

Д. М. Қазақбаева, Б. А. Кронгарт,
У. Қ. Тоқбергенова

ФИЗИКА

10

Жалпы білім беретін мектептің
қоғамдық-гуманитарлық бағытындағы
10-сыныбына арналған оқулық

Қазақстан Республикасы
Білім және ғылым министрлігі бекіткен



Алматы "Мектеп" 2019

ӘОЖ 373.167.1
КБЖ 22.3я72
Қ17

Қ17 **Қазақбаева Д.М., т.б.**
Физика. Жалпы білім беретін мектептің қоғамдық-гуманитарлық бағытындағы 10-сыныбына арналған оқулық / Д.М. Қазақбаева, Б.А. Кронгарт, У.Қ. Токбергенова. — Алматы: Мектеп, 2019. — 216 б., сур.

ISBN 978—601—07—1150—1

К $\frac{4306021200-050}{404(05)-19}$ 28(1)—19

ӘОЖ 373.167.1
КБЖ 22.3я72

© Қазақбаева Д.М., Кронгарт Б.А.,
Токбергенова У.Қ., 2019
© “Мектеп” баспасы,
көркем безендірілуі, 2019
Барлық құқықтары қорғалған
Басылымның мүлтіксіз құқықтары
“Мектеп” баспасына тиесілі

ISBN 978—601—07—1150—1

I
бөлім

МЕХАНИКА

- 1-тарау. Кинематика
- 2-тарау . Динамика
- 3-тарау . Статика және гидростатика
- 4-тарау . Сақталу заңдары
- 5-тарау. Гидродинамика

II
бөлім

ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ

- 6-тарау . Молекулалық физика
- 7-тарау . Газ заңдары
- 8-тарау . Термодинамика негіздері
- 9-тарау . Сұйықтар және қатты денелер

III
бөлім

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

- 10-тарау . Электростатика
- 11-тарау . Тұрақты электр тогы
- 12-тарау . Әртүрлі ортадағы электр тогы
- 13-тарау . Магнит өрісі
- 14-тарау. Электромагниттік индукция



АЛҒЫ СӨЗ

Халық пен халықты, адам мен адамды теңестіретін нәрсе – білім.

Мұхтар Әуезов

Қымбатты оқушылар! Мектептің негізгі орта білім беру деңгейінде сендер физика ғылымының негіздері бойынша іргелі білім жүйесімен, логикалық аяқталған мазмұнмен таныс болдыңдар. Бұл алған білімдерің физика пәнін әрі қарай жоғары сыныптарда оқып-үйрену үшін негіз болып табылады.

Жалпы білім беретін мектептің қоғамдық-гуманитарлық бағытындағы 10-сыныпқа арналған “Физика” оқулығы сендердің бақылау, эксперимент жасау, түсіндіру, зерттеу, талдау, сандық және сапалық есептер шығару қабілеттеріңді қалыптастырып, дамытуға көмектеседі.

Физикада бақылау мен эксперимент үлкен рөл атқарады, онсыз пәнді игеру мүмкін емес. Сондықтан әрбір параграфтың материалын оқу барысында ұсынылған бақылаулар, зертханалық жұмыстар мен үйге берілген тәжірибелерді мұқият орындаңдар. Сонда ғана оқу материалын жақсы түсінесіңдер. Осы мақсатпен оқулықта іс-әрекетке бағдарланған тапсырмалар, зертханалық жұмыстар, практикалық және дамытушылық сипаттағы шығармашылық тапсырмалар, есептер ұсынылды. Материалды жақсы игеру үшін берілген тапсырмаларды уақытында орындаған жөн.

Қолдарыңдағы “Физика” оқулығының мазмұны үш бөлімнен және он төрт тараудан тұрады. Оқулықтың соңында зертханалық жұмыстар және физикалық практикум берілген.

Әр тараудың соңында ұсынылған есеп шығару мысалдары өз бетінше есеп шығару дағдыларыңды қалыптастырады. Есептер сендерге білім алудағы өзіндік жеке траекторияларыңды құра алатындай етіп тандап алынған.

Әр параграфта оқу материалына қатысты терминдер мен тірек сөздер берілген. Ол тілдік дағдыларыңды дамытуға көмек береді. Сондай-ақ параграф материалын оқып-үйрену барысындағы қол жеткізілетін мақсаттар көрсетілді. Параграфтың соңында тақырыпты қандай деңгейде меңгергендеріңді, нені түсінбегендеріңді, ненін мүлдем түсініксіз болғанын және осы кемшіліктерді жою үшін не істеу керектігін анықтау мақсатында өзін-өзі тексеруге арналған рефлексия сұрақтары берілген.

Оқулықтағы тік сызықпен белгіленген материал пәнді тереңірек оқып білгісі келетін оқушыларға арналған. Күрделірек сұрақтар мен тапсырмалар жұлдызшамен белгіленген.

“Физика” курсың оқып-үйрену арқылы табиғаттағы көптеген құбылыстарды түсінесіңдер. Сондықтан ғылымдағы жәнәліктерді күнделікті өмірде қолдана білуге, машиналар, аспаптар мен аппараттардың құрылысына, олардың жұмыс істеу принципіне, сондай-ақ өндірістік әрекеттің қоршаған ортаға әсеріне назар аударыңдар. Физикадан алған білімдерің болашақта қажет. Сондықтан неғұрлым түсініп оқуға және білімдегі олқылықтарыңды орнын толтыруға ұмтылыңдар.

Сендерге оқуда үлкен табыстар тілейміз!

Авторлар



§ 1. Дене қозғалысы кинематикасының теңдеулері мен графиктері

Тірек ұғымдар: материялық нүкте, траектория, жол, орын ауыстыру, санақ жүйесі, жылдамдық, үдеу, бірқалыпты үдемелі қозғалыс.

Бүгінгі сабақта: бірқалыпты қозғалысты қайталап, бірқалыпты үдемелі қозғалысты зерделейсіңдер.

Кинематика (латынша *kinematics* — “қозғалыс” деген сөзінен шыққан) денелердің механикалық қозғалысын зерделейді, ол қозғалыстың пайда болу себептерін қарастырмайды.

Механикалық қозғалыс деп дененің (материялық нүктенің) уақыт өтуімен басқа денелерге қатысты кеңістіктегі орнының өзгеруін айтады.

Денелердің қозғалысын сипаттау үшін кез келген уақыт мезетіндегі оның кеңістіктегі орнын білуіміз қажет. Қозғалыстың кинематикалық сипаттамаларына траектория, жол, орын ауыстыру, жылдамдық, үдеу және т.б. жатады. Егер денені материялық нүкте ретінде қарастырсақ, оның қозғалыстағы орнын анықтай аламыз.

Материялық нүкте деп қарастырылып отырған жағдайда өлшемдерін ескермеуге болатын денені айтады.

Дененің жүріп өткен жолы оның өлшемімен салыстырғанда тым үлкен болса, онда оны материялық нүкте ретінде қарастыруға болады.

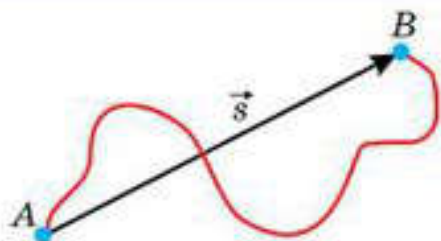
Денелердің қозғалысын сипаттау кезінде қолданылатын маңызды ұғымдардың біріне траектория жатады.

Бойымен дене жүріп өткен сызық траектория деп аталады (1.1-сурет). Траектория санақ жүйесін таңдап алғанға байланысты болады.

Жол — траектория бойымен дене жүріп өткен арақашықтық. Жол l әрпімен белгіленеді. Жол, кез келген ұзындық сияқты, скаляр шама. Ол дененің өз траекториясы бойымен қаншалықты алыс орын ауыстырғанын көрсетеді. Бірақ оның қай бағытта орын ауыстырғанын, сол мезетте қайда тұрғаны жайында еш нәрсе айта алмайды. Берілген уақыт мезетіндегі қозғалыстағы дененің орнын анықтау үшін, оның жүріп өткен жолын емес, орын ауыстыруын білуі қажет.



1.1-сурет

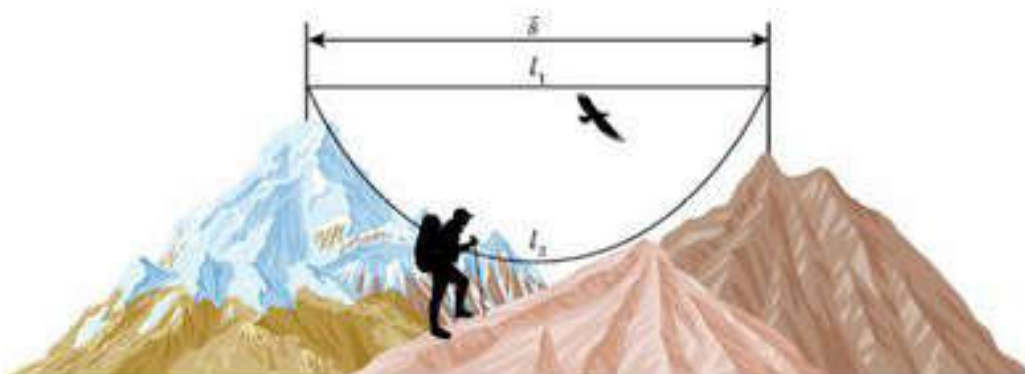


1.2-сурет

Орын ауыстыру. Дененің бастапқы орнын келесі орнымен қосатын бағытталған кесінді **орын ауыстыру** деп аталады (1.2-сурет). Ол \vec{s} деп белгіленеді. Орын ауыстыру векторының ұзындығы оның модулі деп аталады. Жол мен орын ауыстыру модулі бір-бірімен сәйкес келуі де, келмеуі де мүмкін. Егер дене бір бағытта түзусызықты қозғалатын болса, онда

олар тең болады. 1.3-суретте көрсетілген жағдайда бір төбенің басынан екінші төбенің басына көтерілетін жолаушының жолы түзу бойымен ұшатын құс жолынан айтарлықтай ұзындау, ендеше, $l_1 = |\vec{s}| < l_2$.

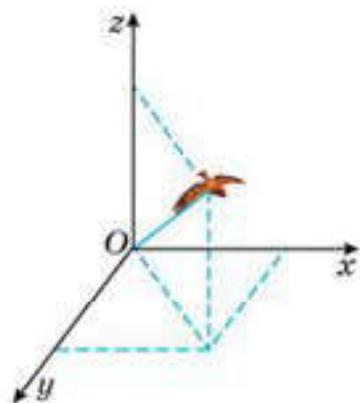
Егер санақ жүйесін енгізетін болсақ, онда берілген уақыт мезетіндегі дененің кеңістіктегі орнын анықтауға болады.



1.3-сурет

Санақ денесімен байланысқан координаталар осі мен уақытты есептейтін құралдан (сағаттан) тұратын жүйені **санақ жүйесі** деп атайды.

Кез келген қозғалыс таңдап алынған санақ жүйесіне қатысты қарастырылады. Санақ басын және Ox , Oy , Oz координата осьтерін таңдап алайық (1.4-сурет). Мұнда қозғалыстағы нүктенің координаталары уақытқа тәуелді функция болып табылады: $x = x(t)$, $y = y(t)$, $z = z(t)$. Бұл координаталардың уақытқа тәуелділігі **қозғалыс теңдеуі**

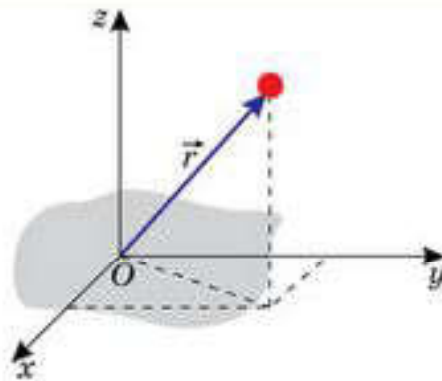


1.4-сурет

деп аталады. Олардың белгілі бір қозғалыс үшін нақты түрін білсек, онда сол арқылы қозғалыстағы дененің (1.4-суреттегі құстың) кез келген уақыт мезетіндегі орнын, яғни оның Ox , Oy , Oz координаталарын таба аламыз.

Бірқатар жағдайларда нүктенің кеңістіктегі орны координаталармен емес, \vec{r} радиус-вектор арқылы сипатталады. Санақ басынан таңдап алынған нүктеге дейін жүргізілген бағытталған кесінді **\vec{r} радиус-вектор** деп аталады (1.5-сурет). Мысалы, радиолокатор ұшақты

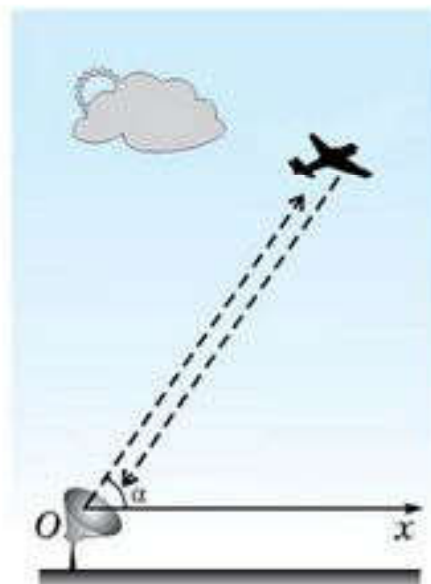
бақылаған кезде оның орнын, яғни оған дейінгі қашықтықты және бағыты ұшаққа қарай бағытталған кесінді және таңдап алынған Ox осінің арасындағы бұрышты және оған дейінгі қашықтықты анықтай аласыңдар (1.6-сурет). Сонымен, осыған ұқсас жағдайлардың барлығында объектінің (нәрсенің) орнын анықтау үшін бір мезгілде объект орналасқан бағытты да, нүктеден (санақ басынан) оған дейінгі арақашықты да көрсете алатын шаманы білу керек. Осындай шама радиус-вектор болып табылады.



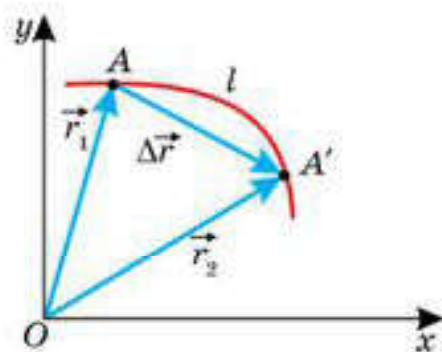
1.5-сурет

Векторлық түрдегі қозғалыс заңы $\vec{r}(t)$ радиус-вектордың уақытқа тәуелділігі арқылы сипатталады.

Енді материялық нүктенің қандай да бір траектория бойымен жазықтықтағы орын ауыстыруын қарастырайық (1.7-сурет). Материялық нүкте қозғалысының бастапқы нүктесінің радиус-векторы $\overline{OA} = \vec{r}_1$, соңғы нүктесінің радиус-векторы $\overline{OA'} = \vec{r}_2$ болсын. Суретте көрсетілгендей, $\overline{AA'}$ орын ауыстыру \vec{r}_1 және \vec{r}_2 векторларының айырымына тең: $\overline{AA'} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$. Материялық нүктенің қозғалысы кезінде Δt уақыт ішінде оның радиус-векторы модулі және бағыты бойынша да өзгереді. Бұл орын ауыстыруды материялық нүктенің қозғалысы нәтижесінде туындаған $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ радиус-вектордың өзгерісі ретінде қарастыруға мүмкіндік береді. Онда орын ауыстыруға берілген анықтамаға қосымша мынадай анықтама беруге болады: **қозғалыстағы нүктенің орын ауыстыруы деп оның радиус-векторының өзгерісін айтады.**



1.6-сурет



1.7-сурет

Радиус-вектордың координата осіне проекциясы дененің осы координата осьтеріндегі проекциясына тең: $r_x = x, r_y = y$.

Дене жылдамдығының өзгеру сипатына қарай механикалық қозғалыс бірқалыпты және бірқалыпты емес болуы мүмкін.

Дене кез келген тең уақыт аралығында бірдей орын ауыстырса, ондай қозғалыс бірқалыпты деп аталады. Бірқалыпты түзу сызықты қозғалыс кезінде $\vec{v} = \text{const}$.

Егер дене бірдей уақыт аралығында әртүрлі орын ауыстырса, ондай қозғалыс **бірқалыпты емес** қозғалыс деп аталады. Дененің қозғалысын сипаттау үшін жылдамдық ұғымы енгізіледі.

Бірқалыпты түзу сызықты қозғалыстың жылдамдығы — векторлық шама, ол \bar{s} орын ауыстырудың сол орын ауыстыруға кеткен t уақыт аралығына қатынасына тең:

$$\bar{v} = \frac{\bar{s}}{t}.$$

Орташа жылдамдық. Егер дене Δt уақыт аралығында бірқалыпты емес қозғалып, $\Delta \bar{s}$ орын ауыстырса, онда оның орташа жылдамдығы келесі қатынас арқылы анықталады:

$$\bar{v}_{\text{орт}} = \frac{\Delta \bar{s}}{\Delta t}.$$

Дене түзу сызықтың бойымен бір бағытта қозғалған кезде ғана бұл формуланы орташа жылдамдықтың модулін анықтау үшін пайдалануға болатынын айта кету керек.

Күнделікті өмірде дененің орташа жылдамдығын табу үшін бәрімізге белгілі өрнек пайдаланылады: $v_{\text{орт}} = \frac{l}{t}$, мұндағы $v_{\text{орт}}$ — орташа жылдамдық, l — жүрілген жол, t — қозғалысқа жұмсалған толық уақыт. Мысалы, егер сендер шамамен 320 км қашықтықты автокөлікпен 4 сағ жүріп өтулерің қажет болса, онда автокөліктің орташа жылдамдығы кем дегенде 80 км/сағ болуы тиіс (1.8-сурет).

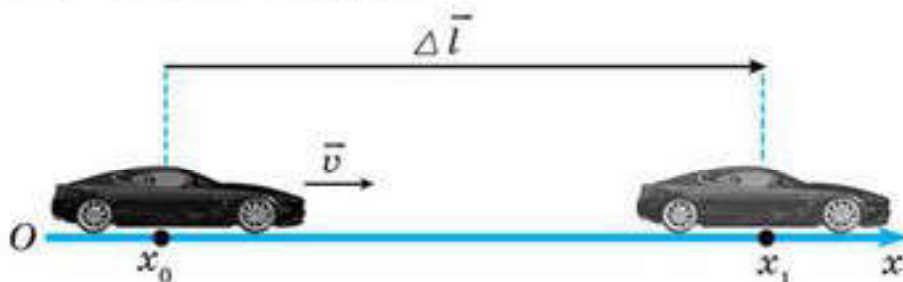
Лездік жылдамдық. Егер дене бірқалыпты емес қозғалса, онда траекторияның әрбір нүктесіндегі жылдамдықтың мәні әртүрлі болатынын білесіңдер.

Дененің белгілі бір уақыт мезетіндегі немесе белгілі бір нүктедегі жылдамдығы **лездік жылдамдық** деп аталады.

Лездік жылдамдық — векторлық шама, ол өте аз $\Delta \bar{s}$ орын ауыстырудың сол орын ауыстыру болған өте аз Δt уақыт аралығының қатынасына тең:

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{s}}{\Delta t}, \quad (1.1)$$

\lim — латынша *limitis* — шегара, шек, шекке ұмтылу деген математикалық амалды білдіреді.



1.8-сурет

Практикалық мақсатта лездік жылдамдық модулін анықтаған қолайлы. Мысалы, автокөлік тасжол бойымен 20 км жолды 15 мин ішінде жүріп өткен болсын (80 км/сағ орташа жылдамдықпен). Қозғалыс кезінде спидометр көрсеткіші нақты уақыт мезетіндегі жылдамдықты яғни лездік жылдамдықты көрсетеді. Қарастырылатын уақыт аралығы неғұрлым аз болса, азғана жол бөлігіндегі қозғалыс жылдамдығын соғұрлым дәлірек анықтауға болады. Егер дене Δt уақыт аралығында Δl жол жүріп өткен болса, лездік жылдамдық модулін келесі қатынас арқылы анықтай аламыз:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}.$$

Үдеу. Дененің жылдамдығы тез өзгеруі немесе тұрақты болуы мүмкін. Жылдамдықтың осындай өзгерісін сипаттау үшін физикалық шама — үдеу енгізіледі. *Үдеу — $\Delta \vec{v}$ жылдамдық өзгерісінің сол өзгеріс болған Δt уақыт аралығына қатынасына тең векторлық шама:*

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t - t_0}. \quad (1.2)$$

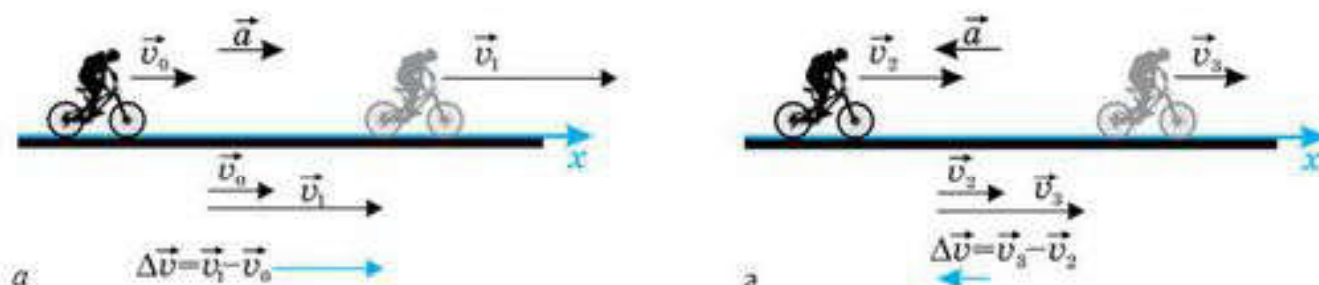
Осы формула бойынша орташа үдеуді есептеуге болады.

Лездік үдеу. Үдеу уақыттың өтуіне қарай өзгертіндіктен, Δt аз уақыт аралығындағы $\Delta \vec{v}$ жылдамдықтың өзгерісін анықтай алуымыз керек. Тәжірибелер Δt уақыт аралығы азайғанда $\Delta \vec{v}$ шамасының Δt уақытқа қатынасы тұрақты шамаға ұмтылатынын көрсетеді. Бұл шама *лездік үдеу* деп аталады:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}. \quad (1.3)$$

Лездік үдеу — жылдамдық өзгерісінің сол өзгеріс болған уақыт аралығына қатынасына тең векторлық физикалық шама.

Жолдың түзу сызық бөлігіндегі велосипедшінің қозғалысын қарастырайық. Велосипедшінің қозғалыс жылдамдығы кайсыбір уақыт мезетінде бастапқы жылдамдықтан артық (1.9, а-сурет). Бұл жағдайда үдеу векторы $\Delta \vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}_0$ векторлар айырмасының бағытымен бағытталса, велосипедшінің түзу жол бойында тежелуі кезіндегі $\Delta \vec{v}_2$ соңғы жылдам-



1.9-сурет

дығы $\Delta \vec{v}_3$ жылдамдықтан аз, сондықтан \vec{a} үдеу векторы $\Delta \vec{v} = \vec{v}_3 - \vec{v}_2$ векторы сияқты велосипедшінің қозғалыс бағытына қарсы бағытталған (1.9, а-сурет). Сонымен, үдеу жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтынын анықтадық.

Үдеу тұрақты болған кездегі қозғалысты қарастырайық. Тұрақты үдеумен қозғалыс бірқалыпты үдемелі, бірқалыпты баяулайтын немесе осы қозғалыстардың тізбекті жиынтығы болатын бірқалыпты айнымалы болуы мүмкін. Алайда бірқалыпты баяулайтын (бірқалыпты айнымалы) қозғалыс бірқалыпты үдемелі қозғалыстың дербес жағдайы екенін ескерген жөн.

Бірқалыпты үдемелі қозғалыс деп дененің жылдамдығы кез келген тең уақыт аралығында бірдей мәнге өзгеріп отыратын қозғалысты айтады.

(1.2) формуланың көмегімен қозғалыс басталғаннан t уақыт өткендегі дененің жылдамдығын анықтайтын өрнекті жазайық:

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t, \quad (1.4)$$

Түзусыздықты бірқалыпты үдемелі қозғалыс кезіндегі жылдамдықтың Ox осіндегі проекциясы үшін бұл формула келесі түрге не болады:

$$v_x = v_{0x} + a_x t. \quad (1.5)$$

Бірқалыпты үдемелі қозғалыс кезіндегі орын ауыстыруды анықтауға арналған формула былай жазылады:

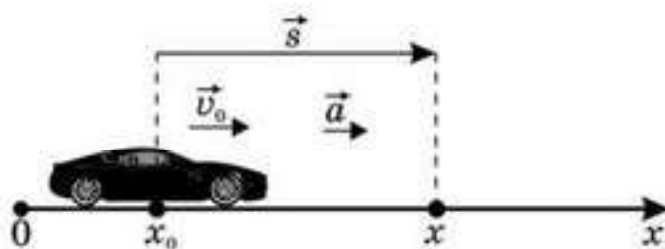
$$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}, \quad (1.6)$$

мұндағы \vec{v}_0 — дененің бастапқы жылдамдығы, \vec{a} — дененің үдеуі, онда \vec{s} орын ауыстыру векторының Ox осіне проекциясы (1.10-сурет) мына түрге не болады: $s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$. $s_x = x - x_0$ екенін ескеріп, s_x орын ауыстыру проекциясын координаталар айырмасы арқылы жазайық:

$$x - x_0 = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$$

немесе

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}. \quad (1.7)$$



1.10-сурет

Алынған (1.7) теңдеу *дененің қозғалыс теңдеуі* деп аталады. Осы теңдеу арқылы қозғалыс басталғаннан кейін кез келген уақыт мезетіндегі дененің координатасын анықтауға болады.

Осыған ұқсас Oy координата осі үшін де өрнекті төмендегідей жазуға болады:

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}.$$

Дененің қозғалысы кезіндегі бастапқы жылдамдығы және бастапқы координатасы нөлге тең болса, онда

$$x = \frac{a_x t^2}{2} \text{ немесе } y = \frac{a_y t^2}{2}. \quad (1.8)$$

Бірқалыпты үдемелі қозғалыс кезіндегі дененің координатасын есептеу үшін уақыт ескерілмейтін формуланы пайдалануға болады. (1.5)

теңдеуіндегі уақыттың мәнін $x = \frac{a_x t^2}{2}$ теңдеуіне қойып, $x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a}$ аламыз, ал $v_{0x} = 0$ үшін $x = \frac{v_x^2}{2a_x}$, ал бұдан $v_x = \sqrt{2a_x x}$.

$a_y = g, y = h$ екенін ескере отырып, Oy координата осі үшін де өрнек алуға болады: $v_y = \sqrt{2gh}$.

Мысалы, биік емес төбеден секірудің өзі қаншалықты қауіпті екенін әркім-ақ біледі. Ал бұл биіктік 10 м болса ше?

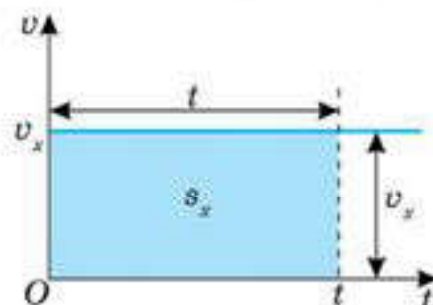
$v = \sqrt{2gh}$ формуласы арқылы еркін түсу кезіндегі жылдамдықтың мәнін есептейік:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 10 \text{ м}} = 14 \text{ м/с} = 50 \text{ км/сағ.}$$

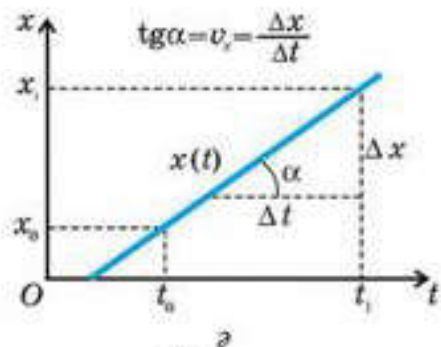
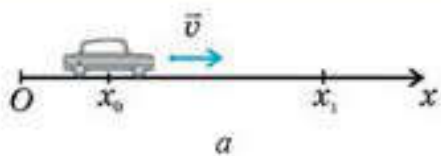
Бұл — автокөліктің қала ішіндегі ең үлкен қозғалыс жылдамдығы (ауа кедергісі бұл жылдамдықты шамалы аз мәнге кемітеді).

Бірқалыпты түзусызықты қозғалыс кезіндегі дененің қозғалыс жылдамдығы қалай өзгередінін $v_x(t)$ жылдамдық графигін тұрғызу арқылы көрнекі түрде көрсетуге болады (1.11-сурет). Жылдамдық графигінің көмегімен дененің t уақыт ішіндегі орын ауыстыру проекциясының мәнін таба аламыз. $v_x(t)$ графигінің астындағы тіктөртбұрыштың ауданы дененің сәйкес уақыт аралығындағы орын ауыстырудың проекциясына тең.

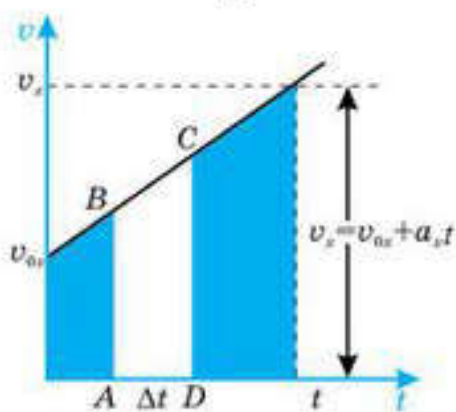
1.12-суретте автокөліктің тұрақты жылдамдықпен қозғалуы кезіндегі орын ауыстырудың уақытқа тәуелділік графигі берілген. Егер автокөлік бастапқы уақыт мезетінде x_0



1.11-сурет



1.12-сурет



1.13-сурет

жартысы мен биіктігінің көбейтіндісіне тең, біздің жағдайда v_{0x} және $v_{0x} + a_x t$ табандары, t — биіктігі, онда

$$s_x = \frac{1}{2} (v_{0x} + v_{0x} + a_x t) \tag{1.10}$$

немесе $s_x = x - x_0$ екенін ескере отырып, бірқалыпты үдемелі түзусызықты қозғалыс кезіндегі координаталарды есептеуге арналған формуланы аламыз:

$$x = x_{0x} + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}. \tag{1.11}$$

(1.12, а-сурет), ал t_1 уақыт мезетінде x_1 нүктесінде болса, онда $x_1 - x_0 = v(t_1 - t_0)$ немесе

$$v_x = \frac{x_1 - x_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta x}{\Delta t}. \tag{1.9}$$

$x(t)$ графигінің көлбеулігі, яғни көлбеулік бұрышының тангенсі v жылдамдықты көрсетеді (1.12, а-сурет). Жылдамдықтың проекциясы үшін алынған өрнек онда, теріс те болуы мүмкін, демек оның таңбасы қозғалыс бағытын көрсетеді. Егер жылдамдық проекциясы теріс болса, онда қозғалыс таңдап алынған Ox осінің бағытына кері бағытта өтеді.

1.13-суретте бастапқы жылдамдықтың және үдеудің проекцияларының мәндері он болатын жағдай үшін $v_x(t)$ тәуелділігінің графигі келтірілген. Бірқалыпты түзусызықты қозғалыс жағдайына ұқсас Δt уақыт аралығында дененің орын ауыстыруының проекциясы жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графигінің астындағы $ABCD$ трапециясының ауданына тең. Трапецияның ауданы оның табандарының қосындысының

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Кинематика нені зерттейді? Сендерге қандай кинематикалық шамалар белгілі? Неліктен жылдамдықты векторлық шама деп тұжырымдайды?
2. Дененің механикалық қозғалысын сипаттаудың қандай тәсілдерін білесіңдер?
3. Радиус-вектор қандай мақсатта қолданылады? Оның көмегімен нені анықтауға болады?
4. Кез келген бірқалыпты емес қозғалыста жылдамдық өзгереді. Бұл өзгерісті үдеу қалай сипаттайды?
5. Үдеу векторлық шама болып табылады деген тұжырым неге негізделген?

