзара тебу күшін жеңу жұмысы орындалады. Осы жұмыстың есебінен өткізгіш энергияға ие болады. Зарядталған дененің алған энергиясы мөлшер тұрғысынан ($W_{\text{эл}}$ —бұл энергия электр өрісі энергиясы деп аталады) оны зарядтауда атқарылған жұмыстың мөлшеріне тең болады, яғни $A = W_{\text{эл}}$. Өткізгішті зарядтау бойынша атқарылған жұмыс қалайша есептеледі? Бастапқыда зарядталмаған дененің потенциалы нөлге тең болады. Оған q заряд берілсе, оның потенциалы нөлден ϕ -ға дейін өзгереді. Денені зарядтауда орындалған жұмыс:

$$A = q \cdot \phi_{\text{орт}} \quad (7.21)$$

ға тең болады. Дене потенциалының орташа мәні оның бастапқы және соңғы мәндерінің орта арифметикалық мәніне тең болады, яғни

$$\varphi_{\text{орт}} = \frac{0 + \varphi}{2} = \frac{\varphi}{2}. \quad (7.22)$$

$\varphi_{\text{орт}}$ нинг мәнін (7.21) теңдікке қойып, төмендегі өрнекті жасаймыз:

$$A = \frac{q\varphi}{2}. \quad (7.23)$$

Демек, денені зарядтауда атқарылған жұмыс оның заряды мен потенциалы көбейтіндісінің жартысына тең болады. Денені зарядтағанда оның потенциалы $\varphi = \frac{q}{C}$ формулаға орай жатық, яғни сызықты өзгереді. Бұндағы C – өткізгіштің электр сыйымдылығы. Ол жағдайда (7.23) өрнекті

$$A = \frac{C \cdot \varphi^2}{2} \quad \text{және} \quad A = \frac{q^2}{2C} \quad (7.24)$$

көрінісінде жазуға болады. Соның ішінде $A = W_{\text{эл}}$ қатынасына орай жекеленген зарядталған дененің электр өрісі энергиясын төмендегідей етіп жазамыз:

$$W_{\text{эл}} = \frac{q \cdot \varphi}{2} = \frac{C \cdot \varphi^2}{2} = \frac{q^2}{2C}. \quad (7.25)$$

Егер зарядталған дене конденсатордан тұратын болса, оның электр өрісі энергиясын ($W_{\text{кон}}$) есептеу кезінде (7.25) өрнегіндегі заряд мөлшерін конденсатордың бір қаптамасындағы заряд мөлшерімен, ал потенциалын оның қаптамалары арасындағы потенциалдар айырмасымен алмастыру қажет, яғни:

$$W_{\text{кон}} = \frac{q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)}{2} = \frac{C \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (7.26)$$

болғандықтан, зарядталған конденсатордың электр энергиясын анықтау формуласын

$$W_{\text{кон}} = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C} \quad (7.27)$$

көрінісінде жазуға болады.

Зарядталған дененің энергиясы оның айналасында пайда болған электр өрісіне шоғырланады, энергияның мәні электр өрісі таралған кеңістіктің көлеміне және өрістің кернеулігіне байланысты болады. Жекелеген күйде зарядталған жалпақ конденсаторды қарастырып көрейік. Жалпақ конденсатордың қаптамаларындағы зарядтар туындатқан электр өрісі оның

қаптамалары арасындағы ортада шоғырланады. Кеңістіктің көлемін $V = Sd$ формуласы арқылы есептей аламыз.

Зарядталған жалпақ конденсатордың сыйымдылығы $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$ және конденсатор өрісінің кернеулігі мен қаптамалары арасындағы потенциалдардың айырмасы ортасындағы байланысқа және (7.27) формулаға орай төмендегі нәтижеге ие боламыз:

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot SE^2 d^2}{2d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot E^2}{2} V. \quad (7.28)$$

Зарядталған жалпақ конденсатордың энергиясы ол туындатқан электр өрісі кернеулігінің квадратына және сол өріс иеліген кеңістіктің көлеміне тура пропорционал екен. Өрістің көлем бірлігіне тура келген энергиясы энергияның көлемдік тығыздығы деп аталады. Сипаттамаға орай:

$$\omega = \frac{W}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot E^2}{2V} V = \frac{\epsilon_0 \epsilon \cdot E^2}{2}. \quad (7.29)$$

Әрбір конденсатор тек өзіне заряд жинау ғана емес, энергия жинау ерекшелігіне де ие. Конденсатор алған энергия қаптамалар арасындағы ортада болады. Бұл энергияны конденсаторда ұзақ уақыт бойы сақтауға болмайды. Конденсатор алған энергияны уақыт өтісімен оны қоршап тұрған ортаға береді.

Конденсатор электр қарсылығы шағын тізбек арқылы зарядсызданғанда, өз энергиясын әп-сәтте береді.

Мәселе шешу үлгісі

Жалпақ ауа конденсаторының сыйымдылығы $0,1 \mu\Phi$ -ке тең, ал потенциалдар айырмасы 200 В . Конденсатордағы электр өрісінің энергиясын есепте.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$C = 0,1 \mu\Phi = 1 \cdot 10^{-7} \Phi$ $U_2 - U_1 = 200 \text{ В}$	$W = \frac{C(U_2 - U_1)^2}{2}$	$W = \frac{10^{-7} \cdot 40000}{2} \Phi \cdot \text{В}^2 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$
Табу керек: $W - ?$		Жауабы: 2 мДж.



1. Зарядталған дененің алған энергиясы қандай шамаларға байланысты?
2. Конденсаторды зарядтағанда қандай жұмыс орындалады?
3. Зарядталған конденсатордың энергиясы қай жерге шоғырланады?

7-жаттығу

1. Қабырғалары 10 см тең бүйірлі үшбұрыштың екі төбесінде -4 нКл және $+4$ нКл екі заряд орналасқан. Үшбұрыштың үшінші төбесіндегі өріс кернеулігі неге тең болады? (*Жауабы:* $3,6$ кВ/м)
2. Диэлектрик орта ішінде бір-бірінен 6 см қашықтықта зарядтары 6 нКл және -8 нКл болған екі заряд орналасқан. Олардың ортасындағы өріс кернеулігі қандай? (*Жауабы:* 140 кВ/м).
3. Қандай нүктелік заряд потенциалдарының айырмасы 100 В екі нүкте арасында ауыстырылғанда, өріс 5 мДж жұмыс орындайды? (*Жауабы:* 50 нКл).
4. Электростатикалық өрістің бірер нүктесіндегі 50 нКл заряд $7,5$ мДж потенциалдық энергияға ие. Сол нүктедегі электр өрісінің потенциалын тап. (*Жауабы:* 150 В).
5. Екі $+0,4$ мКл және $-0,6$ мКл нүктелік зарядтар бір-бірінен 12 см қашықтықта орналасқан. Зарядтарды тұтастыратын кесінді ортасында электр өрісінің потенциалы қандай болады? (*Жауабы:* -30 кВ).
6. Заряды $3 \cdot 10^{-8}$ Кл-ға тең екі нүктелік заряд ауада бір-бірінен 50 см қашықтықта тұр. Оларды 20 см-ге дейін жақындату үшін қандай жұмыс орындалуы керек? (*Жауабы:* $10,8$ мДж).
7. Егер зарядталған екі параллель пластинка арасындағы қашықтық 12 см, потенциалдар айырмасы 180 В болса, пластинкалар арасындағы өріс кернеулігін анықта. (*Жауабы:* 1500 В/м).
8. Кернеулігі 6000 В/м болған бір жынысты электр өрісінде бір кернеулік сызығына алынған, арасындағы қашықтық 2 см-ге тең екі нүкте арасындағы потенциалдар айырмасы қандай болады? (*Жауабы:* 120 В).
9. Жалпақ конденсатор қаптамаларындағы кернеулік 150 В, заряды 80 мС болса, конденсатордағы өріс энергиясы неге тең болады? (*Жауабы:* 6 мДж).
10. Жалпақ конденсатор 2 мКл заряд алып, $0,5$ мДж өріс энергиясына ие болды. Конденсатордың сыйымдылығы қандай болған? (*Жауабы:* 16 мФ).
11. Жалпақ конденсаторға $4 \cdot 10^{-5}$ Кл заряд берілгенде, оның энергиясы 20 мДж-ға тең болды. Конденсатор қаптамалары арасындағы кернеулік қандай болған? (*Жауабы:* 1000 В).
12. Диэлектриктің өткізгіштігі 4 , кернеулігі $3 \cdot 10^3$ В/м болған нүктедегі электр өрісінің тығыздығын тап. (*Жауабы:* 159 мДж/м³).

VII тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

1. Өрістің кернеулігі 800 В/м болған нүктеде орналасқан 5 мКл зарядқа қанша электростатикалық күш (Н) әсер етеді?
A) $4 \cdot 10^{-2}$; B) $4 \cdot 10^{-3}$; C) $3,2 \cdot 10^{-5}$; D) $1,6 \cdot 10^{-5}$.
2. Кернеулігі 27,3 кВ/м болған электр өрісінде қозғалып бара жатқан электронның үдеуі неге (м/сек²) тең? $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
A) $4,8 \cdot 10^{16}$; B) $4,8 \cdot 10^{15}$; C) $7,2 \cdot 10^{16}$; D) $9,6 \cdot 10^{15}$.
3. Массасы $1 \cdot 10^{-4}$ г зарядталған тамшы кернеулігі 100 Н/Кл болған бір жынысты электр өрісінде тепе-теңдікте тұр. Тамшының зарядын анықта (Кл).
A) 10^{-8} ; B) 10^{-6} ; C) 10^{-4} ; D) 10^{-3} .
4. Радиусы 2 см металл шарға 1,2 нКл заряд берілді. Шардың бетіне таяу электр өрісінің кернеулігін тап (кВ/м).
A) 27; B) 18; C) 24; D) 9.
5. Радиусы 6 см металл шарға 24 нКл заряд берілген. Шардың орталығынан 3 см қашықтықтағы нүктеде кернеулік қаншаға тең болады (кВ/м)?
A) 45; B) 90; C) 60; D) 0.
6. Радиусы 12 см шардың бетіне 0,18 мКл оң заряд біртегіс орналас-тырылған. Олардың орталығындағы өріс потенциалын тап (В).
A) 90; B) 60; C) 120; D) 180.
7. Екі нүктелік заряд арасындағы қашықтықты 9 есе азайтсақ, олардың өзара әсерінің потенциалдық энергиясы қалай өзгереді?
A) 9 есе артады; B) 9 есе азаяды;
C) 3 есе артады; D) 3 есе азаяды.
8. Нүктелік q заряд потенциалдарының айырмасы 100 В-қа тең екі нүкте арасында ауыстырылғанда, 5 мДж жұмыс орындалған. Сонда q зарядтың шамасы (мКл) қандай болған?
A) 20; B) 5; C) 500; D) 50.

VII тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Зарядтардың сақталу заңы	Кез келген жабық жүйе ішіндегі барлық денелер зарядтарының алгебралық жиынтығы өзгермейді, яғни: $q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const.}$
Электр өрісінің күш сызықтары	Электр өрісіне енгізілген оң зарядқа өріс жағынан әсер ететін күштің бағытын нұсқайтын сызықтар. Оң заряд туғызған электр өрісінің күш сызықтары зарядтан шығушы, ал теріс зарядтікі зарядқа кіруші болады.
Электр өрісінің кернеулігі	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$ электр өрісіне енгізілген оң бірлік зарядқа өріс жағынан әсер ететін күш.
Нүктелік q зарядтың r қашықтықта туғызған кернеулігі	$E = k \frac{ q }{r^2}.$
Электр өрісінің суперпозиция қағидаты	Зарядтар жүйесінің бірер нүктеде туғызған электр өрісінің кернеулігі, жүйеге енетін әрбір зарядтың сол нүктеде жеке-жеке туындатқан өріс кернеуліктерінің векторлық жиынтығына тең болады: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n.$
Зарядталған шар (сфера) ішіндегі және сыртындағы нүктелерде туындаған өрістің кернеулігі	$E=0;$ $E = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$
Диэлектриктің поляризациялануы	Электр өрісіне орналастырылған зат (орта) атомдары (молекулалары) электрон қабығының электр өрісі әсерімен деформацияланады. Соның нәтижесінде атомдарда (молекулаларда) оң және теріс заряд орталықтары бетпе-бет түспейді.

Диэлектриктің өтімділігі	$\varepsilon = \frac{E_0}{E}.$
Диэлектриктің ішіне орналастырылған нүктелік зарядтан r қашықтықта тұрған $+q$ зарядтың потенциялық энергиясы	$E = k \frac{ q }{\varepsilon \cdot r^2}.$
Тұрақты Q оң зарядтан r қашықтықта тұрған $+q$ зарядтың потенциялық энергиясы	$W_{+q} = k \frac{Qq}{r}.$
Нүктелік q зарядтың потенциалы	$\varphi = k \frac{q}{\varepsilon \cdot r}.$
Электр кернеулігі	$U = \varphi_1 - \varphi_2.$
Консервативті күш	Орындаған жұмысы зарядтың ауысу траекториясына байланысты болмайтын күш.
Энергияның көлемдік тығыздығы	$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon \cdot E^2}{2}.$

VIII тарау. ТҰРАҚТЫ ТОК ЗАҢДАРЫ

35-тақырып. ЭЛЕКТР ӨТКІЗГІШТІК. ТОК КҮШІНІҢ КЕРНЕУЛІККЕ БАЙЛАНЫСТЫЛЫҒЫ

8-сыныпта электр тогы бар болуы үшін 3 шарттың орындалуы керек екендігі айтылған болатын.

1. Ток көзі болуы.
2. Ток өтетін тізбекке еркін ауыса алатын зарядты бөлшектердің болуы.
3. Тізбектің тұйық болуы.

Сонымен қатар қатты, сұйық заттар мен газдарда электр тогының өту мәселесі қаралғанда, электр қарсылығы деген ұғым да енгізілген болатын. Электр тогы қандай зарядты бөлшектер есебінен туындайды? Неліктен электр тогының өтуіне орта қарсылық жасайды? Бұндай сұрақтарға жауап беруден бұрын электр өткізгіштік ұғымын енгізейік.

|| Электр кедергісіне кері шама *электр өткізгіштік* $\left(\frac{1}{R}\right)$ деп аталады.

Бұл бірлік неміс ғалымы Е. Р. Сиemenстің құрметіне осылай аталған.

$$\gamma = \frac{1}{R}; \quad (8.1)$$

$$1 \text{ Сиemenс} = 1\text{S} = \frac{1}{\Omega}.$$

Металдардың электр өткізгіштігін зерттеу XX ғасырдың бас кезінде қолға алынған болатын. 1901 жылы неміс ғалымы Карл Рикке өте жақсы тегістелген үш цилиндрден (екеуі алюминий, біреуі мыс) тұратын тізбек жасап, одан бір жыл бойы ток өткізеді (8.1-сурет). Бұл уақыт ішінде цилиндрлерден жалпы мөлшері $3,5 \cdot 10^6$ Кл заряд өтеді, бірақ бұл цилиндрлер жасалған заттың

химиялық құрамына ешқандай әсерін тигізбеген. Тәжірибе аяқталып, цилиндрлер алынған соң, олардың массалары да өзгермегендігі анықталды. Атомдардың бір-біріне өту іздері қатты денелердегі қарапайым диффузия нәтижелерінен ары асқан жоқ. Дегенмен бұл тәжірибе металдарға нақ қайсы бөлшектер арқылы ток өтетінін анықтап бере алмады.