6. Жоғары жылдамдық жоғары үдеу дегенді білдіре ме? Мысал келтіріңдер.
7. Дененің жылдамдығы артуы үшін оның үдеуі қалай бағытталуы тиіс, ал кемуі үшін ше?
8. $v_x(t)$ тәуелділік графигі бойынша дененің бірқалыпты түзусызықты қозғалысы кезіндегі орын ауыстыруының Ox осіне проекциясы қалай анықталады?
9. Бірқалыпты түзусызықты қозғалыс кезіндегі тәуелділігі $x(t)$ графигінің көлбеулік бұрышы жылдамдыққа тәуелді бола ма?
- *10. Бірқалыпты үдемелі қозғалыс кезіндегі дененің орын ауыстыруы график түрінде қалай анықталады?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 2. Салыстырмалы қозғалыс

Тірек ұғымдар: қозғалыстың салыстырмалылығы, санақ денесі, санақ жүйесі, жылдамдық.

Бүгінгі сабақта:

кез келген қозғалыстың негізгі ерекшелігі — оның салыстырмалылығы туралы білесіңдер; жылдамдықтың формуласын пайдаланып есептер шығаруды үйренесіңдер.

Кез келген қозғалыстың басты ерекшелігі оның *салыстырмалылығы* болып табылады. Мысалы, қозғалып бара жатқан пойыз ішіндегі бақылаушы үшін вагонда отырған жолаушылар да, вагонның өзі де қозғалмайды, ал сырттағы ағаштар мен ғимараттар қозғалады; перронда тұрған бақылаушы үшін ғимараттар мен ағаштар тыныштықта, керісінше вагон жолаушыларымен бірге қозғалады.

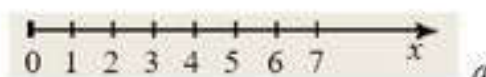
Өзен ағысымен салдың үстінде жүзіп бара жатқан саяхатшылар салға және суға қатысты өздерін тыныштықта тұрмыз деп есептейді. Жағада тұрған бақылаушы үшін бәрі керісінше болады. Бұл мысалдардан бір ғана дененің қозғалысы әртүрлі бақылаушылардың көзқарасы бойынша түрліше болып көрінетіні байқалады. Демек, кез келген дененің қозғалысын сипаттау үшін бізге ең әуелі осы қозғалыс салыстырылып қарастырылатын денені таңдап алу қажет.

Дене қозғалысы салыстырылып қарастырылатын дене санақ денесі деп аталады.

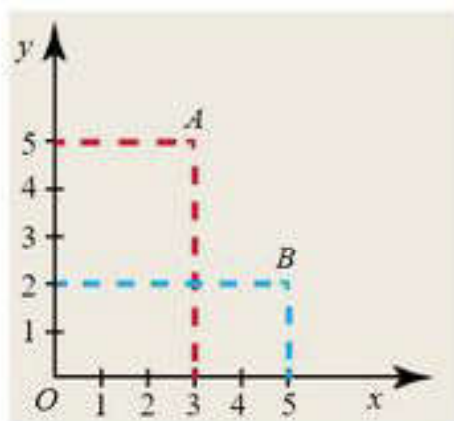
Санақ денесі шартты түрде қозғалмайды деп есептеледі, ал зерделенетін денелер қозғалыста болуы да, тыныштықта тұруы да мүмкін. Санақ денесін дене қозғалысын зерделеуді неғұрлым қарапайым түрге келтіретіндей етіп таңдап алу қажет. Мәселен, адам машинада кетіп бара жатса, санақ денесі ретінде Жер бетіндегі денелерді алған ыңғайлы, өйткені машина қозғалыстағы дене.



2.1-сурет



a



б

2.2-сурет

Сонымен, кез келген механикалық қозғалыс салыстырмалы болып табылады.

Санақ жүйесі. Әдетте, санақ денесімен координаталар жүйесін байланыстырады. Өзенмен жүзіп бара жатқан катердің координаталарын қалай анықтауға болатынын қарастырайық. Кемеңің қозғалыста екенін сендер жағада өсіп тұрған ағашпен салыстырғандағы оның орнының өзгеруіне қарап айта аласыңдар. Егер оның орны ағашқа қатысты өзгерсе, онда кеме ағашқа қатысты қозғалыста болғаны. Алайда кеме белгілі бір нақты уақыт мезетінде сол ағашқа қатысты қалай қозғалатынын

анықтап көрейік. Оны анықтау үшін тікбұрышты координаталар жүйесін пайдаланамыз және оны өзіміз таңдап алған ағашпен байланыстырамыз (2.1-сурет).

Содан кейін катер орнының ағашқа қатысты өзгеруін уақытпен белгілеп, санақ жүйесін таңдаймыз.

Санақ жүйесі дегеніміз — өзара байланысқан санақ денесі, координаталар жүйесі мен уақытты өлшейтін құралдың (сағат) жиынтығы.

Ыңғайлы болу үшін, әдетте, санақ денесін санақ басы немесе координаталар басы деп аталатын координата түзулерінің қиылысу нүктесіне орналастырады.

Координата түзуі деп бағытты, санақ нүктесі және бірлік кесіндісі бар сызықты айтады (2.2, а-сурет).

Жазықтықтағы координаталар жүйесінің кескіні 2.2, б-суретте бейнеленген. Горизонталь ось *абсциссалар осі* деп, вертикаль ось *ор-*

динаталар осі деп аталады. 2.2, ә-суретте A нүктесінің координаталары 3 және 5 екенін көреміз, ол былай жазылады: $A(3; 5)$. Егер A нүктесі B нүктесіне орын ауыстырса, онда оның координаталары өзгереді де, координаталар жазықтығындағы оның координаталары $B(5; 2)$ болады.

Траекторияның формасы санақ жүйесін тандап алғанға байланысты. Мысалы, Айдың Жерге қатысты қозғалыс траекториясы — шеңбер, ал Күнге қатысты траекториясы анағұрлым күрделі формадағы сызық болып келеді. 2.3, а, ә-суреттерде осы траекториялардың түрлері бейнеленген.

Жағаға перпендикуляр қозғала отырып, өзеннен өтіп бара жатқан жүзгіштің:
а) жағаға қатысты; ә) өзен ағысымен кетіп бара жатқан қайыққа қатысты қозғалысының траекториясын көзге елестетіп көріңдер.

Егер өзеннен өтіп бара жатқан жүзгіш шаршай бастаса, оның траекториясының түрі өзгере ме?



а



ә

2.3-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Санақ денесі деп қандай денені айтады? Қандай денелерді санақ денесі ретінде тандап алады?
2. Санақ жүйесі деп нені айтады? Неліктен механикалық қозғалыс туралы айтқанда санақ жүйесін көрсету қажет?
3. Бір ғана дененің қозғалысын әртүрлі санақ жүйесінде сипаттауға болады. Бір санақ жүйесінен екінші санақ жүйесіне көшкенде дене қозғалысының сипаты өзгере ме?
4. Мыналардың: а) әткеншек тепкен балалардың; ә) велосипед дөңгелегінің; б) үстелде домалаған қарындаштың қозғалыс траекториялары жерге қатысты қандай формада болады?
- *5. Жеңіл автомобиль жүргізушісі жүк көлігін қуып келеді. Оған жүк көлігі өзіне қарай жақындап келе жатқандай көрінеді. Бұны қалай түсіндіруге болады?
- *6. Ауа толтырылған әуе шары қалың тұман ішінде қалды делік. Әуе шарындағы адам ешқандай құралсыз ұшу бағытын анықтай ала ма?
7. Бір ғана дененің бір денелермен салыстырғанда тыныш тұрып, екінші бір денелермен салыстырғанда қозғалыста болатын жағдайларына мысалдар келтіріңдер.
8. Жылдамдық модулін ғана біле отырып, дененің орнын анықтауға бола ма?
9. Жылдамдық векторлық шама ма, әлде скаляр шама ма? Жауаптарыңды негіздендер.

Осы тақырыпта неі меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы неі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	---	---

§ 3. Қисықсыздықты қозғалыс кинематикасы

Тірек ұғымдар: қисықсыздықты қозғалыс, қисықсыздықты қозғалыс кезіндегі жылдамдық пен үдеу.

Бүгінгі сабақта: тұзусызықты және қисықсызықты қозғалыстар арасындағы айырмашылықтармен танысасыңдар.



3.1-сурет

Табиғатта да, техникада да көптеген денелер шеңбер бойымен қозғалады: Жердің Күнді, Ай мен жасанды серіктердің Жерді айнала шеңбер тәрізді орбита бойымен қозғалуы (3.1-сурет). Мысалы, айналатын карусель, электронның атом ядросын айналуы және т.б. Сондай-ақ кез келген қисықсыздықты қозғалысты жеткілікті деңгейдегі дәлдікпен радиустары әртүрлі шеңбер бойымен қозғалыс деп қарастыруға болады.

Шеңбер бойымен қозғалатын дененің өлшемі шеңбер радиусынан көп кіші болса, онда денені материялық нүкте деп қарастыра алатынымызды білесіңдер.

Шеңбер бойымен қозғалатын дененің өлшемі шеңбер радиусынан көп кіші болса, онда денені материялық нүкте деп қарастыра алатынымызды білесіңдер.

Дененің шеңбер бойымен қозғалғандағы лездік жылдамдығын сызықтық жылдамдық деп атайды.

Шеңбер бойымен қозғалыс кезінде дененің бір айналымда өтетін жолы шеңбер ұзындығына тең және әрбір айналымды ол бірдей уақытта өтеді, сондықтан дененің сызықтық жылдамдығының модулі $l = 2\pi r$ шеңбер ұзындығын T периодқа бөлгенге тең:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \tag{3.1}$$

Бұрылу бұрышының уақыт өтуіне қарай өзгеруі бұрыштық жылдамдық арқылы сипатталатыны және дененің бірқалыпты айналуы кезінде ол

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \tag{3.2}$$

формуласымен анықталатыны белгілі, мұндағы j — бұрылу бұрышы.

Шеңбер бойымен толық бір айналым 2π радианды құрайды. Нүктенің толық бір айналымы кезіндегі уақыт $t = T$ болғандықтан, бұрыштық жылдамдықты мына өрнекпен анықтауға болады:

$$W = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (3.3)$$

Ал бұрыштық және сызықтық жылдамдықтардың арасындағы байланыс былай анықталады:

$$\frac{v}{\omega} = \frac{2\pi vr}{2\pi\nu} = r.$$

Демек,

$$v = Wr \text{ немесе } W = \frac{v}{r}. \quad (3.4)$$

Бұрыштық жылдамдық пен сызықтық жылдамдықтың бұл формулалары есептер шығару кезінде жиі қолданылады.

Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалыс кезінде сызықтық жылдамдықтың модулі тұрақты болады, бірақ бұл сызықтық жылдамдықтың бағыты өзгермейді дегенді білдірмейді. Бұл жерде жылдамдықтың бағыты мен модулі арасындағы айырмашылықты ескеруіміз қажет. Жылдамдықтың бағыты қозғалыс кезінде үнемі өзгеріп отырады.

Дөңгелек траекторияның кез келген нүктесіндегі дене жылдамдығы траекторияның осы нүктесіне жүргізілген жанама бойымен, ал шеңбердің әрбір нүктесіндегі үдеу векторы радиус бойымен үнемі шеңбер центріне қарай бағытталады (3.2-сурет). Осы үдеуді $\vec{a}_{\text{ит}}$ **центрге тартқыш үдеу** деп атайды. Модулі бойынша ол төмендегі формуламен өрнектеледі:

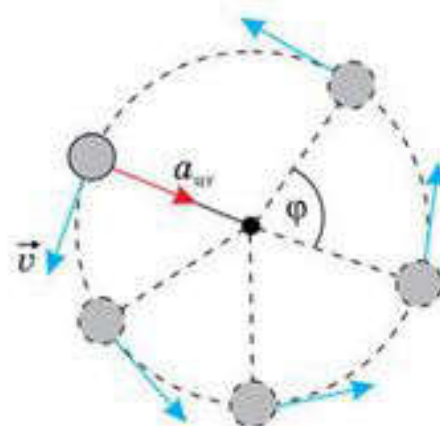
$$a_{\text{ит}} = \frac{v^2}{r}, \quad (3.5)$$

мұндағы v — сызықтық жылдамдық, r — шеңбер радиусы.

Центрге тартқыш үдеуді көп жағдайда r шеңбер радиусы, T айналу периоды арқылы өрнектеу ыңғайлы. Онда (3.1) формуланы ескере отырып, центрге тартқыш үдеудің (3.5) формуласын келесі түрде жаза аламыз:

$$a_{\text{ит}} = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 4\pi^2 \nu^2 r;$$

мұндағы ν — айналу жиілігі, $\nu = \frac{1}{T}$.



3.2-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалысты бірқалыпты үдемелі қозғалыс деп есептеуге бола ма?
 2. Қисықсызықты қозғалыс кезіндегі лездік жылдамдық қалай қарай бағытталған?
 3. Дене қисықсызықты траектория бойымен үдеусіз қозғала ала ма?
 4. Қисықсызықты қозғалыс пен шеңбер бойымен қозғалыс арасында қандай байланыс бар?
- *5. Центрге тартқыш үдеу айналу жиілігі арқылы қалай өрнектеледі?



Тапсырма

1. Қоршаған ортаны бақылай отырып және қосымша әдебиеттерді пайдаланып, физиканың қазіргі қоғам өміріндегі рөлі туралы эссе жазыңдар.
2. Түзу жолмен бірқалыпты қозғала отырып, 100 м аралықты қандай жылдамдықпен жүретіндерін анықтаңдар. Мұны орын ауыстыру деп пайымдауға бола ма? Жауаптарыңды негіздендер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Ұзындығы 120 м болатын жолдың алғашқы бөлігін шаңғышы 2 мин, ал ұзындығы 27 м екінші бөлігін 1,5 мин жүріп өтті. Барлық жол бойындағы шаңғышының орташа қозғалыс жылдамдығын табыңдар.

Берілгені:

$$s_1 = 120 \text{ м}$$

$$t_1 = 2 \text{ мин} = 120 \text{ с}$$

$$s_2 = 27 \text{ м}$$

$$t_2 = 1,5 \text{ мин} = 90 \text{ с}$$

$$v_{\text{орт}} = ?$$

Шешуі. Ох осін шаңғышының қозғалыс бағытымен бағыттаймыз (3.3-сурет). Орташа жылдамдық $v_{\text{орт}} = \frac{s}{t}$, мұндағы $s = s_1 + s_2$ — барлық жүрілген жол; $t = t_1 + t_2$ — шаңғышының қозғалыс уақыты. Сонда орташа жылдамдық

$$v_{\text{орт}} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2}; v_{\text{орт}} = \frac{120 \text{ м} + 27 \text{ м}}{120 \text{ с} + 90 \text{ с}} = \frac{147 \text{ м}}{210 \text{ с}} = 0,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



3.3-сурет

Жауабы : 0,7 м/с.

2-есеп. Автомобиль сапасын бағалау тәсілдерінің бірі оның тұрған орнынан жылдамдығын 60 км/сағ қаншалықты тездетіп арттыра алуына негізделген. Кейбір автомобильдердің алатын үдеуін қозғалтқыш қуатына емес, дөңгелектердің сырғанауына қатысты шектейді. Жақсы дөңгелектің шиналары 0,5 g шамасында үдеуді қамтамасыз ете алады.

Бұл жағдайда 60 км/сағ жылдамдыққа жету үшін қандай қашықтық және уақыт қажет болады?

Берілгені:

$$v = 60 \frac{\text{км}}{\text{сағ}} = 16,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = \frac{1}{2} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$v_0 = 0$$

$$t = ? \quad x = ?$$

Шешуі . $v_0 = 0$ болғандықтан, $v = at$, ал

$$\text{бұдан } t = \frac{v}{a}; \quad t = \frac{16,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{1}{2} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 3,4 \text{ с};$$

$$x = \frac{at^2}{2}; \quad x = \frac{1}{2} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (3,4 \text{ с})^2 = 28,3 \text{ м}.$$

Жауабы : 28,3 м; 3,4 с.

1-жаттығу

1. Дененің орын ауыстыруының бастапқы және соңғы нүктелерінің координаталары белгілі: $A(1; 1)$ және $A'(3; 3)$. Орын ауыстыру векторының модулі мен бағытын анықтаңдар. A және A' нүктелерінің радиус-векторларын сызып көрсетіңдер.
2. Жүзу бассейніне қарай бет алған спортшы оңтүстікке қарай 3 км жүргеннен кейін өзінің жолдасын кездестірді. Содан кейін олар бассейнге жету үшін батысқа қарай тағы 4 км жүрді. Спортшының орын ауыстыру модулін анықтаңдар.
3. Алматы—Талдықорған тасжолында қозғалып келе жатқан автокөліктің уақытқа қатысты орны $x = 50 + 100t$ (км және сағ) өрнегімен берілген. Таңғы сағат 9:00 бастап есептегенде, автокөлік 9:00 және 11:00 сағатта Алматыдан қандай қашықтықта болады?
4. Велосипедші тыныштық қалпынан 2 м/с^2 үдеумен қозғала бастайды. Қанша уақыт өткеннен кейін оның жылдамдығы 1 м/с тең болады?
5. Велосипедші радиусы 50 м болатын жол айналмасы бойымен 36 км/сағ жылдамдықпен қозғалып келеді. Бұл айналманы ол қандай үдеумен жүріп өтеді?
6. Автокөліктің жол айналмасында 10 м/с жылдамдықпен қозғалуы кезіндегі центрге тартқыш үдеуі 1 м/с^2 . Осы жолдың қисықтық радиусы қандай?
- *7. Санақ басынан старт алып, қарама-қарсы жаққа жүтірген екі спортшының бір-калыпты қозғалысының графигін тұрғызыңдар, олардың жылдамдықтарының проекциялары сәйкесінше $v_{x_1} = 5 \text{ м/с}$ және $v_{x_1} = -8 \text{ м/с}$. Қозғалыс басталғаннан 5 с уақыт өткеннен кейін олардың арақашықтығын графигтік түрде анықтаңдар.
- *8. Бастапқы жылдамдығы 2 м/с болатын 3 м/с^2 үдеумен қозғалып келе жатқан дене үшін жылдамдық графигін салыңдар. Қозғалыс басталғаннан кейін 4 с өткендегі жүрілген жол мен лездік үдеуді табыңдар.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 4. Күш. Күштерді қосу. Ньютон заңдары

Тірек ұғымдар: Ньютон заңдары, күш, күштерді қосу, салыстырмалылық принципі.

Бүгінгі сабақта: денелердің қозғалыс заңдарын білесіңдер және оларды қолдануды үйренесіңдер.

Табиғаттың әртүрлі құбылыстарының арасындағы себеп-салдарлық байланыстарды білу адамдардың практикалық қызметінде маңызды рөл атқарады. Құбылыстың бірі екіншісін тудыратын болса, онда оның біріншісін *себеп*, ал екіншісін *салдар* деп атайды. Осылайша құбылыстардың арасында себеп-салдарлық байланыс орнығады.

Қандай да бір құбылыстардың себеп-салдарлық байланыстарын ашу арқылы адам пайдалы құбылыстардың тезірек туындауына немесе олардан туындайтын зиянды салдарлардың алдын алуға тырысады.

Дене қозғалысының себеп-салдарлық сипатын қарастыратын физиканың бөлімін *динамика* (латынша “*dynamics*” — “күш”) деп атайды.

Динамиканың негізін Ньютонның үш заңы құрайды.

Ньютонның бірінші заңы. XVII ғасырдың басында итальяндық ғалым Г. Галилей инерциялық қозғалыс туралы принцип тұжырымдады. Бұл принцип бойынша денеге басқа денелер әсер етпесе немесе олардың әсері тенескен болса, онда ол тыныштық күйінде болады немесе түзу сызықты және бірқалыпты қозғалады.

1687 жылы И. Ньютон Г. Галилейдің инерциялық қозғалыс туралы принципін Ньютонның бірінші заңы түрінде тұжырымдады: денеге сыртқы күштер әсер етпегенде, дене олармен салыстырғанда өзінің тыныштық күйін немесе бірқалыпты түзу сызықты қозғалысын сақтайтын санақ жүйелері болады.

Ондай санақ жүйелері *инерциялық санақ жүйелері* деп аталады. Инерциялық санақ жүйесі идеал санақ жүйесі болып табылады.

Алайда біз күнделікті өмірдегі іс-әрекетімізде Жерді инерциялық санақ жүйесі ретінде пайдаланамыз, өйткені Жердің үдемелі қозғалысы оның бетіндегі механикалық құбылыстарға елеулі әсер етпейді. Егер Жер бетімен байланысқан санақ жүйесін инерциялық деп есептейтін болсақ, онда оған қатысты бірқалыпты және түзу сызықты қозғалатын кез келген денені инерциялық санақ жүйесі деп қарастыруға болады.

Қозғалысты сипаттау үшін қандай санақ жүйесін таңдап алу ыңғайлы? Егер астрономиялық есептеулерді дәлдікпен есептеу керек болса не-

месе зымырандар ұшыруды ойластырған жағдайда, Күнмен немесе жұлдыздармен байланысқан санақ жүйелерін қолдану ынғайлырақ және дәлірек болады.

Ньютонның бірінші заңы орындалмайтын санақ жүйелері болады. Дене жылдамдығының өзгерісі тек денелердің өзара әсерлесуінен ғана емес, жүйенің өзінің үдемелі қозғалысынан туындайтын санақ жүйелерін *инерциялық емес* санақ жүйелері деп атайды. Мысалы, өздерін отырған автокөлік орнынан кенет қозғалса, орындық арқасына қарай еріксіз шалқаясындар, кенет тежелгенде, автокөлік қозғалысының бағыты бойымен алға қарай енкейесіндер. Демек, кенеттен жылдамдығы өзгертін, яғни сендердің автокөлікке қатысты жылдамдықтарын сыртқы күштер әсер етпегенде өзгереді, сондықтан автокөлікпен байланысқан санақ жүйесі инерциялық емес санақ жүйесі болып табылады.

Ньютонның екінші заңы. Енді сендер инерциялық санақ жүйесінде денеге сыртқы күштер әсер етпесе, онда ол тұзусызықты және бірқалыпты қозғалатынын және бұл жағдайда жылдамдықтың өзгеруі нөлге тең болатынын білесіңдер. Қозғалыстағы денеге басқа денелер әсер еткенде оның жылдамдығы өзгереді. Дене жылдамдығының өзгеруі, яғни онда үдеудің пайда болуы оған басқа денелердің әсер етуінен туындайды. Бұл әсер күшпен сипатталады (4.1-сурет).

Күш — векторлық шама. Күштің әсер ету нәтижесі оның модуліне, бағытына және түсірілу нүктесіне байланысты болады. Мысалы, жерде жатқан допты неғұрлым қаттырақ тепсе, допқа әсер еткен күштің нәтижесінде доп соғұрлым көбірек жылдамдық алады және сәйкесінше үдеуі де артады.

Демек, дененің алатын үдеуі денеге әсер ететін күшке тура пропорционал:

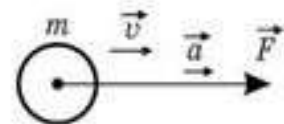
$$\vec{a} \sim \vec{F},$$

Массалары әртүрлі денелерге бірдей күшпен әсер етсе, ол денелердің үдеулері түрліше болады. Мысалы, бірдей күш жұмсай отырып, массалары әртүрлі екі допты тебетін болсақ, салмағы аз доптың екінші допқа қарағанда үдеуі артық болады. Нәтижесінде үдеу мен масса бір-біріне пропорционал екені шығады: $\vec{a} \sim \frac{1}{m}$.

II. Ньютон осындай бақылаулар мен тәжірибелерді қорытындылай келе, қозғалыстың негізгі заңын төмендегідей тұжырымдады:



Исаак Ньютон
(1643—1727)



4.1-сурет

денеде туындайтын үдеу оған әсер ететін күшке тура пропорционал, ал оның массасына кері пропорционал :

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (4.1)$$

Күш әсерінің тәуелсіздік принципі. Классикалық механиканың негізгі принциптерінің біріне күш әсерінің тәуелсіздік принципі жатады. Бұл принципке сәйкес, егер денеге бір мезгілде бірнеше күш әсер етсе, онда олардың әрқайсысы денеге басқа күштер әсер етпеген жағдайдағыдай үдеу тудырады. Бұл күштер әсерінің *тәуелсіздік принципінің* мәні осы болып табылады, яғни денеге n күш әсер етсе, онда дененің үдеуі барлық күштердің тең әсерлі күшімен анықталады:

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

Денеге басқа денелер тарапынан әсер ететін күштердің тең әсерлі күші оған әсер ететін барлық күштердің векторлық қосындысына тең (4.2-сурет). Сонда Ньютонның *екінші заңын* келесі түрде жаза аламыз:

$$\vec{a} = \frac{\Sigma \vec{F}}{m}. \quad (4.2)$$

Демек, Ньютонның екінші заңын қолданар алдында қарастырылатын денеге әсер ететін күштердің векторлық қосындысын тауып, тек содан кейін оны Ньютонның екінші заңының теңдеуіне қою керек.

Ньютонның екінші заңының формуласын

$$m\vec{a} = \Sigma \vec{F} \quad (4.3)$$

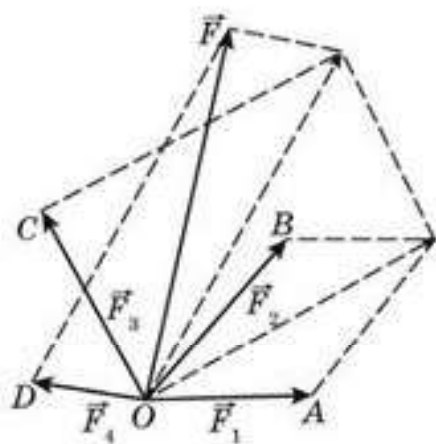
түрінде де жазуға болады.

Динамикадан практикалық есептерді шығарғанда Ньютонның екінші заңына (4.3) формуланы қолданған ыңғайлы.

Ньютонның үшінші заңы. Екі дененің өзара әсерлесуі кезінде әсер және қарсы әсер күштері пайда болады. Шындығында, бір дене екінші бір денеге әсер етіп, ал өзі қарсы әсерге ұшырамауы мүмкін емес. Бір дененің екінші денеге әсері \vec{F}_1 күшпен анықталады. Демек, егер бір дене екінші денеге \vec{F}_1 күшпен әсер етсе, онда міндетті түрде екінші дененің бірінші денеге қарсы әсер ететін күші бар болады, яғни

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

Бұл теңдік Ньютонның үшінші заңын өрнектейді және төмендегідей тұжырымдалады: **әсерге әрқашан да тең және қарама-**



4.2-сурет

қарсы бағытталған қарсы әсер болады; екі дененің бір-біріне әсері өзара тең және қарама-қарсы бағытталады.

Денелердің өзара әсерлесуінен туындайтын күштер әртүрлі денеге түсірілетіндіктен, олар ешқашан теңеспейді. Осы күштер бір түзудің бойымен әсер етеді және табиғаты бірдей күштер. Мысалы, парашюттің арқан жіптері тарапынан спортшыға әсер етуші \vec{F}_1 күші шамасы бойынша спортшы тарапынан арқан жібіне әсер ететін \vec{F}_2 күшіне тең (4.3-сурет).



4.3-сурет

Әсер және қарсы әсер күштерінің теңдігі әртүрлі жылдамдықтармен қозғалатын өзара әсерлесуші денелер массаларының кез келген қатынасында орындалады.

Салыстырмалылық принципі. Салыстырмалылық принципі классикалық механиканың маңызды принципі болып табылады. Бұл принципті Г. Галилей тұжырымдаған болатын. Осы принципке сәйкес, *барлық инерциялық санақ жүйелері үшін механика заңдары бірдей, яғни бастапқы шарттар тең болғанда, барлық инерциялық санақ жүйелеріндегі механикалық құбылыстар бірдей жүреді.*

Ньютон заңдары инерциялық санақ жүйелерінде орындалады. Бір санақ жүйесінен екіншісіне өткенде дененің үдеуі де, массасы да, оған әсер етуші күш те өзгермейді. Бір санақ жүйесінен екіншісіне өткенде жылдамдық, орын ауыстыру немесе қозғалыс траекториясы сияқты қозғалыстың кейбір сипаттамалары өзгеруі мүмкін. Алайда бұл санақ жүйелеріндегі қозғалыс заңдары өзгермейді.

XX ғасырдың басында физик-теоретик А. Эйнштейн осы принцип негізінде қазіргі кездегі маңызды теориялардың бірі болып табылатын заманауи салыстырмалылық теориясын құрды. Бұл теориямен келесі тарауда танысасыздар.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Бір инерциялық санақ жүйесі берілген. Басқа санақ жүйесінің қозғалысы бойынша санақ жүйесінің инерциялық немесе инерциялық емес екенін қалай анықтауға болады?
2. Жерге қатысты денелер қозғалысында инерция заңының орындалмайтыны қандай жағдайларда байқалады? Жеке тәжірибелерден өздерің таңдаған санақ жүйесінде Ньютонның бірінші заңына қайшы келетін құбылыс байқалатынына бірнеше мысал келтіріңдер.
3. Қандай да бір инерциялық жүйеге қатысты үдеумен қозғалатын санақ жүйесі инерциялық бола ала ма?

4. Қандай физикалық шама векторының бағыты денеге түсірілген тең әсерлі күштің бағытына тәуелді болады: жылдамдықтың ба, орын ауыстырудың ба, әлде үдеудің бе?
5. Денеге түсірілген барлық күштердің тең әсерлі күші нөлге тең. Осы дене түзу сызық бойымен қозғала ала ма? Тыныштық күйін сақтай ма?
- *6. Денелердің өзара әсерлесуі кезінде туындайтын күштердің табиғаты туралы не айтуға болады? Бұл күштер неге бірін-бірі теңестірмейді? Әсер мен қарсы әсер күштерінің шамасы, бағыты және әсер ету нүктесі туралы не айтуға болады?
7. Күштердің тәуелсіздік принципінің мәні неде?

Осы тақырыпта негізгі мәліметтеріңізді?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілеріңіз келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	---	---

§ 5. Бүкіләлемдік тартылыс заңы

Тірек ұғымдар: Бүкіләлемдік тартылыс заңы, еркін түсу үдеуі, ауырлық күші, бірінші ғарыштық жылдамдық, екінші ғарыштық жылдамдық.

Бүгінгі сабақта:

Бүкіләлемдік тартылыс заңымен және еркін түсу үдеуімен танысасыздар.

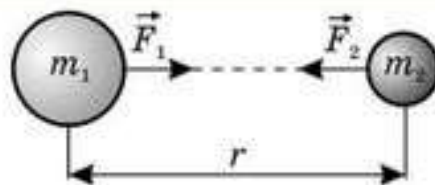
Бүкіләлемдік тартылыс заңы. Үш ғасырдан астам уақыт бұрын адамдар аспан денелері өзінің заңдарымен қозғалады, ал Жердегі денелер өзінің “тіршілік” ережелеріне бағынады деп есептеген болатын. Барлық әлем үшін бірыңғай заңдардың орындалатыны туралы шындықтың ашылуына И. Ньютон көп үлес қосқан. Ол 1665 жылы әлемдегі барлық денелер арасындағы тартылыс күшінің табиғаты бірдей деген болжам жасады.

XXI ғасырда жұлдыздар мен ғаламшарлар туралы түсінік әлдеқашан-ақ өзгерген. Алайда Ньютон бүкіләлемдік тартылыс күшінің бар екенін болжағанмен, тек жиырма жылдық зерттеулерінен кейін ғана тартылыс күшінің қандай шамаларға тәуелді болатынын нақты көрсете алды. Көптеген жылдар бойы ғаламшарлардың Күн айналасындағы, Айдың Жер айналасындағы қозғалысын зерттей отырып және И. Кеплер ашқан ғаламшарлардың қозғалысы туралы заңдарды пайдаланып, Бүкіләлемдік тартылыс заңын тұжырымдады (1687 ж.).

Бүкіләлемдік тартылыс заңына сәйкес, әлемдегі барлық денелер бір-біріне массаларының көбейтіндісіне тура пропорционал және арақашықтықтарының квадратына кері пропорционал күшпен тартылады (5.1-сурет) :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (5.1)$$

мұндағы m_1 және m_2 — денелердің массасы, r — олардың арақашықтығы, G — гравитациялық тұрақты. Оның сан мәнін Ньютонның отанда-сы Генри Кавендиш (1731—1810) 1798 жылы алғаш рет есептеген болатын. Ол анықтаған гравитациялық тұрақтының мәні кейінірек жүргізілген эксперименттік нәтижелер мәнінен көп ерекшеленбейді. Гравитациялық тұрақтының сан мәні мынаған тең:



5.1-сурет

$$G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

Бүкіләлемдік тартылыс заңы Күннің, Жердің және көптеген ғаламшарлардың массасын, сондай-ақ олардың айналу периодын есептеуге мүмкіндік береді. Бұл заңның көмегімен астрономиялық мәліметтер бойынша үлкен дәлдікпен аспан денелерінің орны мен қозғалысы анықталады.