Американ физиктері Т. Стюарт пен Р. Толмен төмендегідей тәжірибе өткізген. 1916 жылы өткен бұл тәжірибеде металл өткізгіш оралған үлкен диаметрлі кесінді минутына 500 рет айналатын жиілікпен айналмалы қозғалысқа келтіріліп, бірден тоқтатылған (8.2-сурет). Сонда кесіндідегі еркін зарядтар тағы біраз уақыт бойы инерциямен қозғалғандықтан, қысқа мерзімді ток пайда болған. Бұны ток өткізгіштің ұштарына жалғанған сырғанақ контактілер арқылы қосылған гальванометр тіркеген. Ғалымдар тәжірибе барысында ток тасымалдайтын бөлшектердің $\frac{q_0}{m}$ салыстырмалы зарядын анықтады. Ол $1,8 \cdot 10^{11}$ Кл/кг-ға тең болып, электронның салыстырмалы зарядына сай келеді.

Осынау ғылыми факт металдардың электр өткізгіштігінің классикалық теориясына негіз қалады.

XX ғасырдың бас кезінде неміс ғалымы П.Друде мен голланд физигі Х.Лоренс металдардың электр өткізгіштігінің классикалық теориясын жасады. Бұл теорияның негізгі мазмұны төмендегідей:

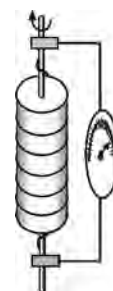
1. Металдарда электр өткізгіштіктің жоғары болуы оларда бірлік көлеміне тура келген еркін электрондардың көптігінен. Мысалы, мыста еркін электрондар концентрациясы $8,4 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ -қа тең. Электрондар нақ газға ұқсап тор иондары арасындағы кеңістікті толтырып, ретсіз әрі тоқтаусыз қозғалыста болады. Электрондардың металдардағы тәртіпсіз қозғалыс жылдамдығын есептегенде шамамен 60–100 км/сек-қа тең шығады. Сыртқы электр өрісі жоқтықтан, өткізгіштің кез келген қима беті арқылы өтетін электрондар қозғалысы хаотик болғандықтан электр тогы нөлге тең болады.

2*. П.Друде мен Х.Лоренс өткізгіштіктің электрон теориясын пайдаланып, тізбектің бір бөлігі үшін Ом заңын теория түрінде келтіріп шығарды.

Бұл үшін ұзындығы l , электрондар концентрациясы n және көлденең қима беті S болатын өткізгішті қарастырайық (8.3-сурет). Өткізгіштің ұштарына U кернеу берілсе, пайда болған өріс кернеулігі $E = \frac{U}{l}$ ықпалымен электрондар



8.1-сурет.



8.2-сурет.

$a = \frac{eE}{m}$ үдеу алады. t уақыттан кейін электронның жылдамдығы $v = \frac{eEt}{m}$ болады. t –электрондардың екі түйісуі аралығындағы уақыт. Түйісулерде электронның жылдамдық бағыты өзгереді, бірақ орташа жылдамдық сол күйінде қалады.

$$v_{\text{орт}} = \frac{eEt}{2m}. \quad (8.2)$$

Ток күшінің сипаттамасына орай

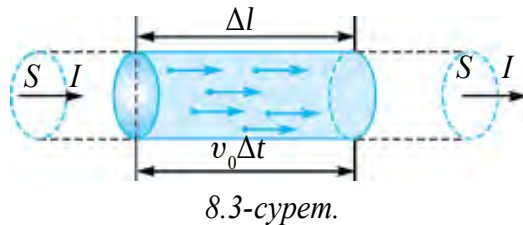
$$I = \frac{q}{t} = \frac{enV}{t} = \frac{enSl}{t} = enSv_{\text{орт}} \quad (8.3)$$

Бұнда (8.1) ескерілсе,

$$I = \frac{ne^2t}{2m_e} \frac{S}{l} U \quad (8.4)$$

ға ие боламыз.

$\gamma = \frac{ne^2t}{2m_e} \frac{S}{l}$ –өрнек электр өткізгіштік деп аталады. $\gamma = \frac{1}{R}$ өткізгіштік екендігі есепке алынса, $R = \frac{2m_e}{ne^2t} \frac{l}{S}$ –электр қарсылығының өрнегі келіп шығады.



Бұнда $\frac{2m_e}{ne^2t} = \rho$ –салыстырмалы қарсылық деп аталады. Салыстырмалы қарсылық дегенде, ұзындығы 1 м, көлденең қима беті 1 м^2 болатын өткізгіш қарсылығын түсінеміз.

Сонымен

Тізбектің бір бөлігінен өтетін ток күші өткізгіштің ұштарына берілген кернеулікке және өткізгіштікке тура пропорционал болады.

$$I = \gamma \cdot U. \quad (8.5)$$

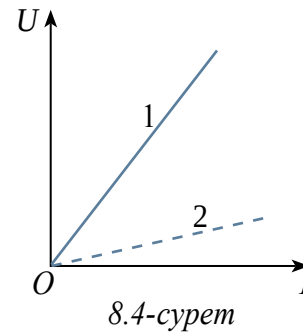
Бұл байланысты XIX ғасырдың бас кезінде тәжірибе жолымен неміс физигі Г. Ом тапқан болатын. Қалыпты жағдайда бұндай байланыс

$$I = \frac{U}{R} \quad (8.6)$$

көрінісінде бейнеленеді.

8.4-суретте тұрақты температурада екі металл өткізгіштен өтетін ток күшінің өткізгіш ұштарына қойылған кернеулікке байланыстылығы келтірілген.

Өткізгіштерден, аспаптар мен тұтынушылардан өтетін ток күшінің кернеулікке байланыстылық графигі вольт-ампер характеристикасы (ВАХ) деп аталады.



Заттардың салыстырмалы электр өткізгіштігі бойынша алынған нәтижелер өнеркәсіп пен халық шаруашылығында қолданылатын электротехникалық өнімдерді дайындауда маңызды рөл атқарады. Ток өткізетін кабельдер үшін электр тогын өткізу қабілетіне орай металл өткізгіштер таңдалады. Материал қате таңдалса, кернеуліктің өзгеруі салдарынан кабельдің қызып кетуіне және өрттің шығуына себеп болуы ықтимал.

Металдардың ішінде ең үлкен электр өткізгіштікке ие материал—күміс болып саналады. Күмістің салыстырмалы электр өткізгіштігі 20°C -де $63,3 \text{ MS/м}$ -ге тең. Күмістен электр сымдарын дайындау қымбатқа түсетіндіктен, электр өткізгіштік қабілеті тұрғысынан екінші орында тұратын мыс көбірек пайдаланылады. Оның салыстырмалы электр өткізгіштігі $58,14 \text{ MS/м}$ -ге тең. Мыс өткізгіштер тұрмыс қажетін өтеу саласында және өндірісте кең қолданылады. Балқу температурасы жоғары болғандықтан, ол электр жүктемелеріне төзімді әрі қызған күйінде ұзақ уақыт жұмыс істей алады.

Қолайлылығына қарай алюминий мыстан кейінгі орында тұрады. Оның салыстырмалы электр өткізгіштігі 20°C -де $35,71 \text{ MS/м}$ -ге тең. Алюминийдің балқу температурасы мысқа қарағанда шамамен екі есе аз, жүктемелерге төзімділігі де төмен.

Салыстырмалы электр өткізгіштігі кішілеу (нихром $0,9 \text{ MS/м}$, фехрал $0,77 \text{ MS/м}$) балқымалардан электр ысыту аспаптарының спиральдары әзірленеді.

Электролиттерде салыстырмалы электр өткізгіштік температураға, ерітіндінің концентрациясына және электролиттің табиғатына байланысты. Температура жоғарылаған сайын электролит ерітінділердің салыстырмалы электр өткізгіштігі (металдардан тыс) де арта береді. Концентрация артқанда электролит ерітінділердің салыстырмалы электр өткізгіштігі әуелі артады, сосын ең жоғары мәнге жеткен соң төмендей бастайды.

Салыстырмалы кедергіні немесе салыстырмалы электр өткізгіштікті өлшеу үшін *кондуктометр* деп аталатын аспаптар қолданылады. Кондуктометрдің көмегімен судың, конденсаттың немесе будың сапасы бақыланады. Қолданылу саласы—фармакология, медицина, биохимия, биофизика, химиялық технология, тамақ өнеркәсібі, суды тазалау және т.б.



1. Металдарда қандай бөлшектердің ретті қозғалысы себепті электр тогы пайда болады?
2. Өнеркәсіпте тек электр өткізгіштігі жоғары материалдар ғана пайдаланыла ма?
3. Аспаптың вольт-ампер характеристикасы дегенде нені түсінеміз?

36-тақырып. ТОК КҮШІ ЖӘНЕ ТОК ТЫҒЫЗДЫҒЫ. ЭЛЕКТР ТОГЫНЫҢ ӘСЕРЛЕРІ

Егер өткізгіштің көлденең қимасының бетінен кез келген тең уақыт ішінде тең мөлшердегі зарядтар ағып өтсе, өткізгіштен **тұрақты ток** өтіп жатыр дейміз.

Өткізгіштің көлденең қимасы арқылы тасымалданатын заряд мөлшерінің (q) сол жұмсалған t уақыт аралығына қатынасымен өлшенетін физикалық шама **ток күші** деп аталады:

$$I = \frac{q}{t}. \quad (8.7)$$

Электр тогының негізгі характеристикаларының бірі **ток тығыздығы** (j) болып саналады. Ток күші I -дің ток тасымалданатын бағытқа перпендикуляр көлденең қимасына қатынасымен өлшенетін физикалық шаманы ток тығыздығы дейді:

$$j = \frac{I}{S}. \quad (8.8)$$

Ток тығыздығы $\frac{A}{m^2}$ -пен өлшенеді.
Ток күшін

$$I = nev_{орт} S$$

көрінісінде өрнектеуге болады. Бұнда: n —заряд тасымалдаушылар концентрациясы; e —электрон заряды; $v_{орт}$ —зарядты бөлшектердің ретті қозғалыстарының орташа жылдамдығы; S —ток өтіп жатқан өткізгіштің көлденең қимасы.

Ондай жағдайда ток тығыздығын төмендегідей есептейді:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{nev_{орт} S}{S} = nev_{орт} \quad (8.9)$$

ne —көбейгіш заряд тығыздығын көрсетеді (бірлік көлемдегі заряд). Соған орай $j = r_e v_{орт}$ болады.

Ток тығыздығы векторлық шама болғандықтан, оң бөлшектің жылдамдығы $v_{\text{орт}}$ бағытымен беттесіп түседі.

Өткізгіштегі ток тығыздығы өткізгіштің қаншалық дәрежеде электр энергиясымен жүктелгенін көрсетеді. Өткізгіште артық шығындарға жол бермеу және қымбатқа түспеу үшін ондағы ток тығыздығын ұтымды таңдау керек.

Ток тығыздығының шамасына әсер етпесе де, техникада өткізгіштің материалы оның салыстырмалы кедергісі мен ұзындығына қарай таңдалады. Тұрмыстық мақсаттарға пайдаланылатын өткізгіштерді токтың үнемділік режиміне сәйкестендіріп таңдайды.

Үйлерде қолданылатын сымдар оншалықты ұзын болмағандықтан, оның үнемді ток тығыздығын 6–15 А/мм² аралығында етіп есептейді. Үй ішіндегі сылақ астында қалдырылатын диаметрі 1,78 мм (2,5 мм²) ПВХ изоляциялы мыс өткізгіш 30, тіпті 50 А ток күшіне төтеп бере алады.

Электр ұзату желілерінде үнемді ток тығыздығы шағындау, яғни 1–3,4 А/мм² айналасында болады. Өнеркәсіп жиілігінде (50 Гц) жұмыс істейтін электр машиналары мен трансформаторларында бұл мән 1-ден 10 А/мм²-ге дейін барады.

Сұйықтардағы электр тогын зерттегенде электродтардан зат мөлшерінің бөлініп шығатынымен танысқаның. Демек, кейбір орталардан электр тогы өткенде химиялық өзгерістер де болады. Сонымен қатар 8-сыныпта электр тогы тақырыбын өткенде өткізгіштердің қызатынын біліп алғаның. Қысқасы, электр тогының жылу әсерлері де бар. Оны тұрмыстық қызмет саласында, өнеркәсіпте кеңінен пайдаланады.

Өткізгіштерден ток ағып өткенде оның айналасында магнит өрісі туындайтынын алғаш рет даниялық ғалым Ханс Кристиан Эрстед 1820 жылы анықтаған болатын. Содан соң көп өтпей француз ғалымы Андре Мари Ампер ток өткізгіштердің өзара әсерленетінін ашты. Кейінгі зерттеулер ток тасымалдаушылардың магнит өрісі арқылы әсерленетінін көрсетті. Токтың магниттік әсерін зерттеу электротехниканың қарыштап дамуына жол ашты. Ерекше атап өтетін жері, ток металдардан, электролиттерден, газдар мен жартылай өткізгіштерден өткенде де токтың магниттік әсері сақталып қалады.

Металдардан ток өткенде оның химиялық әсері сезілмейді.

Мәселе шешу үлгісі

Диаметрі 1 мм-лік өткізгіштен 5 А ток өтіп жатыр. Өткізгіштегі ток сызығын есепте.

Берілгені:	Формуласы:	Шешуі:
$D = 1 \text{ мм}$ $I = 5 \text{ А}$	$j = \frac{I}{S}$ $S = \frac{\pi D^2}{4}$	$S = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 0,785 \text{ мм}^2$ $j = \frac{5 \text{ А}}{0,785 \text{ мм}^2} = 6,37 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ Жауабы: $6,37 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$.
Табу керек: $j - ?$		



1. Ток күші деген не?
2. Ток тығыздығының тұрмыстық қызметтегі және өнеркәсіптегі маңызы неде?
3. Электр тогының әсерлерін түсіндіріп бер.

37-тақырып. ТҰТАС ТІЗБЕККЕ АРНАЛҒАН ОМ ЗАҢЫ. ТОК КӨЗІНІҢ ПАЙДАЛЫ ӘСЕР КОЭФФИЦИЕНТІ

Өткізгіштен ток өткенде ол қызады және белгілі мөлшерде одан жылу бөлінеді. Демек, энергияның сақталу заңына орай, еркін электрондар өткізгіш бойлап ауысқанда электростатикалық өріс *жұмыс орындайды*. Бірақ электр тізбегінен энергия бөлінсе, энергияның сақталу заңына орай, нақ сонша энергия электр тізбегіне *келуі керек*. Осы арада мынадай сұрақ туылады: бұл тізбектің қайсы бөлігінде жүзеге асады және қандай физикалық үдерістер нәтижесінде энергия электр тізбегіне беріледі? Алдымен мынаны анықтап алайық: электр тізбегіндегі энергия көзі міндетін электростатикалық өріс орындай ала ма?

Жоқ, орындай алмайды. Өйткені 33-тақырыпта қарастырылғанындай, электростатикалық өрісте зарядты *тұйық* траектория бойлап ауыстырғанда орындалған жұмыс *нөлге* тең. Демек, еркін зарядтар *тек* электростатикалық өріс әсерінде ғана тұйық тізбек болып қозғала алмайды.

Жоғарыда айтылғандардан шығатын қорытынды сол, тізбектің әлдеқандай бір бөлігінде зарядтарға *электростатикалық емес күштер* әсер етуі керек. Бұндай күштерді *шеткі күштер* дейді. Олар зарядқа ток көзінің ішінен әсер етеді, нақ сол күштер энергияны электр тізбегіне тасымалдап береді.