Еркін түсу үдеуі. Бүкіләлемдік тартылыс күшінің бір көрінісі — денелердің Жердің центріне тартылу күші. Бұл күшті *ауырлық күші* деп атайды, оның біз үшін мәні зор. Бүкіләлемдік тартылыс заңына сәйкес, ол

$$F_a = G \frac{mM_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2} \quad (5.2)$$

формуласы бойынша өрнектеледі, мұндағы m — дене массасы, $M_{\text{ж}}$ — Жер массасы, $R_{\text{ж}}$ — Жер радиусы. Ауырлық күші Жер центріне қарай тік төмен бағытталған (5.2-сурет).

Ауырлық күші — Жердің денені тартуы салдарынан оған әсер ететін гравитациялық күш.

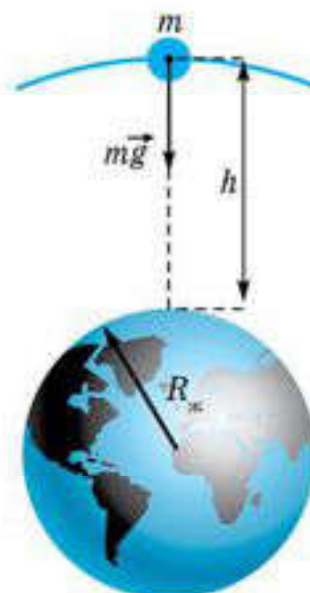
$G \frac{M_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2}$ шамасы тұрақты және g арқылы белгіленеді де, *еркін түсу үдеуі* деп аталады. Сонымен,

$$g = G \frac{M_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2}.$$

Шындығында да, егер массасы m дене Жерге жақын орналасса, онда ол Жерге $F = G \frac{mM_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2}$ күшпен тартылады.

Бұл күш Ньютонның $\vec{F} = m\vec{a}$ екінші заңына сәйкес денеге үдеу туғызады, сонда дененің Жерге тартылу күші әсерінен алатын үдеуі

$$a = g = G \frac{M_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$



5.2-сурет

Егер дене Жер бетінен h биіктікте орналасса, онда осы дене мен Жер центрінің арақашықтығы $R_{\text{ж}} + h$ болады, онда $g = G \frac{M}{(R_{\text{ж}} + h)^2}$.

Олай болса, ауырлық күші, яғни еркін түсу үдеуі де Жер бетіндегі шамалармен салыстырғанда біршама аз. Дененің Жер бетінен көтерілу биіктігі, әдетте, Жер радиусымен салыстырғанда, елеусіз аз болатындықтан, оны ескермеуге болады.

Бүкіләлемдік тартылыс заңы кез келген аспан денесінің бетіндегі еркін түсу үдеуін анықтауға мүмкіндік береді. $g = G \frac{M}{R_{\text{ж}}^2}$ формуласына

Жер массасы мен оның радиусының орнына қандай да бір басқа ғаламшарлардың немесе оның серігінің массасы мен радиусын қойып, кез келген аспан денесінің бетіндегі g мәнін жуықтап есептеуге болады.

Ғарыштық жылдамдықтар. Бүгінгі таңда қуатты зымырандардың көмегімен белгілі бір орбитаға шығарылған бірнеше мыңдаған жасанды серіктер Жерді айнала қозғалады. Жер серіктерінің көбі Жер центрінен 38000 км мәнінен 45000 километрге дейінгі қашықтықтағы орбита бойымен айналады (5.3-сурет). Бұл серіктердің айналу периоды бір тәулікке жуық. Жасанды серіктер де табиғи аспан денелерінің қозғалыс заңдары бойынша қозғалады.



5.3-сурет

Жер бетіне жанама бойымен лақтырылған дененің ауаның кедергісін ескермегенде, бастапқы жылдамдығының белгілі бір мәнінде Жерге құламай немесе одан алыстамай шеңбер орбита бойымен қозғала алады.

Жердің $R_{\text{ж}}$ радиусына тең шеңбермен серік Жерді айнала қозғалады деп есептеп, Жер серігінің айналу жылдамдығын есептейік:

$$v = \sqrt{G \frac{M_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}}} \quad (5.3)$$

Бұл теңдеуге $M_{\text{ж}} = 5,98 \cdot 10^{24}$ кг Жер массасы мен $R_{\text{ж}} = 6,37 \cdot 10^6$ м Жер радиусының сан мәндерін қойып, бірінші ғарыштық жылдамдықтың мәнін аламыз. Бірінші ғарыштық жылдамдық шамамен $v_1 \approx 7,9$ км/с.

Жердің жасанды серігі болуы үшін денеге берілетін минимал жылдамдық **бірінші ғарыштық жылдамдық** деп аталады.

$v_2 \approx 11,2$ км/с тең болатын параболалық жылдамдықты **екінші ғарыштық жылдамдық** деп атайды, серік парабола бойымен қозғала отырып, ғарыш кеңістігінде Күннің жасанды серігіне айналады (5.4-сурет).

Егер серік жылдамдығы $v_1 < v < v_2$ аралығында болса, мұндай жылдамдық кезінде ол эллипстік траектория бойымен қозғалады. Күннің тартылысын жеңу үшін жасанды Жер серігінің жылдамдығын үшінші ғарыштық жылдамдыққа дейін арттыру қажет: $v_3 \approx 16,7$ км/с. Жасанды Жер серігі үшінші ғарыштық жылдамдықтан үлкен мәнге не болған кезде, ол Жерден шамамен 16,7 км/с жылдамдықпен жіберілетін ғарыш аппараты Жер мен Күннің тартылысын жеңіп, жұлдызаралық кеңістікке кетуі мүмкін.



5.4-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Жерде орналасқан кез келген дене тек Жерге ғана тартылып қоймай, оны қоршаған басқа денелерге де тартылады. Неліктен біз бұны байқамаймыз?
2. Ньютонның Бүкіләлемдік тартылыс заңында екі дененің арасында күштің бір түрі ғана әсер ете алады және ол гравитациялық күш деген пайымдау дұрыс па?
3. Қандай денелерді жасанды серіктер деп атайды?
4. Жерді айналатын жасанды серіктер ауырлық күшінің әсерінен Жерге неге құлап түспейді?
- *5. Жердің қандай да бір орбиталық нүктесінде үнемі қозғалатын жасанды серікті ұшыруға бола ма?

Есеп шығару мысалы

Жердің Күнді айналу жылдамдығын 30 км/с, ал Жер орбитасының радиусын $1,5 \cdot 10^8$ км және оны дөңгелек деп есептеп, Күннің массасын анықтаңдар.

Берілгені:

$$v = 30 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^4 \text{ м/с}$$

$$R = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

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

M_x — ?

Шешуі. Жерге әсер ететін Күннің тартылыс күші Бүкіләлемдік тартылыс заңы бойынша есептеледі:

$$F \approx G \frac{M_x M_{\text{ж}}}{R^2},$$

мұндағы M_x — Күннің массасы;
 $M_{\text{ж}}$ — Жердің массасы.

Бұл күшті Ньютонның екінші заңынан да табуға болады: $F = M_{\text{ж}} a$, мұндағы a — Жердің центрге тартқыш үдеуі, яғни $a_{\text{цт}} = \frac{v^2}{R}$. Екі формуланы да Бүкіләлемдік тартылыс заңының формуласына қойсақ,

мына өрнекті аламыз : $M_{\kappa} \frac{v^2}{R} = G \frac{M_{\kappa} M_{\text{ж}}}{R^2} \Rightarrow G \frac{M_{\kappa}}{R} = v^2$. Бұдан Күннің массасы $M_{\kappa} = \frac{Rv^2}{G}$;

$$M_{\kappa} = \frac{1,5 \cdot 10^{11} \text{ м} \cdot (3 \cdot 10^4 \text{ м/с})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}} \approx 2 \cdot 10^{30} \text{ кг.}$$

Жауабы : $2 \cdot 10^{30}$ кг.

2-жаттығу

1. Массасы 1500 кг автокөлік $0,5 \text{ м/с}^2$ үдеумен горизонталь бағытта қозғала бастады. Қозғалысқа әсер ететін кедергі күші 500 Н. Қозғалтқыштың тарту күшін анықтаңдар.
2. Массасы 500 г тыныштықтағы доп футболшының соққысынан 10 м/с жылдамдықпен ұшады. Допты соғу уақыты $0,5 \text{ с}$; 1 с болса, онда орташа соққы күші неге тең?
3. Денеге әсер ететін Бүкіләлемдік тартылыс күші Жер бетінен қандай қашықтықта үш есе аз болады? Жердің радиусы 6400 км .
4. Жер бетінен қандай биіктікте еркін түсу үдеуі $g_{\kappa} = 1 \text{ м/с}^2$ болады?
5. Қандай да бір ғаламшардың массасы Жер массасындай, бірақ оның радиусы Жер радиусынан екі есе кіші. Осы ғаламшардың бетіндегі және одан 3200 км биіктіктегі еркін түсу үдеуін есептеңдер.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 6. Гравитациялық өрістегі снарядтың қозғалысы

Тірек ұғымдар: баллистика, сыртқы баллистика, гравитациялық күш.

Бүгінгі сабақта:

көкжиекке бұрыш жасай және вертикаль лақтырылған дененің қозғалысы кезіндегі физикалық шамалардың өзгерісін сипаттауды үйренесіңдер.

Көкжиекке бұрыш жасай бастапқы жылдамдықпен лақтырылған дененің ауырлық күшінің әсерінен қозғалысын қарастырайық. Оқ пен снарядтардың ұшуы көкжиекке бұрыш жасай бағытталған денелер қозғалысының мысалы бола алады. Трамплиннен секірген шаңғышы, ұзындыққа секірген спортшы, құбырдан атқылаған су және т.б. дәл осылай қозғалады.

Денелердің қозғалысын, мәселен, көкжиекке бұрыш жасай бағытталған, негізінен, Жердің ауырлық өрісіндегі артиллериялық снарядтардың, оқтардың, баллистикалық зымырандардың, ғарыштық ұшу

аппараттарының қозғалысын зерттеумен **баллистика** ғылымы айналысады. **Баллистика** (грекше “ballo” — “лақтыру”) — *снарядтардың қозғалысы туралы ғылым*. Г. Галилей өзінің керемет тәжірибелерімен еркін денелер массаларына тәуелсіз, жерге бірдей үдеумен түсетінін дәлелдеген. Ал И. Ньютон тұжырымдаған динамика заңдары денелердің ауырлық күшінің әсерінен қозғалысын түсіндіруге мүмкіндік берді.

Баллистика ұңғы (ствол) ішіндегі снарядтың қозғалысын зерттейтін *ішкі баллистика*, снарядтың траектория бойымен қозғалысын зерттейтін *сыртқы баллистика* болып бөлінеді.

Сыртқы баллистиканы білу мергенге алдын ала атқан оғының қайда түсетінін есептеуге болады. Баллистикалық есептеулер ғарыштық аппараттарды Жер орбитасына шығаруға және басқа ғаламшарларға ұшыруға мүмкіндік береді.

Көкжиекке α бұрыш жасай \vec{v}_0 жылдамдықпен лақтырылған дененің қозғалысын қарастырайық. Заманауи баллистикада осыған ұқсас мәселелерді шешуде электрондық есептеуіш техника пайдаланылады, ал біз қарапайым жағдаймен — ауаның кедергісі есепке алынбайтын қозғалысты қарастырумен шектелеміз. Өйткені өте алыс қашықтыққа (500 км астам) ұшырылатын баллистикалық зымырандардың қозғалыс траекториялары, негізінен, ауа өте сиреген кабаттарда өтеді.

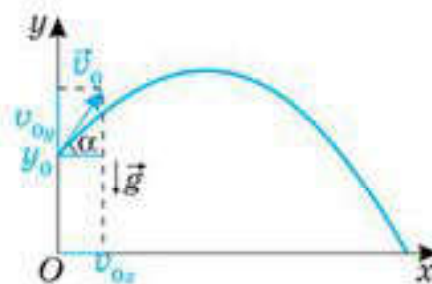
И. Ньютонды заманауи баллистиканың негізін қалаушы деп есептейді. Кеңістіктегі материялық нүктенің қозғалыс траекториясын есептеуде және қозғалыс заңдарын тұжырымдауда ол И. Мюллер (Германия) және XV және XVI ғасырлардағы итальяндық ғалымдар Н. Фонтан мен Г. Галилей жасаған қатты дене динамикасының математикалық теориясын қолданды.

Дененің қисықсыздықты баллистикалық қозғалысын екі түзусыздықты қозғалысты қосу нәтижесі ретінде қарастыруға болады: Ox осі бойымен бірқалыпты қозғалыс және Oy осі бойымен бірқалыпты айнымалы қозғалыс (6.1-сурет).

Ауаның кедергісін ескермесек, горизонталь бағытта денеге ешқандай күштер әсер етпейді. Ньютонның екінші заңының негізінде снарядтың Ox осі бойымен қозғалысы бірқалыпты болады (ауаның кедергісі ескерілмейді), өйткені $a_x = 0$, онда $v_{0x} = v_0 \cos \alpha$. Онда дененің горизонталь бағыттағы ұшу қашықтығын мына формула бойынша анықтаймыз:

$$x = v_{0x} t \text{ немесе } x = v_0 \cos \alpha \cdot t.$$

Ал снаряд ауырлық күшінің әсерінен Жерге құлайтындықтан, оның Oy осі бойымен қозғалысы бірқалыпты үдемелі болады.



6.1-сурет

Ньютонаң екінші заңынан дененің үдеуі еркін түсу үдеуіне тең: $m\vec{a} = m\vec{g}$, бұдан $\vec{a} = \vec{g}$. Онда жылдамдықтың вертикаль құраушысының теңдеуін $v_y = v_0 + gt$ түрінде жаза аламыз, мұндағы $v_{0y} = v_0 \sin \alpha$, ал Oy координатасы үшін теңдеу

$$y = y_0 + v_0 t - \frac{gt^2}{2} \quad (6.1)$$

немесе

$$y = y_0 + v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}.$$

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ұшу қашықтығы бастапқы жылдамдыққа және лақтыру бұрышына тәуелді болады.

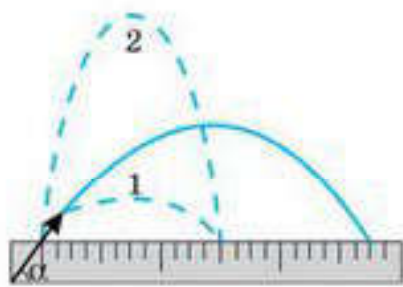
Кранмен қосылған құбырдан атқылап шығатын сумен жасалған бірнеше тәжірибені қарастырайық (6.2-сурет). Құбырдан атқылаған су ағынын көкжиекке белгілі бір бұрыш жасай бағыттайық. Су ағыны бізге көкжиекке α бұрыш жасай жіберілген су бөлшектері қозғалысының траекториясын көрсетеді: мұндай қозғалыстың траекториясы ұшудың ең жоғары нүктесіне қатысты симметриялы, ал ағын пішіні парабола болады.

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене парабола бойымен қозғалады.

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ұшу қашықтығы мен лақтыру бұрышының арасындағы байланысты анықтау үшін құбырдан атқылап шығатын судың жылдамдығын кранның көмегімен өзгертейік. Бастапқы жылдамдық артқанда, су бөлшектерінің ұшу қашықтығы мен көтерілу биіктігі артатынын байқауға болады.

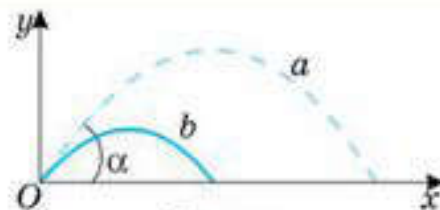
Тәжірибе ағынның ұшу қашықтығы α бұрышының 45° дейін өсу кезінде артатынын, содан кейін азаятынын дәлелдейді. Демек, дененің бастапқы жылдамдығы көкжиекке $\alpha = 45^\circ$ бұрыш жасай бағытталған кезде оның ұшу қашықтығы ең үлкен мәнге ие болады. Денені 30° немесе 60° бұрыш жасай лақтырған кезде ұшу қашықтығы екі бұрыш үшін де бірдей. 75° және 15° лақтыру бұрыштары үшін де ұшу қашықтығы тең, бірақ алдыңғы дененің лақтыру бұрыштарына қарағанда аз болады.

Атмосфераның тығыз қабатынан өтетін денелердің баллистикалық траекторияларының пішіні көптеген факторларға байланысты: дененің бастапқы жылдамдығына, оның пішіні мен массасына, траектория бойындағы атмосфера күйіне (температура, қысым, тығыздық) және т.б. Бұл жағдайдағы баллистикалық траекторияның пішіні, әдетте, қалыпты күйдегі атмосфера қабатындағы снаряд қозғалысының дифференциалдық теңдеулерін сандық интеграциялау әдісімен есептеледі.



6.2-сурет

Егер дене үлкен жылдамдықпен қозғалатын болса, оның қозғалысына ауа кедергісі елеулі ықпал етеді. Мысалы, зеңбіректен атылған оқтың жылдамдығы 870 м/с, ал бағыты көкжиекпен 45° бұрыш жасайтын болса, ауаның кедергісін ескермесек, оқтың ұшу қашықтығы 77 км болуы тиіс, ал нақтысында 3,5 км аспайды.



6.3-сурет

6.3-суретте үзік сызықпен бастапқы үлкен жылдамдықпен зеңбірек ұңғысынан ұшып шыққан снарядтың идеал траекториясы, ал бірдей ату жағдайындағы снарядтың нақты траекториясы тұтас сызықпен көрсетілген.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене қандай траектория бойымен қозғалады?
2. Ішкі және сыртқы баллистика нені зерттейді?
3. Ұшу қашықтығы қандай лақтыру бұрышында ең үлкен мәнге ие болады?
4. Ұшудың горизонталь бойындағы қашықтығын және көтерілу биіктігін қалай есептеуге болады?
5. Неге снаряд есептелген траекториялар бойынша қозғалмайды?

Есеп шығару мысалы

Жер бетінен қандай биіктікте еркін түсу үдеуі $g_h = 1 \frac{M}{c^2}$ болады?

Берілгені:

$$g_h = 1 \frac{M}{c^2}$$

$$g = 9,8 \frac{M}{c^2}$$

$$R_{\text{ж}} = 6400 \text{ км} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$$

h — ?

Шешуі. Жерден h биіктікте еркін түсу үдеуі $g_h = G \frac{M_{\text{ж}}}{(R_{\text{ж}} + h)^2}$.

Ал Жер бетінде ол $g = G \frac{M_{\text{ж}}}{R_{\text{ж}}^2}$ формуласымен анықталады.

Бұл теңдеулерден $\frac{g_h}{g} = \frac{R_{\text{ж}}^2}{(R_{\text{ж}} + h)^2}$ аламыз.

Осыдан h табайық:

$$(R_{\text{ж}} + h)^2 = \frac{g R_{\text{ж}}^2}{g_h}; \quad h = R_{\text{ж}} \sqrt{\frac{g}{g_h}} - R_{\text{ж}};$$

$$h = 6,4 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\frac{9,8 \text{ м/с}^2}{1 \text{ м/с}^2}} - 6,4 \cdot 10^6 \text{ м} \approx 1,36 \cdot 10^7 \text{ м} \approx 1,36 \cdot 10^4 \text{ км.}$$

Жауабы : $1,36 \cdot 10^4 \text{ км.}$

3-жаттығу

1. Бастапқы жылдамдығы көкжиекке бұрыш жасай бағытталған, ал қозғалысы ауырлық күші әсерінен жүзеге асатын денелер қозғалысына мысалдар келтіріңдер.
2. Су ағыны түтіктен көкжиекпен 30° бұрыш жасай атқылап шығады. Ұшу уақытын, ұшу қашықтығын және ағынның ең үлкен көтерілу биіктігін табыңдар.
3. Теннисші теннис добын көкжиекке 45° бұрыш жасай лақтырды. Доптың көтерілу биіктігі 10 м. Теннисші теннис добын қандай қашықтыққа дейін лақтыра алды?
4. Жер бетінен 1700 км биіктікте шеңбер орбита бойымен қозғалатын Жер серігінің жылдамдығын есептеңдер.
5. Жер бетінен үш Жер радиусына тең биіктіктегі бірінші ғарыштық жылдамдықты есептеңдер. Жер радиусы 6400 км, ал еркін түсу үдеуі 10 м/с^2 тең.
6. Жердің Жасанды серігі Жер бетінен 2600 км биіктікте шеңбер орбита бойымен қозғалатын болса, онда оның жылдамдығы қандай?

Осы тақырыпта негізгі мәселелер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі мәселелер қандай келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 7. Массалар центрі. Тепе-теңдік түрлері

Тірек ұғымдар: статика, денелердің тепе-теңдігі, күш моменті, күш иіні, массалар центрі.

Бүгінгі сабақта:

статиканың негізгі ұғымдарымен танысасыңдар, тепе-теңдік күйді, денелердің массалар центрін анықтауды үйренесіңдер.

Қатты денелердің тепе-теңдік шарттарын зерделеітін физиканың бөлімі статика деп аталады.

Тепе-теңдік деп дененің тыныштықта немесе бірқалыпты түзусызықты қозғалыста болатын күйін айтады. Алайда күш әсер еткенде дене деформацияға ұшырайтындықтан, дененің тепе-теңдік шартын анықтау қиын, өйткені ол тепе-теңдік шартына ықпал етеді. Қарапайымдылық үшін дененің деформациясын ескермейміз деп келісіп алайық. Деформациясын ескермеуге болатын, демек, қозғалыс кезінде бөліктерінің өзара орналасуы өзгермейтін денелерді *абсолют қатты дене* деп атайды.

Ньютонның екінші заңынан егер денеге түсірілген барлық күштердің векторлық қосындысы нөлге тең болса, онда дененің тыныштық күйде немесе бірқалыпты түзусызықты қозғалыста болатыны белгілі. Бұл жағдайда денеге түсірілген күштер бірін-бірі теңгереді дейді. Бұдан *тепе-теңдіктің бірінші шарты* туындайды.

Денеге түсірілген барлық күштердің тең әсерлі күші нөлге тең болса, дене тепе-теңдікте болады:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = 0 \text{ немесе } \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0. \quad (7.1)$$

Егер дене қайсыбір оське қатысты айналса, онда бірінші шарт жеткіліксіз. Бұл жағдайда денені сағат тілі бағытымен немесе сағат тіліне қарсы бағытта бұруға тырысатын күш моменттері пайда болады.

Күш моменті деп F күш модулінің d иінге көбейтіндісімен анықталатын физикалық шаманы айтады, яғни

$$M = Fd. \quad (7.2)$$

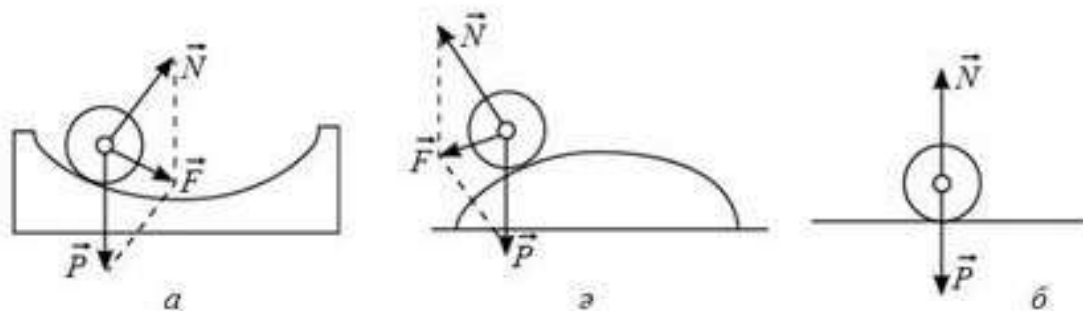
Иін — күштің әсер ету сызығынан айналу осіне дейінгі ең қысқа арақашықтық. Бұдан *тепе-теңдіктің екінші шарты* шығады: қозғалмайтын айналу осі бар дене тепе-теңдікте болуы үшін осы оське қатысты денеге түсірілген барлық күштер моменттерінің алгебралық қосындысы нөлге тең болуы тиіс:

$$\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n = 0. \quad (7.3)$$

Денені сағат тілінің бағытымен айналдыратын күш моменті оң, ал сағат тіліне қарсы бағытта айналдыруға тырысатын күш моменті теріс деп есептеледі.

Автокөліктердің, велосипедтердің және т.б. тежегіштері неліктен алдыңғы емес, артқы дөңгелектерге қойылады ?

Сырттан әсер ететін барлық күштері өзара теңгерілетін дененің орны *тепе-теңдік қалты* деп аталады. Күштің әсерінен тепе-теңдік қалпынан ауытқыған дене бастапқы (тепе-теңдік) орнына қайта оралатын болса, бұл *тепе-теңдік қалты орнықты* деп аталады. Күш әсер еткеннен кейін дене тепе-теңдік қалпына қайтып оралмаса немесе тепе-теңдік қалпының маңында қозғалыс жасамай, ауытқып кететін болса, онда *тепе-теңдік орнықсыз* деп аталады. Дене тепе-теңдік қалпынан ауытқыған кезде әсер ететін күштер оның кез келген жана орнында бірін-бірі теңгеретін болса, онда дене тепе-теңдігі *талғаусыз* деп аталады (7.1-сурет).



7.1-сурет

Ауырлық күшінің әсерінен тепе-теңдік шарты дененің массалар центрінің орнымен анықталады. Дене элементтерінің ауырлық күштерінің қосындысына тең болатын тең әсерлі ауырлық күшінің түсу нүктесі дененің *массалар центрі* деп аталады. Массалары $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ болатын n бөліктен тұратын дененің массалар центрінің радиус-векторы

$$\vec{R}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2 + m_3 \vec{r}_3 + \dots + m_n \vec{r}_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

Орнықты тепе-теңдік шарты: егер дененің массалар центрі барлық мүмкін болатын орнының ең төменгі нүктесінде болса, онда тепе-теңдік **орнықты**.

Қайықта отырған адам орнынан тік тұратын болса, қайықтың орнықтылығы қалай өзгередінін түсіндіріңдер .

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Денелердің тепе-теңдігі деп нені айтады?
2. Сендер тепе-теңдіктің қандай түрлерін білесіңдер?
3. Айналу осі жоқ денелердің тепе-теңдік шарттары қандай?
4. Күш моменті дегеніміз не?
5. Күш піні деген не?
- *6. Айналу осі бар денелердің тепе-теңдік шарттары қандай?
7. Массалар центрінің анықтамасы қандай?

Есеп шығару мысалы

Массалары сәйкес m , $2m$, $3m$, $4m$ және $5m$ болатын бес шар ауырлық центрлері бір-бірінен l қашықтықта болатындай етіп шыбыққа бекітілген. Осы жүйенің ауырлық центрін табыңдар (7.2-сурет).

Шешуі. Ауырлық центрін шыбықтың сол жақ шетінде орналасқан O нүктесіне қатысты табамыз. Біз ауырлық центрінің қайда екенін білмейміз (оң жақ шетіне жақын орналасу керек деген ойдың келуі анық). Ауырлық центрі K нүктесінде болсын делік, демек, осы нүктеге призманы қойсақ, онда шыбық тепе-теңдікте болады. Күш моменттері теңдеуін O нүктесіне қатысты жазамыз:

$$2mg \cdot l + 3mg \cdot 2l + 4mg \cdot 3l + 5mg \cdot 4l = F_c x_c.$$

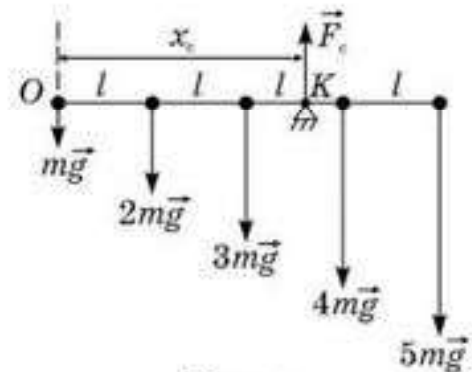
Теңдіктің сол жағында шыбыққа сағат тілі бағытында әсер ететін күш моменттері, оң жағында шыбыққа сағат тіліне қарсы бағытта әсер ететін тіректің реакция күшінің моменті алынған. Шыбық вертикаль бағытта қозғалмайтындықтан,

$$F_c = mg + 2mg + 3mg + 4mg + 5mg.$$

$$\text{Осыдан } x_c = \frac{2mg \cdot l + 3mg \cdot 2l + 4mg \cdot 3l + 5mg \cdot 4l}{mg + 2mg + 3mg + 4mg + 5mg} \text{ немесе } x_c = \frac{8}{3}l.$$

Бұл есепті басқа жалпы жағдай үшін де шығаруға болады. Таңдап алынған O нүктесіне қатысты координаталары x_1, x_2, \dots, x_n болатын массалары m_1, m_2, \dots, m_n жүйенің ауырлық центрінің орны жалпы түрде

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + m_3 x_3 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n} \text{ теңдеуімен анықталады.}$$



7.2-сурет

Осы тақырыпта негізгі мәңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындалды?

§ 8. Қатынас ыдыстар. Паскаль заңын қолдану

Тірек ұғымдар: гидростатикалық қысым, қатынас ыдыстар, гидростатикалық парадокс.

Бүгінгі сабақта:

қандай ыдыстар қатынас ыдыстар деп аталатынын, қандай қысым гидростатикалық деп аталатынын білесіңдер; гидростатикалық қысымның шамасын формула бойынша есептеп шығаруды, қатынас ыдыстардағы сұйықтың қозғалысын түсіндіруді үйренесіңдер.

Қатынас ыдыстар. *Өзара қосылған және түбі ортақ ыдыстарды қатынас ыдыстар деп атайды.* Қатынас ыдыстарға шәйнек, су құйғыштар жатады (8.1-сурет). Сұйықтардың қысымды барлық бағытта жеткізе алу қасиеті бізге қатынас ыдыстардың жұмыс істеу принципін түсіндіруге мүмкіндік береді.

1-тәжірибе. Екі шыны түтікше алып, оларды ашық түсті резеңке түтікшемен жалғастырайық, сонда біз қатынас ыдыс аламыз (8.2-сурет). Қысқыш көмегімен резеңке түтікшені ортасынан қысайық та, сол жақтағы түтікшеге су құяйық. Енді қысқышты алып тастайық. Су сол жақтағы түтікшеден оң жақтағы түтікшеге қарай түтікшелердегі су деңгейлері бірдей болғанға дейін ағады. Неліктен судың деңгейі бірдей болады?

Бұл сұраққа жауап беру үшін резеңке түтікшенің оң және сол жағындағы судың түсіретін қысымын есептейік.

Оң және сол жақтағы сұйық (су) қысымының шамасы

$$p_1 = \rho g h_1, p_2 = \rho g h_2. \quad (8.1)$$

Сұйық біртекті, сондықтан оның тығыздығы барлық нүктеде бірдей. Тәжірибе көрсеткендей, сұйық бағандарының биіктіктері бір деңгейде, демек, оң және сол жақтағы қысым бірдей болуы тиіс.

Қатынас ыдыстардағы біртекті сұйықтың деңгейі тең, яғни бірдей.

2-тәжірибе. Сол жақтағы түтікшені диаметрі үлкейту түтікшемен ауыстырып, 1-тәжірибені қайталайық. Сонда біз сұйықтардың деңгейлері тепе-теңдік қалпына келгенде түтікшелердің қосылған жеріндегі резеңке түтікше деформацияланбайтынын көреміз. Бұл жағдайда оң жақтан да, сол жақтан да түсетін қысым бірдей. Қатынас ыдыстардың оң жақ тармағындағы судың массасы сол жақ тармақтағыға қарағанда көп болғанмен, екеуінің де резеңке түтікшеге түсіретін қысымдары тең.

3-тәжірибе. Пішіндері әртүрлі қатынас ыдыстарды алайық (8.3-сурет) және оларға су құяйық. Тәжірибе пішіндері әртүрлі қатынас ыдыстардағы біртекті сұйықтың деңгейлері бірдей болатынын көрсетеді. Бұл құбылысты *гидростатикалық парадокс* деп атайды.