Ток көзінде шеткі күштердің әсерімен зарядтардың ажырауы орын алады. Соның нәтижесінде қайнаркөздің бір полюсінде оң заряд, екіншісінде теріс заряд шоғырланады. Полюстер арасында потенциалдар айырмасы пайда болады.

Токтың химиялық көздерінде шеткі күштер химиялық сипатқа ие болады. Мысалы, егер мырыш пен мыс электродтарды сульфат қышқылына салсақ, мырыштың оң иондары мыстың теріс иондарына қарағанда өз электродын жиі-жиі тастап кететін болады. Соның нәтижесінде мыс және мырыш электродтар арасында потенциалдар айырмасы туындайды: мыс электродтардың потенциалы мырыштікіне қарағанда үлкен болады. Мыс электрод *ток көзінің оң полюсі*, ал мырыш электрод *теріс полюсі* болады.

Ток көзіндегі шеткі күштер еркін зарядтарды электростатикалық өріс күштеріне қарсы ауыстыруда $A_{\text{шет}}$ жұмыс орындайды.

Бұл жұмыс берілген уақыт ішінде тізбекті бойлап ауысып жатқан q заряд мөлшеріне пропорционал болады. Соған орай шеткі күштер орындаған жұмыстың заряд мөлшеріне қатынасы $A_{\text{шет}}$ -ке де, q ға да байланысты болмайды. Демек, ол ток көзінің характеристикасы болып саналады. Бұл қатынас, яғни бірлік q оң зарядты тұйық тізбек бойлап ауысқанда орындалған жұмыс ток көзінің *электр жүргізетін күші (ЭЖК)* деп аталады және $\mathcal{E}$ әрпімен белгіленеді:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{шет}}}{q}. \quad (8.9)$$

ЭЖК кернеу секілді вольтпен өлшенеді.

Егер тізбектегі ток күші I болса, t уақыт ішінде тізбектен $q = It$ заряд өтеді. Соған орай (1) формуланы төмендегідей етіп жазып аламыз:

$$A_{\text{шет}} = \mathcal{E} It. \quad (8.10)$$

Осы кезде ток көзінің ішінде және сыртқы тізбекте

$$Q_{\text{ішкі}} = I^2 r t \quad \text{va} \quad Q_{\text{сыртқы}} = I^2 R t \quad (8.11)$$

жылу мөлшері бөлініп шығады. Бұндағы r —ток көзінің кедергісі, ол *ішкі кедергі* деп аталады.

Энергияның сақталу заңына орай

$$Q_{\text{сыртқы}} + Q_{\text{ішкі}} = A_{\text{шеткі}}. \quad (8.12)$$

(8.9), (8.10) және (8.11)-лерді (8.12)-ге қойып, тиісті амалдар орындалып болған соң

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} \quad (8.13)$$

ға ие боламыз. Бұл өрнек *тұтас тізбекке арналған Ом заңы* деп аталады.

$R + r$ -ді тізбектің *толық кедергісі* дейді.

Тұтас тізбекке арналған Ом заңын

$$\mathcal{E} = IR + Ir \quad (8.14)$$

көрінісінде жазып аламыз. Бұл өрнектегі бірінші қосылғыш ток көзінің полюстеріндегі U кернеулікке тең:

$$IR = U.$$

Ток көзінің полюстеріндегі *ең жоғары кернеу* $\mathcal{E}$ -ге тең. Бұл $I = 0$ болғанда жүзеге асады. Сыртқы тізбекке кедергі жалғанбай, ашық қалса, ток күші нөл болады. Бұл жағдайда

$$U_{\text{макс}} = \mathcal{E}.$$

Ток көзі полюстерінің арасындағы *ең төмен кернеу* нөлге тең. Бұл жағдай қысқа тұйықталу жүзеге асқанда, яғни сыртқы кедергі $R = 0$ болғанда байқалады. Бұнда ток күші ең жоғары болады:

$$I_{\text{кт}} = \frac{\mathcal{E}}{r}. \quad (8.15)$$

Оны *қысқа тұйықталу тогы* дейді.

Сыртқы тізбекте орындалған жұмыс *пайдалы жұмыс* делінеді. Оны $A_{\text{п}}$ – мен белгілейік. Токтың орындаған жұмысы формуласын пайдаланып,

$$A_{\text{п}} = I^2 R t$$

ны аламыз.

$$A_{\text{шет}} = I^2 R t + I^2 r t$$

болғандықтан, пайдалы жұмыстың шеткі күштер орындаған жұмысқа қатынасын табамыз:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{шет}}} = \frac{I^2 R t}{I^2 R t + I^2 r t} = \frac{R}{R+r}. \quad (8.16)$$

Пайыздармен өрнектелген бұл қатынасты ток көзінің ПӘК-і дейді.



1. Не себептен электростатикалық өріс электр тізбегіндегі энергия көзі міндетін атқара алмайды?
2. Шеткі күштер дегенде нені түсінеміз?
3. Электр жүргізуші күш дегенде қандай күшті меңзейді?
4. Қысқа тұйықталу қандай құбылыс?

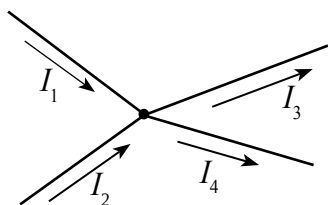
38-тақырып. ТОК КӨЗДЕРІН ТІЗБЕКТІ ТҮРДЕ ЖӘНЕ ПАРАЛЛЕЛЬ ҚОСУ

Электр тогының химиялық көздерінің полюстерінде туындайтын ЭЖК-нің мәні кіші болады. Мысалы, гальваникалық элементтер тобына жататын Даниель элементінің ЭЖК 1,1 В-қа, Лекланше элементінікі 1,4 В-қа тең. Қышқылды аккумулятордың зарядталған замат өлшенген ЭЖК 2,7 В болса, сілтілі аккумулятордікі 1,3 В болады.

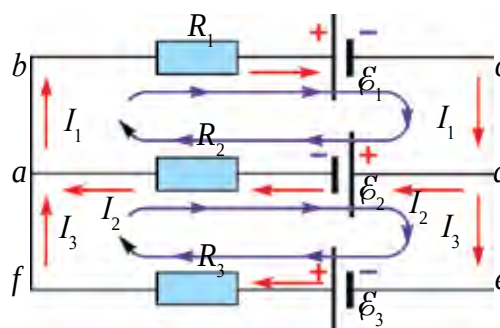
Көптеген техникалық қондырғыларды іске қосу үшін үлкен кернеу талап етіледі. Мысалы, автомобиль моторын айналдырып іске қосу үшін үлкен қуатты 12 В-ты тұрақты ток көзі қажет. Бұндай кездерде элементтерді немесе аккумуляторларды өзара тізбектеп яки параллель қосу керек болады.

Ток көздерін өзара тізбекті түрде немесе параллель қосқанда пайда болатын тізбектердегі ток күші мен кернеуліктерді есептегенде Кирхгоф ережелері пайдаланылады.

Ток тасымалдайтын сымдардың кемінде үшеуі түйісетін нүкте **түйін** деп аталады. Түйінге енетін ток бағыты оң деп, ал шығатын ток бағыты теріс деп қабылданады (8.5-сурет).



8.5-сурет.



8.6-сурет.

Кирхгофтың бірінші ережесі. Түйінге қосылған өткізгіштер арқылы енетін және шығатын токтардың алгебралық жиынтығы нөлге тең:

$$I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0. \quad (8.17)$$

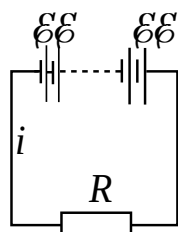
Тармақтанған тізбектерде әрқашан ток бағыты бойынша бірнеше тұйық жолдарды ашып алуға болады. Бұндай тұйық жолдар *контур* деп аталады. Ажыратып алынған контурдың түрлі бөліктерінен әр түрлі ток ағып өтуі мүмкін. 8.6-суретте қарапайым тармақтанған тізбек келтірілген.

Кирхгофтың екінші ережесі. Тұйық контур тармақтарындағы кернеуліктердің алгебралық жиынтығы контурдағы ЭЖК-лердің алгебралық жиынтығына тең:

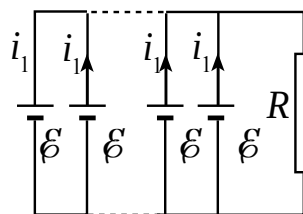
$$\begin{aligned} I_1 R_1 + I_2 R_2 &= -\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2; \\ -I_2 R_2 + I_3 R_3 &= \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2; \\ I_1 + I_2 + I_3 &= 0. \end{aligned} \quad (8.18)$$

Ток көздерін есептеу кезінде шеткі күштердің бағыты оң болып саналады.

Бұл ережелерді пайдалана отырып, ток көздерін тізбекті түрде және параллель қосуды үйренеміз.



8.7-сурет.



8.8-сурет.

Мәселені оңайлату үшін қосылатын барлық элементтердің ЭЖК-лері $\mathcal{E}$ -ні және ішкі кедергілері r -ді тең деп аламыз.

1. n дана элементті тізбектей қосып, батарея құрастырайық (8.7-сурет). Оны сыртқы R кедергіге қосайық. Кирхгофтың екінші заңын тұйық контурға қолданамыз:

$$n\mathcal{E} = I_1 R + n I r.$$

Бұдан

$$I = \frac{n\mathcal{E}}{R + nr}. \quad (8.19)$$

Демек, n дана элементті тізбекті түрде қосып, батарея құрастырғанда, жалпы ЭЖК n есе артады.

Бұндай қосу сыртқы кедергі ішкі кедергіден бірнеше есе үлкен болғанда тиімділігі жоғары болады. Расында да $R \gg nr$ болғанда, (8.19) формуладағы nr -ді R -ге сәйкес есепке алмаса да болады. Ондай жағдайда

$$I \approx \frac{n\mathcal{E}}{R},$$

яғни n дана элемент тізбектеліп қосылғанда, тізбектегі ток күші бір элементпен салыстырғанда n есе үлкен болады.

2. Батареяны және n дана элементті параллель қосып, тізбек құрастырайық (8.8-сурет). Оны сыртқы R кедергіге қосайық. Кирхгофтың екі заңын да тұйық контурға енгіземіз.

$$I = nI_1, \quad \mathcal{E} = IR + I_1 r$$

Бұл жерде: I_1 – бір элементтен өтетін ток күші. Бұдан,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + \frac{r}{n}}. \quad (8.20)$$

Демек, n дана элементті параллель қосып, батарея құрастырғанда, жалпы ЭЖК өзгермейді, ішкі кедергілері n есе азаяды.

Параллель қосу сыртқы кедергі ішкі кедергіден кіші болған жағдайларда жақсы тиімділік береді. $R \ll r$ болғанда (8.25) формуланы

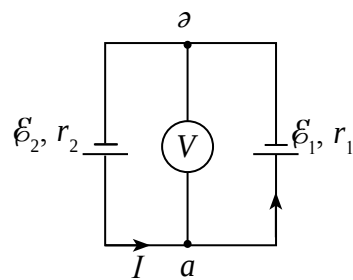
$$I \approx n \frac{\mathcal{E}}{r}$$

көрінісінде жазып аламыз.

Бұдан жалпы ток күшінің бір элемент беретін ток күшіне сәйкес n есе артатыны келіп шығады.

Практикада элементтің ЭЖК-лері мен ішкі кедергілері әр түрлі болатын жағдайлар да тууы мүмкін.

Алдымен көздің бірдей өрнектегі полюстері өзара қосылған қалыпты қарастырайық. 8.9-суреттегі электр сызбасында ішкі кедергілері r_1 және r_2 , ЭЖК-лері $\mathcal{E}_1$ және $\mathcal{E}_2$ болған екі элементтің бірдей өрнектегі полюстері өзара қосылған жағдай келтірілген. Сызбаның a және ∂ нүктелеріне қосылған вольтметр нені көрсетеді? Бұл жерде вольтметрдің ішкі кедергісі элементтердің ішкі кедергісінен көп есе үлкен деп қаралады.



8.9-сурет.

Егер $\mathcal{E}_2 > \mathcal{E}_1$ болса, тізбектегі ток бағыты 8.9-суретте көрсетілгендей болып шығады. Вольтметрдің ішкі кедергісі үлкен болғандықтан, одан өтетін токты есепке алмаймыз. Кирхгофтың екінші ережесіне орай, элементтердің ішкі кедергілеріндегі потенциал түсуі элементтердің ЭЖК-лерінің жиынтығына тең.

$$Ir_1 + Ir_2 = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1. \quad (8.21)$$

Бұнда минус өрнегінің қолданылу себебі, элементтер тізбекте қарама-карсы бағыттағы токтарды құрайды. Тізбектен өтетін ток күші

$$I = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}{r_1 + r_2} \quad (8.22)$$

-ге тең болады.

Вольтметрдің көрсеткіші

$$U = \mathcal{E}_1 + Ir_1 = \frac{\mathcal{E}_2 r_1 + \mathcal{E}_1 r_2}{r_1 + r_2} \quad (8.23)$$

-ке тең болады.

Мәселе шешу үлгісі

Ішкі кедергілері 0,4 Ом және 0,6 Ом болған екі ток өрісінің біреуінің ЭЖК 2 В-ға, екіншісінікі 1,5 В-ға тең, олар 8.9-суреттегідей қосылған. *a* және *b* нүктелері арасындағы кернеуді тап.

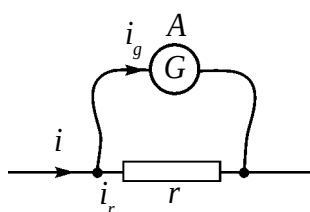
Б е р і л г е н і :	Ф о р м у л а с ы :	Ш е ш у і :
$r_1 = 0,6 \text{ Ом}$ $r_2 = 0,4 \text{ Ом}$ $\mathcal{E}_1 = 2 \text{ В}$ $\mathcal{E}_2 = 1,5 \text{ В}$	$U = \frac{\mathcal{E}_2 r_1 + \mathcal{E}_1 r_2}{r_1 + r_2}$	$U = \frac{1,5 \text{ В} \cdot 0,4 \text{ Ом} + 2 \text{ В} \cdot 0,6 \text{ Ом}}{0,4 \text{ Ом} + 0,6 \text{ Ом}} = 1,8 \text{ В.}$
Табу керек: $U = ?$		Жауабы: $U = 1,8 \text{ В.}$



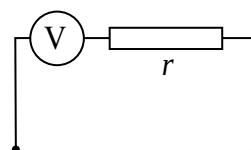
1. Кирхгоф ережелерін қандай тізбектерді есептеу кезінде қолдануға болады?
2. Ток көздерін тізбектеп қосу қандай жағдайларда орынды болады?
3. Қандай кездерде ток көздері параллель қосылады?

39-тақырып. АМПЕРМЕТР МЕН ВОЛЬТМЕТРДІҢ ӨЛШЕУ ШЕКАРАСЫН АРТТЫРУ

Электр тізбектерінде қолданылатын электр өлшеу аспаптары белгілі бір шекарада жұмыс істейді. Мысалы, гальванометр өте сезгіш аспап болғандықтан, өте әлсіз ток күші мен кернеуді өлшей алады. Олардың өлшеу шекарасын арттыру үшін оларға қосымша түрде кедергілер қосылады.



8.10-сурет.



8.11-сурет.

Гальванометрді амперметр есебінде қолдану үшін оған параллель түрде шунт деп аталатын, өте кішкене шамамен жұмыс істейтін кедергі қосылады (8.11-сурет).

Гальванометрдің кедергісін R -мен, шунттың кедергісін r -мен белгілейік. Гальванометр мен шунт өзара параллель қосылғандықтан, олардың ұштарындағы кернеу U -ға тең болады. Ол жағдайда гальванометрден және шунттан өтетін ток күштері

$$I_g = \frac{U}{R} \text{ және } I_r = \frac{U}{r}$$

ға тең болады. Тізбектегі жалпы ток күші I , гальванометрден өтетін ток күші I_g -ден n есе үлкен делік:

$$I = n \cdot I_g; \quad \frac{I_r}{I_g} = \frac{R}{r} = n$$

Тізбектегі ток күші $I = I_g + I_r = I_g n + I_g = I_g (n + 1)$, немесе

$$\frac{I_g}{I} = \frac{1}{n+1}.$$

Сонымен гальванометрден өтетін ток күші жалпы ток күшінен $(n + 1)$ есе кіші болады. Ток күштерінің өрнектері арқылы гальванометрге қосылатын шунттың кедергісін табамыз:

$$\frac{U}{R}(n-1) = \frac{U}{r}, \quad \boxed{r = \frac{R}{n-1}}. \quad (8.24)$$

Осылайша гальванометрге параллель түрде кедергісі r болған шунт қосылса, оның өлшеу шекарасы n есе артады және аспап шкаласының ажырау дәрежесі $(n+1)$ есе артады.

Гальванометрді вольтметр есебінде қолдану үшін оған тізбекті түрде қосымша кедергі қосылады (8.11-сурет). Бұнда да гальванометрдің кедергісін R -мен, қосымша кедергіні r -мен белгілейміз. Гальванометр мен қосымша кедергі өзара тізбекті түрде қосылғандықтан, олардан өтетін ток күштері $I = I_g = I_r$ болады. R мен r тізбекті түрде қосылғандықтан, жалпы кернеулік

$$U = I(R + r) = IR + I \cdot r$$

болады. Тізбектегі жалпы кернеулік U -дың n U_g -ге қатынасын

$$n = \frac{U}{U_g}$$

деп аламыз.

Бұл жердегі U_g – гальванометрдің кернеуін өлшеу шекарасы. Жалпы кернеу өрнегін екі жаққа да U -ға бөліп жіберсек, $n = 1 + \frac{r}{R}$ болады. Бұдан

$$\boxed{r = R(n-1)}. \quad (8.25)$$

Демек, гальванометрге тізбекті түрде r кедергі жалғанса, оның кернеу-лігін өлшеу шекарасы n есе артады. Бұл жағдайда аспап шкаласының бөліну дәрежесі $(n+1)$ есе артады.

Қалыпты жағдайда үлкен мәнді кернеуліктерді өлшейтін вольтметрлер осы қағидатқа сүйеніп жұмыс істейді.

Мәселе шешу үлгісі

1. Кедергісі $0,04$ Ом болған шунт қосылған амперметр тармаққа жалғанғанда 5 А -ны көрсетті. Амперметрдің ішкі кедергісі $0,12$ Ом. Тізбектің тармақталмаған бөлігіндегі ток күшін тап.

Берілгені:	Формуласы:	Шешілуі:
$r = 0,04$ Ом $I_A = 5$ А $R_A = 0,12$ Ом	$r = \frac{R}{n-1},$ $n = \frac{R}{r} + 1$ $I = nI_A$	$n = \frac{0,12 \text{ Ом}}{0,04 \text{ Ом}} + 1 = 3 + 1 = 4;$ $I = 4 \cdot 5 \text{ А} = 20 \text{ А}.$
Табу керек: $I = ?$		Жауабы: $20 \text{ А}.$

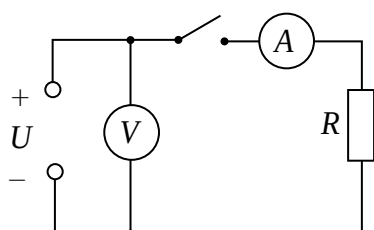


1. Амперметрге шунт қалай қосылады?
2. Вольтметрге қосылатын қосымша кедергі қалай таңдалады?
3. Вольтметрге қосымша кедергіні параллель қосып қойса не болады?

40-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: ТОК КӨЗІНІҢ ЭЖК ЖӘНЕ ІШКІ КЕДЕРГІСІН АНЫҚТАУ

Жұмыстың мақсаты: амперметрдің және вольтметрдің көмегімен ток көзінің электр жүргізуші күшін және ішкі кедергісін анықтау.

Керекті аспаптар: 1) зертханалық әмбебап ток көзі немесе аккумулятор батареясы; 2) амперметр; 3) вольтметр; 4) айырып-қосқыш; 5) өткізгіш сымдары; 6) 10 Ом, 20 Ом -дық кедергілер.



8.12-сурет.

Жұмыстың орындалуы.

1. 8.12-суретте келтірілген электр тізбегі жиналады. Тізбекке 10 Ом-дық кедергі жалғанады.
2. Айырып-қосқыш ашық күйінде вольтметрдің көрсеткіші U_v жазып алынады. $U_v = \mathcal{E}$ -ге тең деп алынады.
3. Айырып-қосқыш жалғанады және амперметр көрсеткіші I_A жазып алынады.

4. Нәтижелері кестеге көшіріледі.

Тәжірибе №	U_v , В	U_2 , В	I_A , А	$\mathcal{E}$, В	r , Ом
1.					
2.					

5. Ток көзінің ішкі кедергісі $r = \frac{\mathcal{E} - U_2}{I}$ -дан есептеледі және нәтижесі кестеге көшіріледі.

6. Тізбекке 20 Ом -дық кедергі жалғанып, тәжірибе қайталанады.

7. 1-тәжірибе мен 2-тәжірибеде табылған r_1 және r_2 -лерді салыстыр.



1. Электр тізбегінің қайсы бөлігі ішкі, қайсы бөлігі сыртқы тізбек деп аталады?
2. Ток көзінің ЭЖК дегенде нені түсінеміз?
3. Ток көзінің ішкі кедергісі ненің есебінен пайда болады?

8-жаттығу

1. Батареяның ЭЖК 1,55 В. Оны кедергісі 3 Ом болған сыртқы кедергіге қосқанда батарея қысқыштарындағы кернеу 0,95 В-қа тең болды. Батареяның ішкі кедергісі неге тең?

2. ЭЖК 30 В батарея жалғанған ток тізбегіндегі ток күші 3 А-ға тең. Батарея қысқыштарындағы кернеу 18 В. Батареяның ішкі кедергісі мен сыртқы тізбек кедергісін тап.

3. Электр тогы көзін 5 Ом-дық кедергіге қосқанда тізбектегі ток күші 5 А-ға, 2 Ом-дық кедергіге қосқанда тізбектегі ток күші 8 А-ға тең болды. Көздің ішкі кедергісі мен ЭЖК-ін тап. (Жауабы: 3 Ом; 40 В).

4. Ток көзі элементінің ЭЖК 1,5 В. Қысқа тұйықталу тогы 30 А. Элементтің ішкі кедергісі неге тең? Егер элемент кедергісі 1 Ом болған кесіндіге жалғанса, элементтің полюстеріндегі кернеу неге тең болады?

5. Егер батареяға жалғанған сыртқы кедергі n есе артқанда, кедергідегі кернеу U_1 -ден U_2 -ге артатын болса, батареяның ЭЖК неге тең? (Жауабы: $\mathcal{E} = U_1 \cdot U_2 (n-1)/(U_1 n - U_2)$).

6. Қандай жағдайда батареяның ұштарындағы кернеулік оның ЭЖК-нен үлкен болуы мүмкін?

7. ЭЖК $\mathcal{E}_1$ және $\mathcal{E}_2$ болған элементтер параллель қосылған. Егер олардың ішкі кедергілері тең болса, элементтер қысқыштарындағы потенциалдар айырмасы қандай болады?

8. ЭЖК 1,5 В және 2 В болған элементтер бірдей өрнекті полюстері арқылы жалғанған. Батарея клеммаларына жалғанған вольтметр 1,7 В кернеуді көрсетті. Элементтердің ішкі кедергілерінің қатынасын тап (Жауабы: $r_1/r_2 = 2/3$).

9. ЭЖК 1,3 В және 2 В болған элементтердің ішкі кедергілері сәйкесінше 0,1 Ом-ға және 0,25 Ом -ға тең. Олар параллель қосылған. Тізбектегі ток күші мен элементтер қысқыштарындағы кернеуді тап.

10. Вольтметрдің төрт өлшеу шекарасы бар: 3, 15, 75, 150 В. Аспаптан өтуі мүмкін ток күші 0,8 мА. Егер вольтметрдің ішкі кедергісі 1000 Ом болса, онда жалғанатын қосымша кедергілер R_1 , R_2 , R_3 және R_4 -терді тап (Жауабы: 9, 49, 249 және 499 кОм).

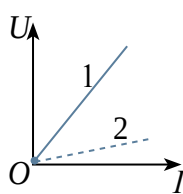
11. Ішкі кедергісі 200 Ом болған гальванометр ток күші 100 мкА болғанда бүтін шкалаға бұрылады. Оған қандай кедергіні тізбекті етіп жалғаса, вольтметр ретінде жұмыс істеп, 2 В кернеуге дейін өлшей алады?

VIII тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

1. Ток көзінің электр жүргізуші күші қандай бірлікпен бейнеленеді?
A) Н; B) Дж; C) А; D) В.
2. Ток көзінің ЭЖК 12 В. Көз ішінде 50 Кл зарядты бір полюстен екіншісіне ауыстыруда шеткі күштер неше джоуль жұмыс атқарады?
A) 60; B) 50; C) 330; D) 600.
3. Металдардың электр өткізгіштігінің классикалық теориясының негізін бірінші болып кім салған?
A) П.Друде мен голланд физигі Х.Лоренс;
B) Е.Р.Сиеменс;
C) К.Рикке;
D) Т.Стюарт пен Р.Толмен.
4. Амперметрге жалғанатын шунт қалай таңдалады және қалай жалғанады? R_A – амперметр кедергісі, r – шунт кедергісі.
A) $R_A > r$, тізбекті түрде жалғанады; B) $R_A > r$, тізбекті түрде жалғанады;
C) $R_A < r$, тізбекті түрде жалғанады; D) $R_A < r$, параллель жалғанады.
5. Вольтметрге жалғанатын қосымша кедергі қалай таңдалады және қалай жалғанады? R_v – вольтметр кедергісі, r – қосымша кедергі.
A) $R_v > r$, параллель жалғанады; B) $R_v > r$, тізбекті түрде жалғанады;
C) $R_v < r$, тізбекті түрде жалғанады; D) $R_v < r$, параллель жалғанады.
6. Электр тізбегінің кедергісі 4 Ом болған резистордан және ЭЖК 12 В, ішкі кедергісі 2 Ом болған ток көзінен түзілген. Резистордағы кернеулік неше вольт?
A) 8; B) 2; C) 4; D) 12.
7. Сөйлемді толықтыр. n дана элементті ... жалғап, батарея құрастырғанда жалпы ЭЖК n есе
A) ... тізбекті түрде ... артады; B) ... тізбекті түрде ... азаяды;
C) ... тізбекті түрде ... өзгермейді; D) ... параллель ... артады.
8. n дана элементті ... жалғап, батарея құрастырғанда жалпы ЭЖК ..., ішкі кедергі n есе ...
A) ... параллель ... өзгермейді...азаяды;
B) ... параллель ... артады ... азаяды;
C) ... параллель ... өзгермейді ... артады;
D) ... тізбекті түрде ... өзгермейді ... азаяды.

9. Ішкі кедергісі 0,01 Ом болған ток көзі қысқа тұйықталғанда, ток күші 1000 А болды. Көздің ЭЖК-ін тап (В).
 А) 10; В) 9; С) 12; D) 15.
10. Ішкі кедергісі 2 Ом болған батареяға 50 Ом-дық сыртқы кедергі жалғанды. Егер батареяның ЭЖК 12 В болса, ПӘК-ін (%) тап.
 А) 92; В) 89; С) 96; D) 100.

VIII тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Электр тогының бар болу шарттары	1. Ток көзінің болуы. 2. Ток тасымалданатын тізбекте еркін ауыса алатын зарядты бөлшектердің болуы. 3. Тізбектің тұйық болуы.
Электр өткізгіштік	Электр кедергісіне теріс шама.
Вольт-ампер характеристикасы (ВАХ)	Өткізгіштерден, аспаптардан және тұтынушылардан тасымалданатын ток күшінің кернеулікке тәуелділік графигі. 
Токтың тығыздығы	Ток күшінің (I) ток тасымалданып жатқан бағытқа перпендикуляр болған көлденең қимасына (S) қатынасы $j = \frac{I}{S}; j = nev_{\text{орт}}$
Электр жүргізуші күш (ЭЖК)	$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{шет}}}{q}$ – ауыстыруда шеткі күштердің орындаған жұмысы. Бірлігі – 1 В.
Бүкіл тізбекке арналған Ом заңы	$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$
Қысқа тұйықталу тогы	$I_{\text{кт}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$ – сыртқы кедергі нөлге тең болғандағы ток күші.

Ток көзінің ПӘК	$\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100 \%$.
Кирхгофтың бірінші ережесі	Түйінге жалғанған өткізгіштер арқылы кіретін және шығатын токтардың алгебралық жиынтығы нөлге тең: $I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n = 0$.
Кирхгофтың екінші ережесі	Тұйық контур тармақтарындағы кернеулік бәсеңдігінің жиынтығы контурдағы ЭЖК-тердің алгебралық жиынтығына тең: $I_1 R_1 + I_2 R_2 + \dots + I_n R_n = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_n$.
n элементті тізбекті түрде жалғап, батарея құрастыру	$I = \frac{n\mathcal{E}}{R+nr}$. n элементті тізбекті түрде жалғап, батарея құрастырғанда жалпы электр жүргізуші күштер n есеге артады.
n элементті параллель жалғап, батарея құрастыру	$I = \frac{\mathcal{E}}{R+\frac{r}{n}}$ n элементті параллель жалғап, батарея құрастырғанда жалпы электр жүргізуші күштер n есеге азаяды.
Шунт	Амперметрдің өлшеу шекарасын арттыру үшін аспапқа параллель жалғанатын кіші мәнді кедергі $r = \frac{R}{n-1}$.
Қосымша кедергі	Вольтметрдің өлшеу шекарасын ұлғайту үшін аспапқа тізбекті түрде жалғанатын үлкен мәнді кедергі, $r = R(n-1)$ ға тең.

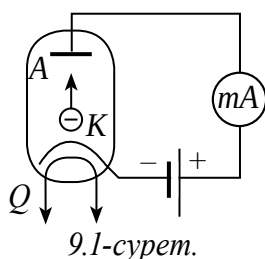
IX тарау. ТҮРЛІ ОРТАЛАРДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

41-тақырып. ВАКУУМДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

Вакуумдағы электр тогын зерттеу үшін шыны немесе металл қалпақ (аузы жабық ыдыс) ішіне бір-бірінен белгілі қашықтыққа екі электрод орнатылады. Қалпақ астындағы ауа сорып алынады. Ауа сондай дәрежеде сорылуға тиіс, молекулалар өз қозғалысы барысында екі электродтың арасында түйіспесін. Бұл үшін қалпақ астында қалған ауаның қысымы $p \ll 10^{-13}$ мм сынап бағаны айналасында болуы керек.