4-тәжірибе. Қатынас ыдыстарға құйылған әртекті сұйықтарда не болатынын анықтайық. Ол үшін 1-тәжірибені қайталайық және U тәрізді түтікшенің оң жақ тармағына су, ал сол жақ тармағына сұйық май құяйық. Резенке түтікшенің дәл ортасындағы қысықты алсақ, су майды ығыстырып, U тәрізді түтікшенің сол жағына қарай аға бастайды (8.4-сурет).

Енді ыдыстың сол жақтағы тармағына сұйықтардың шегарасы AB деңгейінде болғанға дейін май құяйық. Бұл $h_M = h_1$ май бағанының қысымы $h_{cy} = h_2$ су бағанының қысымымен теңесетінін білдіреді:

$$p_1 = \rho_1 g h_1, \quad p_2 = \rho_2 g h_2,$$

$p_1 = p_2$ болғандықтан, $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$. Ендеше,

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (8.2)$$

(8.2) формуладан қатынас ыдыстардағы әртекті сұйық бағандарының биіктігі олардың тығыздықтарына кері пропорционал болатыны шығады.

Қатынас ыдыстардың практикалық тұрғыдан маңызы зор. Қатынас ыдыстар принципі негізінде мөлдір ыдыстардағы сұйық деңгейлерін көрсететін су өлшеуіш түтіктер, өзендер мен каналдардағы бөгеттерді кемелердің айналып өтуіне мүмкіндік беретін шлюздер, биік үйлерді сумен қамтамасыз ететін суқұбырлары жұмыс істейді және мұндай мысалдарды көптеп келтіруге болады.

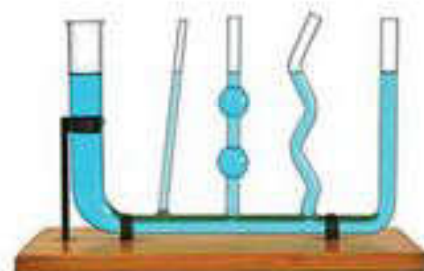
Гидростатикалық қысым. Жер бетіндегі кез келген денеге ауырлық күші әсер етеді, сондықтан ыдыстағы кез келген сұйық та ыдыстың түбіне және бүйір бетіне қысым түсіреді.



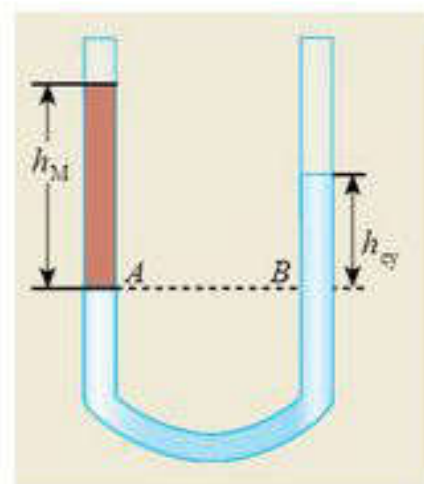
8.1-сурет



8.2-сурет



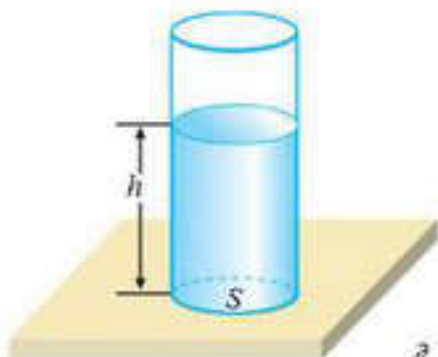
8.3-сурет



8.4-сурет



а



ә

8.5-сурет

5-тәжірибе. Манометрді (қысым өлшейтін құрал) пайдалана отырып, тереңдік артқан сайын сұйық қысымы қалай өзгередінін қарастырайық. Ол үшін манометрді сұйық ішіне аз тереңдікке батырайық (8.5, а-сурет). Осыдан кейін оны горизонталь және вертикаль бағытта қозғалтайық.

Манометрді горизонталь жазықтық бойымен жылжытқанда оның көрсеткіштерінің өзгермейтінін байқауға болады. Бұл Паскаль заңына сәйкес келеді. *Сұйыққа немесе газға түсірілген қысым барлық бағытта өзгеріссіз беріледі.* Бұл қағида **Паскаль заңы** деп аталатыны өздеріне 7-сыныптан белгілі.

Ал манометрді вертикаль жазықтық бойымен жылжытқанда манометрдің сұйыққа батырылу тереңдігіне байланысты оның артағыны байқалады. Бұл тереңдік артқан сайын сұйықтың ыдыс түбіне және қабырғаларына түсіретін қысымының артатынын көрсетеді.

Енді осы қысымның шамасын есептейік.

Есептеуді жеңілдету үшін табанының ауданы S болатын цилиндр пішіндес ыдыс алайық. Ыдыстың h биіктігіне дейін тығыздығы ρ , массасы m сұйық құйыық (8.5, ә-сурет).

Сұйықтың ыдыс түбіне түсіретін қысымын $p = \frac{F}{S}$ формуласы бойынша есептейік. Қарас тырылып отырған жағдайд а $F = mg$. Ендеше, сұйықтың ыдыс түбіне түсіретін қысымы

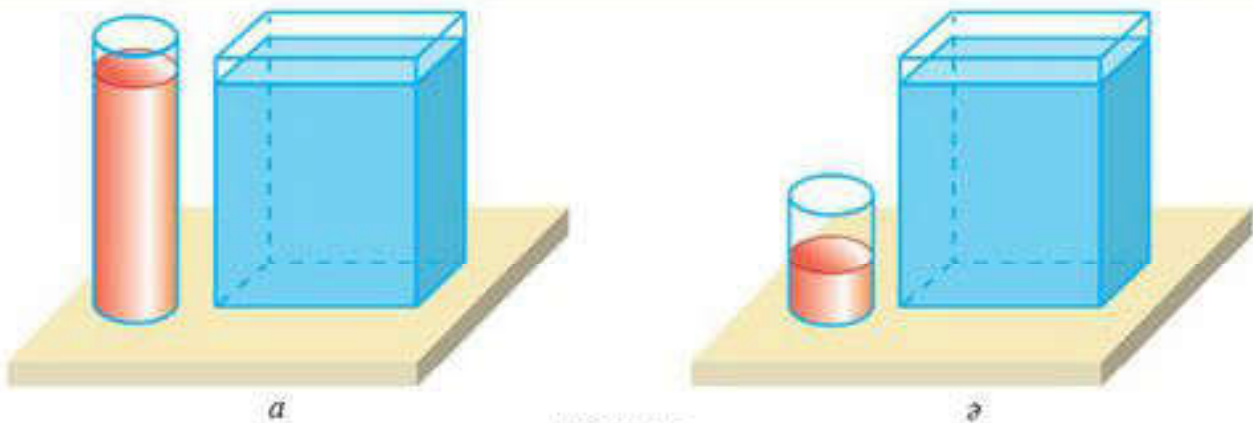
$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}.$$

Сұйықтың массасын оның тығыздығы мен көлемі арқылы өрнектейік: $m = \rho V$. Цилиндр пішіндес ыдыстың ішіндегі сұйық көлемі $V = Sh$, ал ыдыстағы сұйықтың массасы $m = \rho Sh$. Онда сұйықтың ыдыс түбіне түсіретін қысымы

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh. \quad (8.3)$$

(8.3) формуласы бойынша есептелетін ауырлық күші әсерінен туындайтын сұйық қысымы **гидростатикалық қысым** деп аталады.

(8.3) формуладан ауырлық күші әсерінен туындайтын сұйық қысымы ыдыс түбінің ауданына тәуелді болмайтынын, тек сұйық бағанының биіктігі мен оның тығыздығына тәуелді.



8.6-сурет

Мысалы, сынап бағанының ыдыс түбіне түсіретін қысымы дәл сондай биіктіктегі су бағанының қысымынан 13,6 есе артық (8.6, *a*-сурет).

Егер екі ыдыс алып, оның біріне сынап, ал екіншісіне су құйсақ және су бағанының биіктігі сынап бағанының биіктігінен 13,6 есе артық болса, онда ыдыстардың өлшемдеріне тәуелсіз, екі ыдыстың да табанына түсетін қысым бірдей болады (8.6, *б*-сурет).

Көптеген құралдар гидростатикалық қысымның негізінде жұмыс істейді. Мысалы: сукұбыры, канал, шлюздер, судіірмендері, қатынас ыдыстар және т.б. Суландыру және суару жүйесі де гидростатикалық қысымға негізделген. Бұрын көптеген субұрқақтары гидростатикалық қысымның әсерінен жұмыс істеген.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Қатынас ыдыстар деп қандай ыдыстарды айтады?
2. Қатынас ыдыстардағы біртекті сұйықтың биіктіктері өзара қандай қатынаста болады?
3. Қатынас ыдыстардағы әртекті сұйықтардың биіктіктері өзара қандай қатынаста болады?
4. Қатынас ыдыстардың тұрмыста, техникада, бізді қоршаған ортада пайдаланылуына мысалдар келтіріңдер.
5. Қандай қысым гидростатикалық деп аталады?
6. Гидростатикалық қысымның шамасын қалай есептеуге болады?
- *7. Ыдыс түбіне түсетін гидростатикалық қысымның ыдыс табанының ауданына тәуелділігі қандай?
- *8. Гидростатикалық қысымның күнделікті өмірде пайдаланылуына мысалдар келтіріңдер.
9. Судіірменінің әсер ету принципін түсіндіріңдер.
- *10. Өзен арналарын бөгейтін биік бөгеттерді қандай мақсатпен салатынын түсіндіріңдер.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 9. Атмосфералық қысым. Торричелли тәжірибесі

Тірек ұғымдар: атмосфералық қысым, қалыпты атмосфералық қысым.

Бүгінгі сабақта: атмосфералық қысымның табиғатын түсіндіруді үйренесіңдер; атмосфералық қысымның өлшем бірлігін анықтайсыңдар.

Сендер Жер бетінде құрлық, су және ауа кеністігі бар екенін білесіңдер. Құрлықта қозғалатын адамдар мен жануарлар, сондай-ақ ғимараттар мен үйлер Жер бетіне қысым түсіреді. Оның үстіне, бұл қысым ауырлық күшінің әсер ету бағытымен, яғни Жердің центріне қарай беріледі. Жер атмосфера деп аталатын ауа қабатымен қоршалған. Ауа Жердің бетіне қысым түсіре ме деген сұрақ туындайды. Бұл сұраққа жауап беру үшін тәжірибе жасайық.

1-тәжірибе. Қысқышы мен резенке түтікшесі бар сыйымдылығы 1 л шыны колба алайық. Колбаны тығынмен тығыз жабайық. Колбаға ауа толтырып, кайтадан өлшейік (9.1-сурет). Осыдан кейін резенке түтікшедегі қысқышты алып тастап, колбадағы ауаны шығарайық. Таразы тепе-теңдіктен ауытқып, тіртас жағы ауырлағанын көруге болады. 1 л ауаның массасы шамамен 1,3 г. Біздің тәжірибемізде ауаға ауырлық күші әсер етеді де, ол Жердің бетіне, нақты айтқанда, ыдыс түбіне қысым түсіреді деп тұжырымдауға болады. Паскаль заңына сәйкес, ауа бағанының қысымы қатты денелер туғызатын қысыммен салыстырғанда барлық бағытқа бірдей тарайды.

Атмосфералық қысымның бар болуына 2-тәжірибе арқылы да көз жеткізуге болады.

2-тәжірибе. Ауа сорғышының тәрелкесіне байланған ауа шарын орналастырайық та, оны шыны қақпақпен жауып (9.2-сурет), қақпақ астындағы ауаны сорып алайық.



9.1-сурет

Қалпақ астындағы қысым азайған сайын ауа шары үрленгендей бола бастайды. Демек, шар ішіндегі ауаның атмосфералық қысымы қалпақ астындағы ауадан артық бола бастайды да, шар ұлғаяды.

Атмосфералық қысым деп Жердің ауа қабығының Жер бетіне және ондағы денелерге түсіретін қысымын айтады.

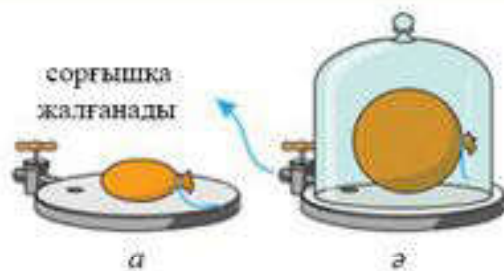
Атмосфералық қысымның сан мәнін 1643 жылы алғаш рет итальяндық физик Эванджеллиста Торричелли (1608—1647) өлшеген болатын. Ол өзінің ұстазы Г. Галилейдің тапсырмасы бойынша мынадай тәжірибе жасады. Э. Торричелли ұзындығы 1 м бір жағы бітеу шыны түтікше алып, оны сынаппен толтырды да, ашық жағын жауып, сынап құйылған ыдысқа батырды (9.3-сурет). Түтікшенің сынап ішіне салынған жағының аузын ашқанда сынаптың аздаған бөлігі ыдысқа төгіліп, түтікте биіктігі 760 мм сынап бағанасы қалды. Бұл биіктігі 760 мм болатын сынап бағанының қысымы ыдыстағы сынап бетіне түсетін атмосфералық қысыммен теңеседі. Егер түтікті еңкейтсек, сынап бағанының биіктігі өзгермей қалады (9.4-сурет). Торричелли тәжірибесі негізінде физикаға қысымды өлшеудің жүйеден тыс өлшем бірлігі — мм.сын.бағ. енгізілді:

$$1 \text{ мм.сын.бағ.} = 133 \text{ Па.}$$

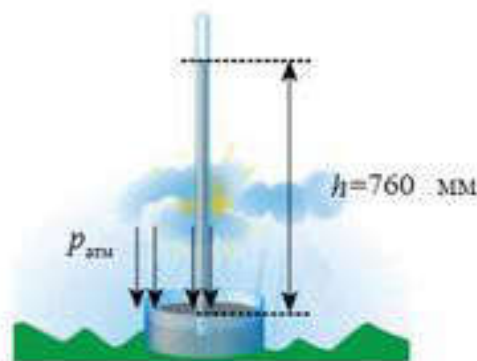
Жер атмосферасында үнемі әртүрлі процестер өтіп жатады: ауа массаларының қозғалысы, жауын-шашын, Күн энергиясы есебінен ауаның қызуы және салқындауы. Бұл процестер нәтижесінде жергілікті жерлердегі атмосфералық қысым үнемі өзгеріп тұрады.

760 мм сынап бағанына тең атмосфералық қысымды қалыпты атмосфералық қысым деп атайды.

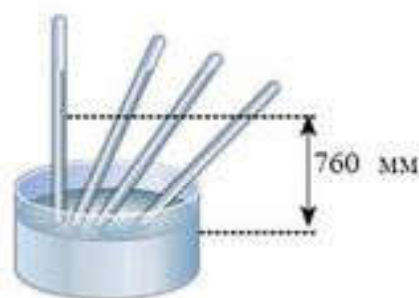
Атмосфералық қысым ауа температурасының өзгеруіне ғана емес, жергілікті жердің биіктігіне де тәуелді. Бұл тұжырымды 1647 жылы Б. Паскаль енгізді. Ол сынапты барометрді пайдаланып, таудың етегіндегі және биік басындағы атмосфералық қысымды өлшеп, Жер бетінен биіктеген сайын атмосфералық қысымның азаятынын анықтады.



9.2-сурет



9.3-сурет



9.4-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Қандай қысым атмосфералық деп аталады? Оның пайда болу себебі қандай?
2. Атмосфералық қысымның бар екенін қалай дәлелдеуге болады?
3. Қандай физикалық шама 1 мм.сын.бағ. өлшенеді?
4. Қандай қысымды қалыпты атмосфералық қысым деп атайды?
5. Атмосфералық қысым қандай шамаларға тәуелді?
6. Биік ғимараттың бірінші және соңғы қабаттарындағы атмосфералық қысым бірдей ме?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 10. Механикадағы импульс пен энергияның сақталу заңдары

Тірек ұғымдар: импульстің сақталу заңы, энергия, жұмыс, кинетикалық және потенциалдық энергия, энергияның сақталу заңы.

Бүгінгі сабақта:

импульс пен энергияның сақталу заңдарын есеп шығарған кезде энергия ұғымын әртүрлі күштердің жұмысын есептеу үшін қолдануды үйренесіңдер.

Егер денеге әсер ететін күштер және бастапқы шарттар белгілі болса, онда Ньютон заңдарының көмегімен денелердің қозғалысы мен өзара әсерлесуіне қатысты әртүрлі практикалық мәселелерді шеше аламыз. Бұл шамалар көбінесе белгісіз болады. Сондықтан көптеген практикалық сипаттағы мәселелерді шешу үшін белгілі бір жағдайларда сақталатын физикалық шамалар қолданылады.

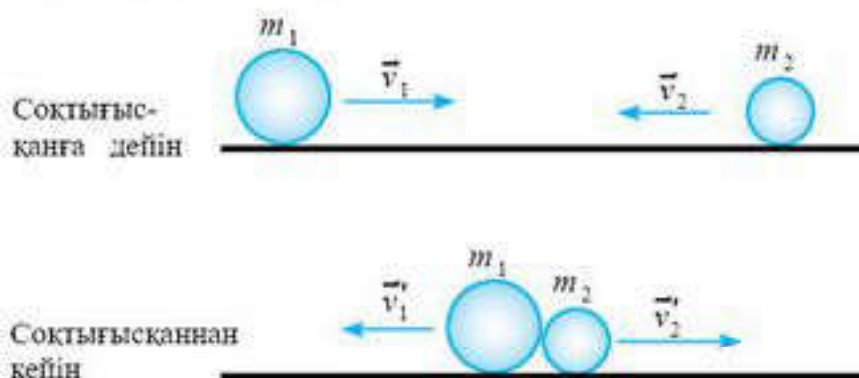
Импульстің сақталу заңы. Денелер өзара әсерлесу кезінде сақталатын физикалық шамалардың бірі *импульс* деп аталады.

Денелердің өзара әсерлесуін сипаттайтын Ньютонның үшінші заңына назар аударайық. Жылдамдықтары \vec{v}_1 және \vec{v}_2 , ал массалары m_1 және m_2 болатын екі шар өзара әсерлеседі (10.1-сурет). Өзара әсерлесу күштері қандай болса да, Ньютонның үшінші заңымен байланысты:

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

$$m_1 \frac{\vec{v}'_1 - \vec{v}_1}{\Delta t} = m_2 \frac{\vec{v}'_2 - \vec{v}_2}{\Delta t},$$

мұндағы \vec{v}_1 және \vec{v}_2 — шарлардың бастапқы жылдамдықтары, \vec{v}'_1 және \vec{v}'_2 — шарлардың өзара әсерлескеннен кейінгі жылдамдықтары, Δt — өзара әсерлесу уақыт аралығы.



10.1-сурет

Өрнекті түрлендіріп,

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2 \quad (10.1)$$

немесе $\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$ деп жазамыз.

Алынған теңдіктен мынадай қорытындыға келеміз: денелердің өзара әсерлескенге дейінгі импульсі олардың өзара әсерлескеннен кейінгі импульсіне тең. Өзара әсерлесу кезінде жүйеге кіретін әрбір дененің импульсі өзгереді, ал бірақ олардың импульстерінің қосындысы, демек, тұтас жүйе импульсі өзгермейді.

Қарастырылған жүйе екі денеден тұрады. Бұл қорытынды өзара әсерлесетін бірнеше денелерден тұратын жүйе үшін де орындалады, жүйе тұйықталған болуы керек.

Тұйық жүйе деп сыртқы күштердің тең әсерлі күші нөлге тең болатын жүйені айтады, яғни тұйық жүйеге кіретін денелер басқа денелермен әсерлеспей, тек бір-бірімен әсерлеседі.

Екі немесе бірнеше дене бір-бірімен өзара әсерлескенде әртүрлі өзгерістер болуы мүмкін. Мысалы, зеңбіректен салют снарядтарын атқанда оның сынықтары жан-жаққа ұшады. Сынықтардың түсі, пішіні, орны және жылдамдықтары көз ілеспейтін уақыт аралығында өзгереді. Алайда снарядтың бастапқы импульсі сақталады. Бұл жарықшақтардың салыстырмалы жылдамдықтарына және ұшу бағыттарына шектеу қояды.

(10.1) өрнегін импульстің **сақталу заңы** деп атайды.

Импульстің сақталу заңы табиғаттың негізгі заңдарының бірі: **тұйық жүйені құрайтын денелер импульстерінің векторлық қосындысы осы денелердің кез келген әсерлесу кезінде тұрақты болып қалады**.

Күнделікті өмірде **энергия** ұғымын жиі пайдаланамыз. Энергия туралы түсінік бізде, негізінен, мұнаймен, көмірмен, газбен, сарқырама сумен, тамақ өнімдерімен байланысты. Энергия түрлі типте көрініс табады: механикалық, ішкі, электромагниттік, ядролық және т.б. Механикада қарастырылатын энергия **механикалық энергия** деп аталады. Механикалық энергияның екі түрі бар: **кинетикалық және потенциалдық**.

Энергияның сақталу заңы. Кинетикалық энергия. Кинетикалық энергия терминін XIX ғасырдың басында ағылшын ғалымы Томас Юнг (1773—1829) енгізді. Ол энергия сөзін дененің жылдамдық алуы есебінен жұмыс өндіру қабілеттілігі деп түсіндірді. Демек, жұмыс атқарылуы үшін қозғалыстағы денеге үнемі күш әсер етуі тиіс.

Жұмыс сияқты энергия да **джоульмен (Дж)** өлшенеді.

Қандай да бір бастапқы \vec{v}_1 жылдамдығы және m массасы бар дене, біздің жағдайымызда автокөлік, тұрақты \vec{F} күшінің әсерінен

түзусызықты және теңүдемелі қозғалсын делік (10.2-сурет). Осы күш әсерінен жеңіл машина s қашықтыққа орын ауыстырады және оның жылдамдығы \vec{v}_2 мәніне дейін өзгереді.

Түзусызықты теңүдемелі қозғалыс кезіндегі орын ауыстыру модулін

$$s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} \quad (10.2)$$

формуласы бойынша есептеуге болады.

$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$ формуласына күш модулі үшін $F = ma$ өрнегін және (10.2) формуладағы орын ауыстырудың модулін қойып, күштің жұмысын есептеуге арналған өрнекті аламыз:

$$A = ma \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} \cos 0^\circ = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

$E_k = \frac{mv^2}{2}$ шамасын, яғни дененің массасы мен жылдамдықтың квадраттарының көбейтіндісінің жартысына тең шаманы **кинетикалық энергия** деп атайды, онда

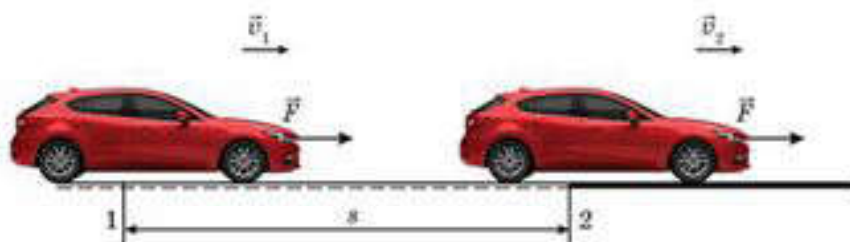
$$A = E_{k_2} - E_{k_1}. \quad (10.3)$$

Алынған нәтиже **кинетикалық энергияның өзгеруі туралы теорема** деп аталады.

Бұл теорема дене 1-нүктеден 2-нүктеге орын ауыстырған кезде (10.2-сурет) күштің атқаратын жұмысы 2- және 1-нүктелердегі кинетикалық энергиялардың айырымына тең екенін дәлелдейді. Басқаша айтқанда, кинетикалық энергия күштің атқаратын жұмысының шамасын арттырады.

Потенциалдық энергия. Қозғалыс энергиясы деп атауға болатын кинетикалық энергия ұғымын түсіну қиын емес, өйткені ол дене жылдамдығымен байланысты. Сонымен бірге энергияның басқа түрі — потенциалдық энергия да бар.

Потенциалдық энергия ұғымын алғаш рет XVIII ғасырдың соңында француз инженері және математигі Лазар Карно ғылыми еңбегіне енгізді.



10.2-сурет

Өзара әсерлесуші денелердің потенциалдық энергиясы деп осы денелердің өзара орналасуына тәуелді энергияны айтатыны өздеріңе белгілі. Көптеген жағдайларда дененің потенциалдық энергиясын энергияның басқа түріне түрлендіруге болады.

Массасы m дененің H биіктіктен Жер бетіне құлап түсуін қарастырайық (10.3-сурет). Жермен өзара әсерлесу нәтижесінде денеге төмен қарай бағытталған $\vec{F}_a = m\vec{g}$ ауырлық күші әсер етеді. $s = h = h_1 - h_2$ болатын екі аралық жағдайды бөліп алайық. Бірінші жағдайда дене қайсыбір деңгейден h_1 биіктікте, ал екінші жағдайда h_2 биіктікте болады. Сонда ауырлық күшінің жұмысы

$$A = F_a s \cos \alpha = mg(h_1 - h_2) = - (mgh_2 - mgh_1), \quad (10.4)$$

мұндағы $\alpha = 0$, яғни $\cos \alpha = 1$.

Алынған теңдіктің оң жағы — кері таңбамен алынған mgh шамасының өзгерісі, ол дененің төмен құлауы кезінде mgh шамасының азаятынын білдіреді.

mgh шамасын *дене мен Жердің өзара әсерлесуінің потенциалдық энергиясы* деп атайды. Потенциалдық энергияны E_p арқылы белгілейік, сонда

$$E_p = mgh. \quad (10.5)$$

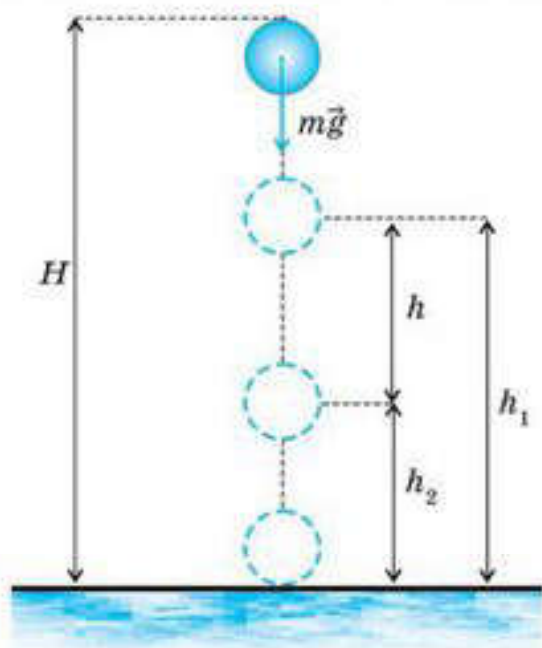
(10.5) формуланы ескеріп, жұмыс үшін (10.4) өрнегін былай жаза аламыз:

$$A = - (E_{p2} - E_{p1}). \quad (10.6)$$

Бұл — *потенциалдық энергия тұрағы теорема*. (10.6) формуладан Жер бетінен жоғары көтерілген денелердің потенциалдық энергиясының мәні биіктікпен анықталатынын көреміз. Дене Жер бетінен

неғұрлым үлкен биіктікке көтерілсе, оның потенциалдық энергиясы соғұрлым көп болады.

Табиғатта да, техникада да механикалық энергияның бір түрі екінші бір түріне айналады. Потенциалдық энергия мен кинетикалық энергияның үздіксіз өзара айналуының мысалына маятниктің қозғалысы жатады. Маятникке ілінген жүк төменгі тепе-теңдік нүктесі арқылы өткенде оның потенциалдық энергиясы толығымен кинетикалық энергияға айналады, ал содан кейін жүк көтерілген кезде кинетикалық энергия қайтадан потенциалдық энергияға айналады. Доп белгілі бір биіктіктен түскенде оның



10.3-сурет

потенциалдық энергиясының қоры кинетикалық энергияға түрленеді. Алайда доп қайтадан жоғары қарай көтерілгенде оның кинетикалық энергиясы бірте-бірте азайып, потенциалдық энергиясы арта бастайды. Сонымен, энергияның бір түрі екіншісіне алма-кезек айналып отырады. Үйкеліс пен кедергі аз болғанда мұндай қозғалыстар ұзақ уақыт қайталанады.

Кинетикалық энергияның өзгеру теоремасына сәйкес, дене құлаған кезде ауырлық күшінің атқарған жұмысы оның кинетикалық энергиясының өзгерісіне тең:

$$A = E_{k_2} - E_{k_1}. \quad (10.7)$$

Потенциалдық энергияның теоремасы бойынша ауырлық күшінің жұмысы

$$A = - (E_{p_2} - E_{p_1}). \quad (10.8)$$

(10.6) және (10.7) теңдеулерінің сол жақтары тең, сондықтан оң жақтары да тең болады.

Денелердің өзара әсерлесуі мен қозғалысы нәтижесінде кинетикалық және потенциалдық энергиялар бірінің артуы екіншісінің кемуіне тең болатындай өзгереді:

$$E_{k_2} - E_{k_1} = - (E_{p_2} - E_{p_1}) \text{ немесе } E_{k_1} + E_{p_1} = E_{k_2} + E_{p_2}.$$

Сонымен, **тұйық жүйенің толық механикалық энергиясы өзгермейді :**

$$E = E_k + E_p = \text{const.}$$

Бұл теңдеу үйкеліс күші әсер етпейтін денелердің тұйық жүйесіне қолданылатын механикалық энергияның сақталу заңын өрнектейді. Уақыт өте келе потенциалдық энергия да, кинетикалық энергия да нөлге айналады. Онда сендер заттың ішкі құрылысымен байланысты механикалық емес энергияны (мысалы, жылулық энергияны) анықтайсыңдар. Осының салдарынан дененің және оны қоршаған ортаның температурасы өзгереді. Сонымен, механикалық энергия жоғалып кетпейді, механикалық емес энергия түріне айналып, басқа денелерге беріледі.

Толық механикалық энергияның сақталу заңы энергияның сақталуы мен айналуының жалпы заңының дербес жағдайы болып табылады: **дене энергиясы еш уақытта жоғалмайды және жоқтан пайда болмайды, ол тек бір түрден екінші түрге айналады.**

Энергияның сақталуы мен айналуының жалпы заңы барлық жерде орындалады.

Бұдан кейін біз энергияның жылулық, ядролық, электромагниттік және басқа түрлерін қарастырамыз. Олардың әрқайсысы бір-бірімен энергияның сақталу заңына сәйкес өзара байланысты физикалық, химиялық, биологиялық құбылыстарды сипаттайды.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Денелердің соқтығысуы кезінде импульстің сақталу заңы қандай сипатта болады?
2. Импульстің сақталу заңы орындалуы үшін қандай шарт қажет?
- *3. Екі дененің жалпы импульсі осы денелердің біреуінің импульсінен аз болуы мүмкін бе? Жауаптарыңды негіздендер.
4. Егер массасы тұрақты дененің жылдамдығы екі есе азайса, онда оның кинетикалық энергиясы қалай өзгереді? Ал жылдамдығы тұрақты болып, массасы екі есе артса ше?
5. Дененің толық механикалық энергиясы дегеніміз не?
6. Механикалық энергияның сақталу және айналу заңының мәні неде?
7. Тік жоғары лақтырылған доптың потенциалдық және кинетикалық энергиясы оның ұшуы барысында қалай өзгереді?
8. Еркін түскен дененің жерге соқтығысу мезетіндегі толық механикалық энергиясы потенциалдық немесе кинетикалық энергияның қайсысымен сәйкес келеді?
9. Дененің кинетикалық энергиясы қандай жағдайда нөлге тең болуы мүмкін?
- *10. Үйкеліс күші әсер еткенде толық механикалық энергияның сақталу заңы неліктен орындалмайды?
- *11. Жүйеге сыртқы күштер әсер еткенде оның толық механикалық энергиясы қалай өзгереді?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. 9 м/с жылдамдықпен жүтіріп келе жатқан массасы 60 кг спортшы 2 м/с жылдамдықпен оған қарсы бағытта қозғалып келе жатқан массасы 150 кг арбаға қарғып мінді. Спортшы отырған арба енді қай бағытта және қандай жылдамдықпен қозғалады?

Берілгені:

$$m_1 = 60 \text{ кг}$$

$$v_1 = 9 \text{ м/с}$$

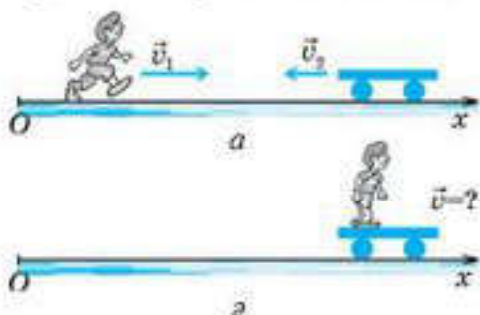
$$m_2 = 150 \text{ кг}$$

$$v_2 = 2 \text{ м/с}$$

$$v = ?$$

Шешуі. Берілген жүйені тұйық жүйе деп қарастыруға болады, өйткені ауырлық күші тіректің реакция күшімен теңеседі (спортшы мен арба горизонталь жолда қозғалады). Үйкеліс күшін елеусіз деп есептейміз де, оны ескермейміз. Координата осін спортшының қозғалыс бағытының бойымен бағыттаймыз (10.4, а-сурет).

Есептің шарты бойынша спортшының және арбаның m_1 және m_2 массалары, сондай-ақ олардың өзара әсерлескенге дейінгі сәйкесінше \vec{v}_1 және \vec{v}_2 жылдамдықтары белгілі.



10.4-сурет

Өзара әсерлескеннен кейін олар бір дене ретінде \vec{v} жылдамдықпен қозғала бастайды (10.4, б-сурет). Олардың әсерлескенге дейінгі импульстері $m_1 \vec{v}_1$, $m_2 \vec{v}_2$, ал өзара әсерлескеннен кейінгісі $(m_1 + m_2) \vec{v}$. Импульстің сақталу заңы бойынша олардың әсерлескенге дейінгі және әсерлескеннен кейінгі толық импульсі бірдей болуы

тііс (оны горизонталь оське проекциялары арқылы жазу керек), олай болса,

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v.$$

$$\text{Осыдан } v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}; \quad v = \frac{60 \text{ кг} \cdot 9 \frac{\text{м}}{\text{с}} - 150 \text{ кг} \cdot 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{210 \text{ кг}} = 1,14 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Жауабы : 1,14 м/с.

Арба спортшының жүгіру бағытымен 1,14 м/с жылдамдықпен қозғалатын болады (10.4, ә-сурет).

2-есеп. Серіппелі тапаншадан 6 м/с жылдамдықпен тік жоғары кішкене шарды атады. Шар қандай максимал биіктікке көтеріледі? Серіппенің массасы мен ауа кедергісін ескермендер.

Берілгені: $v = 6 \text{ м/с}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $h = ?$	<i>Шешуі.</i> Атуға дайындалған тапаншаның потенциалдық энергиясы болады. Ату кезінде бұл энергия шарға беріледі де, барлық энергия оның кинетикалық энергиясына айналады:
--	--

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Шар жоғары қарай ұшқанда механикалық энергияның сақталу заңы бойынша кинетикалық энергия потенциалдық энергияға айналады. Ең жоғары биіктікте шар тек потенциалдық энергияға ғана ие болады: $E_p = mgh$. Механикалық энергияның сақталу заңы бойынша:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh_{\max}, \quad h_{\max} = \frac{v^2}{2g}; \quad h_{\max} = \frac{\left(6 \frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 1,8 \text{ м}.$$

Жауабы : 1,8 м.

4-жаттығу

1. Массасы 22 кг болатын бала 2,5 м/с жылдамдықпен жүтіріп, массасы 12 кг платформаға секіріп мінеді. Баламен бірге платформаның қорытқы жылдамдығы неге тең?
2. Тыныш тұрған қайықтың онда отырған аңшымен қоса алғандағы массасы 200 кг. Егер аңшы горизонталь бағытта мылтық атса, онда қайық қандай жылдамдық алады? Оқтың массасы 0,01 кг, ал жылдамдығы 800 м/с.
3. Массасы 300 г допты 40 м/с жылдамдықпен лақтырған кезде оның кинетикалық энергиясы неге тең?
4. Шананы көкжиекпен 30° бұрыш жасайтын арқанға 80 Н күш түсіріп, 100 м сүйрегінде қандай жұмыс атқарылады?
5. Жер бетінен 2 м биіктіктегі бұтақта ілініп тұрған массасы 250 г алманың энергиясын есептендер.

6. Қатаңдығы 250 Н/м серіппенің қандай деформациясында оның энергиясы 500 Дж болады?
7. Қатаңдығы 100 Н/м созылған серіппе өзіне бекітілген денеге 25 Н күшпен әсер етеді. Серіппенің потенциалдық энергиясы неге тең?
8. Егер дененің толық энергиясы 44 Дж, жылдамдығы 4 м/с болса, массасы 500 г болатын дене қандай биіктікте орналасқан?
9. Садақтан массасы 20 г садақ оғы 20 м/с жылдамдықпен тік жоғары атылды. Оның 15 м биіктіктегі кинетикалық энергиясын анықтаңдар.
10. Массасы 0,2 кг тік жоғары лақтырылған тастың бастапқы жылдамдығы 20 м/с. Тастың бастапқы кинетикалық энергиясын есептеңдер. Ең жоғары көтерілу биіктігінің мәні қандай?

Осы тақырыпта негізгі мәселелерді?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 11. Сұйықтардың кинематикасы

Тірек ұғымдар: үзіліссіздік теңдеуі, Бернулли теңдеуі.

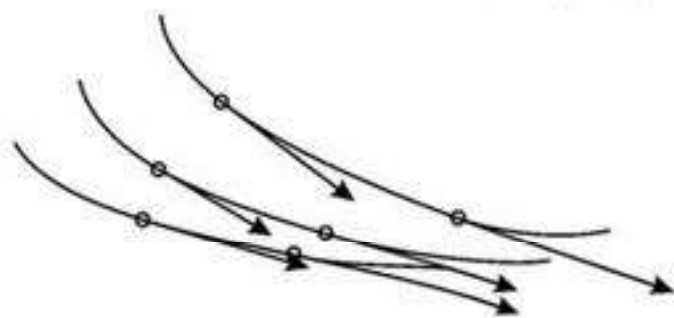
Бүгінгі сабақта:

сақталу заңдарын пайдалана отырып, сұйықтың ағу заңдарын тағайындайсыңдар.

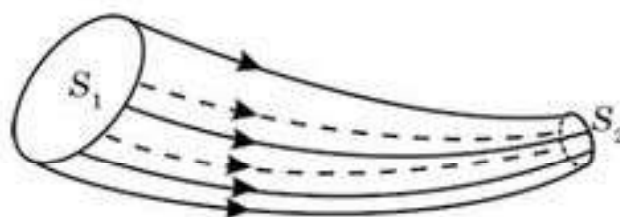
Сұйық пен газдың қозғалысын кинематикалық тұрғыдан сипаттайық. Кеңістіктің бір нүктесін белгілеп алып, осы нүкте арқылы түрліше уақыт мезетінде қозғалатын сұйықтың әртүрлі бөлшектері жылдамдықтарының шамасын және бағытын тіркеп отырамыз. Егер осы тәжірибені кеңістіктің барлық нүктелері үшін орындап, сұйық бөлшектерінің қозғалыс жылдамдықтарының белгілі бір уақыт аралығындағы кез келген нүктесі үшін көрсететін болсақ, онда қозғалыстағы сұйықтың жылдамдық векторы таралуының лездік суреттемесі — жылдамдықтар өрісін алған болар едік. Барлық нүктелердегі жанамалардың осы нүктелердегі сұйық жылдамдықтарының бағытымен бірдей түсетін сызықтары **ағын сызықтары** деп аталады (11.1-сурет). Сұйықтың стационар қозғалысы кезінде жылдамдықтар өрісі, демек, ағын сызықтары да уақыт бойынша өзгермейді. Бұл жағдайда ағын сызықтары сұйықтың жеке бөлшектерінің траекторияларына сәйкес келеді, себебі сұйықтың әрбір бөлшегі осы нүктеде дәл сол жылдамдықпен қозғалады.

Ағын сызықтарымен шектелген сұйықтық бөлігі **ағын түтігі** деп аталады (11.2-сурет). Осылайша ағыннан ойша бөліп алған сұйықтың бөлігі — ағын түтігі нағыз түтіктің ішіндегі сұйық тәрізді қозғалады және түтіктің бүйір бетін еш жерде кесіп өтпейді.

Стационар ағыс кезінде бірлік уақытта S_1 қиманы кесіп өтетін, яғни түтіктің белгіленген бөлігіне ағып кіретін сұйықтың шамасы S_2 қимадан ағып шығатын сұйықтың шамасына тең. Қиманың барлық нүктелерінде сұйықтың жылдамдығы бірдей болатындай ағын түтігінің азғантай ΔS қимасын алсақ, әрі бұл қима ағын сызықтарына перпенди-



11.1-сурет



11.2-сурет

куляр болса, онда осы қима арқылы t уақытта ағып өтетін сұйықтың массасы

$$\Delta m = \rho v \Delta S t \quad (11.1)$$

болады. Стационар ағыста Δm шамасы қарастырылып отырған ағын түтігінің кез келген көлденең қимасы үшін бірдей, сондықтан (11.1) теңдеуі бойынша

$$\rho_1 v_1 \Delta S_1 t = \rho_2 v_2 \Delta S_2 t. \quad (11.2)$$

Егер сұйықты сығылмайды деп қарастырсақ, $\rho_1 = \rho_2$ болады және (11.2) теңдеуі

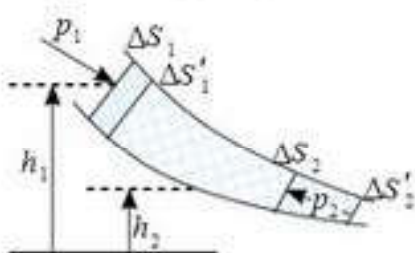
$$v_1 \Delta S_1 = v_2 \Delta S_2$$

түрін қабылдайды немесе $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\Delta S_2}{\Delta S_1}$. (11.3)

Бұл қатынас үзіліссіздік теңдеуі деп аталады. (11.3) теңдік таңдап алынған ағын түтігі үшін орындалады.

Нақты сұйықтың қозғалыс динамикасы өте күрделі. Оны сипаттауды ықшамдау үшін кейбір жағдайларда ішкі үйкеліс күштерін ескермейміз. Мұндай сұйықты *идеал сұйық* деп атайды. Идеал сұйықтың қозғалысы кезінде механикалық энергия ішкі энергияға айналмайды, яғни сұйықтың механикалық энергиясы сақталады. *Сығылмайтын идеал сұйықтың механикалық энергиясының сақталу заңы Бернулли теңдеуімен* өрнектеледі.

Қайсыбір ағын түтігінің h_1 және h_2 биіктіктерінде орналасқан ΔS_1 және ΔS_2 қималарының арасындағы сұйықтың бөлігін қарастырайық (11.3-сурет). Δt уақыт аралығында бұл сұйық ағын түтігі бойымен ығысады және $\Delta S'_1$ және $\Delta S'_2$ қималарының арасындағы келесі орынға ығысады. Δt аз уақыт аралығы үшін бастапқы ΔS_1 және жаңа $\Delta S'_1$ қималардың биіктіктеріндегі айырмашылықты ескермеуге болады. Сыртқы күштердің сұйықтың бөліп алынған бөлігіндегі Δt уақыт аралығында атқаратын жұмысын есептейік. Түтіктің бүйір қабырғасына әсер ететін қысым күштері жұмыс атқармайды, себебі орын ауыстыруға перпендикуляр бағытталған. ΔS_1 қимада қысым күштерінің жұмысы $\Delta A_1 = F_1 \Delta l_1 = p_1 \Delta S_1 \cdot v_1 \Delta t$, ал ΔS_2 қимада $\Delta A_2 = F_2 \Delta l_2 = p_2 \Delta S_2 \cdot v_2 \Delta t$, сөйтіп сыртқы күштердің толық жұмысы



11.3-сурет

$$\Delta A = F_1 l_1 - F_2 l_2$$

немесе
$$\Delta A = p_1 \Delta S_1 v_1 \Delta t - p_2 \Delta S_2 v_2 \Delta t. \quad (11.4)$$

Қозғалыстың стационарлығынан $\Delta S'_1$ және $\Delta S'_2$ қималарының арасындағы сұйықтың энергиясы өзгермейді. Сұйықтың бұл бөлігі 11.3-суретте ерекше тор түрінде көрсетілген.

Сондықтан қарастырылып отырған сұйық энергиясының өзгерісі ΔS_2 және $\Delta S'_2$ қималарының арасындағы сұйық бөлігінің энергиясы мен ΔS_1 және $\Delta S'_1$ қималарының арасындағы сұйық бөлігі энергиясының айырымына тең. ΔS_2 және $\Delta S'_2$ қималарының арасындағы сұйықтың потенциалдық энергиясы $E_{p2} = \Delta m_2 g h_2 = \rho \Delta V_2 g h_2 = \rho \Delta S_2 v_2 \Delta t g h_2$, ал кинетикалық энергиясы $E_{k2} = \frac{1}{2} \Delta m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} \rho \Delta V_2 v_2^2 = \frac{1}{2} \rho \Delta S_2 v_2 \Delta t v_2^2$. Дәл осылай ΔS_1 және $\Delta S'_1$ қималарының арасындағы сұйықтың энергиясы да анықталады. Сондықтан қарастырылып отырған ағын түтігінен бөліп алған сұйық бөлігі энергиясының Δt уақыт аралығындағы өзгерісі

$$\Delta E = \rho \Delta S_2 v_2 \Delta t g h_2 + \frac{1}{2} \rho \Delta S_2 v_2 \Delta t v_2^2 - (\rho \Delta S_1 v_1 \Delta t g h_1 + \frac{1}{2} \rho \Delta S_1 v_1 \Delta t v_1^2). \quad (11.5)$$

Механикалық энергияның сақталу заңының негізінде сыртқы күштердің (11.4) энергиясы жүйе энергиясының (11.5) өзгерісіне тең болады. (11.3) үзіліссіздік теңдеуін ескерсек, келесі өрнекті аламыз:

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2. \quad (11.6)$$

Бұл — *Бернулли теңдеуі*. Ол жеткілікті жіңішке ағын түтігі үшін жазылған болатын, дәлірек алсақ, бұл теңдеу түтік ағын сызығына айналатын кезде орындалады. Сондықтан $p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2$ қосындысы бір ғана ағын сызығы үшін өзгеріссіз қалады. Бернулли теңдеуі *үш қысымның теңдеуі* деп те аталады. Себебі бұл теңдеудегі p — статикалық қысым, $\rho g h$ — гидростатикалық қысым, $\frac{\rho v^2}{2}$ — гидродинамикалық қысым. Сондай-ақ Бернулли теңдеуін *үш энергия теңдеуі* деп те атайды, себебі теңдеудегі $\frac{\rho v^2}{2}$ қосылғышы — кинетикалық энергияның тығыздығы, $\rho g h$ — потенциалдық энергияның тығыздығы, ρ — осы қысымның әсерінен жасайтын жұмысымен өлшенетін сұйықтың потенциалдық энергиясының тығыздығы.

(11.6) теңдеуді ρg шамасына бөлсек, $h + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}$ шығады.

Мұндағы h — *геодезиялық* (геометриялық) *биіктік*, демек, қиманың көкжиектен жоғары жатқан бөлігі, $\frac{p}{\rho g}$ — *пьезометрлік биіктік*, яғни берілген қимаға өзінің салмағымен p қысым түсіретін сұйық бағанының биіктігі, $\frac{v^2}{2g}$ — *жылдамдық биіктігі*, себебі сұйық бөлшектерінің вакуумда v бастапқы жылдамдықпен тік (вертикаль) жоғары көтерілу биіктігі. Сондықтан Бернулли теңдеуі *үш биіктік теңдеуі* деп те аталады.



11.4-сурет

\vec{F} сыртқы күш әсер етсін және сұйық тамшылары иненің ауданы S болатын саңылауынан атқылап шықсын (11.4-сурет). Шырықтың симметрия осі арқылы өтетін ағын сызығын қарастырайық және оған Бернуллі теңдеуін қолданамыз. Поршеньнің жылдамдығын, демек оған жақын жердегі сұйық жылдамдығын v_0 белгілеп,

$$\frac{F}{S_0} + \frac{1}{2}\rho v_0^2 = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (11.7)$$

деп жазамыз. (11.3) үзіліссіздік теңдеуінен $S_0 v_0 = S v$ екені белгілі. Осыдан v_0 тауып және оны (11.7) өрнегіне қоямыз:

$$\frac{F}{S_0} + \frac{1}{2}\rho \left(\frac{S}{S_0}\right)^2 v^2 = \frac{1}{2}\rho v^2 \text{ немесе } \frac{F}{S_0} = \frac{1}{2}\rho v^2 \left[1 - \left(\frac{S}{S_0}\right)^2\right]. \quad (11.8)$$

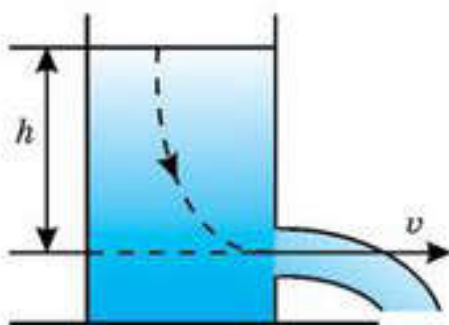
Әдетте, ине көзінің ауданы шырық поршенінің ауданынан әлдеқайда кіші болады: $S \ll S_0$. Енді $\frac{S}{S_0}$ қатынасының квадратын ескермей, сұйықтың ағып шығу жылдамдығын анықтайық: $v = \sqrt{\frac{2F}{\rho S_0}}$.

Кең ыдысқа құйылған сұйықтың оның түбіндегі немесе бүйір қабырғасындағы кішкентай саңылаудан ауырлық күшінің әсерінен қалай ағып шығатынын қарастырайық (11.5-сурет). Сығылмайтын идеал сұйықтың ағып шығу жылдамдығы Бернуллі теңдеуінің көмегімен оңай анықталады. Сұйықтың еркін бетінен басталатын және тесіктің осі арқылы өтетін ағын сызығын қарастырайық. Кең ыдыстың бетіне жақын жердегі сұйықтың жылдамдығы ескермеуге болатындай өте аз, сондықтан Бернуллі теңдеуі мына түрге келеді:

$$\rho gh = \frac{1}{2}\rho v^2,$$

бұдан

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (11.9)$$



11.5-сурет

Сонымен, ыдыстағы саңылаудан сұйықтың ағып шығу жылдамдығы h биіктіктен түскен дененің еркін түсу жылдамдығындай болады. Бұл ақиқатты тұңғыш рет Г. Галилейдің шәкірті Эванджелиста Торричелли тағайындады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Ағын сызықтары деп нені айтады?
2. Ағын түтігі деп нені айтады?
3. Үзіліссізлік теңдеуінің физикалық мағынасы қандай?
4. Қандай сұйықты идеал сұйық деп атайды?
5. Қандай қысым гидродинамикалық деп аталады? Гидростатикалық қысым деген не?
- *6. Бернулли теңдеуінің физикалық мағынасы қандай?
7. Түтіктен ағып шыққан сұйықтың жылдамдығын қалай есептейді?
8. Торричелли тағайындаған ақиқатты сипаттаңдар.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 12. Тұтқыр сұйық

Тірек ұғымдар: тұтқыр сұйық, тұтқырлық коэффициенті, ламинарлық және турбуленттік ағыс.

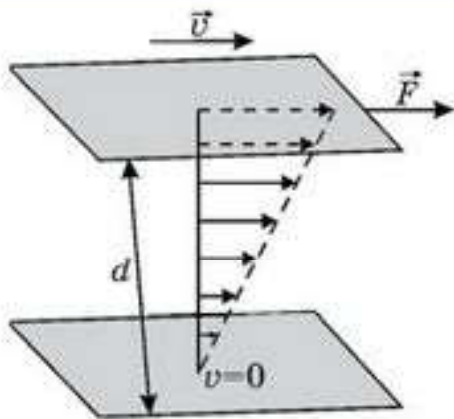
Бүгінгі сабақта: тұтқыр сұйық, ламинарлық және турбуленттік ағыс ұғымдарымен танысасындар.

Тұтқыр сұйықтың сандық сипаттамасын енгізу үшін мына тәжірибені қарастырайық. Сұйық бір-біріне параллель орналасқан екі қатты жазық пластиналардың арасында орналасса (12.1-сурет). Төменгі пластина тыныштықта, ал жоғары пластина төменгіге қатысты аз v жылдамдықпен қозғалады. Жоғары пластинаның жылдамдығын бірқалыпты етіп ұстап отыру үшін пластина бойымен бағытталған және пластинаның S ауданына, v жылдамдыққа тура пропорционал, ал пластиналардың d арақашықтығына кері пропорционал F күш қажет екені тәжірибеден белгілі:

$$F = \eta \frac{Sv}{d}. \quad (12.1)$$

Сұйықтың пластина бетіне жабысуының нәтижесінде бұл күш ішкі үйкелісті, яғни сұйық пен қатты дененің арасындағы емес, бір-біріне қатысты сырғанап бара жатқан сұйық қабаттарының арасындағы үйкелісті сипаттайды. (12.1) теңдеудегі η сұйықтың тұтқырлық қасиетін білдіреді, ол **тұтқырлық коэффициенті** деп аталады. Тұтқырлық коэффициентінің өлшем бірлігі: **1 пуаз = 1 Па · с**.

Сұйықтың тұтқырлығы оның температурасына тәуелді. Мысалы, судың тұтқырлығы оның температурасын 0° шамасынан 20°C -қа дейін арттырғанда екі есе азаяды.



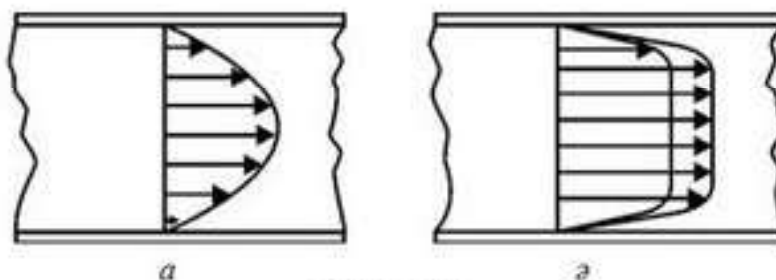
12.1-сурет

Тұтқырлық, яғни сұйықтың қозғалысына кедергі жасайтын ішкі үйкеліс күштері бар кезде горизонталь қимасы бірдей түтікте стационар ағынды сақтау үшін түтіктің ұштарында қысымның тұрақты айырымын ұстап тұру керек. Идеал сұйықта мұндай қозғалыс кезінде, Бернулли теңдеуінен көретініміздей, қысым түтіктің өне бойында бірдей болады.

Сұйық бөлшектерінің жылдамдықтары барлық жерде түтік бойымен бағытталған

және сұйықтың цилиндр түріндегі түтікпен қозғалысы ламинарлық немесе қабаттасқан ағыс деп аталады. Мұндай ағыс тек көлденең қимасы аз түтіктегі тұтқыр сұйықтың ағыны баяу болғанда ғана мүмкін болады. Жылдамдық немесе түтіктің қимасы артса, ағыстың сипаты да күрт өзгереді. Қабаттасқан ағынның орнына *құйынды* немесе *турбуленттік* ағыс пайда болады.

Бірақ түтіктің қарастырылып отырған нүктесінде жылдамдық тұрақты және түтік осінің бойымен бағытталады. 12.2, а-суретте ламинарлық ағыс кезіндегі сұйық жылдамдығының, 12.2, ә-суретте қалыптасқан турбуленттік ағыс кезіндегі сұйықтың орташа жылдамдығының түтік бойында таралуы көрсетілген. Суреттен көріп отырғанымыздай, турбуленттік ағыста түтік қабырғасына жанасқан жердегі сұйықтың шегаралық қабатын анық байқауға болады, онда орташа жылдамдық нөлге дейін түседі, ал ламинарлық ағыс кезінде мұндай анық шегаралық қабат болмайды, себебі жылдамдық тұтқырлықтың арқасында түтіктің тұтас қимасы бойында өзгереді. Басқаша айтқанда, бұл жағдайда түтік шегаралық қабат аумағында орналасады.



12.2-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Тұтқырлық коэффициентінің физикалық мағынасы неде?
2. Ламинарлық деп сұйықтың қандай қозғалысын айтады?
3. Турбуленттік деп сұйықтың қандай қозғалысын айтады?
4. Температура сұйықтың тұтқырлығына қалай әсер етеді?

Есеп шығару мысалы

Егер түтіктің көлденең қимасы арқылы $t = 30$ мин уақыт ішінде $m = 0,51$ кг газ массасы ағатыны белгілі болса, онда түтік бойымен көмірқышқыл газы ағысының v жылдамдығы қандай болады? Газдың тығыздығы $\rho = 7,5$ кг/м³. Түтіктің диаметрі $D = 2$ см.

Берілгені:

$$t = 30 \text{ мин} = 1800 \text{ с}$$

$$m = 0,51 \text{ кг}$$

$$\rho = 7,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$D = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м}$$

v — ?

Шешуі. Диаметрі D цилиндр пішінді түтік арқылы t уақыт ішінде (12.3-сурет) біршама мөлшердегі көмірқышқыл газы өтеді. Газдың осы көлемінің массасы бізге белгілі, онда біз

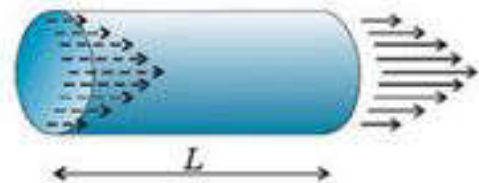
$$V = \pi \frac{D^2}{4} L = \frac{m}{\rho} \quad (12.1)$$

деп жаза аламыз. Көмірқышқыл газы ағысының жылдамдығы $v = \frac{L}{t}$.

(12.1) тендеуінен L табамыз:

$$L = \frac{4m}{\pi D^2 \rho}, \text{ сонда } v = \frac{4m}{\pi D^2 \rho t};$$

$$v = \frac{4 \cdot 0,51 \text{ кг}}{3,14 \cdot (0,02 \text{ м})^2 \cdot 7,5 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 1800 \text{ с}} \approx 0,12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$



12.3-сурет

Жауабы : 0,12 м/с.

5-жаттығу

1. Қасықты су ағыншасына дөнес жағымен апарғанда не болатынын өз сөздеріңмен түсіндіріңдер және суретін салыңдар.
2. Неліктен құйындалу ауаға қарағанда суда ұзағырақ сақталатынын түсіндіріңдер.
3. Автомобиль тіпті шапшаң қозғалғанның өзінде оның сыртқы бетінде шаң тозаңдар болады. Себебін түсіндіріңдер.
4. Егер екі парақ қағаздың арасындағы ауаны үрлесек, онда олар тартылады. Себебін түсіндіріңдер.
5. Неліктен дауыл кезінде желдің жылдамдығы елеулі шамаға жеткенде үй шатырларын жұлып кетуі мүмкін?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?



I бөлім. МЕХАНИКА

Механикалық қозғалыс — уақыт өтуімен дененің басқа денелерге қатысты кеністіктегі орнының өзгеруі.	
Орын ауыстыру — дененің бастапқы орнын келесі орнымен қосатын бағытталған кесінді	\vec{s}
Бірқалыпты емес қозғалыстың орташа жылдамдығы — дененің орын ауыстыруының сол орын ауыстыру болған уақытқа t қатынасына тең физикалық шама	$\vec{v}_{\text{орт}} = \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t}$
Бірқалыпты үдемелі түзу сызықты қозғалыс	$\vec{a} = \text{const}$
Үдеу	$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$
Жылдамдық	$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$ $v_x = v_{0x} + a_x t$
Орын ауыстыру	$\vec{s} = \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$ $s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$
Координата	$x = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$
Центрге тартқыш үдеу — шеңбер бойымен бірқалыпты қозғалатын дененің үдеуі шеңбердің кез келген нүстесінде радиус бойымен шеңбер центріне қарай бағытталады	$a_{\text{цт}} = \frac{v^2}{r}$
Ньютонның бірінші заңы: егер денеге сыртқы күштер әсер етпесе, онда дене өзінің тыныштық күйін немесе бірқалыпты түзу сызықты қозғалысын оларға қатысты сақтайтын санақ жүйелері болады	

Ньютоның екінші заңы — денеде туындайтын үдеу оған әсер ететін күшке тура пропорционал, ал оның массасына кері пропорционал	$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$
Ньютоның үшінші заңы — денелер бір-біріне модульдері бойынша тең және қарама-қарсы жаққа бағытталған күштермен әсер етеді	$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$
Бүкіләлемдік тартылыс заңы — әлемдегі барлық денелер бір-біріне массаларының көбейтіндісіне тура пропорционал және ара-қашықтықтарының квадратына кері пропорционал күшпен тартылады	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Дене импульсі — дененің массасы мен жылдамдығының көбейтіндісіне тең физикалық шама	$\vec{p} = m\vec{v}$
Импульстің сақталу заңы : тұйық жүйеде өзара әсерлесетін денелердің импульстерінің векторлық қосындысы өзгермейді	$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}'_1 + \vec{p}'_2$
Механикалық жұмыс күш модулін орын ауыстыру модуліне және олардың бағыттарының арасындағы бұрыштың косинусына көбейткенге тең	$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$
Тұйық жүйенің толық механикалық энергиясы тұрақты болып қалады	$E = E_k + E_p = \text{const}$



§ 13. Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидалары

Тірек ұғымдар: микробөлшектер, атом, молекула, газдың қысымы, диффузия, броундық қозғалыс.

Бүгінгі сабақта:

молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларымен және оларды дәлелдейтін тәжірибелермен танысасыңдар.

Зат құрылымының *молекулалық-кинетикалық теориясын* (МКТ) көптеген бақылаулар мен тәжірибелердің жалпылама қорытындысы ретінде М.В. Ломоносов жасады. Оның *негізгі қағидаларын* атап өтейік.

1. Барлық денелер микробөлшектерден (атомдардан немесе молекулалардан) тұрады, әрі дененің массасы өзін түзетін микробөлшектердің массаларының қосындысына тең:

$$m = m_0 N.$$

2. Денедегі микробөлшектер үздіксіз және хаосты қозғалыста болады, әрі бұл қозғалыстың жылдамдығы дененің температурасына тәуелді, сондықтан оны *жылулық қозғалыс* деп атайды. Молекулалардың қозғалыс жылдамдығының дене температурасына тәуелділігін кейінірек Людвиг Больцман тағайындады: $v = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$, мұндағы m_0 — молекула массасы; T — дененің абсолют температурасы ;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К — *Больцман тұрақтысы* .

3. Денедегі микробөлшектер өзара әсерлеседі, әрі өзара әсерлесу күшінің тегі электромагниттік болып табылады. Дене бөлшектерінің арасында тебілу күштері де, тартылу күштері де бар.

Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын дәлелдейтін тәжірибелік деректерді келтірейік.

1. *Заттар бөлінгіш* . Бөліну кезінде заттың физикалық және химиялық қасиеттері өзгеріссіз қалады.

2. *Газдар сығылғыш* . Бұл дене молекулаларының арасында үлкен қашықтықтардың болатынын көрсетеді.

3. *Газ кез келген көлемді алады* . Бұл дерек молекулалардың қозғалыста болатынын, сонымен қатар олардың арасындағы қашықтықтардың өзгеріп отыратынын білдіреді.

4. *Еселік қатынастар заңы* . Бұл заң бойынша кез келген химиялық қосылыстар пайда болғанда реакцияға түсетін заттардың массалары өзара белгілі қатынаста болады. Бұл тікелей болмаса да, денелердің атомдардан тұратынын көрсетеді.

5. *Газдың өзі тұрған ыдыстың қабырғасына қысым түсіруі* . Бұл молекулалардың қозғалыста болатынын көрсетеді.

6. *Диффузия* — бір заттың молекулаларының екінші заттың молекулааралық кеңістіктігіне еніп кетуі . Диффузияны газдарда (ііссудың, бензиннің және т.б. іісінің ауада таралуы), сұйықтарда (бояулардың, сияның, тушьтың, сүттің суда таралуы) және қатты денелерде (ұзақ уақыт бойы қорғасын және алтын цилиндрлерді бір-біріне тығыз беттестіріп қойғанда алтын молекулаларының қорғасынның молекулааралық кеңістігіне және керісінше еніп кетуі байқалған) бақылауға болады. Диффузияның өту жылдамдығы дененің температурасына және заттың агрегаттық күйіне тәуелді. Газдарда ол сұйықтар мен қатты денелерге карағанда тез өтеді.