Электродтардың біреуін анод (A) деп атаймыз да, оны көздің оң полюсіне жалғаймыз. Екіншісін катод (K) деп атап, оны көздің теріс полюсіне жалғаймыз (9.1-сурет).

Анод пен катодтың аралығына кернеулік қойылғанда, тізбекке жалғанған сезгір гальванометр ешқандай токтың жоқ екендігін көрсетеді. Ал бұл вакуумда ток тасымалдайтын зарядты бөлшектердің жоқтығын дәлелдейді.



Зарядты бөлшектерді туғызу үшін катодты арнаулы қыздырғыш (Q) құралмен қыздырамыз. Қыздырғыш спираль пішінінде жасалып, одан дербес электр тогы өткізіледі.

Металдардың қызуы себепті олардан электрондардың ұшып шығу құбылысы *термоэлектрондық эмиссия* деп аталады.

Катод қыздырылғанда, одан ұшып шыққан электрондарға анод пен катод аралығына қойылған электр өрісі әсер етеді. Соның нәтижесінде электрондар катодтан анодқа қарай жедел қозғалады. Анод тізбегіне жалғанған гальванометр токтың бар екенін тіркейді.

Енді анодты ток көзінің теріс полюсіне, ал катодты оң полюске жалғайық. Бұл жағдайда гальванометрдің стрелкасы бұрылмайды, яғни тізбектен ток өтпейді.

Вакуумдағы электр тогы электрондар ағынының ретті қозғалысынан тұрады.

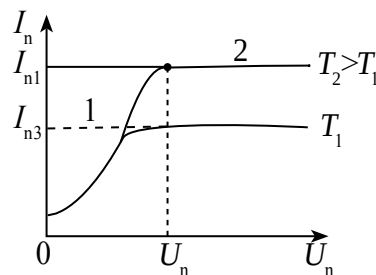
Анод пен катодтан тұратын вакуумды шам **қос электродты электрон шам**—диод деп аталады.

Кез келген электронды аспаптың қасиеті оның *вольт-амперлік характеристикасы*, яғни одан ағып өтетін ток күшінің аспапқа берілген кернеулікке байланыстылығымен белгіленеді.

Диодтың вольт-амперлік характеристикасын зерттеу үшін диодтың қыздырғышына тұрақты 4 В кернеу беріліп, өзгеріссіз сақталады. Соның нәтижесінде қыздырғыш бірқалыпты тұрақты T_1 температурада қызып тұрады. Анод пен катод аралығындағы кернеу нөлге тең болғанда, қызған катодтан атылып шыққан электрондар катод төңірегінде *электронды бұлт* туындатады. Анодтың кернеуі артқан сайын электронды бұлттағы электрондар анодқа қарай қозғалыс жасап, электронды бұлт сейіле бастайды. Бұнда кернеулік артқан сайын анодтың тогы да арта түседі (9.2-сурет). Диодтың вольт-амперлік характеристикасында бұл 1-салаға тура келеді. Бірақ бертін келе кернеудің артуы анод тогының артуына айтарлықтай әсер етпейді, бұл характеристиканың 2-саласына тура келеді. Бұл кезде катодтан ұшып шығып жатқан барлық электрондар анодқа жетіп барады да, анод тогы өзгеріссіз қалады. Осы кездегі анод тогы **тойыну тогы** деп аталады.

Қыздырғыштың кернеуін 6 В-ға жеткізіп тәжірибені қайталаса, оның температурасы T_2 болады. Бұнда тойыну тогының мәні артады.

Характеристикадан көрініп тұрғанындай, ток күшінің кернеуге байланыстылығы сызықты емес. Характеристиканың 1-бөлігінде ток күшінің кернеулікке тәуелділігі



9.2-сурет.

$$I_a = kU^{3/2} \quad (9.1)$$

зандылығына мойынсұнатыны анықталған. Бұл формуланы **Богуславский-Ленгмюр формуласы** деп атайды.

Қуаты үлкен жартылай өткізгішті диодтар шығарылмай тұрып, вакуумды диодтар айнымалы токтарды реттеуде пайдаланылған.



1. *Электр тогын вакуумда бақылау үшін электрон шам ішіндегі қысым қаншадан аспауы керек?*
2. *Ток тасымалдаушы бөлшектер вакуумда қалай пайда болады?*
3. *Электронды бұлт деген не?*
4. *Диодты қандай мақсаттарда пайдалануға болады?*

42-тақырып. МЕТАЛЛ ӨТКІЗГІШТЕР КЕДЕРГІСІНІҢ ТЕМПЕРАТУРАҒА ТӘУЕЛДІЛІГІ

Металл өткізгіштердің кедергісі температураның өзгерісіне тәуелді ме?

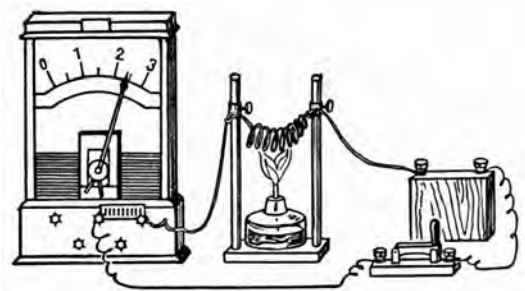
Бұны талқылап көрейік. Бір жағынан, температураның артуы еркін электрондар жылдамдығының және түйісулер санының артуына әкеледі. Бұдан тыс кристалл тор түйіндеріндегі иондардың тербелу амплитудасы және оның қозғалыстағы электрондармен түйісулерінің саны артады. Соның нәтижесінде зарядталған бөлшектердің ретті қозғалыс жылдамдығы төмендейді, ал бұл ток күшінің азаюына әкеледі.

Екінші жағынан, температура артқанда, бірлік көлемдегі еркін электрондардың саны да артады. Мысалы, электролитті ерітінділерде иондар саны артады.

Қайсы себепшарт көбірек рөл ойнаса, температураның артуы өткізгіш кедергісінің артуына немесе азаюына әкелуі мүмкін.

Бұл пікірталастың дұрыстығын тексеру үшін төмендегідей тәжірибе өткізілген. Электр шамына тізбекті түрде спираль пішінінде оралған темір сым жалғанған (9.3-сурет).

Алғашқы кезде шам жарқырап жанып тұрады. Спираль қыздырылса, шамның жарқырауы бәсеңдейді. Егер оларға тізбекті амперметр жалғанса, өтуші ток күшінің азайғанын көрсетеді. Бұл тәжірибе спиральді қыздырған



9.3-сурет.

кезде оның кедергісі артатынын дәлелдейді. Нақ осындай тәжірибені басқа металдармен немесе бейметалдармен де өткізуге болады.

Демек, **металл өткізгіштерді қыздырғанда, олардың кедергісі артады** екен.

Егер 0°C -де өткізгіштің кедергісі R_0 , t температурада R болса, олардың арасындағы байланыс

$$R = R_0(1 + \alpha \Delta t) \quad (9.2)$$

болады. Бұнда: α —кедергінің температура коэффициенті деп аталады. Оның физикалық мағынасын түсініп алу үшін

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 \Delta t} = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta t} \quad (9.3)$$

сын жасаймыз. Демек, α –коэффициент, температура 1°C -ге өзгергенде, өткізгіш кедергісінің өзгеруі 0°C -дегі кедергінің қанша бөлігін құрайтынын көрсетеді. Анық жұмыс істейтін электронды сызбаларда өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігін ескеру қажет болады. Оны ескермеу қосымша қателіктердің туындауына себеп болуы ықтимал.

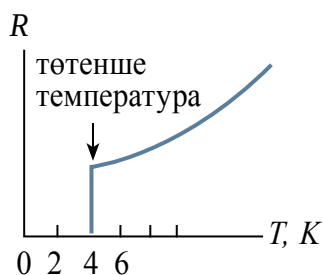
Өткізгіштер қыздырылғанда олардың геометриялық өлшемдері де өзгереді. Өткізгіштің кедергісі негізінен салыстырмалы кедергінің өзгеруіне байланысты болады. Салыстырмалы кедергінің температураға тәуелділігін табу үшін (9.2) өрнекке $R = \rho \frac{l}{S}$ және $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$ қойылады.

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta t). \quad (9.4)$$

Төмендегі кестеде кейбір металдардың салыстырмалы кедергісінің температура коэффициенті келтірілген:

Металл яки қоспа	α , $^\circ\text{C}$	Металл яки қоспа	α , $^\circ\text{C}$
Алюминий	0,0042	Никелин	0,0001
Висмут	0,0046	Никель	0,0065
Вольфрам	0,0045	Ниобий	0,003
Темір	0,0062	Нихром	0,0002
Алтын	0,0040	Қалайы	0,0044
Индий	0,0047	Платина	0,0039
Кадмий	0,0042	Сынап	0,0010
Кобальт	0,0060	Қорғасын	0,0042
Мыс	0,0039	Күміс	0,0040
Молибден	0,0050	Хром	0,0059
Натрий	0,0055	Хромаль	0,000065
Нейзильбер	0,0003	Қола	0,0042

Металдардың салыстырмалы кедергісінің температураға тәуелділігі себепті күнделікті тұрмыста *кедергілі термометр* пайдаланылады. Бұндай термометрлермен өте жоғары және өте төмен температураларды да өлшеуге болады. Мысалы, платиналы термометрмен -200°C -ден $+600^\circ\text{C}$ -ге дейінгі температураларды $0,0001^\circ\text{C}$ дәлдікпен өлшеуге болады.



9.4-сурет.

Сонымен, металдарда температура төмендесе, кедергісі де төмендейтіні және олабсолют нөл температурада нөлге тең болуы керек. Десек те, екінші жағынан алып карағанда, абсолют нөл температурада еркін электрондардың жылдамдығы да нөлге ұмтылуы нәтижесінде өткізгіштік кедергісі шексіз үлкен болуға тиіс. Бұл көзқарастардың қаншалықты дұрыс екенін тәжірибе өткізу жолымен тексеру қажет еді. 1908 жылы голланд физигі Камерлинг-Оннес тарихта бірінші болып сұйық гелий

алды. Ол бұдан бұрын металдармен, сосын сынаппен тәжірибе өткізіп көреді. Сөйтіп, сынаппен жүргізілген тәжірибе күтілген нәтижені береді. Температура төмендеген сайын сынаптың кедергісі де төмендей береді және 4,15 К -де (сұйық гелийдің қайнау температурасынан анағұрлым төмен температурада) шұғыл төмендеп, нөлге түсіп қалады (9.4-сурет). 1911 жылы 28 сәуірде Камерлинг-Оннес өз нәтижелерін жариялап, бұл жаңалықты **аса өткізгіштік** деп атайды. Бұл ешкім күтпеген эффект болғандықтан, ол кездегі теориялармен бұны түсіндірудің еш лажы болмады. 1912 жылы қорғасын мен қалайыда аса өткізгіштік құбылыс байқалады. Кейінгі ізденістерде бұндай жағдай көптеген металдар мен қоспаларда 25 К-ден төмен температураларда бақыланды. 1957 жылы аса өткізгіштік құбылысын Купер мен Боголюбов теориямен негіздеп берді. 1957 жылы Коллинз өткізген тәжірибеде ток көзі жоқ тұйық тізбекте ток 2,5 жыл бойы тоқтаусыз ағып тұрған. 1986 жылы металлокерамика материалдарында жоғары температуралы (100 К) аса өткізгіштік үдеріс байқалған.

Мәселе шешу үлгісі

Электр шамындағы вольфрамнан жасалған спиральдың 20°C-дегі кедергісі 30 Ом -ға тең. Шамды 220 В тұрақты ток көзіне қосқанда, одан өтетін ток күші 0,6 А-ға тең болды. Шам жанған кездегі спиральдың температурасын анықта.

Берілгені:	Формуласы:	Шешілуі:
$t = 20^{\circ}\text{C}$ $R_1 = 30 \text{ Ом}$ $U = 220 \text{ В}$ $\alpha = 0,005 \text{ 1/град.}$	$R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$	$R_0 = \frac{30 \text{ Ом}}{1 + 0,005 \frac{1}{\text{град}} 20^{\circ}\text{C}} = 27 \text{ Ом};$ $R = \frac{220 \text{ В}}{0,6 \text{ А}} = 366,7 \text{ Ом} \approx 367 \text{ Ом};$
Табу керек: $\Delta t - ?$		

$$\Delta t = \frac{367\Omega_M - 27\Omega_M}{27\Omega_M \cdot 0,005 \frac{1}{\text{град}}} = 2518^\circ\text{C}.$$

Жауабы: 2518°C.



1. Температураның артуына байланысты металдардың кедергісі қалай өзгереді?
2. Металдар кедергісінің температураға байланысты өзгеруін қалай пайдалануға болады?
3. Аса өткізгіштік күйін өнеркәсіп пен көлік саласында пайдаланудың болашағы қандай?

43-тақырып. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТЕРДЕГІ ДЕРБЕС ӨТКІЗГІШТІК. АРАЛАС ӨТКІЗГІШТІК

Табиғатта сондай заттар да бар, олардың бірлік көлемдегі электрондарының саны өткізгіштерге қарағанда аз, бірақ изоляторларға (диэлектриктерге) қарағанда көп. Сондықтан бұндай заттарды **жартылай өткізгіштер** дейді.

Жартылай өткізгіш заттарда температураның артуына байланысты олардың салыстырмалы кедергісі азаяды. Өте төмен температураларда жартылай өткізгіш зат диэлектрик болып қалады.

Металдарға жарық әсер еткенде олардың электр өткізгіштігі дерлік өзгермейді. Жартылай өткізгішке жарық түсіргенде олардың электр өткізгіштігі артады.

Сонымен жартылай өткізгіштердің негізгі ерекшеліктері төмендегілерден тұрады:

- а) электр өткізгіш қабілетіне қарай металдар мен диэлектриктердің аралық күйіне ие болады;
- ә) қыздырылғанда және жарық әсер еткенде салыстырмалы кедергісі азаяды.

Жартылай өткізгіштік қасиеті бар элементтерге германий, кремний, теллур, селен және тағы басқалар жатады. Саған химия пәнінен белгілі болғанындай, химиялық элементтер атомының түзілісі мен ерекшеліктеріне орай, **Д.И.Менделеевтің периодтық кестесінде** жартылай өткізгіш элементтер негізінен III, IV және V топтарда орналасқан.

Жартылай өткізгіштердің түзілісі. Дербес өткізгіштік.

Жартылай өткізгіштерде электр тогының табиғатын түсіну үшін олардың түзілісін білу керек. Бұл үшін құрамында ешқандай бөтен заттары жоқ таза кремний кристалын алайық. Сен 9-сыныпта атомның түзілісімен танысқансың. Онда атомда электрондар қабық-қабық болып орналасатынын да біліп алдың.