7. *Молекулаларды электрондық микроскопта немесе иондық проекторда (бірнеше миллион рет үлкейтуді қамтамасыз ететін құрал) бақылау* . Қазіргі кезде атомдарды күрделі туннельдік микроскоптардың көмегімен бақылауға болады, олар 100 млн есе ұлғайтуды қамтамасыз етеді.

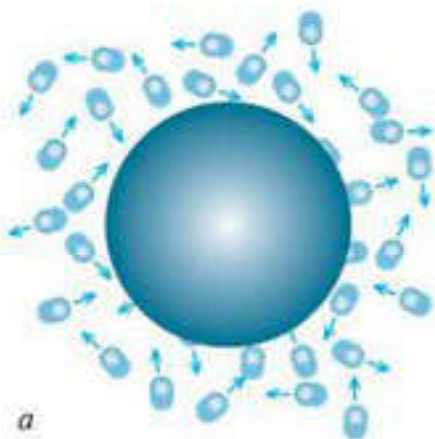
8. Болат цилиндрге құйылған майды қатты қысқанда май цилиндрдің сыртына тамшылап шығып, ал цилиндрдің өзі болса бүтін күйінде қала берген. *Бұл молекулалардың арасында кеңістіктердің бар екенін, яғни дененің тұтас болмайтынын көрсетеді* .

9. Беттері тегістеліп, бір-бірімен түйістірілген екі қорғасын цилиндрдің бір-біріне жабысып қалуы. Бұл жағдайда екі цилиндр біртұтас тәрізді көрінеді. Егер бір цилиндрді бекітіп қойып, екінші цилиндрге жүк ілсек (20 кг шамасында), онда цилиндр бір-бірінен ажырамайды.

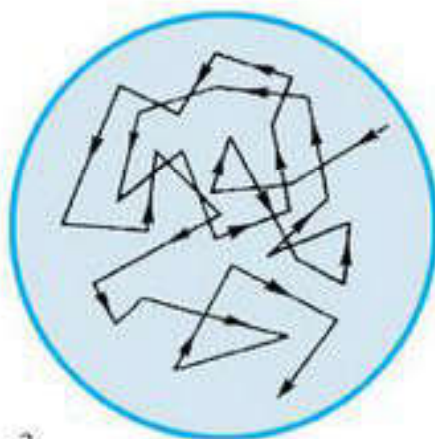
10. *Денелердің беріктігі денедегі микробөлшектердің өзара тартылатынын білдіреді* . Жай таяқтың өзін оп-оңай сындыра алмайсың, себебі молекулалардың арасында тартылыс күші бар.

11. Денелердің серпімді деформациялық қасиеттері де дененің микробөлшектерінің арасында өзара әсерлесу күштерінің (тартылыс күштерінің де, тебілу күштерінің де) бар екенін көрсетеді.

12. *Броундық қозғалыс* дегеніміз — сұйықта немесе газда қалқын жүрген қандай да бір қатты заттың өте ұсақ бөлшектерінің сұйық немесе газ молекулалары соққыларының әсерінен бейберекет қозғалуы . Бұл қозғалыс денедегі молекулалардың хаосты қозғалысының айқын дәлелі. Мұны ағылшын ботанигі Роберт Броун 1827 жылы тұңғыш рет бақылады. Ол суға түскен плаун спораларын микроскоппен бақылай



a



б

13.1-сурет

тұрған тәрізді көрінеді. Ұсақ бөлшектер аса көп соқтығыса отырып, әртүрлі бағытта тынымсыз қозғалыс жасайды. Бұл көрініс бақылаушыны таңғалдыратыны сөзсіз.

Броундық қозғалысты тек молекулалық-кинетикалық теорияның негізінде ғана түсіндіруге болады. Броундық бөлшекке соқтығысатын молекулалар соққылары бір-бірін теңгермейді, нәтижесінде броундық қозғалыс туындайды. Броундық қозғалысқа сапалық түсініктеме беруге болады: *импульстері аз және кездейсоқ бағытта қозғалып жүрген көптеген молекулалар броундық бөлшекке бір бағытта соқтығысып қалса, онда олар бөлшекті біршама ығыстырады*. Броундық қозғалыстың сандық теориясын Альберт Эйнштейн мен поляк ғалымы Марциан Смолуховский 1905—1906 жылдары жасады. Француз физигі Жан Перреннің еңбектері молекулалық-кинетикалық теорияның дұрыстығын толық дәлелдейді.

13. Молекулалардың жылдамдықтарын анықтау үшін 1920 жылы неміс ғалымы Отто Штерн (1888—1969) тәжірибе жасады. Ішіндегі ауа үздіксіз сорылып алынып отыратын *A* және *B* вакуумдық екі цилиндр алынған (13.2, *a*-сурет). Цилиндр осінің бойымен күміс жалатылған жіңішке платина сым тартылған. Электр тоғын жібергенде сым қызады да, күміс булана бастайды. Ұшып шыққан молекулалар түзусызықты қозғалады. Олардың кейбіреулері ішкі

отырып, олардың хаосты қозғалатынын анықтады (13.1-сурет). Броун бұл қозғалыстың үздіксіздігіне және тоқталмайтынына да назар аударды, оны тәуліктер бойы да, айлап та бақылауға болады, оның қарқындылығы тек температураға ғана тәуелді өзгереді. Броундық қозғалыс дегеніміз — жылулық қозғалыс, ол температураға тәуелді болғандықтан тоқтамайды.

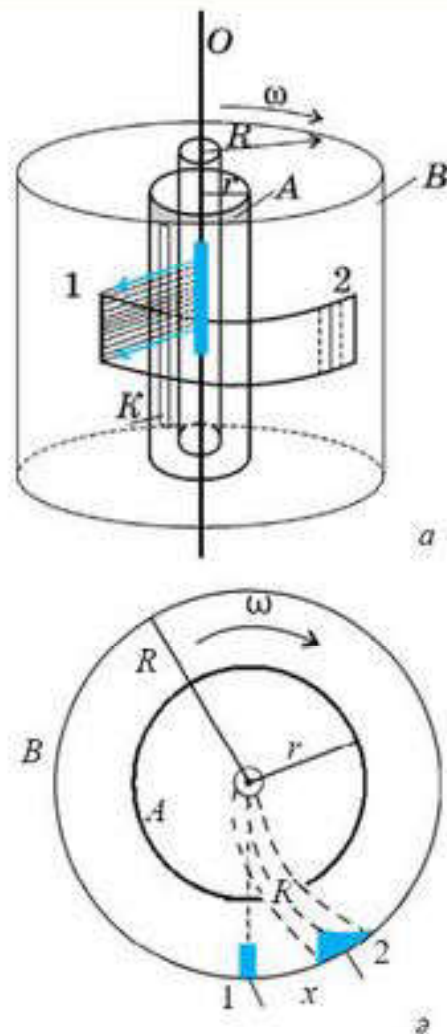
Неміс физигі Р. Поль броундық қозғалысты сипаттағанда: “Броундық қозғалысты бақылай отырып, біз табиғаттың шымалдығын ашқан тәрізді боламыз”, — дейді. Нені байқауға болады? Түрліше жылдамдықтармен қозғалып жүрген орасан көп бөлшектердің тоқтаусыз өтіп жатқан арпалысын байқаймыз. Аса зор жылдамдықпен қозғалып жүрген өте ұсақ бөлшектер өздерінің жылдамдықтарының бағыттарын лезде өзгертеді, баяу қозғалып келе жатқан үлкенірек бөлшектер де өз бағыттарын аздап болса да өне бойы өзгертіп отырады. Ал үлкен бөлшектер бір орында

цилиндрдегі K саңылаудан ұшып өтіп, сыртқы цилиндрдің салқындатылған бетіне келіп қонады да, ол жерде анық бақыланатын 1 күміс жолақты береді. Егер цилиндрді тұрақты ϕ бұрыштық жылдамдықпен айналдырса, онда қонған атомдардың күміс жолағы бұрынғымен салыстырғанда қайсыбір қашықтыққа 2 ығысады, әрі аздап бұлыңғыр болады (13.2, а-сурет). Ығысудың себебі күміс атомы ішкі цилиндрден сыртқы цилиндрге дейін жеткенше жүйе тұтастай қандай да бір ϕ бұрышқа бұрылып үлгереді. Жолақтың ығысу шамасы бойынша күміс атомдары жылдамдығының шамасын бағалайды. Атомдардың цилиндрлер аралығын ұшып өту уақыты $T = \frac{R_B - R_A}{v_0}$, ол цилиндрлер жүйесінің бұрылу уақытына тең: $T = \frac{x}{\omega R_B}$. Осыдан

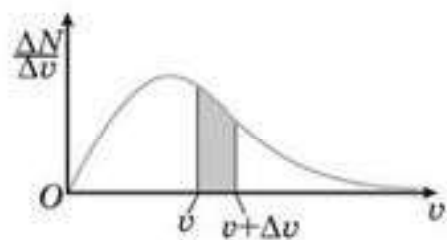
$$v_0 = \frac{(R_B - R_A)\omega R_B}{x}$$

О. Штерн осы тәжірибе арқылы күміс атомдары жылдамдығының шамасы 650 м/с бағытынын тапты. О. Штерн өткізгіштегі ток күші мен температураны өзгерте отырып, атомдар жылдамдығының \sqrt{T} шамасына пропорционал екенін көрсетті. Жолақтың жайылып орналасу себебі күміс атомдары әртүрлі жылдамдықпен қозғалады. Соңдықтан шапшаң молекулалар цилиндр қабырғасына ертерек, ал баяулары кешірек жетеді. Қабаттың қалыңдығы бойынша белгілі жылдамдықпен қозғалатын атомдар санын анықтайық. Тәжірибе, шындығында да, молекулалардың жылдамдықтар бойынша таралатынын көрсетеді. Мұндай таралудың сипатын Д. Максвелл 1859 жылы теориялық жолмен есептеп шығарған (13.3-сурет), ал О. Штерн тәжірибесі оны толық дәлелдеп шықты. Штерн тәжірибесі молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығының да дұрыстығын дәлелдейді. О. Штерннің молекулалар шоғын пайдалануы тәжірибенің осал жағы еді. Кейіннен О. Штерн өзінің тәжірибесін жетілдірді және дәлірек нәтижелер алды:

$$v_0 = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$



13.2-сурет



13.3-сурет

Біз молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын дәлелдейтін кейбір тәжірибелік деректерді қарастырдық. Молекулалық-кинетикалық теорияның қағидаларына келетін болсақ, олар денелерде өтетін жылулық процестерді (қыздыру, суыту, фазалық өтулер) сипаттау кезінде де, денелердің жылуөткізгіштік теориясын жасауда да аса маңызды рөл атқарады.

Газдар, сұйықтар және қатты денелердің құрылымдары. Зат құрылымының молекулалық-кинетикалық теориясын пайдаланып, заттың үш агрегаттық күйде болуын түсіндірейік.

Газдар. Газдарда молекулалардың арақашықтықтары сол молекулалардың өлшемдерінен әлдеқайда артық болады. Молекулалардың өзара әсерінің потенциалдық энергиясы олардың кинетикалық энергиясынан көп кіші. Сондықтан молекулалар газда барлық көлем бойынша жеңіл орын ауыстыра алады, олар бір-бірімен соқтығысып, өздерінің орын ауыстыру бағыттарын үнемі өзгертіп отырады. Газдарда жақын да, алыс та бейберекет, нағыз хаостық қозғалыс басым. Өздері тұрған ыдыстың қабырғасына соқтығысып, оған өздерінің импульстерін береді. Сондықтан газдың ыдыс қабырғасына түсіретін қысымы пайда болады. *Газ өзінің көлемін де, пішінін де сақтамайды, себебі өте әлсіз өзара әсерлесу күштері оларды бір-бірінің қасында ұстап тұра алмайды.*

Сұйықтар. Сұйықтың молекулалары тығыз орналасады. Оларды көрші молекулалар сығымдап тұрған секілді. Олармен соқтығысқан молекула өзінің тепе-теңдік күйінің төнірегінде тербелістер жасайды. Сұйықтағы молекулалардың жылулық энергиясы өзара әсерлесуден туындайтын минимал потенциалдық энергиямен шамалас. Молекулалардың жылулық қозғалысы бұл орналасуды бұзады. Рентген құрылымдық талдау сұйық молекулаларының 10—12-ден бірігіп, топ-топ болып орналасатынын көрсетеді. Молекулалар арасындағы өзара әсер күштері молекулалардың бірталайын бір-бірінің қасында ұстап тұрып, жуық тәртіпті камтамасыз етеді. Кейбір молекула өз тобынан секіріп шығып, басқа топқа барып түсіп, онда да тербелістер жасай алады.

Молекулалардың секірулерінің салдарынан сұйық фазадағы қозғалыс ретсіз болады. Температура жоғарылағанда молекулалардың секіріп кетуі артады да, олардың “отырықшылық өмірінің” уақыты азая түседі. Сұйықтың молекулалары жайлы олар “жартылай көшпелі өмір сүреді” деуге болады. Сұйықтардағы молекулалық қозғалысты кеңес физигі Я.И. Френкель (1894—1952) зерттеген.

Сұйықтың молекулалары тығыз орналасқандықтан, оларды сығылмайды деуге болады, міне, сондықтан олар қысым тудырады. Барлық сұйықтар аққыш, демек, олар пішінін сақтамайды, оның есесіне көлемін сақтайды. Сұйық молекулаларының кинетикалық энергиясы олардың потенциалдық энергиясымен шамалас.

Секундына 10 млн кадр беретін жиілікпен суретке түсіргенде сұйықтың *морфтық қасиеті* болатыны тағайындалды. Сұйықтың тамшылары қатты бетке түскенде жарықшақтарға айналып быт-шыт болады да, бірден ірі тамшыларға бірігеді.

Қатты денелер. Қатты дене молекулаларының өзара әсерлесу күші соншалықты зор, сондықтан молекулалар *кристалдық тордың түйіндері* деп аталатын белгілі қалыптардың төңірегінде ғана тербеле алады. Сол себепті, қатты денелер пішінін де, көлемін де сақтайды. Қатты дененің молекулалары жуық тәртіпті де, алыс тәртіпті де ұстайды. *Қатты денелер кристалдық торлардың әртүрлілігімен ерекшеленеді, себебі молекулалар арасындағы өзара әсерлесу күштері мен денелердегі молекулалардың немесе атомдардың орналасулары да әртүрлі*. Кристалдық торлардың мынадай түрлерін атауға болады:

- 1) *иондық* — оның түйіндерінде оң және теріс иондар;
- 2) *атомдық* — оның түйіндерінде бейтарап атомдар;
- 3) *молекулалық* — оның түйіндерінде молекулалар;
- 4) *металдық* — оның түйіндерінде оң иондар орналасқан.

Егер кристалдың өсуіне кедергі жасамаса, онда атомдардың ішкі орналасуы дұрыс геометриялық монокристалдар құрады. Қатты денелерде молекулалардың кинетикалық энергиясы олардың потенциалдық энергиясынан аз болады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Жылулық қозғалыстың хаостығы туралы ұйғарымды қалай түсінесіңдер?
2. Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын атап өтіңдер.
3. Қандай мысалдар молекулалардың бар екенін дәлелдейді?
4. Денедегі молекулалардың үздіксіз, хаосты қозғалыста болатынын дәлелдеңдер.
5. Қандай қозғалыс броундық деп аталады?
6. Броундық қозғалыстың қарқындылығы қандай факторларға тәуелді?
7. Диффузия деп нені түсінесіңдер? Диффузияның өту сипатын қалай өзгертуге болады?
- *8. Штерннің молекулалардың жылдамдығын анықтау тәжірибесінің маңыздылығы неде?
9. Денедегі атомдар мен молекулалардың өзара әсерлесетінін қалай дәлелдеуге болады?
10. Заттың газ күйінің молекулалық-кинетикалық теория негізіндегі сипаттамасын беріңдер.
11. Сұйық молекулалары өздерін қалай ұстайды?
12. Заттың қатты күйдегі фазасына сипаттама беріңдер.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. O_2 молекуласының массасын табыңдар.

Берілгені:

$$M_r = 16 \cdot 2 = 32$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$m_{O_2} = ?$$

Шешуі. Оттектің салыстырмалы молекулалық массасы $M_r = 16 \cdot 2 = 32$. Оттектің мольдік массасы $M = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Олай болса, оттегі молекуласының массасы

$$m_{O_2} = \frac{M}{N_A}; \quad m_{O_2} = \frac{32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Жауабы: $5,3 \cdot 10^{-26}$ кг.

2-есеп. Бір стакан судағы (H_2O) молекулалардың санын анықтаңдар.

Берілгені:

$$m = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$N = ?$$

Шешуі. Стакандағы H_2O судың молекулаларының санын есептейік:

$$N = N_A \cdot \frac{m}{M}.$$

H_2O судың салыстырмалы молекулалық массасы $M_r = 12 + 6 = 18$.

Судың мольдік массасы $M = M_r \cdot 10^{-3} = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

$$\text{Олай болса, } N = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \cdot 0,2 \text{ кг}}{18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \approx 6,7 \cdot 10^{24}.$$

Жауабы: $6,7 \cdot 10^{24}$.

6-жаттығу

1. Көміртек атомы оттегімен екі қосылыс түзеді: көміртектің үш салмақ бөлігіне оттектің төрт салмақ бөлігі сәйкес келетін көміртек тотығы және көміртектің үш салмақ бөлігіне оттектің сегіз салмақ бөлігі сәйкес келетін көміртектің қостотығы. Атом-молекулалық ілім негізінде осы қатынастарды қалай түсіндіруге болады?
2. Бірдей қысым мен температурада 1 л оттегімен көміртекті қосса, 1 л көмір қышқыл газы пайда болатынын қалай түсіндіруге болады?

Осы тақырыпта негізгі мәңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 14. Термодинамикалық параметрлер

Тірек ұғымдар: макроденелер, микроденелер, термодинамикалық жүйе, термодинамикалық параметрлер, термодинамикалық процесс, газдың қысымы, тепе-теңдік күйі, тепе-теңдік емес күйі.

Бүгінгі сабақта:

макроскопиялық денелердің қасиеттерін сипаттайтын негізгі ұғымдармен танысасыздар; термодинамикалық жүйелердің тепе-теңдік және тепе-теңдік емес күйлерін ажырата алуды, осы күйлерді сипаттауды үйренесіңдер.

Термодинамиканың негізгі ұғымдары зерттелетін жүйенің ішкі құрылымы жөніндегі көзқарастардың көмегімен емес, тәжірибе негізінде енгізілді. Термодинамикада тек макроскопиялық шамалар ғана қолданылады: температура, көлем, қысым, дененің ішкі энергиясы және т.б.

Термодинамиканың негізгі ұғымдарының бірі — *термодинамикалық жүйе*, демек, макроскопиялық параметрлердің сандық сипатын беретін кез келген химиялық құрамдағы және кез келген физикалық денелердің жиынтығы. Егер термодинамикалық жүйе бір күйден (параметрлердің бір жиынтығымен сипатталатын) екінші күйге өтсе, онда термодинамикалық процесс өтті деп есептеледі. Сонда *термодинамикалық жүйенің кез келген өзгерісі термодинамикалық процесс* болып табылады, осы процесс кезінде *термодинамикалық параметрлер* өзгереді.

Термодинамикалық параметрлер деп макроскопиялық денелердің (макрожүйенің) күйін сипаттайтын физикалық шамаларды атайды. Оған газдың қысымы, көлемі, температурасы (p, V, T) жатады.

Барлық макроденелер микроденелерден (атомдар мен молекулалардан) тұрады. Микроденелердің де өз сипаттамалары (микропараметрлері) бар. Оларға молекуланың (атомның) V_0 көлемі, молекуланың (атомның) m_0 массасы, молекуланың (атомның) v_0 жылдамдығы, молекулалардың (атомдардың) n_0 концентрациясы жатады. Макроденелерде өтіп жатқан процестердің осы макроденені түзетін микроденелердің параметрлерінің өзгерісінен туындайтыны анық.

Әрбір физикалық шаманың белгілі бір ақпарат беретінін, яғни оның физикалық мағынасы болатынын еске сала кетейік. Мысалы, макродененің массасы денедің заттың қандай мөлшері бар екенін, көлем дененің кеңістікте қандай орын алатынын білдіреді, газ қысымы газдың бірлік ауданға қандай күшпен әсер ететінін сипаттайды.

Кез келген жүйе температурасы, қысымы, көлемі және т.б. жағынан ерекшеленетін әртүрлі күйлерде бола алады. Макродененің (макрожүйенің) термодинамикалық параметрлері (термопараметрлері) өзгермейтін болса, онда осы дененің белгілі бір күйі жайлы сөз бола-

ды. Дене бір күйден екінші күйге өткенде оның термодинамикалық параметрлері өзгереді.

Мәселен, бізде бір денелер жүйесі болсын делік, онда әртүрлі нүктелердегі күй параметрлері немесе ең болмағанда олардың біреуі, мысалы, температура түрлі мәнге не болсын. Бұл жағдайда біз бүкіл жүйеге қандай да бір белгілі температураны жаза алмаймыз. Мұндай жүйенің күйін *тепе-теңдік емес күй* деп атайды. Егер осындай жүйені окшаулап, өз еркіне қойсақ, онда температураның тепену процесі жүреді, одан кейін жылу алмасу процесі тоқтайды — термодинамикалық тепе-теңдік орнайды. *Тепе-теңдік күй* деп жүйенің параметрлері оның барлық бөліктері үшін бірдей белгілі бір мәнге не болатын күйді айтады.

Макрожүйенің тепе-теңдік емес күйден тепе-теңдік күйге көшу процесі *релаксация* деп, ал мұндай өтуге қажет уақыт аралығы *релаксация уақыты* деп аталады. Әртүрлі процестер үшін релаксация уақыты секундтың үлесінен (газдағы қысым тепе-теңдігінің орнығуы) бірнеше жылдарға дейінгі (қатты қорытпалардағы концентрацияның тепенуі) мәнге не бола алады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Термодинамикалық жүйе деп нені түсінеді? Ол қандай параметрлер арқылы сипатталады?
2. Термодинамикалық процесс деп нені айтады?
3. Термодинамикалық параметрлер деп нені түсінеді? Оларға не жатады?
4. Жүйенің қандай күйін тепе-теңдік күйі деп атайсыз? Бұл кезде жүйенің параметрлері қандай мәндерге не болады?
5. Жүйенің қандай күйін тепе-теңдік емес күйі деп атайды? Бұл кезде жүйенің параметрлері қандай мәндерге не болады?
6. Релаксация деп нені айтады?
- *7. Молекулалық-кинетикалық теория нені қарастырады?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 15. Кристалл және кристалл емес денелер

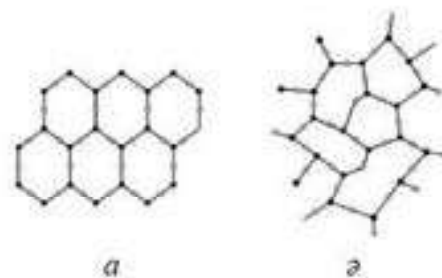
Тірек ұғымдар: аморфты денелер, кристалдар, монокристалдар, кристалдардың анизотропиясы, кристалдық құрылымдардың түрлері.

Бүгінгі сабақта:

кристалл және аморфты денелермен және олардың қасиеттерімен танысасыз; әртүрлі қатты денелер мысалында кристалл және аморфты денелердің құрылымын ажырата білуді үйренесіз; қатты денелердің қасиеттері бойынша кристалдардағы торлардың ақауларын сипаттауды үйренесіз.

Ұқсастықтары мен айырмашылықтары.

Физикада қатты дене деп тек кристалл денелерді ғана айтады. Аморфты денелердің сырт карағанда көлемін және пішінін сақтауы оларды қатты дене етіп көрсеткенмен, бұл денелер өте тұтқыр сұйық деп қарастырылады. Температура жоғарылаған сайын олардың сұйыққа тән қасиеттері бірден көріне бастайды, бірте-бірте еріп, сұйықтың барлық қасиеттеріне ие болады. Аморфты денелердің белгілі балку температурасы жоқ, қыздырған кезде олар бірте-бірте еріп, реттілік тұтқырлығы азаяды. Кристалл денелердің белгілі балку температурасы бар, тұрақты қысымда ол температура өзгермейді. Аморфты денелердің қасиеттері барлық бағыттар бойынша бірдей. *Аморфты денелер изотропты*. Кристалдың қасиеттері әртүрлі бағыттарда түрліше болады. *Кристалдар анизотропты*. Кристалда жарықтың таралу жылдамдығы, жылу өткізгіштік коэффициенті, серпімділік модулі және басқа да физикалық қасиеттері ондағы бағытқа тәуелді.



15.1-сурет

Аморфты денелер. Атомдарының ретті орналасуы алыс қашықтықтарда да қайталанып отыруымен сипатталатын кристалдық денелерден аморфты денелердің айырмашылығы, мұнда тек жақын тәртіп қана орын алады. Кейбір заттар кристалл және аморфтық түрде де бола алады. Оған мысал — кремнийдің қос тоғыны SiO_2 . Бұл SiO_2 кристалдары дұрыс кристалдық құрылым түзетін кварц (15.1, а-сурет). Ал аморфты кварц шынының сол элементтерден ғана тұратын құрылымы, демек, дәл соған жуық тәртіпте болғанмен, бұл элементтердің өзара байланысы әртүрлі, оларда алыс тәртіп жойылған (15.1, б-сурет).

Кристалл және аморфты денелердің айырмашылығы әсіресе жылулық қасиеттерінен қатты білінеді. Кристалл заттың балку графигінде горизонталь бөлік бар, ол балку температурасының балку процесінің барлық кездерінде тұрақты екенін көрсетеді. Қыздырған кезде аморфты дене жұмсарады, оның молекулалары өз көршілерінен оңай айырыла бастайды, тұтқырлығы кемиді, ал жеткілікті жоғары темпе-

ратурада ол өзін тіпті тұтқырлығы аз сұйық тәрізді ұстайды. Аморфты денелердің балку графигінде горизонталь бөлік жоқ. Сондықтан қатты аморфты денелерді өте тұтқыр сұйық деп қарастыруға болады. Олар толық изотропты.

Көптеген денелерді аморфтық күйден кристалдық күйге және керісінше өткізуге болады. Мысалы, кәдімгі шыныны белгілі температурада ұстап тұрса, онда ол ұсақ кристалдарға айналып, шыны бұлдырланып кетеді.

Аморфты денелерді шындауға да болады. Егер аморфты денені жеткілікті жоғары температураға дейін қыздырып, молекулалардың белгілі бір қалыпта орналасуына дейін жеткізген соң оны тез салқындатсақ, онда салқындату алдындағы молекулалардың қалыптары сақталып қалады. Мұндай күйде аморфты денелердің тепе-теңдік күйге өтуі өте баяу жүреді, тіптен акырына дейін жетпейді де. Сондықтан оның шыныққаннан кейінгі күйі ұзақ уақыт сақталып қалуы мүмкін. Жоғары температурада дененің көлемі төменгі температурадағы көлемге қарағанда үлкен. Өте тез шындау кезінде беттік қабат ішкі қабаттарға қарағанда ертерек қатайды да, қатты қабыршық түзеді. Ішкі бөліктері салқындағанда олар сығылады, сөйтіп ішкі және сыртқы қабат арасында күшті кернеулік пайда болып, ол денені бұзуға дейін жеткізуі мүмкін. Ішкі кернеуліктер анизотропия тудырады, олар оптикалық әдістермен жеңіл бақыланады. Мұндай кернеулікті тағы да қыздырып, содан кейін баяу салқындату арқылы жоюға болады. Мысалы, астрономиялық құралдар үшін үлкен мөлшердегі оптикалық линзаларды дайындағанда шыны дененің салқындатылуы бірнеше айға созылады.

Кристалдар. *Өзінің формасын да, көлемін де сақтайтын затты қатты дене* деп атайды. Бірақ бұлар заттың қатты күйін тек сыртқы түріне қарап қана сипаттайды. Физикалық тұрғыдан алғанда біз бұл белгілеріне қарап қатты күйді сұйық күйден айыра алмаймыз.

Қатты денелерді зерттеген кезде табиғатта олардың белгілі бұрыштармен орналасқан жазық беттерінің болатыны, кей жағдайларда олардың дұрыс көпбұрыштар түрінде кездесетіні белгілі. Мұндай қатты денелерді **монокристалдар** деп атайды (грекше “моно” — “бір”). Көпшілігінде монокристалдардың өлшемдері өте кішкентай, әйтсе де олардың арасында үлкендері де бар, мысалы, тау хрусталінің кейбір монокристалының өлшемі адам бойымен теңеседі.

Кристалдардың ішкі құрылысын рентген сәулелерінің көмегімен зерттеу нәтижелері олардағы бөлшектердің (молекулалар, атомдар және иондардың) дұрыс орналасатынын көрсетті, демек, олар *кристалдық (кеңістіктік) тор түзеді. Кристалдық тордағы қатты дененің бөлшектерінің ең орнықты тепе-теңдік қалпына сәйкес нүктелері тордың түйіндері* деп аталады.

Тордың түйіндері дұрыс орналасып, кристалл ішінде периодты түрде қайталанып отырады. Бұл егер қайсыбір түзу бойында бір-біріне жуық орналасқан түйіндердің арақашықтығы a болса (15.2-сурет), онда түзу бойында осы түйіннен na қашықтықта кристалдық тордың n түйіні болады дегенді білдіреді. Кристалдық тордағы түйіндердің орналасуы кез келген түзу бойында қайталанады (15.2-сурет, I—IV сызықтар). Бөлшектердің кристалдық тор түйіндерінде дұрыс орналасуы *алыс реттілік* деп аталады.

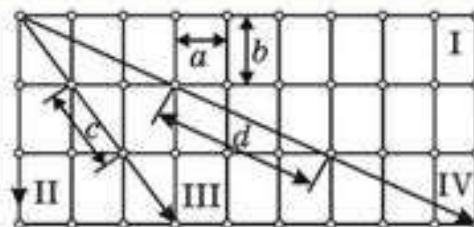
Сонымен, физикада **қатты денелер** деп кристалдық құрылымы бар денелерді айтады. Басқаша айтқанда, қатты дене бөлшектерінің орналасуында *алыс реттілік* болу керек.

Кеністіктік тор. Кристалдағы бөлшектердің дұрыс орналасуынан кристалдардың кейбір қасиеттерінің бағытқа тәуелділігі, яғни *анизотропиясы* шығады.

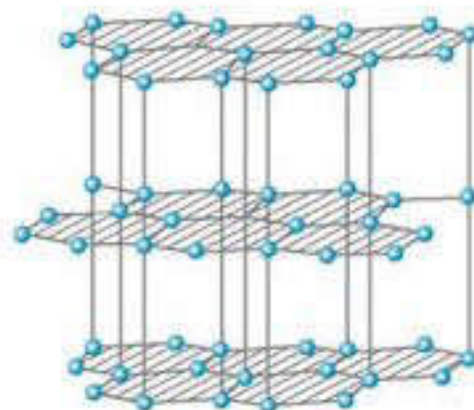
Көптеген кристалдарда кристалдың механикалық беріктігінің бағытқа тәуелділігі айқын білінеді. Мысалы, слюда су ішінде қабыршықтарға жеңіл ыдыраса, ал тас тұзы шаршыларға ыдырайды. Бұл тәуелділік әсіресе графитте жақсы көрінеді. Графит кристалының әрбір қабатында көміртек атомдары дұрыс алтыбұрыштардың төбелерінде орналасқан, ал іргелес қабаттардың арақашықтығы іргелес орналасқан атомдардың арақашықтығынан 2,5 есе артық (15.3-сурет). Сондықтан графиттегі қабаттар бір-біріне қатысты жеңіл сырғып кетеді, оның бұл қасиетін біз қарындашпен жазған кезде пайдаланамыз. Сонымен, графиттің осы қасиетін майлағыш материал ретінде де пайдаланады (әсіресе жоғары температура кезінде).

Қатты қыздырылған сымның ұшын бетіне балауыз жағылған кварц кристалының ортасына тігізсек, онда балауыз эллипс түрінде балқиды (15.4-сурет). Демек, кварц кристалының жылуөткізгіштігі бағытқа тәуелді. Тәжірибе басқа кристалдар үшін де олардың қасиеттерінің бағытқа тәуелді болатынын көрсетеді.