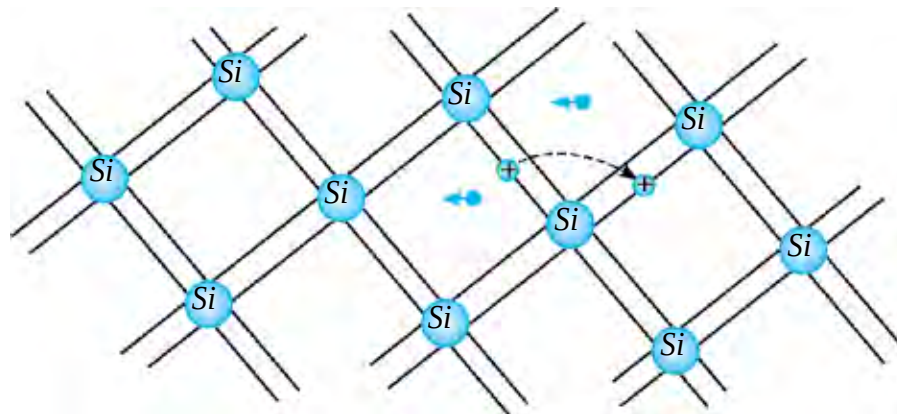
Кремний атомында электрондар қабаттар бойынша орналасқанда оның ең сыртқы қабығына төрт электрон жайғасады. Көрші атомдар бір-бірін осы электрондар арқылы ұстап тұрады.

Әрбір атом көршілес атоммен өзінің бір электроны арқылы байланысады. Соның нәтижесінде екі атомның өзара байланысы екі электрон арқылы болады. Бұндай байланыс **ковалентті байланыс** деп аталады.

Ковалентті байланысқа қатысып жатқан электрондарды **валенттік электрондар** деп те атайды. Қысқасы, валенттік электрондар бүтін кристалл атомдарына тиесілі болады.

Электронды өткізгіштік. Төмен температураларда жұп электрондар туғызған байланыс күшті болғандықтан, еш үзілмейді.

Сол себепті төмен температураларда кремний де электр тогын өткізбейді. Температура көтерілгенде, валенттік электрондардың кинетикалық энергиясы артады. Кейбір байланыстар үзіле бастайды. Олардың арасынан барып-келіп тұратындары да болады, жүрген жерінен шығып, металдағыдай еркін электрондарға айналады. Бұл электрондар электр өрісінің әсерімен жартылай өткізгіш бойлап ауысады және электр тогын туғызады (9.5-сурет).



9.5-сурет.

Еркін электрондардың ауысуы себепті жартылай өткізгіште токтың пайда болуы электрон өткізгіштік немесе қысқа ғана ***n*** -түрдегі өткізгіштік (лат. *негативус*—теріс) деп аталады.

Кеуекті өткізгіштік. Коваленттік байланысқа қатысқан электрон шығып кеткен жерде **кеуек**, яғни қуыс пайда болады. Бейтарап атомнан теріс зарядты электрон шығып кеткен орын оң зарядқа ие болады.

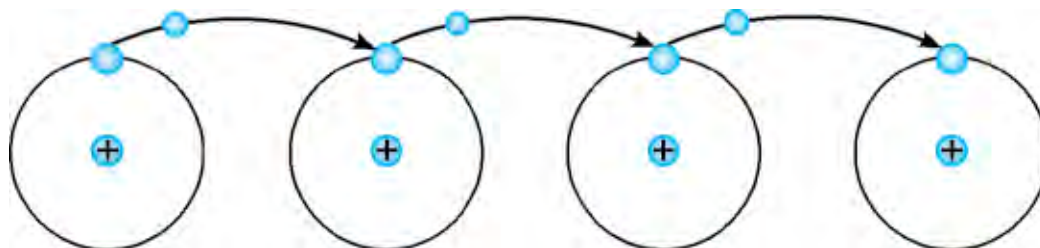
Бос кеуекті коваленттік байланыстағы басқа бір электрон келіп бекітеді. Бірақ кеуек енді басқа жерде пайда болады. Осылайша электронның бір жерден екінші жерге ауысуы арқылы кеуектердің де орын ауысуы жүзеге асады.

Электр өрісі болмағанда электрондардың және соған сәйкес кеуектердің ауысуы бейберекет болады.

Электр өрісі қойылғанда еркін электрондар бір жаққа, кеуектер екінші жаққа ығысады.

Нақ осындай жартылай өткізгіштің басында пайда болған кеуекке көрші атомнан электронның секіріп өтуінде оң зарядты кеуек өткізгіштің соңына таман жылжиды (9.6-сурет).

Бұндай өткізгіштікті жартылай өткізгіштердің **кеуекті өткізгіштігі** немесе қысқа ғана **p-түрдегі өткізгіштік** (лат. *поситивус* – оң) дейді.



9.6-сурет.

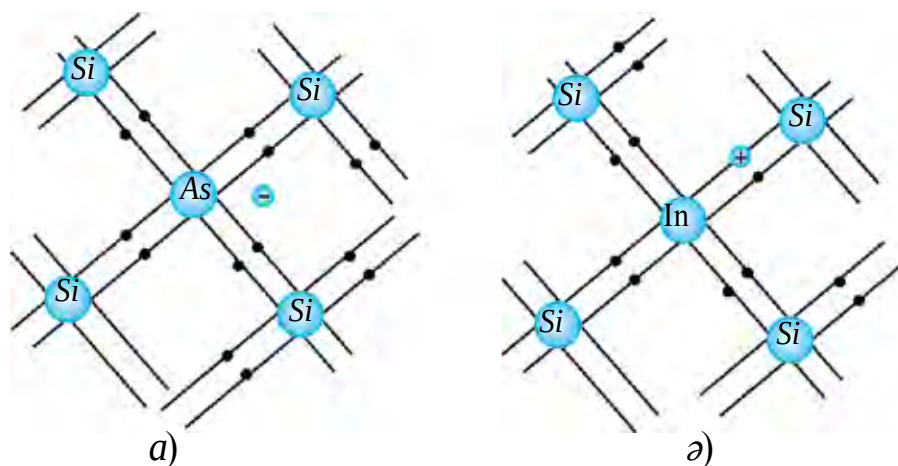
Сонымен, таза (ешқандай қоспаларсыз) жартылай өткізгіштерде еркін электрондардың қозғалысына байланысты электрон өткізгіштік және кеуектер қозғалысына байланысты кеуекті өткізгіштік болады.

Қоспаларсыз, таза жартылай өткізгіштердегі өткізгіштікті *дербес өткізушілік* дейді. Бұнда аталмыш заттағы электронды және кеуекті өткізгіштік дерлік тең болады.

Таза жартылай өткізгіштерде еркін электрондар мен кеуектер саны да аз болғандықтан, электр өткізу қабілеті шағын болады.

Аралас жартылай өткізгіштер: донорлы қоспалар. Енді таза жартылай өткізгішті кремнийге аздап қоспа енгізейік. Бастапқыда кремний атомдары арасына бес валентті мышьяк (As) енгіземіз.

Бұл ретте кремнийдің төрт ковалентті байланыс туғызатын электронының орнын мышьяқтың төрт электроны иелейді. Мышьяқтың бесінші электроны бос қалады да, еркін электронға айналады (9.7 а-сурет).



9.7-сурет.

Соның нәтижесінде еркін электрондар саны кеуектердің санынан артық болады. Жартылай өткізгіштің салыстырмалы кедергісі күрт төмендейді. Бұнда қосылған мышьяк атомдарының саны жартылай өткізгіштің атомдары санының он миллионнан бір бөлігін құрағанда, еркін электрондардың концентрациясы (1 см^3 -қа тура келген электрондар саны) таза жартылай өткізгіштердікіне сәйкес мың есе үлкен болады. Қосылғанда электронын оп-оңай ғана беретін қоспаларды **донорлы қоспалар** дейді. Донорлы қоспаларда негізгі ток тасымалдаушы бөлшектер электрондар болғандықтан, оларды ***n*-түрдегі жартылай өткізгіштер** деп атайды. Кеуектер бұндай жартылай өткізгіштерде қосалқы заряд тасымалдаушыларға жатады.

Акцепторлы қоспалар. Таза жартылай өткізгішті кремнийге индий элементін араластырайық. Индий (In) үш валентті болғандықтан, оның үш электроны кремний атомымен ковалентті байланыс жасайды. Бұнда индийдің көрші атомдармен қалыпты күйдегі жұп электронды ковалентті байланыс жасауы үшін бір электрон жетіспейді. Соның нәтижесінде кеуек пайда болады. Кристалға қанша индий атомы енгізілсе, сонша кеуек пайда болады (9.7-ә сурет).

Бұл түрдегі қоспаларды **акцепторлы қоспалар** дейді. Жартылай өткізгіш электр өрісіне енгізілгенде, кеуектердің ығысуы орын алып, кеуекті өткізгіштік туындайды. Негізгі ток тасымалдаушылары кеуектерден тұратын қоспалы жартылай өткізгіштерді ***p*-түрдегі жартылай өткізгіштер** деп атайды. Бұндай жартылай өткізгіштерде электрондар негізгі емес, яғни қосалқы заряд тасымалдаушылар болып саналады.



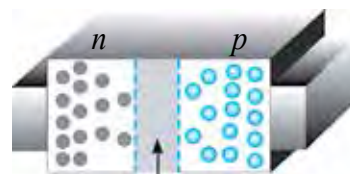
1. Қандай ерекшеліктеріне орай оларды жартылай өткізгіштер деп атаған?
2. Электрон өткізгіштік қандай бөлшектердің қозғалысына байланысты?
3. Электрон мен кеуек кездескенде қандай құбылыс орын алады?
4. Не себепті жартылай өткізгіштің кедергісі оған енгізілген қоспаға күйші дәрежеде байланысты болады?
5. Акцептор қоспалы жартылай өткізгіште қандай заряд тасымалдаушылар негізгі болып саналады?



Д.И.Менделеевтің химиялық элементтердің периодтық жүйесі кестесіне қара. Одан III және V топтардан қоспа ретінде қолдануға болатын элементтерді жазып ал. IV топтағы жартылай өткізгіш пен қоспалы жартылай өткізгіш пайда болатын сызбаны сыз.

44-тақырып. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ АСПАПТАР (ДИОД, ТРАНЗИСТОР) ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ ТЕХНИКАДА ҚОЛДАНЫЛУЫ

Біре жартылай өткізгіш кристалының бір жағына n-түрдегі, екінші жағына p-түрдегі жартылай өткізгіштерді шығарайық (9.8-сурет). Жартылай өткізгіштің орта бөлігіндегі бос кеуектерді еркін электрондар әп-сәтте толтырады. Соның нәтижесінде жартылай өткізгіштің орта бөлігінде заряд тасымалдаушыларсыз сала пайда болады. Бұл саланың ерекшелігі нақ диэлектриктікі сияқты болады.



бекітуші қабат

● кеуектер

● электрондар

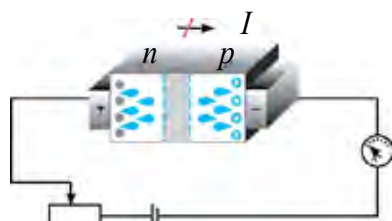
9.8-сурет.

Соған орай бұл сала бұдан кейін электрондардың p-салаға, кеуектердің n-салаға өтуіне бөгет болады. Сол себепті оны **бекітуші қабат** дейді.

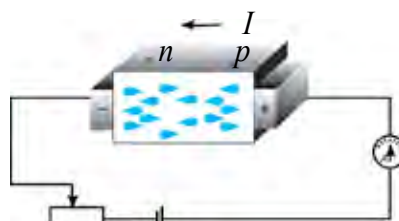
Аталмыш жартылай өткізгішті ток көзіне жалғайық. Бастапқыда жартылай өткізгіштің p-саласын көздің оң полюсіне, n-саласын көздің теріс полюсіне қосамыз (9.9-сурет).

Бұнда электрондар ток көзінің оң полюсіне, кеуектер теріс полюсіне тартылады. Осының нәтижесінде бекітуші қабат кеңейеді. Жартылай өткізгіш арқылы ток дерлік өтпейді. Бұндай күй **кері p-n өту** деп аталады.

Енді жартылай өткізгіштің p -саласына ток көзінің теріс полюсін, ал n -саласына оң полюсін жалғайық. Бұнда электрондар n -саладан тебіліп, p -салаға қарай тартылады.



9.9-сурет



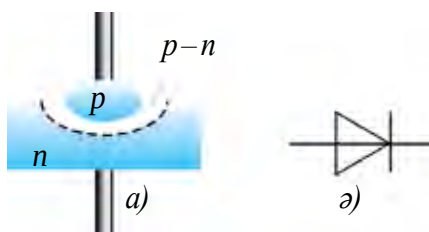
9.10-сурет

Ал кеуектер p -саладан тебіліп, n -салаға тартылады. Бұның нәтижесінде бекітуші қабат тарылады да, одан заряд тасымалдаушылар өте бастайды (9.9-сурет). Жартылай өткізгіштен ток өтеді. Бұндай күйді **тура $p-n$ өту** дейді. Тура $p-n$ өтуде жартылай өткізгіштердің электр кедергісі теріс $p-n$ өтуге қарағанда бірнеше есе кіші болады. Жартылай өткізгіште $p-n$ өтудің арқасында ток тек бір бағытта өтеді. Оның бұл ерекшелігі жартылай өткізгішті аспаптарда пайдаланылады.

Жартылай өткізгішті диод

Жартылай өткізгіштерде $p-n$ өтуді туғызу үшін p және n өткізгіштікке ие болған екі жартылай өткізгішті механикалық түрде қосу жеткілікті емес. Өйткені бұл күйде олардағы аралық үлкен болады. p және n өтудегі қалыңдық атомаралық қашықтыққа тең болатын дәрежеде кіші болуы керек. Сол себепті донорлық қоспаға ие болған германий монокристалы беттерінің біріне индий сіңе бастайды. Диффузия құбылысы себепті индий атомдары германий монокристалының ішіне енеді. Бұның нәтижесінде германийдің бетінде p -түрдегі өткізгіштік қабілеті бар сала қалыптасады. Германий монокристалының индий атомдары кірмеген саласы бұрынғыдай n -түрдегі өткізгіштік қасиетке ие болады. Аралық салада $p-n$ өту көрініс табады (9.11-а сурет).

Жалғыз $p-n$ өтуге ие болған жартылай өткізгішті аспап **жартылай өткізгішті диод** деп аталады.



9.11-сурет.

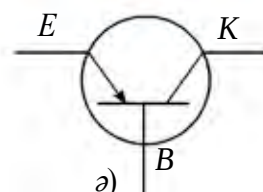
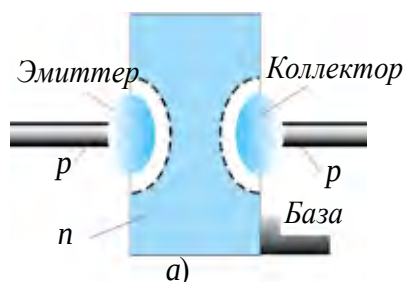
Жартылай өткізгішті диодта жарық, ауа, сыртқы электр және магнит өрістерінің әсерлерін азайту үшін германий кристалы герметикалық берік металл қабыққа орналастырылады.

Жартылай өткізгішті диодтың шартты белгісі 9.11-ә суретте келтірілген.

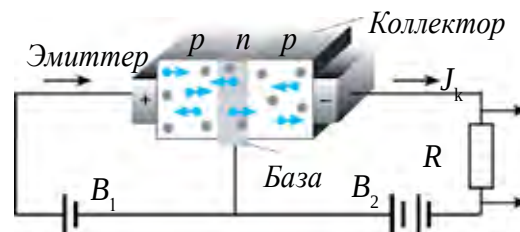
Транзистор туралы ұғым.

Екі $p-n$ өтуге ие болған жартылай өткізгішті жүйе транзистор деп аталады. Транзистордың көмегімен электр тербелістері туғызылады, басқарылады және күшейтіледі.