Анизотропия қасиетінің тек монокристалдарға ғана тән болатынын тағы да айта кетейік. *Қатты денелердің* көпшілігінің құрылымы *поликристалды* (грекше “поли” — “көп”), демек, олар микроскоппен ғана көруге болатын өте ұсақ кристалдардың жиынтығынан тұрады. Бұл шағын кристалдардың бір-біріне қатысты хаосты орналасуынан қатты дене тұтастай алғанда изотропты, демек, жеке шағын кристалдардың



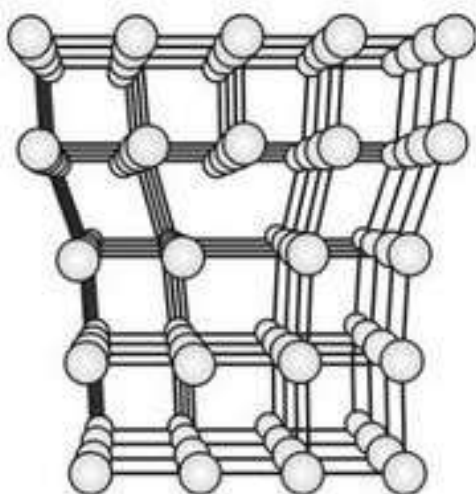
15.2-сурет



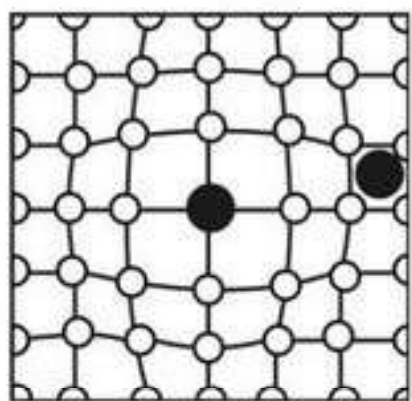
15.3-сурет



15.4-сурет



15.5-сурет



15.6-сурет

анизотропиясы болса да, дененің барлық бағыттардағы қасиеттері бірдей. Аморфты денелер де изотропты, себебі олардың кеңістіктік торы жоқ. Полкристалды денелер мен аморфты денелердің айырмашылығы мынада: *полкристалды дененің анизотропия байқалатын өте кішкентай бөлігін бөліп алуға болады, ал аморфты денелердің кез келген бөлігін қарастырсақ та ол әрқашан изотропты*.

Тәжірибе көрсеткендей, қатты зат бөлшектерінің орналасуында идеал алыс реттілік еш уақытта іс жүзінде кездеспейді. Кристалдағы идеал реттіліктен кез келген ауытқуды *кристалдық тордың ақаулары (дефект)* деп атайды.

Тордың ең маңызды ақауларының бірі — әрбір уақыт мезетінде кристалдағы бөлшектердің жылулық қозғалысының әсерінен болатын бөлшектердің орналасуындағы реттіліктің бұзылуы. Шындығында, бөлшектер өне бойы тербеліп тұрады, сондықтан түйіндер тек әрбір бөлшектің орташа қалпын ғана анықтайды.

Тағы бір маңызды ақау *дислокация* деп аталады (15.5-сурет). Тордың жеке түйіндерінде *бөлшектің болмауы (вакансия)* немесе бөлшектің түйіндер арасына *ығысуы* түріндегі ақаулар да кездеседі. Басқа текті атомдардың тордың жеке-дара түйіндерінде орналасуы немесе түйіндердің арасында орналасуы да кристалдық тордың ақауы болып табылады (15.6-сурет).

Кристалл тордағы кемтіктер қатты дененің көптеген қасиеттеріне, мысалы, беріктігіне, майысқыштығына, электрөткізгіштігіне және т.б. қасиеттеріне үлкен әсерін тигізеді.

Кристалдық құрылымдардың түрлері. Кристалдардың әртүрлі типтерін және түйіндердің кристалдық торда орналасу мүмкіндіктерін *кристаллография* зерттейді. Физикада кристалдық құрылымдарды геометриялық тұрғыдан емес, кристалдағы бөлшектер арасындағы өзара әсерлесу күштерінің сипаты, яғни бөлшектер арасындағы байланыстардың түрлері бойынша қарастырады. Кристалл торының

түйіндерінде орналасқан бөлшектер арасында әсер ететін күштердің сипаты бойынша кристалдық құрылымдарды *иондық, атомдық, молекулалық* және *металдық* деп төрт түрге бөледі.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Аморфты денелердің қасиеттерін атаңдар. Мысал келтіріңдер.
2. Кристалдың қасиеттерін атаңдар. Мысал келтіріңдер.
3. Монокристалл деген не?
4. Кристалл торындағы қандай нүктелер тордың түйіндері деп аталады? Олар қалай орналасқан?
5. Кристалл торларының қандай ақауларын білесіңдер?
6. Қандай денелер поликристалды құрылымды болып табылады?
7. Кристалдық құрылымның қандай түрлерін білесіңдер?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туынсады?

§ 16. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі

Тірек ұғымдар: газдың қысымы, газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі.

Бүгінгі сабақта: идеал газ моделіне сүйеніп, қысымның газ арқылы берілуін түсіндіруді үйренесіңдер.

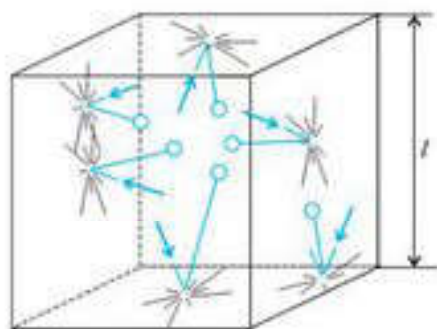
Газдың өзі күйылған ыдыстың қабырғасына (немесе кез келген бетке) түсіретін қысымы молекулалардың белгілі күшпен ыдыс қабырғасын соққылауынан туындайтыны сендерге белгілі. Қысым бетке перпендикуляр бағытта әсер ететін күштің осы беттің бірлік ауданына қатынасымен анықталады:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Куб пішіндес ыдыстың ішінде газ болсын делік. Үлкен жылдамдықпен бейберекет қозғалатын бөлшектер үнемі үйдің шатырын тарсылдататын жаңбыр тамшысы сияқты ыдыс қабырғасын соққылайды (16.1-сурет).

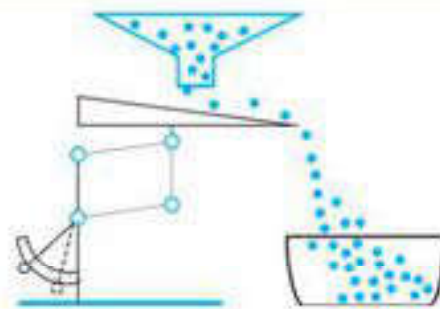
Бейберекет молекулалық қозғалыс салдарынан қабырғаға соғылатын молекулалар жылдамдығы және олардың саны әртүрлі уақыт мезетінде түрліше болады. Бұл уақыттың түрлі мезетінде қысым да әртүрлі дегенді білдіреді. Бірақ молекулалар санының көп болуынан газ қысымы аздап ауытқығанмен (*флуктуация*), орташа мәні өзгермейді. Егер молекула саны аз болса, онда олардың жылдамдығы мен қабырғаға соқтығысулары басқаша болады. Уақыттың қайсыбір мезетінде тіпті қабырғаға соққы болмауы мүмкін, бұл жағдайда қысымның ауытқуы артады, ал шекті жағдайда (бір немесе бірнеше молекулалар үшін) қысым ұғымы өз мағынасын жояды.

Сонымен, *газ қысымы* — өте көп молекулалардың күйін сипаттайтын макроскопиялық шама. Қысым ұғымы, сендерге белгілі температура, тығыздық, тұтқырлық, жылу өткізгіштік ұғымдары сияқты, бөлшектер жынының қасиеттерін өрнектейді және жеке алынған молекула үшін қолданылмайды. Молекулалар өте көп болғандықтан және ыдыс қабырғасына өте жиі соғылатындықтан, олардың қабырға бетіне үздіксіз әсерін орташа бір ғана күшпен алмастыруға болады. Сонда қабырға бетінің бір өлшеміне келетін осы күштің шамасы газдың ыдыс қабырғасына түсіретін қысымына тең болады.



16.1-сурет

Оны мына модельдік тәжірибе көмегімен де бақылауға болады (16.2-сурет). Қозғалмалы бетке белгілі бір уақыт бірлігі ішінде шарлардың көп мөлшері құлап түседі. Бұл шарлардың бетті соққылау күштерінің қосындысы құралдың тілшесі көрсететін қысымның жалпы орташа күшін береді. Қысымды анықтау үшін осы күшті қозғалмалы беттің ауданына бөлу керек.



16.2-сурет

Сонымен, сендер молекулалық-кинетикалық теория негізінде газ қысымының сапалы түсініктемесімен таныстыңдар.

Енді идеал газ моделін пайдалана отырып, молекулалық-кинетикалық теория көмегімен газдың ыдыс қабырғасына түсіретін қысымын есептейік. Қысымды молекулалардың соққылары тудырады. Барлық молекула соққыларының қосынды күшін тауып, оны қабырға ауданына бөлсек, газдың ыдыс қабырғасына түсіретін қысымын табамыз.

Ішінде идеал газ бар шаршы пішіндес ыдыс қырының ұзындығы l болсын, сонда газ молекулаларының концентрациясы n мынаған тең:

$$n = \frac{N}{V},$$

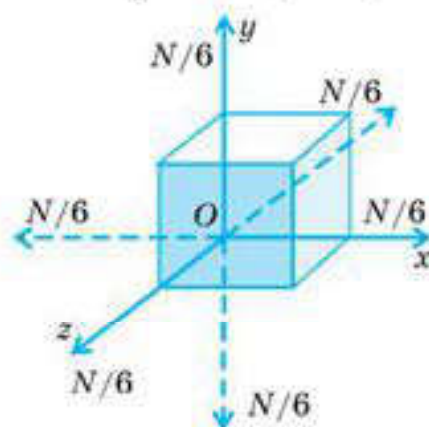
мұндағы N — молекулалардың жалпы саны; V — ыдыс көлемі.

Осы мәселені қарапайым жолмен шешу үшін төмендегідей бірқатар ұйғарымдарды енгізейік:

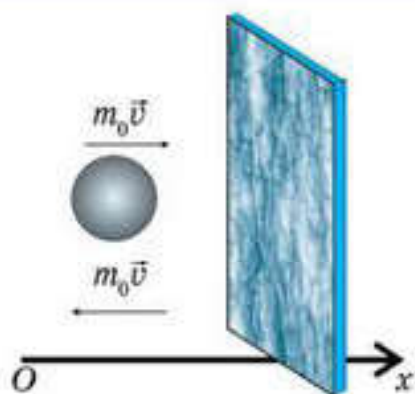
1. Барлық молекулалардың m_0 массасы бірдей.
2. Ыдыста бір ғана зат бар, яғни молекулалар біртектес.
3. Барлық молекулалардың v жылдамдықтарының мәні бірдей.
4. Газдағы барлық бағыттар тең құқылы және молекулалар тек өзара перпендикуляр үш бағыттың бойымен ғана қозғалады (16.3-сурет).

5. Кез келген уақыт мезетінде осы үш бағыттың әрқайсысының бойымен (оңға және солға қарай) бір мезетте $\frac{N}{3}$ молекулалар қозғалатын болады, ал олардың жартысы (яғни, $\frac{N}{6}$), мысалы, Ox осінің оң бағытымен орын ауыстырса, екінші жартысы Ox осіне қарама-қарсы бағытта орын ауыстырады. Бұл Oy және Oz осьтерінің оң бағыттары үшін де орындалады.

6. Газ молекулалары шаршының бір жағынан екінші жағына қарай қозғалғанда бір-бірімен соқтығыспайды. Олардың қабырғалармен соқтығысуы абсолют серпімді.



16.3-сурет



16.4-сурет

Ox осі бойымен шаршының сол жақ қабырғасынан оң жақ қабырғасына және кері ұшатын бір молекуланың қозғалысын қарастырайық.

1) Молекуланың соқтығысуы кезінде қабырғаға берілетін импульсті табайық. Ox осі бойымен қабырғамен соқтығысқанға дейінгі молекуланың импульсі $p_1 = m_0 v$ тең.

Оның қабырғаға серпімді соқтығысуынан кейін импульстің таңбасы өзгереді (16.4-сурет), демек, $p_2 = -m_0 v$.

Молекула импульсінің өзгерісі соңғы $(-m_0 v)$ импульс пен алдыңғы $(m_0 v)$ импульстің айырымына тең: $\Delta p = p_2 - p_1 = -m_0 v - (m_0 v) = -2 m_0 v$.

Импульстің сақталу заңы бойынша соққы кезінде қабырға Ox осінің бойымен $\Delta p = 2 m_0 v$ импульс алады.

2) Бір молекула тарапынан қабырғаға әсер ететін орташа күшті табайық. Ньютонның екінші заңы бойынша

$$F \Delta t = \Delta p,$$

мұндағы F — соққы күші; Δt — соқтығысу уақыты.

Қабырғадан серпілген молекула қарама-қарсы жақтағы қабырғаға қарай ұшады да, оған соқтығысып, кері қайтады. Оның екі бағыттағы қозғалыс уақыты (немесе молекуланың екі серпілісінің арасындағы уақыт) мынаға n тең: $\Delta t = \frac{2l}{v}$.

Δt мен Δp мәндерін Ньютонның екінші заңына қойып, мына өрнекті аламыз:

$$\bar{F} \cdot \frac{2l}{v} = 2m_0 v.$$

Осыдан шаршы қабырғасына әсер ететін \bar{F} орташа күшті табамыз:

$$\bar{F} = \frac{2m_0 v}{\frac{2l}{v}} = \frac{m_0 v^2}{l},$$

мұндағы \bar{F} — күштің орташа мәні.

3) Барлық молекулалардың соққыларының нәтижесінде куб қабырғасына әсер ететін толық күшті табайық. Ауданы S куб қабырғасына оң жақ және сол жақ қабырға арасында (яғни, Ox осі бойынша) қозғалатын $\frac{N}{3}$ молекула соқтығысатынын ескереміз.

Барлық молекула тарапынан қабырғаға әсер ететін күш мынаған тең:

$$F = \frac{N}{3} \frac{m_0 v^2}{lS}.$$

4) Газдың ыдыс қабырғасына түсіретін қысымын табайық. Ол мынаған тең:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{N}{3} \frac{m_0 v^2}{lS}.$$

$V = l \cdot S$ — шаршыдағы газдың көлемі, $n = \frac{N}{V}$ — молекулалар концентрациясы, яғни газдың көлем бірлігіндегі молекула саны екенін ескеріп, мына өрнекті аламыз:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v^2. \quad (16.1)$$

Шындығында, Д. Максвелл таралуы бойынша газ молекулалары әртүрлі жылдамдықпен қозғалады. Сондықтан (16.1) формуласына біз барлық молекулалардың орташа жылдамдығының квадратын \bar{v}^2 қоямыз, яғни

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2. \quad (16.2)$$

Бұл өрнек газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі немесе осы өрнекті қорытып шығарған ғалымның құрметіне Клаузиус теңдеуі деп аталады.

Бұл теңдеу газ қысымының молекулалардың концентрациясына және олардың ілгерілемелі қозғалысының орташа жылдамдығының квадратына тура пропорционал өсетінін көрсетеді.

Молекулалар концентрациясы неғұрлым көп болса, соғұрлым молекулалар ыдыстың қабырғасымен жиі соқтығысады да, қысым жоғары болады.

Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуін кейде басқа түрде береді. (16.2) теңдеуінің оң жақ бөлігін 2 көбейтіп және бөліп мына өрнекті аламыз:

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m_0 \bar{v}^2}{2},$$

мұндағы $\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \bar{E}_k$ — молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы. Демек,

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k. \quad (16.3)$$

Идеал газ қысымы көлем бірлігі ішіндегі барлық молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының 2/3 бөлігіне тең.

(16.2) өрнектегі m_0 көбейтіндісінің зат тығыздығын $\rho = m_0$ беретінін ескеріп, қысымды есептеп шығару үшін молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуінің тағы бір түрін алуға болады:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2. \quad (16.4)$$

Идеал газ қысымы газдың тығыздығына және газ молекулаларының ілгерілемелі қозғалысының орташа жылдамдығының квадратына тура пропорционал.

Сонымен, идеал газ моделінің көмегімен теориялық түрде микроскопиялық параметрлер мен макроскопиялық параметрлер арасындағы байланыс тағайындалды. *Микроскопиялық параметрлерге молекула массасы, көлем бірлігіндегі молекулалар саны, орташа жылдамдықтың квадраты, молекулалардың жылудық қозғалысының кинетикалық энергиясының орташа мәні т.б. жатады. Макроскопиялық параметрге тікелей тәжірибеде өлшенетін және газды толық сипаттайтын, оның ыдыс қабырғасына түсіретін қысымы жатады.*

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Газ қысымы қандай шама деп аталады?
2. Газ молекулаларының концентрациясын қалай есептеп шығаруға болады?
3. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі нені көрсетеді?
4. Идеал газдың қысымы неге тең?
5. Микроскопиялық параметрлерге не жатады? Макроскопиялық параметрлерге ше?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туынды?

§ 17. Идеал газ күйінің теңдеуі

Тірек ұғымдар: идеал газ күйінің теңдеуі, универсал газ тұрақтысы.

Бүгінгі сабақта:

универсал газ тұрақтысының физикалық мағынасымен танысасыңдар; идеал газ күйінің теңдеуін есептер шығаруға қолдануды үйренесіңдер.

Идеал газ күйінің теңдеуі. Газдың қандай күйде тұрғанын білу үшін оның термодинамикалық параметрлерін, яғни қысымды p , температураны T , көлемді V білу қажет. Термопараметрлердің біреуінің өзгерісі оның басқа параметрлерінің өзгеруіне әкеп соғады. *Термодинамикалық параметрлерді байланыстыратын теңдеу газ күйінің теңдеуі деп*

аталады. Осы теңдеуді молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін пайдалана отырып, шығарып көрейік.

$p = nkT$ екені белгілі. Газ молекулаларының концентрациясын $n = \frac{N}{V}$ ескеріп, $p = \frac{N}{V}kT$ аламыз. Осыдан $pV = NkT$ шығады. Газ молекулаларының санын газдың зат мөлшері арқылы анықтаймыз:

$$N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A. \text{ Осыны ескерсек, } pV = \frac{m}{M} N_A kT.$$

Екі тұрақты санның — Авогадро санының және Больцман тұрақтысының көбейтіндісіне тең шаманың өзі де тұрақты шама. Оны *универсал газ тұрақтысы* деп атайды:

$$R = kN_A. \quad (17.1)$$

$$R = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}.$$

Универсал газ тұрақтысы дегеніміз — заттың 1 мөлінің температурасын 1 К арттыру үшін оған қанша жылу мөлшерін беру қажет екенін көрсететін физикалық шама. Бұл универсал газ тұрақтысының физикалық мағынасы.

Осы айтылғандарды ескерсек, онда идеал газ үшін мына теңдеу орындалады:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (17.2)$$

(17.2) теңдеуі — *идеал газ күйінің теңдеуі* деп аталады. Осы түрде бұл теңдеуді тұңғыш рет орыс ғалымы Д.И. Менделеев (1834—1907) дәлелдеген, сондықтан ол *Менделеев—Клапейрон теңдеуі* деп аталады. 10 жылдай Ресейде қызмет еткен, француз физигі Б.П.Клапейрон (1799—1864) идеал газ күйінің теңдеуін Менделеевтен бұрын (1834 ж.), бірақ басқа түрде алды.

Идеал газ күйінің теңдеуі — физикадағы алғашқы тамаша жалпылаулардың бірі. Ол тәжірибеде тағайындалған бірқатар газ заңдарын жалпылайды. Қандай затты алғанымызға тәуелсіз болатын жалпыланған заңдарды ашу — физика ғылымының мақсаты.

Егер Менделеев—Клапейрон теңдеуін $\frac{pV}{T} = \frac{m}{M} R$ түрінде жазсақ, онда теңдіктің оң жағында газдың мольдік массасына ғана тәуелді болатын тұрақты шама тұрады:

$$\frac{pV}{T} = \text{const}. \quad (17.3)$$

Клапейрон *идеал газ күйінің теңдеуін* дәл осындай түрде алған.

Егер күй теңдеуін калыпты жағдайдағы идеал газдың бір мөлі үшін жазатын болсақ, яғни қысым $p = 101325$ Па және температура $T = 273$ К болған кезде газ $V = 22,4$ л/моль көлемді қабылдайды. Онда

$$\frac{pV}{T} = \frac{101325 \cdot 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{м}^3}{273 \text{ К} \cdot \text{моль}} = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}$$

шамасын аламыз, ал бұл универсал газ тұрақтысы болып табылады. Бұл нені білдіреді? Ойланып көріңдер.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Қандай теңдеуді идеал газ күйінің теңдеуі деп атайды?
2. Идеал газ күйінің теңдеуін қалай қорытып шығаруға болады?
3. Неліктен газ тұрақтысы универсал тұрақты деп аталады?
4. Идеал газ күйі теңдеуінің нақты газдардың қасиеттерін сипаттауға қолданылатынын қалай тексеруге болады?
5. Менделеев—Клапейрон теңдеуін қорытып шығарыңдар.

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Жұлдызаралық газ молекулаларының концентрациясы орташа алғанда 1 м^{-3} тең, газ молекулаларының орташа кинетикалық энергиясы $1,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$. Жұлдызаралық газ қысымын анықтаңдар.

Берілгені:

$$n = 1 \text{ м}^{-3}$$

$$\bar{E}_k = 1,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$$

$p = ?$

Шешуі. Идеал газ қысымы және бөлшектердің концентрациялары мен жылулық қозғалысының арасындағы орташа байланысты тағайындайтын молекулалық-кинетикалық теорияның $p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k$ негізгі теңдеуін қолданамыз. Есептеулер мынаны береді:

$$p = \frac{2}{3} \cdot 1 \text{ м}^{-3} \cdot 1,5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 1 \cdot 10^{-21} \text{ Дж/м}^3 = 10^{-21} \text{ Н/м}^2 = 10^{-21} \text{ Па}.$$

Жауабы: 10^{-21} Па .

2-есеп. Ауаны бірдей молекулалардан тұратын газ деп есептеп, қалыпты жағдайдағы ауа молекулаларының жылулық қозғалысының жылдамдығын есептеңдер.

Берілгені:

$$p = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\rho_{\text{ауа}} = 129 \text{ кг/м}^3$$

$v = ?$

Шешуі. Газ қысымын, оның тығыздығы мен орташа жылдамдықтың квадратының байланысын тағайындайтын молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін қолданамыз:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2.$$

Осы теңдеуден газ молекулаларының орташа жылдамдығы үшін мына өрнекті аламыз:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}}, \quad \bar{v} = \sqrt{\frac{3 \cdot 10,1 \cdot 10^5}{1,29}} \text{ м/с} = 280 \text{ м/с.}$$

Жауабы : 280 м/с.

7-жаттығу

1. Ауамен толтырылған (ауаның тығыздығы $1,29 \text{ кг/м}^3$) цилиндрдің түбінде тығын шар жатыр. Шар сығылған газда қалқып тұруы үшін идеал газды қандай қысымға дейін сығу керек? Температура өзгермейді. Сығылған ауаның тығыздығы 200 кг/м^3 .
2. Егер құты ішіндегі қысым 10^5 Па , ал ауа молекулаларының орташа кинетикалық энергиясы $5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$ болса, онда радиощам құтысындағы ауа молекулаларының концентрациясы неге тең?
3. 10^5 Па қысым кезіндегі концентрациясы $3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ идеал газ молекулаларының ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясын анықтаңдар.
4. Оттек пен сутек молекулаларының концентрациясы мен олардың қозғалысының орташа квадраттық жылдамдықтары тең болған кездегі қысымын салыстырыңдар.
5. Төмендегі 17.1-кестеде берілген белгісіз параметрлерді анықтаңдар.

17.1- кесте

Газ	$p, \text{ Па}$	$n, \text{ м}^{-3}$	$v^2, \text{ м}^2/\text{с}^2$	$m_0, \text{ кг}$
CO_2	?	$2,7 \cdot 10^{20}$	$9 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^{-26}$
O_2	$5 \cdot 10^{-21}$	10^{24}	?	$5,3 \cdot 10^{-26}$
H_2	$4 \cdot 10^{-21}$?	$2,5 \cdot 10^5$	$3,3 \cdot 10^{-27}$

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	--	---

§ 18. Изопроцестер

Тірек ұғымдар: изопроцестер, изотермиялық процесс, термостат, Бойль—Мариотт заңы, идеал газдың изотермасы, изобаралық процесс, Гей—Люссак заңы, изохоралық процесс, Шарль заңы, Дальтон заңы, парциал қысым.

Бүгінгі сабақта: изотермиялық, изобаралық және изохоралық процестермен танысасыңдар; Бойль—Мариотт, Гей—Люссак және Шарль заңдарын қорытып шығаруды, изопроцестердің графиктерін есептер шығаруда қолдануды үйренесіңдер.

Газ күйінің теңдеуі тәжірибелік заңдар — Бойль—Мариотт және Гей—Люссак заңдарының негізінде алынған.



Роберт Бойль
(1627—1691)

Идеал газдың берілген массасы үшін абсолют температураға бөлінген қысымның көлемге көбейтіндісі тұрақты шама :

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const.} \quad (18.1)$$

Газ күйінің теңдеуі газдардың кинетикалық теориясының негізгі теңдеуінің дербес жағдайы екенін көрсетейік:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT; p = \frac{2}{3} n \bar{E}. \quad (18.2)$$

Идеал газдың кинетикалық энергиясын мольдік масса мен Авогадро тұрақтысы арқылы өрнектейік:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E} = \frac{N}{N_A} \frac{RT}{V} = \frac{m}{M} \frac{RT}{V}.$$

Сонда
$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (18.3)$$

Осы өрнек — *Менделеев—Клапейрон теңдеуі*. Ол газдың кез келген параметрін (басқалары белгілі болғанда) табуға мүмкіндік береді.

Газдың массасы m және оның мольдік массасы M өзгермейді делік, онда $mRM = \text{const}$ және Менделеев—Клапейрон теңдеуін мына түрде жазуға болады:

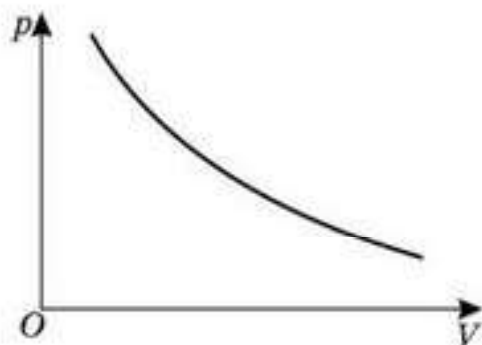
$$pV = T \cdot \text{const} \text{ немесе } \frac{pV}{T} = \text{const}.$$

Міне, бұл қорытып шығаруымыз қажет болып отырған газ күйінің теңдеуі.

Газ күйінің теңдеуінен тәжірибе жүзінде табылған газ заңдарының формулаларын алуға болады.

Изотермиялық процесс ($T = \text{const}$). Менделеев—Клапейрон теңдеуінен $pV = T \cdot \text{const} = \text{const}$ аламыз, бұдан

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \text{ (Бойль—Мариотт заңы).}$$



18.1-сурет

Изотермиялық процесс кезінде берілген массасы тұрақты газдың қысымы оның көлеміне кері пропорционал (18.1-сурет).

Егер газды изотермиялық сығатын болсақ, онда молекулалық-кинетикалық теорияға сәйкес газ көлемі кішірейеді. Молекулалар қозғалысының орташа жылдам-

дығы өзгермегендіктен, ыдыс қабырғасына соқтығысу саны артады. Сол себепті газдың қысымы да артады.

Энергетикалық көзқарас бойынша изотермиялық сығылу кезінде жұмсалатын барлық энергия жылу алмасудың салдарынан айналадағы қоршаған денелерге (мысалы, жылу машинасындағы суытқышқа) беріледі.

Изобаралық процесс ($p = \text{const}$). Менделеев—Клапейрон тендеуінен алатынымыз: $\frac{V}{T} = p \cdot \text{const} = \text{const}$, бұдан

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ (Гей—Люссак заңы).}$$

Изобаралық процесс кезінде берілген массасы тұрақты газдың көлемі оның абсолют температурасына тура пропорционал.

Изобарамен, бастапқы және соңғы нүктелерімен шектелген, штрихталған аудан, сан мәні бойынша газдың изобаралық ұлғаюы кезіндегі жұмысқа тең (18.2-сурет):

$$A = p\Delta V$$

Берілген жылу жұмысқа және ішкі энергияны арттыруға жұмсалады.

Изохоралық процесс ($V = \text{const}$). Менделеев—Клапейрон тендеуінен алатынымыз: $\frac{p}{T} = V \cdot \text{const} = \text{const}$, бұдан

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ (Шарль заңы).}$$

Изохоралық процесс кезінде берілген массасы тұрақты газдың қысымы оның абсолют температурасына тура пропорционал.

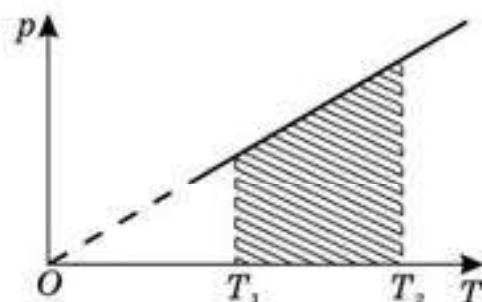
18.3-суреттегі штрихталған аудан T_1 температурадан T_2 дейін қыздырған кездегі газ молекулалары энергиясының өзгерісіне тең. Көлем өзгермейтіндіктен, газ жұмыс істемейді және берілген жылу мөлшері түгел ішкі энергияны арттыруға жұмсалады.

Сонымен, газ заңдарының бәрін де газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі тендеуінен алуға болады.

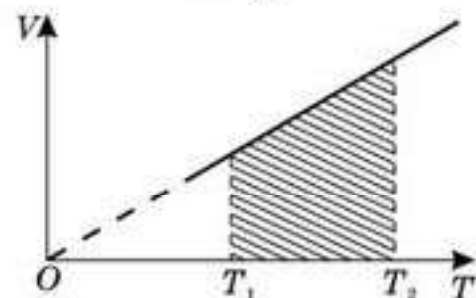
Менделеев—Клапейрон тендеуін пайдаланып алатынымыз:

$$\rho = \frac{pM}{RT},$$

мұндағы $\rho = \frac{m}{V}$.



18.2-сурет



18.3-сурет

Газдардың қоспасы үшін *Дальтон заңдары дұрыс*:

- 1) газдар қоспасының қысымы парциал қысымдардың қосындысына тең;
- 2) газдар қоспасының көлемі газдардың әрқайсысының жеке көлемдеріне тең.

Парциал (үлестік) қысым деп газ қоспасының әрбір газы осы көлемді жалғыз өзі алатын кездегі қысымды айтады. *Дальтон газ қоспасының қысымы осы қоспаға кіретін барлық газдардың үлестік қысымдарының қосындысына тең болатынын тағайындады*, яғни $p = p_1 + p_2 + \dots + p_n$.

Бұл тұжырым *Дальтон заңы* деп аталады. Оны молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін пайдаланып оңай алуға болады:

$$p = nkT = n_1kT + n_2kT + \dots + n_nkT = p_1 + p_2 + \dots + p_n,$$

демек,
$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n \quad (18.4)$$

Дальтон заңының көмегімен қоспаның құрамына кіретін газдардың мольдік массасын анықтай аламыз. Есеп шығару кезінде нақты газды жуықтап идеал газ ретінде қолданады (қысым үлкен емес және температура аса төмен болмаған жағдайда).

Газ заңдарын қолдануға арналған есептерді шығару кезінде талдау жасап алу керек. Талдау барысында келесі сұрақтарға жауап іздеу қажет: а) берілген газ нақты газ ба, әлде идеал газ ба; ә) газ күйінің өзгерісі қандай процеске сәйкес келеді?

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Изотермиялық процесс туралы баяндап, Бойль—Мариот заңын тұжырымдаңдар.
2. Изобаралық процесс туралы баяндап, Гей—Люссак заңын тұжырымдаңдар.
3. Изохоралық процесс туралы баяндап, Шарль заңын тұжырымдаңдар.
4. pV , VT , pT диаграммаларында графиктер сызыңдар (изобара, изохора, изотерма).
- *5. Эксперименттік заңдар негізінде және газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуінен Бойль—Мариотт және Гей—Люссак біріккен заңын қорытып шығарыңдар.
- *6. Менделеев—Клапейрон теңдеуін жазыңдар, оның қолданылу саласын, газ күйінің теңдеуімен және газдың кинетикалық теориясының негізгі теңдеуімен байланысын түсіндіріңдер.
7. Дальтон заңын тұжырымдаңдар.
8. Дальтон заңын пайдаланып, массалары мен мольдік массалары сәйкесінше m_1 және M_1 , m_2 және M_2 болатын екі газдың қоспасының мольдік массасын есептеуге қажетті формуланы қорытып шығарыңдар.