Транзисторды дайындау үшін электрон өткізгіштігі бар германий кристалының екі жағына индий сіңіріледі. Германий кристалының қалыңдығы өте жұқа болады (бірнеше микрометр). Міне, осы қабат транзистор негізі, яғни **базасы** деп аталады (9.12 а-сурет).



9.12-сурет.



9.13-сурет.

Оның кеуекті өткізгіші бар екі жағынан шығарылған ұштары **эмиттер** және **коллектор** деп аталады. Бұндай түрдегі транзисторды **$p-n-p$ структуралы транзистор** дейді (9.12-а сурет).

Транзистордың эмиттер саласындағы кеуектер концентрациясы базадағы электрондар концентрациясына қарағанда бірнеше есе ірі етіп әзірленеді. Транзистордың шартты белгісі 9.12-б суретте келтірілген. Транзистордың қалай жұмыс істейтінін қарастырайық (9.13-сурет).

Эмиттер–база аралығына жалғанған B_1 батарея кернеулігі тура $p-n$ өтуін құрайды. Коллектор–база аралығындағы B_2 батарея кері $p-n$ өтуін туғызады. Онда коллекторда ток қалай пайда болады? База–эмиттер аралығына қойылған кернеудің әсерімен кеуектер базаға кіріп келеді. Базаның қалыңдығы өте жұқа болғандықтан және оның электрондар концентрациясы аз болғандықтан кеуектердің өте аз бөлігі ғана электрондарға бірігеді. Кеуектердің көпшілігі коллектор саласына өтіп қалады.

Коллекторға B_2 -нің оң полюсі жалғанғандықтан, кеуектер онымен толтырылып, коллектор тогын құрайды. Эмиттер–база тізбегіндегі ток күші, коллектор бағытындағы ток күшінен анағұрлым кіші болады. Эмиттер–база

бағытындағы ток күші өзгерсе, эмиттер–коллектор бағытындағы өтіп жатқан ток күші де өзгереді. Соған орай транзистор айнымалы ток сигналдарын күшейту үшін пайдаланылады.

Транзисторды дайындауда база ретінде p -түрдегі жартылай өткізгіш алынуы да мүмкін. Бұндай жағдайда эмиттер мен коллектор саласы n -түрдегі жартылай өткізгіштен әзірленеді. Бұндай транзисторды **$n-p-n$ структуралы транзистор** дейді.

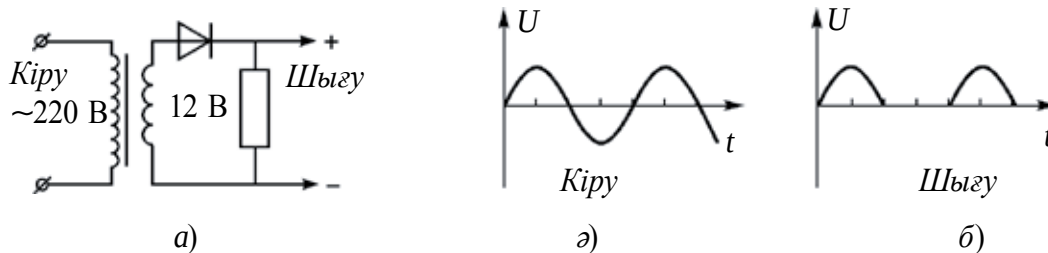
Бұндай түрдегі транзисторлардың жұмыс істеу қағидаты $p-n-p$ түрдегі транзистордан ерекшеленбейді. Бұл транзисторда тек ток бағыты коллектордан эмиттерге қарай болады.

Әмбебап микросхемалар*

Өткен ғасырдың 70-жылдарында он сомдық теңгедей келетін жартылай өткізгіш материал бөлегіне мыңдаған микроскопиялық транзисторлар орналастырылған микросхемалар ашылды. Оларда транзисторлармен бірге диодтар, конденсаторлар, резисторлар және басқа радиоэлектроникалық элементтер де орналастырылғандықтан **интеграл микросхема** деп аталды. Бұл жаңалық шағын көлемде күрделі схемаларды орналастыру және үстел компьютерлерін жасап шығару мүмкіндігін туғызды. Бастапқы кезеңде радиоэлементтер жартылай өткізгіш бетінде жасалған болса, бертін келе оларды бүтін көлемде шығару басталды. Оларды **микрочиптер** деп атау қалыптасты. Микрочиптер негізінде қол телефондары, көтеріп жүруге ыңғайлы шағын компьютер (Ноутбук) және басқа шағын радиоэлектрондық құрылғылар жасалуда. Бүгінгі таңда теңгедей келетін микрочипке жүз миллиондаған транзисторлар мен радиоэлементтер орнатылып жатыр. Бұл–радиоэлемент өлшемі $\approx 10^{-9}$ м айналасында деген сөз. 10^{-9} м бір нанометрге тең. Соған орай бұндай микросхемаларды жобалау, жасау жұмыстарымен айналысатын сала **нанотехнология** деп аталады.

Бұл саланы үйрену және жетілдіру ең қарапайым электротехникалық құрылғыларды жасау мен жұмыс істеуді үйренуден басталады.

Айнымалы тоқты тұрақты токқа айналдырып беретін түрлендіргіш. Бәрімізге белгілі, теледидар, радиоқабылдағыш және сол сияқты электр аспаптарын күнделікті тұрмыста айнымалы 220 В тармағына қосып пайдаланамыз. Бірақ оны құрайтын диод, транзистор секілді жартылай өткізгішті аспаптар тұрақты ток көзіне қосылуы керек. Демек, бұндай аспаптардың айнымалы тоқты тұрақты токқа айналдырып беретін дербес бөлігі болуға тиіс. 9.14-суретте сондай құрылғының қарапайым схемасы келтірілген.



9.14-сурет.

Бұл схемада трансформаторға бірінші айналымда айнымалы 220 В кернеу берілгенде, екінші айналымнан 12 В алынады. Жартылай өткізгішті диод кернеуліктің оң мәнді жарты кезеңінд ток өткізеді. Ал теріс мәнді жарты кезеңінде өткізбейді. Соған орай бұл схемадағы құрылғы **бір жарты кезеңдік түрлендіргіш** деп аталады.

Түрлендіргіштің кіруі және схемадағы кернеулік пішіндері 9.14-а, б суреттерде келтірілген. Суреттен көрініп тұрғанындай, схемада кернеуліктің тек жартысы ғана пайдаланылады. Бұдан тыс оның шамасы да күшті өзгереді. Сол себепті екі жарым кезеңді түрлендіргіш қолданылады.

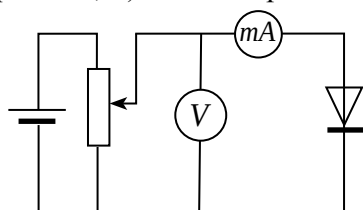


1. Жартылай өткізгішті диод не себепті токты тек бір жаққа қарай өткізеді?
2. $p-n$ өту деген не?
3. Жартылай өткізгіш кедергісінің $p-n$ өтуге қандай қатысы бар?
4. Транзистордағы тура және теріс $p-n$ өтулер оның қайсы салаларында болады?
5. $p-n-p$ және $n-p-n$ түрдегі транзисторлар несімен ерекшеленеді?

45-тақырып. ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫС: ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ ДИОДТЫҢ ВОЛЬТ-АМПЕР ХАРАКТЕРИСТИКАСЫН ЗЕРТТЕУ

Жұмыстың мақсаты. Жартылай өткізгішті диодтан өтетін ток күшінің қойылған кернеуге тәуелділігін зерттеу.

Керекті аспаптар: 1) жартылай өткізгішті диод (колодкада); 2) тұрақты ток көзі (36–42 В); 3) айырып-қосу; 4) өткізгіш сымдары; 5) миллиамперметр; 6) реостат; 7) вольтметр.



9.15-сурет.

Жұмыстың орындалуы:

1. Керекті аспаптар дайындалып болған соң, 9.15-суреттегі сызба бойынша электр тізбегі жасалады.

2. Реостаттың жылжытқышы шығуда 0 В болатын күйге келтіріледі.

3. Айырып-қосқыш жалғанады.

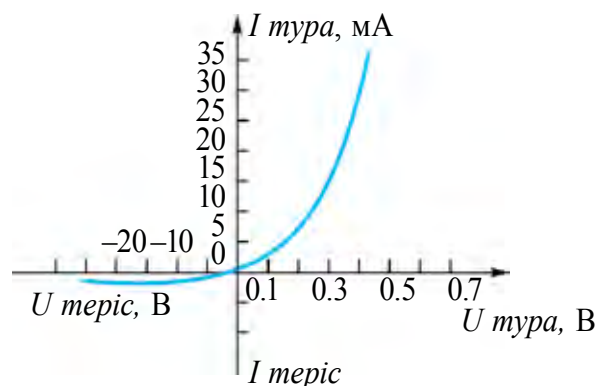
4. Реостаттың жылжытқышын қозғап, сыртқы тізбекке берілетін кернеу арттырылады. Вольтметр мен амперметр көрсеткіштері жазылады.

5. Өлшеу нәтижелері кестеге енгізіледі.

U, В							
I, А							

6. Ток көзінің полюстері ауыстырылып жалғанады және тәжірибе қайталаынады.

7. Нәтижелерге орай жартылай өткізгішті диодтан өтетін ток күшінің берілген кернеуге тәуелділік графигі сызылады.



9.16-сурет.

8. Жартылай өткізгішті диодтан тура $p-n$ өту және теріс $p-n$ өту бағытында өтетін күштің берілген кернеуге тәуелділігі 9.16-суретте келтірілген.

Диодқа теріс бағыттағы кернеу қойылғанда, диодтың төлқұжатында жазылған мәнінен үлкен кернеу қою мүмкін емес.



1. Диод дұрыс жалғанған күйде ток күшінің қойылған кернеуге тәуелділігі түзу сызықтан тұрмайтындығына назар аудар және оның себебін түсіндіруге әрекеттен.
2. Егер теріс бағытқа кернеу қойылса, одан ток қалай өтеді?
3. Алынған мәліметтерді пайдаланып, диодтың тура және теріс өту бағыттары үшін электр кедергілерін есепте.

9-жаттығу

1. Мыс стерженьнен 0,5 сек бойы тығыздығы 9 А/мм² ток өткенде оның температурасы қалай өзгереді? Мыстың салыстырмалы кедергісі $1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом·м, тығыздығы 8900 кг/м³, салыстырмалы жылу сыйымдылығы 380 Дж/(кг·К). (Жауабы: 0,20 °C).

2. Ниобиден жасалған спираль 100°C-де қыздырылса, оның салыстырмалы кедергісі неше есе өзгереді? Ниобий үшін $\alpha = 0,003$ K⁻¹. (Жауабы: 1,3 есе артады).

3. Никелин сымның 20°C-дегі кедергісі 20 Ом-ға тең болатын. Оны 120°C-ге дейін қыздырса, кедергісі неге тең болады? Никелин үшін $\alpha = 0,0001$ K⁻¹.

4. Вакуумды диодтағы электрон анодқа 8 Мм/сек жылдамдықпен жетіп барады. Анодтың кернеулігін тап. (Жауабы: 180 В).

5. Вакуумды диодтағы анодтың ең жоғары ток күші 50 мА-ға тең болды. Катодтан әр секундта неше электрон ұшып шығуда? (Жауабы: $3,1 \cdot 10^{17}$).

6. Жартылай өткізгіштерде оң ион мен кеуек арасында айырма бар ма?

7. Неліктен сыртқы жағдайлар өзгермей, электрон-кеуек жұбы тоқтаусыз пайда болып тұрса да, жартылай өткізгіштегі еркін заряд тасымалдаушылар саны өзгермейді?

8. Германийге фосфор, кола және калий енгізілсе, қандай түрдегі өткізгіштік пайда болады?

9. Не себептен бірдей кернеуліктерде тура $p-n$ өтудегі ток теріс өтудегі токқа қарағанда едәуір үлкен болады?

10. Термистор (кедергісі температураға қарап өзгертін жартылай өткізгішті аспап) ұшына тізбекті түрде 1 кОм-ді кедергі жалғанып, оған 20 В кернеу берілді. Бөлме температурасында тізбектегі ток күші 5 мА еді. Термисторды ыстық суға салғанда одан өтетін ток күші 10 мА болып қалды. Термистордың кедергісі неше есе азайған? (Жауабы: 3 есе).

IX тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары

1. Сөйлемді толықтыр. Металдардың қызуы себепті олардан электронның ұшып шығу құбылысы ... деп аталады.
 A) ... термоэлектронды эмиссия...; B) ... электрон эмиссия ... ;
 C) ... шығу ісі ... ; D) ... тойыну тогы ... ;
2. Вакуумда электр тогының табиғаты нелерден тұрады?
 A) электрондар ағынының бір жақты қозғалысынан;
 B) оң иондардың бір жақты қозғалысынан;
 C) теріс иондар ағынының бір жақты қозғалысынан;
 D) электрондардың, оң және теріс иондардың бір жақты қозғалысынан.
3. Донор қоспалы жартылай өткізгіштерде қандай түрдегі өткізгіштік бар?
 A) негізінен электрон өткізгіштік;
 B) негізінен тесікті өткізгіштік;
 C) тең мөлшердегі электронды және тесікті өткізгіштік;
 D) электр тогын өткізбейді.
4. Таза жартылай өткізгіштерден электрондардың ретті қозғалысы себепті 1 мА ток өтіп жатыр. Жартылай өткізгіштен өтіп жатқан толық ток күші неге тең?
 A) 1 мА; B) 2 мА; C) 0,5 мА; D) 0.
5. Сөйлемді жалғастыр. “Температура артқанда жартылай өткізгіштердің кедергісі ...”
 A) ... артады; B) ... әуелі артады, сосын азаяды;
 C) ... азаяды; D) ... әуелі азаяды, сосын артады.
6. Жартылай өткізгіште тесік пен электрон кездескенде не пайда болады?
 A) оң ион; B) бейтарап ион;
 C) теріс ион; D) оң және теріс иондар.
7. Қоспалы өткізгіштік қандай бөлшектердің қозғалысына байланысты?
 A) негізінен еркін электрондардың;
 B) негізінен кеуектердің;
 C) тең мөлшердегі еркін электрондар мен кеуектердің;
 D) түрлі мөлшердегі еркін электрондар мен кеуектердің.

8. “Тура $p-n$ отуде жартылай откізгіштердегі бекітуші қабат ...”.
Сөйлемді жалғастыр.
- A) ... ұлғаяды;
 - B) ... тарылады;
 - C) ... өзгермейді;
 - D) ... кернеудің үлкендігіне қарап сызықты түрде өзгереді.
9. Ковалентті байланысқа неше электрон қатысады?
- A) 1-еу;
 - B) 2-еу;
 - C) 3-еу;
 - D) 4-еу.
10. $n-p-n$ түрдегі транзистор базасына эмиттермен салыстырғанда өрнектегі потенциал берілгенде транзистордан ток өтеді?
- A) оң;
 - B) теріс;
 - C) нөл;
 - D) қандай өрнекпен берілуінің маңызы жоқ.

IX тарауда берілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар

Термоэлектрондық эмиссия	Металдардың қызуына байланысты олардан электронның ұшып шығу құбылысы.
Вакуумдағы электр тогы	Электрондар мен иондар ағынының бір жақты қозғалысынан тұрады.
Екі электродты электронды шам	Анод пен катодтан тұратын вакуумды шам – диод.
Тойыну тогы	Катодтан ұшып шығып жатқан барлық электрондар анодға жетіп барғанда, анод тогының өзгермей қалуы
Богуславский-Ленгмюр формудасы	$I_a = kU^{3/2}$. Вакуумды диодтан өтетін ток күшінің анод кернеуіне тәуелділігі.
Металл өткізгіштер кедергілерінің температураға тәуелділігі	$R = R_0(1 + \alpha t)$; R_0 – 0°C -де өткізгіш кедергісі; $R - t$ температурадағы кедергісі, α – кедергінің температура коэффициенті.
Аса өткізгіштік	Температураның төмендеуіне байланысты өткізгіш кедергісінің шұғыл азайып, нөлге түсіп қалуы.
Электрон өткізгіштік (n -түрдегі өткізгіштік)	Еркін электрондардың ығысуы себепті жартылай өткізгіште токтың пайда болуы.
Кеуекті өткізгіштік (p -түрдегі өткізгіштік)	Ковалентті байланыста электрон жетіспеушілігінен пайда болған бос орын – кеуек деп аталады. Электр өрісінің әсерімен кеуектің ығысуы себепті жартылай өткізгіште кеуек өткізгіштігі туындайды.
Жартылай өткізгіштегі жеке өткізгіштік	Жартылай өткізгіштен тең мөлшерде еркін электрондар мен кеуектердің ығысуы себепті электр тогының өтуі.
Донорлы қоспалар	Таза жартылай өткізгішке қосылғанда электронын оп-оңай ғана беретін қоспалар. Бұнда n – түрдегі өткізгіштік пайда болады.
Акцепторлы қоспалар	Таза жартылай өткізгішке қосылғанда ковалентті байланыс үшін бір электроны жетіспегендіктен кеуек туындататын қоспалар. Бұнда p -түрдегі өткізгіштік пайда болады.

Бекітуші қабат	Бір жағы n -түрдегі, екінші жағы p -түрдегі жартылай өткізгіш шекарасында пайда болатын зарядты бөлшектері жоқ сала.
Тура $p-n$ өту	Бір жағы n -түрдегі, екінші жағы p -түрдегі жартылай өткізгіште p -саласын ток көзінің оң полюсіне, n -саласын теріс полюсіне жалғағанда бекітуші қабаттың жұқарып, токты өткізуі.
Теріс $p-n$ өту	Бір жағы n -түрдегі, екінші жағы p -түрдегі жартылай өткізгіште p -саласын ток көзінің теріс полюсіне, n -саласын оң полюсіне жалғағанда бекітуші қабаттың кеңейіп, токты өткізбеуі.
Жартылай өткізгішті диод	Бір $p-n$ өтуге ие болған жартылай өткізгішті аспап. Шартты белгісі  .
Транзистор	Екі $p-n$ өтуге ие болған жартылай өткізгішті аспап. $p-n-p$ және $n-p-n$ структураларда болады.
Интеграл микросхема (ИМС)	Электр тізбегін өте жоғары дәрежеде тығыздау нәтижесінде жалғанған элементтерден құралған микроэлектронды құрылғы. ИМС-ке жалғанған элементтер саны $\sim 10^6$ -ға дейін болады.

ПАЙДАЛАНЫЛГАН ӘДБИЕТТЕР

1. Физика: Механика. 10 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики/ М.М.Балашов и др.; под ред. Г.Я. Мякишева. – 5-е изд. стереотип. – М.: “Дрофа”, 2002. – 496 с.: ил.
2. Физика: Электродинамика. 10–11 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики/ Г.Я. Мякишев, А.З. Синяков, Б. А. Слободскова. – 4-е изд. стереотип. – М.: “Дрофа”, 2002. – 480 с.: ил.
3. Физика. 10 кл.: Учеб. для общеобразоват. учеб. заведений. – 4-е изд. стереотип. – М.: “Дрофа”, 2001. – 416 с.: ил.
4. Н.Ш.Турдиев. Физика. Физика фани чукур урганиладиган умумтаълим мактабларининг 7-синфи учун дарслик. – Т.: Гафур Ғулом номидаги нашриёт-матбаа ижодий уйи, 2016.
5. Н.Ш.Турдиев. Физика. Умумтаълим мактабларининг 8-синфи учун дарслик. – Т.: “Турон-Иқбол”, 2006.
6. Узбекистон Миллий энциклопедияси. – Т.: “Узбекистон Миллий энциклопедияси” Давлат илмий нашриёти, 2004.
7. Физика. Энциклопедия/ под. ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. – 944 с.
8. А. Нумонхужаев ва бошқ. Физика I. – Т.: “Уқитувчи”, – 2002. – 400 б.
9. А. Нумохужаев ва бошқ. Физика II. – Т.: “Уқитувчи” – 2003. – 414 б.
10. А. Нумонхужаев ва бошқ. Физика III. – Т.: “Уқитувчи” – 2001. – 352 б.
11. К.А.Турсунметов, А.М.Худойбергенов. Физикадан практикум. – Т.: “Уқитувчи” 2003.
12. К.А.Турсунметов ва бошқ. Физикадан масалалар туплами. – Т.: “Уқитувчи” 2004.
13. К.А.Турсунметов ва бошқ. Физика. Маълумотнома. – Т.: “Узбекистон”. 2016. – 202 б.
14. К.Суяров, Ш.Усмонов, Ж.Усаров. Физика (Механика). 1-китоб. Уқитувчига ёрдамчи қўлланма: Т.: “Янги нашр” нашриёти, – 2010.
15. А.Ғ.Ғаниев, А.К.Авлиеқулов, Ғ.А.Алимардонова. Физика. I қисм. Академик лицей ва касб-хунар коллежлари учун дарслик. – Т.: “Уқитувчи” 2013. – 208 б.
16. А.Ғ.Ғаниев, А.К.Авлиеқулов, Ғ.А.Алимардонова. Физика. II қисм. Академик лицей ва касб-хунар коллежлари учун дарслик. – Т.: “Уқитувчи” 2013. – 208 б.
17. К.Суяров, А.Хусанов, Л.Худойбердиев. Физика. Механика ва молекуляр физика. / I китоб. – Т.: “Уқитувчи”. – 2002.
18. Л.Худойбердиев, А.Хусанов, А.Юнусов, Ж.Усаров. Физика. Электродинамика. Электромагнит тебранишлар. 2-китоб. – Т.: “Уқитувчи” НМИУ. – 2004.

МАЗМУНЫ

МЕХАНИКА	3
1-тақырып. Физиканың зерттеу әдістері.....	3
I тарау. КИНЕМАТИКА	5
2-тақырып. Механикалық қозғалыс түрлері. Қозғалыстардың тәуелсіздік қағидаты.....	5
3-тақырып. Денелердің вертикаль қозғалысы.....	7
4-тақырып. Шеңбер бойымен айнымалы қозғалыс. Бұрыштық үдеу. Тангенциал (жанама) үдеу.....	10
5-тақырып. Айналмалы және ілгерілемелі қозғалыстың өзара берілуі.....	14
6-тақырып. Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысы.....	16
7-тақырып. Көкжиекке көлбеу лақтырылған дененің қозғалысы.....	18
8-тақырып. Зертханалық жұмыс: көкжиекке көлбеу лақтырылған дененің қозғалысын зерттеу.....	22
I тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары.....	24
I тарауда берілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар.....	25
II тарау. ДИНАМИКА	28
9-тақырып. Динамика заңдары.....	28
10-тақырып. Галилейдің салыстырмалық қағидаты. Инерциялық және инерциялық емес санақ жүйелері.....	32
11-тақырып. Гравитациялық алаңдағы қозғалыс.....	35
12-тақырып. Дене салмағының қозғалыс түріне байланыстылығы.....	37
13-тақырып. Дененің бірнеше күш әсеріндегі қозғалысы.....	40
II тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары.....	44
II тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар.....	45
III тарау. МЕХАНИКАДАҒЫ САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ	47
14-тақырып. Энергия және жұмыс. Энергияның сақталу заңы. Дененің көлбеу жазықтық бойымен қозғалуында орындалған жұмыс.....	47
15-тақырып. Зертханалық жұмыс: көлбеу жазықтықта пайдалы жұмыс коэффициентін анықтау.....	51
16-тақырып. Денелердің абсолют созылмалы және созылмайтын түйісуі.....	53
III тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары.....	56
III тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар.....	58
IV тарау. СТАТИКА ЖӘНЕ ГИДРОДИНАМИКА	59
17-тақырып. Денелердің тепе-теңдікте болу шарттары.....	59
18-тақырып. Моменттер ережесі негізінде жұмыс істейтін механизмдер.....	62
19-тақырып. Айналма қозғалыстың динамикасы.....	65
20-тақырып. Сұйықтар мен газдардың қозғалысы, ағыстың үздіксіздік теоремасы. Бернулли теңдеуі.....	67
21-тақырып. Қозғалыстағы газдар мен сұйықтар қысымының жылдамдыққа байланыстылығын техникада пайдалану.....	71
IV тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары.....	75
IV тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар.....	76

V тарау. МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕР МЕН ТОЛҚЫНДАР	78
22-тақырып. Гармониялық тербелістер	78
23-тақырып. Серіппелі және математикалық маятниктер	81
24-тақырып. Зертханалық жұмыс: математикалық маятниктің көмегімен еркін түсу үдеуін анықтау	85
25-тақырып. Еріксіз тербелістер. Техникадағы резонанс	86
26-тақырып. Механикалық толқындардың қоршаған ортаға таралуы. Ультра және инфрадыбыстарды тұрмыс пен техникада пайдалану	90
V тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары	95
V тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар	96
VI тарау. ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ	98
27-тақырып. Жылу үдерістерінің қайтуы. Термодинамика заңдары	98
28-тақырып. Адиабаттық үдеріс. Жылу машинасының пайдалы әсер коэффициенті. Карно циклі	102
29-тақырып. Жылу двигательдерінің адам өміріндегі маңызы. Жылу двигательдері және экология	105
VI тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары	111
VI тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар	112
VII тарау. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА	114
30-тақырып. Зарядтың сақталу заңы. Нүктелік заряд алаңы. Электр өрісі кернеуінің суперпозиция қағидаты	114
31-тақырып. Зарядталған шардың электр өрісі. Диэлектрлік өткізгіштік	118
32-тақырып. Нүктелік заряд өрісінің потенциалы. Потенциалдар айырмасы	120
33-тақырып. Электростатикалық алаңдағы зарядты ауыстыруда атқарылған жұмыс	123
34-тақырып. Электр өрісі энергиясы	125
VII тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары	129
VII тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар	130
VIII тарау. ТҰРАҚТЫ ТОК ЗАҢДАРЫ	132
35-тақырып. Электр өткізгіштік. Ток күшінің кернеулікке байланыстылығы	132
36-тақырып. Ток күші және ток тығыздығы. Электр тогының әсерлері	136
37-тақырып. Тұтас тізбекке арналған Ом заңы. Ток көзінің пайдалы әсер коэффициенті	138
38-тақырып. Ток көздерін тізбекті түрде және параллель қосу	141
39-тақырып. Амперметр мен вольтметрдің өлшеу шекарасын арттыру	145
40-тақырып. Зертханалық жұмыс: ток көзінің ЭЖК және ішкі кедергісін анықтау	147
VIII тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары	149
VIII тарауда өтілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар	150
VIII тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары	149
VIII тарауда берілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар	150
IX тарау. ТҮРЛІ ОРТАЛАРДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ	152
41-тақырып. Вакуумдағы электр тогы	152
42-тақырып. Металл өткізгіштер кедергісінің температураға тәуелділігі	154
43-тақырып. Жартылай өткізгіштердегі дербес өткізгіштік. Аралас өткізгіштік	157
44-тақырып. Жартылай өткізгішті аспаптар (диод, транзистор) және олардың техникада қолданылуы	161
45-тақырып. Зертханалық жұмыс: жартылай өткізгішті диодтың Вольт–Ампер характеристикасын зерттеу	166
IX тарауды қорытындылау бойынша тест сұрақтары	168
IX тарауда берілген ең маңызды ұғымдар, ережелер мен заңдар	170
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР	172

Физика. Орта білім мекемелерінің 10-сыныбы мен орта арнаулы және кәсіптік-техникалық білім мекемелерінің оқушыларына арналған оқулық /Н.Ш.Тұрдиев, К.А.Турсунметов, А.Ғ.Ғаниев, К.Т.Суяров, Ж.Е.Усаров, А.К.Әулиеқұлов.–Т.: “Niso Poligraf” баспасы, 2017.–176 б.

ISBN 978-9943-4867-9-9

УДК: 53(075.3)

ББК22.3я721

O'quv nashri

**Narziqul Sheronovich Turdiyev, Komiljon Axmetovich Tursunmetov,
Abduqahhor Gadoyevich Ganiyev, Kusharbay Tashbayevich Suyarov,
Jabbor Eshbekovich Usarov, Abdurashit Karimovich Avliyoqulov**

F I Z I K A

O'rta ta'lim muassasalarining 10-sinflari uchun darslik

(Qozoq tilida)

I-nashri

Mas'ul muharrir *Z. Sangirova*

Аударған *А. Ташметов*
Редакторы *А. Рахманов*
Көркемдеуші редактор *Ж. Гурова*
Техникалық редакторы *Д. Салихова*
Компьютерде беттеген *Е. Ким*

Түпнұсқа-макет «Niso Poligraf» баспасында дайындалды.
Ташкент облысы, Орта Шыршық ауданы, «Ақ ата» ААЖ, Машғал махалласы,
Марказий көшесі, 1-үй.
Лицензия нөмірі АІ №265 24.04.2015

Басуға 20.10.2017 ж. қол қойылды. Қалыбы 70×100¹/₁₆. Офсеттік қағаз.
Қарібі «Times New Roman». Кеглі 12. Шартты баспа табағы 12,87.
Есептік баспа табағы 12,76. Таралымы 5303 дана.
Келісім 186. Тапсырыс № 17-628.

Өзбекстан Баспасөз және ақпарат агенттігінің «Өзбекстан» баспа-полиграфия шығармашылық үйінде басылды. 100011. Ташкент қаласы, Науаи көшесі, 30-үй.

Пайдалануға берілген оқулықтың жағдайың көрсететін кесте

№	Оқушының аты, фамилиясы	Оқу жылы	Оқулықтың пайдалануға берілгендегі жағдайы	Сынып жетекшісінің қолы	Оқулықтың тапсырылған-дағы жағдайы	Сынып жетекшісінің қолы
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Пайдалануға берілген оқулық оқу жылы аяқталғанда қайтарып тапсырылады. Жоғарыдағы кестені сынып жетекшісі төмендегі бағалау өлшемдері негізінде толтырады:

Жаңа	Оқулықтың алғаш рет пайдалануға берілгендегі жағдайы
Жақсы	Мұқаба бүтін, оқулықтың негізгі бөлігінен ажырамаған. Барлық парақтары бар, жыртылмаған, көшпеген, беттеріне жазбаған және сызбаған.
Орташа	Мұқаба езілген, аздап қана сызылған, шеттері мүжілген, оқулықтың негізгі бөлігінен ажыраған жерлері бар. Пайдаланушы жағынан қанағаттанарлық жөнделген. Жұлынған, кейбір беттері сызылған.
Нашар	Мұқаба былғанған, сызылған, жыртылған, негізгі бөлігінен ажыраған немесе мүлдем жоқ, нашар жөнделген. Беттері жыртылған, парақтары жетіспейді, сызып, бояп тасталған. Оқулық қалпына келтіруге жарамайды.