Есеп шығару мысалы

Сыйымдылығы 100 л баллонда қысымы $4,9 \cdot 10^5$ Па газ бар. Қалыпты атмосфералық қысымдағы ($1,01 \cdot 10^5$ Па) газ қандай көлемді алады? Температура тұрақты.

Берілгені:

$$V = 100 \text{ л} = 0,1 \text{ м}^3$$

$$p_1 = 4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$p_2 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_2 = ?$$

Шешуі. Изотермалық процесс кезінде Бойль—Мариотт заңы бойынша:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ осыдан } V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2};$$

$$V_2 = \frac{4,9 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 0,1 \text{ м}^3}{1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}} \approx 0,48 \text{ м}^3.$$

Жауабы: $0,48 \text{ м}^3$.

8-жаттығу

1. Ішінде $1,4 \cdot 10^5$ Па қысымдағы газ бар ыдысты көлемі 6 л іші бос ыдыспен жалғайды. Сонда екі ыдыста да $1 \cdot 10^5$ Па қысым тұрақтанады. Бірінші ыдыстың көлемін табындар.
2. Көлемі 10 м^3 ішінде $3 \cdot 10^5$ Па қысымдағы ауа бар ыдысты көлемі 5 м^3 іші бос ыдыспен жалғайды. Ауаның соңғы қысымын есептеңдер.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 19. Термодинамиканың бірінші заңы

Тірек ұғымдар: жылу мөлшері, жұмыс, термодинамиканың бірінші заңы, күй функциясы.

Бүгінгі сабақта:

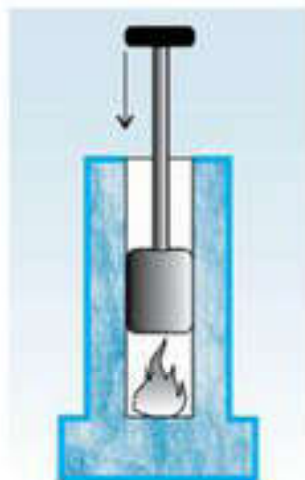
термодинамикалық жүйенің ішкі энергиясын қалай өзгертуге болатынын, энергияның сақталу заңы ретіндегі термодинамиканың бірінші заңының механикалық және жылу энергиясына қатысты мағынасын білесіңдер.

Ішкі энергияны жылу берілу процесі немесе жұмыс істеу арқылы өзгертуге болатынын сендер білесіңдер. Нақты жағдайда жүйеге энергия берудің екі тәсілі де бір мезгілде жүзеге асады.

Мысалы, ауа тұтатқышымен жасалған тәжірибені еске түсірейік (19.1-сурет). Егер ауа тұтатқышының тұтқасын кенеттен қатты соқсақ, онда цилиндрдегі ауа сығылады. Сыртқы күштің әсері тоқтағаннан кейін ауа ұлғаяды да, поршеньді цилиндрден ұшырып жібереді.

Бұл тәжірибе әртүрлі энергияның өзара түрленуінің мүмкін екенін көрсетеді. Алдымен механикалық энергия сығылған газдың ішкі энергиясына түрленеді, содан кейін газдың ішкі энергиясы поршеньнің ілгерілемелі қозғалысының механикалық энергиясына түрленеді. Осыған ұқсас цилиндр поршенинің астындағы газ белгілі бір жылу мөлшерінің берілуі салдарынан қызады; бұл процестермен бір мезгілде газдың ұлғаюы немесе сығылуы барысында жұмыс жасалады.

Табиғаттағы барлық процестер энергияның сақталу және түрлену заңына бағынатыны белгілі. XIX ғасырдың ортасында неміс ғалымы Р. Майер, ағылшын ғалымы Д. Джоуль мен неміс ғалымы Г. Гельмгольц бір-бірінен тәуелсіз тәжірибелердің нәтижелерін талдап және табиғат құбылыстарын бақылау нәтижесінде энергияның сақталу заңының бар екені туралы жалпылама қорытындыға келді.



19.1-сурет

Энергияның сақталу және айналу заңын еске түсірейік: *денелердің кез келген өзара әсері кезінде табиғатта болатын барлық процестерде энергия жоғалмайды және жоқтан пайда болмайды. Энергия тек қана бір денеден екінші денеге беріледі немесе бір түрден екінші түрге өзгереді.*

Дененің ішкі энергиясының өзгеру процесі де осы заңға сәйкес өтеді.

Ішкі энергияның тек жұмыс істегенде ғана емес, жылу берілу кезінде де өзгеретіні анықталғаннан кейін энергияның сақталу заңын жылу процестеріне де қолдануға болады деген қорытынды жасалды.

Термодинамикалық жүйе бір күйден екінші күйге өткенде оның ішкі энергиясының өзгерісі ΔU жүйеге берілген жылу мөлшері мен сыртқы күштің жасаған жұмысының қосындысына тең және ол осы өту жүзеге асатын тәсілге тәуелсіз болады:

$$\Delta U = Q + A. \quad (19.1)$$

Термодинамикалық жүйе үшін энергияның сақталу және түрлену заңының бұл жалпылама тұжырымдамасы *термодинамиканың бірінші заңы* деп аталады. Сыртқы күштің жүйеде жасайтын A жұмысының орнына термодинамикалық жүйенің сыртқы денеден істейтін A' жұмысы жпні қарастырылады. Бұл жұмыстар модулі бойынша тең, бірақ таңбасы жағынан қарама-қарсы, яғни $A = -A'$ болғандықтан, термодинамиканың бірінші заңын мына түрде жазуға болады:

$$\Delta U = Q - A' \text{ немесе } Q = \Delta U + A'. \quad (19.2)$$

Жүйеге берілген Q жылу мөлшері оның ΔU ішкі энергиясын өзгертуге және жүйенің сыртқы күшке қарсы A' жұмыс жасауына жұмсалады.

Термодинамиканың бірінші заңы жалпы сипатқа ие, сондықтан оны шектеусіз кез келген табиғат құбылыстарына қолдануға болады.

Бұл заңның тарихи тағайындалуы сырттан энергия алмастан және машинаның өз ішінде қандай да бір өзгерісті тудырмастан, шексіз ұзақ пайдалы жұмыс істеуге қабілетті машинаны жасау талабына байланысты болды. Термодинамикада мұндай қиялдағы машинаны *бірінші текті мәңгі қозғалтқыш* (perpetuum mobile I) деп атайды. Мәңгі қозғалтқыш жасауға бағытталған талпыныстың барлығы да сәтсіздікпен аяқталды. Бірінші текті машина жасаудың мүмкін еместігі термодинамиканың бірінші заңынан шығады. Өйткені бұл жағдайда $Q = 0$, онда (19.2) теңдеуіне сәйкес машина өндірген жұмыс тек ішкі энергияның азаюы есебінен ғана жасалады: $A' = -\Delta U$. Ішкі энергия қоры таусылғаннан кейін қозғалтқыш жұмыс істеуін тоқтатады. Осыдан *бірінші текті мәңгі қозғалтқыш жасаудың мүмкін еместігі шығады*, өйткені қандай да бір жүйенің (машинаның) ішкі энергиясының соңғы мәні есебінен шексіз ұзақ жұмыс істеу мүмкін емес.

Жүйе оқшауланған, яғни онда сыртқы күштің жұмысы жоқ ($A = 0$) және ол қоршаған денелермен жылу алмаспайды ($Q = 0$) деп ұйғарайық. Бұл жағдайда термодинамиканың бірінші заңы бойынша ішкі энергияның өзгерісі 0-ге тең, яғни

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0 \text{ немесе } U_1 = U_2.$$

Денелердің оқшауланған жүйесінде ішкі энергия өзгеріссіз қалады (сақталады).

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Энергияның сақталу заңының мағынасы неде?
2. Термодинамиканың бірінші заңы қалай тұжырымдалады? Оның формуласын жазыңдар.
3. Термодинамиканың бірінші заңын қандай жүйелерге қолдануға болады?
4. Қандай машинаны бірінші текті мәңгі қозғалтқыш деп атайды? Неліктен мұндай қозғалтқышты жасау мүмкін емес?
5. Термодинамиканың бірінші заңының формуласына кіретін үш шаманың қайсысы жүйе температурасына тәуелді?
6. Калориметрдегі денелердің арасындағы жылу алмасуға термодинамиканың бірінші заңын пайдаланыңдар.
7. Спиртовка көмегімен судың жылуын термодинамиканың бірінші заңын пайдаланып түсіндіріңдер.
- * 8. Сокқы көмегімен денені қыздыруға болатынын термодинамиканың бірінші заңын қолданып түсіндіріңдер.

Осы тақырыпта негізгі нәтижелердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	---	---

§ 20. Термодинамиканың бірінші заңын термодинамикалық процестерге қолдану

Тірек ұғымдар: изохоралық процесс, изобаралық процесс, изотермиялық процесс, адиабаталық процесс.

Бүгінгі сабақта: термодинамиканың бірінші заңын әртүрлі изопроцестерге қолдануды үйренесіңдер.

Термодинамиканың бірінші заңы энергетикалық көзқарас тұрғысынан газдардағы термодинамикалық процестерді қарастыруға мүмкіндік береді. Идеал газдағы сендерге белгілі изопроцестке мысал ретінде ішкі энергияның өзгерісін қарастырайық. *Идеал газдың ішкі энергиясы қозғалыстағы молекулалардың кинетикалық энергиясы өзінің және бұл энергияның газ температурасымен анықталатынын білеміз.* Идеал газ үшін бөлшектердің өзара әсерлесуінің потенциалдық энергиясы ескерілмейді.

Изотермиялық процесс — тұрақты температурада, яғни $T = \text{const}$ кезіндегі газдың бір күйден екінші күйге өту процесі (газдың изотермиялық ұлғаюы немесе сығылуы (20.1-сурет). Олай болса, газдың ішкі энергиясы да тұрақты $U = \text{const}$ күйде қалады, ал $\Delta U = 0$, онда ($E_k + E_p = \text{const}$) теңдеуі мына түрде болады:

$$Q_T = A'_T \quad (20.1)$$

(Төменгі индекс процестің $T = \text{const}$ кезінде өтетінін білдіреді.)

Термодинамиканың бірінші заңының негізінде *изотермиялық процессте газға берілген барлық жылу мөлшері газдың сыртқы күштерге қарсы жасаған жұмысына тең болады.*

Изохоралық процесс — тұрақты көлемде, яғни $V = \text{const}$ кезіндегі газдың бір күйден екінші күйге өту процесі. Егер жабық тұрған цилиндр ішіндегі газды қыздырсак, онда ол сыртқы денелермен жұмыс істей алмайды, яғни $A' = 0$. Термодинамиканың бірінші заңы бойынша $Q = \Delta U + A'$. *Изохоралық процессте $V = \text{const}$ және $A' = 0$ болғандықтан, газға берілген барлық жылу мөлшері оның ішкі энергиясының артуына жұмсалады :*

$$Q_V = \Delta U_V \quad (20.2)$$

Изобаралық процесс — тұрақты қысымда, яғни $p = \text{const}$ кезіндегі газдың бір күйден екінші күйге өту процесі.

Поршень ішіндегі газға Q_p жылу мөлшерін бергенде, оның изобаралық ұлғаю процесі болады. Термодинамиканың бірінші заңы бойынша **изобаралық процессте** ($p = \text{const}$) *газға берілген жылу мөлшері оның ΔU_p ішкі энергиясының артуына және поршеньнің орын ауыстыруы кезінде сыртқы күштерге қарсы A' жұмыс істеуге жұмсалады:*

$$Q_p = \Delta U_p + A' \quad (20.3)$$

Температураның жоғарылауы ішкі энергияның артуын айғақтайды.

Изобаралық ұлғаю кезіндегі жұмысты қарастырайық. Газдың ұлғаюы $p = \text{const}$ кезінде болатындықтан, $F = p \cdot S$ қысым күші де тұрақты болып қалады. Поршеньді $\Delta h = h_2 - h_1$ биіктікке көтерген кезде газдың жұмысы $A' = F \cdot \Delta h$ болады. Оған қысым күшінің формуласын қойып, мына өрнекті аламыз:

$$A' = p \cdot S \cdot \Delta h = pS(h_2 - h_1).$$

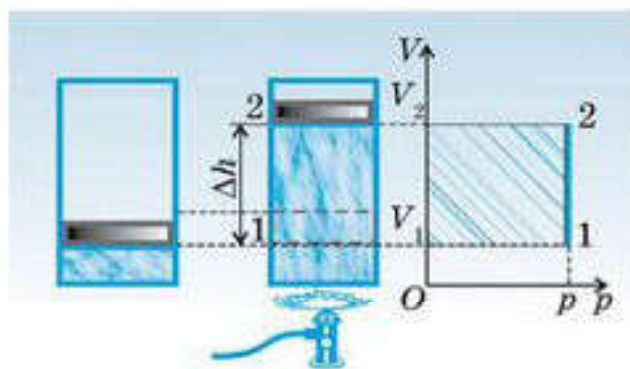
Бірақ $S \cdot \Delta h$ көбейтіндісі газ көлемінің өзгерісіне тең:

$$\Delta V = V_2 - V_1.$$

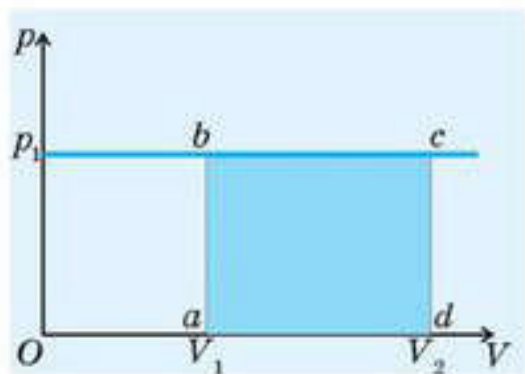
Сондықтан

$$A' = p\Delta V = p(V_2 - V_1). \quad (20.4)$$

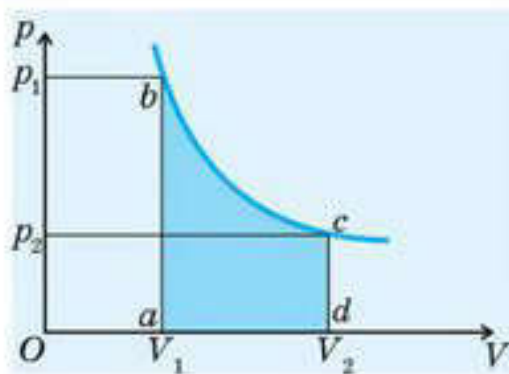
Изобаралық ұлғаю кезіндегі газдың жұмысы газ қысымын оның көлемінің өзгерісіне көбейткенге тең. Изобаралық процесс кезіндегі газдың жұмысы pV координаталарындағы изобарамен, сонымен қатар бастапқы және соңғы көлемнің ординаталарымен шектелген тіктөртбұрыштың штрихталған ауданына тең (20.1-сурет).



20.1-сурет



a



б

20.2-сурет

Жұмыстың алгебралық есептелуі күрделі болғанмен, оны графиктік түрде есептеу оңай. Кез келген процестегі газдың жұмысы сол процестің (pV координаталарында) bc графигімен, V осі және V_1 мен V_2 мәндері арқылы тігінен алынған түзулермен шектелген ауданға тең (20.2, a, б-суреттер).

Адиабаталық процесс. Термодинамикада изобаралық, изохоралық және изотермиялық процестерден өзге, адиабаталық процестер де жиі қарастырылады.

Адиабаталық процесс деп термодинамикалық жүйеде қоршаған денелермен жылу алмасу болмаған кезде, яғни $Q = 0$ шарты орындалған жағдайда өтетін процесті айтады. Қоршаған ортамен жылу алмасудың болмауы газдың жылудан жақсы окшаулануы жағдайында қамтамасыз етілуі мүмкін. Егер газ көлемінің өзгеруі болған уақыт газ бен қоршаған денелер арасындағы жылулық тепе-теңдіктің орнауына қажетті уақыттан анағұрлым аз болса, газдың шапшаң ұлғаю немесе сығылу процестері жылудан окшаулану болмаған кезде де адиабаталық процеске жақын болуы мүмкін.



20.3-сурет

Ауа оттығының цилиндріндегі, іштен жану қозғалтқышының цилиндріндегі ауаны сығу процестері адиабаталық процестің мысалы бола алады. Термодинамиканың бірінші заңына сәйкес, адиабаталық сығу кезінде газдың ішкі энергиясының өзгерісі ΔU сыртқы күштердің жұмысына A тең:

$$\Delta U = A. \quad (20.5)$$

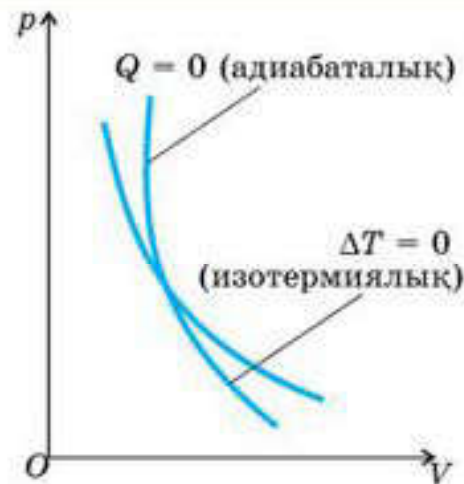
Сығу кезінде сыртқы күштердің жұмысы оң болатындықтан, адиабаталық сығу кезінде газдың ішкі энергиясы және оның температурасы артады.

Адиабаталық ұлғаю кезінде газ өзінің ішкі энергиясын азайту есебінен A' жұмыс атқарады:

$$\Delta U = -A', \quad (20.6)$$

сондықтан газдың температурасы адиабаталық ұлғаю кезінде төмендейді. Оны келесі тәжірибеден

байқауға болады. Егер ішінде буы бар құтыға сорғы арқылы ауа үрлесек, онда оның аузындағы тығын ұшып шығады (20.3-сурет). Тығынды ітеріп шығару үшін A' жұмысты ауа өзінің ішкі энергиясын азайту есебінен атқарады, өйткені ауаның ұлғаюы өте аз уақыт ішінде өтеді және қоршаған ортамен жылу алмасу болып үлгермейді. Тұман тамшыларының түзілуі ауаның адиабаталық ұлғаюы кезінде оның температурасының төмендегенін және шық нүктесінен төмен түскенін дәлелдейді.



20.4-сурет

Адиабаталық процестің графигі. Адиабаталық сығу кезінде газдың температурасы жоғарылайды, яғни көлемнің азаюымен газдың қысымы изотермиялық процеске қарағанда шапшаңырақ артады. Адиабаталық ұлғаю кезінде газ температурасының төмендеуі газ қысымының изотермиялық ұлғаюға қарағанда шапшаң азаюына алып келеді. Адиабаталық процестің pV координаталар осьтеріндегі графигі 20.4-суретте көрсетілген. Осы суретте салыстыру үшін изотермиялық процестің графигі де келтірілген.

Біз термодинамиканың бірінші заңы абсолют дәл орындалатын және қолданылатын идеал газдың ұлғаюы немесе сығылуының әртүрлі термодинамикалық процестерін қарастырдық. Алынған заңдылықтар осындай процестер болуы мүмкін кез келген басқа термодинамикалық жүйелер үшін де дұрыс.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Изотермиялық процесс кезінде идеал газдың ішкі энергиясы қалай өзгереді? Неге?
2. Газ күйі изохоралық өзгерсе, газ жұмыс жасай ма?
3. Изохоралық процесс кезінде идеал газдың ішкі энергиясының өзгеруі мен оған берілген жылу мөлшерінің арасында қандай байланыс бар?
4. Газ күйі өзгерісінің изобаралық процесі үшін термодинамиканың бірінші заңының формуласын жазыңдар.
5. Изобаралық сығылуда идеал газдың ішкі энергиясы қалай өзгереді?
6. Изобаралық ұлғаюда газдың істейтін жұмысын есептендер.
7. Изобаралық ұлғаюда сыртқы күштерге қарсы істелетін газдың жұмысы график түрінде қалай өрнектеледі? Сығылуда ше?
- *8. Изотермиялық ұлғаюда газ жұмысын график түрінде қалай есептеуге болады? Сыртқы күштермен изотермиялық сығылу кезінде ше?
- *9. Газдың бастапқы күйі p_1 және V_1 параметрлермен сипатталады. V_2 көлемге жететін ұлғаю кезінде изотермиялық не изобаралық газдың қайсысы көп жұмыс орындайшы?
10. Адиабаталық процесс туралы баянлаңдар.

Осы тақырыпта негізгі мәңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындалды?
---	---	--

§ 21. Табиғаттағы жылу процестерінің қайтымсыздығы. Термодинамиканың екінші заңы

Тірек ұғымдар: қайтымды және қайтымсыз процестер, термодинамиканың екінші заңы.

Бүгінгі сабақта: термодинамиканың бірінші және екінші заңдарының көмегімен жылулық процестерді түсіндіруді үйренесіңдер.

Жоғарыда айтылғандай, *термодинамиканың бірінші заңы* — бұл жылу құбылыстарына таралған энергияның сақталу және түрлену заңы. Ол ішкі энергия өзгерісінің қандай себептерге тәуелді екенін көрсетеді. Бұл заңның мәнісі ішкі энергия өзгерісінің процеске немесе тәсілге тәуелді емес екенін, жүйенің бастапқы және соңғы күйлерімен анықталатынын растайды.

Алайда бақылаулар мен тәжірибелер термодинамиканың бірінші заңы қажетті шарт бола тұра, әлі де барлық процестердің жеткілікті шарты бола алмайтынын көрсетеді. Ол энергияның сақталу заңын растайтын термодинамикалық процестер қай бағытта өте алатынына, сол энергетикалық түрленулердің мүмкін екеніне ешқандай нұсқаулар бермейді. Термодинамиканың бірінші заңы тұрғысынан энергия мөлшері өзгермейтін кез келген процестің болуы мүмкін. Шындығында, көптеген тәжірибелік деректер макроскопиялық жүйелерде жүретін энергетикалық түрлендірудің мүмкін болатын бағыттарына шектеу қояды. Осыны мысалдармен түсіндірейік.

Температуралары әртүрлі T_1 және T_2 екі денені жылулық жанастырсақ, денелер арасында жылулық тепе-теңдік орнайды, яғни энергияның бір бөлігі температурасы жоғары денеден температурасы төмен денеге өтеді. Егер толық ішкі энергия өзгермеген жағдайда жылу температурасы төмен денеден (суық денеден) температурасы жоғары денеге (ыстық денеге) берілуін термодинамиканың бірінші заңы теріске шығармайды. Іс жүзінде жылу өздігінен тек бір бағытта — ыстық денеден суық денеге ғана беріле алады.

Мысалы, тас біршама биіктіктен жерге түскенде тастың потенциалдық энергиясы кинетикалық энергияға айналады да, жерге құлаған соң ол энергия тастың және оны қоршаған денелердің ішкі энергиясына түрленеді. Бірақ кері процесс термодинамиканың бірінші заңына қарама-қайшылық туғызбас еді: егер жерде жатқан тасқа

қоршаған денелерден біршама жылу мөлшері берілсе, нәтижесінде тас бұрынғы биіктігіне көтерілген болар еді.

Осы және осыған ұқсас мысалдар (жылудың ыстық денеден салқын денеге берілуі, механикалық энергияның ішкі энергияға түрленуі, вакуумдағы газдың ұлғаюы және т.б.) ішкі энергияның басқа энергияға түрленуіне белгілі бір шектеулердің бар екенін растайды. Бұл шектеу мынаған саяды: *ішкі энергия, қандай жағдай болса да, толық энергияның басқа түріне өзгермейді.*

Табиғаттағы процестердің өту бағыты осы шектеуге байланысты. Табиғаттағы барлық процестер тек бір бағытта ғана өтеді. Олар өздігінен кері бағытта өте алмайды, демек, *табиғаттағы барлық процестер қайтымсыз.*

Егер процесс қоршаған ортада қандай да бір өзгеріс тудырмай, жүйені өздігінен алғашқы күйіне қайта оралу мүмкіндігінен айырса, ондай процесс қайтымсыз процесс деп аталады.

Жоғарыда қарастырылған идеал газдағы барлық процестер, яғни изотермиялық, изохоралық, изобаралық және адиабаталық процестер қайтымсыз процестердің мысалы болып саналады. Бұл, ең алдымен, жылу берілу процестері. Газдың ұлғаюы да қайтымсыз процесс, себебі оған кері процесс, демек, өздігінен сығылу мүмкін емес. Үйкеліспен өтетін табиғаттағы және техникадағы барлық нақты процестер қайтымсыз процестер болып табылады.

Табиғаттағы процестердің қайтымсыздығы туралы тұжырым, яғни табиғи процестердің бағытын нұсқайтын әрі энергия түрленулерінің мүмкін бағыттарына шектеулер қоятын тұжырым *термодинамиканың екінші заңы* деп аталатын табиғаттың іргелі заңы болып табылады. Бұл заң көптеген тәжірибелік деректердің жалпы қорытындысы және постулат ретінде қабылданады. Термодинамиканың екінші заңы табиғаттағы жылулық процестердің қайтымсыздығымен тікелей байланысты болғандықтан, ол мына түрде тұжырымдалады: *жылу алмасу жолымен суық денеден ыстық денеге нәтижесі тек қана энергия берілу болып табылатын процестің жүруі мүмкін емес.*

Бұл заңды осындай тұжырымдамамен алғаш рет неміс ғалымы Р. Клаузиус айтқан болатын.

Термодинамиканың екінші заңының бірнеше классикалық тұжырымдамалары бар. Екінші тұжырымдаманы ағылшын ғалымы У. Кельвин ұсынды (1851 ж.). Бұл заң ішкі энергияның механикалық энергияға түрленуіне шектеу қоятынын білдіреді. Ол былай түсіндіріледі: *жылытқыштан, яғни энергия көзінен алынған барлық жылу мөлшерін*



Рудольф Юлиус
Эмануэль Клаузиус
(1822—1888)

механикалық жұмысқа түрлендіретін әрі периодты түрде әсер ететін жылу машинасын жасау мүмкін емес.

Мұндай ұйғарымға кері жағдайда қиялдағы машина — екінші текті мәңгі қозғалтқыш (*perpetuum mobile II*) шектеусіз энергия қорының есебінен мәңгі әрі үздіксіз жұмыс істейтін болар еді. Алайда термодинамиканың екінші заңы бұндай машинаны жасау мүмкіндігіне тыйым салады, сондықтан термодинамиканың екінші заңын көбіне төмендегідей тұжырымдайды: *екінші текті мәңгі қозғалтқыштың болуы мүмкін емес.*

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Термодинамиканың бірінші заңының мәні неде? Термодинамиканың бірінші заңының негізінде термодинамикалық процестердің бағытын анықтауға бола ма?
2. Қандай процестер қайтымсыз болып саналады?
- *3. Қайтымсыз процестерге мысалдар келтіріңдер. Олардың себебін түсіндіріңдер.
4. Екінші текті мәңгі қозғалтқыш деген не?
5. Термодинамиканың екінші заңының тұжырымын беріңдер.
6. Термодинамиканың екінші заңының мәні неде?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 22. Жылу қозғалтқыштары

Тірек ұғымдар: жылу қозғалтқышы, циклдік процесс, жылу қозғалтқышының ПӘК, Карно циклі.

Бүгінгі сабақта:

жылу қозғалтқышының жұмыс істеу принципімен танысасыңдар; жылу қозғалтқышының ПӘК тек қыздырғыш пен суытқыш температуралары арқылы анықталатынын білесіңдер; жылу қозғалтқышының ПӘК есептеуді үйренесіңдер.

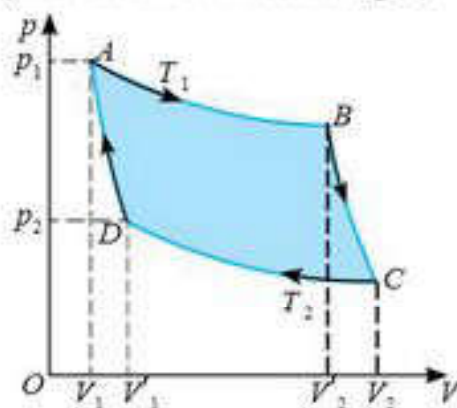
Жылу машиналары теориясында негізгі рөлді термодинамиканың екінші заңы атқарады. *Жүйенің ішкі энергиясының белгілі бір бөлігін механикалық энергияға түрлендіретін және оның есебінен жұмыс істейтін қондырғылар жылу машиналары немесе жылу қозғалтқыштары деп аталады.* Жылу машиналарына бу машиналары, бу турбиналары, іштен жану қозғалтқыштары, реактивті қозғалтқыштар жатады. Олардың барлығы қазіргі заманғы пайдаланылатын жылу қозғалтқыштарының үш түрін құрайды: *турбиналы, поршеньді және реактивті*. Мысалы, көліктерде және ауыл шаруашылығында пор-

шенді іштен жану қозғалтқыштары пайдаланылады. Ұшақтарда, теңіз кемелерінде, локомотивтерде газ турбиналары пайдаланылады. Бу турбиналары жылу электрстанцияларында жетекші қозғалтқыш болып саналады. Реактивті қозғалтқыштар зымырандар мен ұшақтарда пайдаланылады.

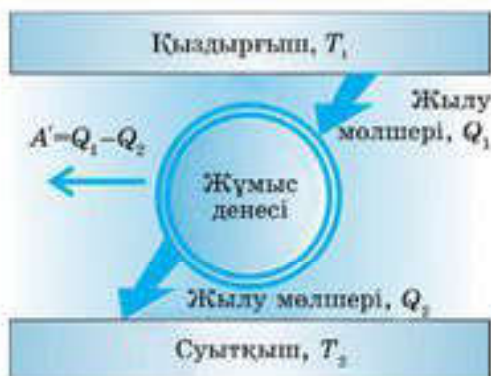
Жұмыс істейтін әрбір машина негізгі үш бөліктен: *қыздырғыштан*, *жұмыс денесінен* және *суытқыштан* тұратынын 9-сынып физика курсынан білесіңдер. Барлық жылу қозғалтқыштарының жұмыс денесі, қыздырғанда ұлғаятын газ, турбина біліктерін айналдыру, поршеньді және т.б. қозғау арқылы жұмыс істейді. Қозғалтқыштың өзінің ішінде отынның жануы есебінен газ және бу жоғары T_1 температураға дейін қыздырылады. T_1 температураны *қыздырғыштың температурасы* деп атайды. Жұмыс денесі қыздырғыштан біршама Q_1 жылу мөлшерін алып, оның белгілі бір бөлігін механикалық энергияға түрлендіру арқылы A жұмыс істейді. Жұмыс істеу нәтижесінде газ өзінің энергиясын жоғалтады, ал қалған Q_2 жылу мөлшерін суытқышқа бере отырып, T_2 температураға дейін салқындайды. Қоршаған ортаның температурасынан біршама жоғары бұл T_2 температура *суытқыш температурасы* деп аталады. Атмосфера және басқа арнайы салқындатқыш құралдар суытқыш болып саналады. Сонымен, қозғалтқыштағы жұмыс денесі газ есебінен ұлғаю кезінде өзінің барлық ішкі энергиясын жұмыс істеуге бере алмайды, өйткені бұл энергияның белгілі бір бөлігі суытқышқа беріліп, кері өту процесі жүрмейді. Осы тұжырымды Кельвин ұсынған термодинамиканың екінші заңы да дәлелдейді.

Газ жұмысты әрі қарай жалғастыруы үшін оны өте үлкен ішкі энергияға ие болатын бастапқы калпына келетіндей етіп сығады. Осылайша газдың ұлғаю және сығылу процестері қайталана алады. *Газды бастапқы күйіне қайтаратын отырбатын газ күйі өзгерістерінің жиынтығын периодты түрде қайталанатын немесе дөңгелек цикл (процесс) деп атайды.*

22.1-суретте көрсетілген pV координаталар жүйесінде V_2 көлем мен p_2 қысымға дейінгі газдың изотермиялық ұлғаю (AB және BC сызықтары) және алғашқы V_1 көлемге дейінгі сығылу (CD және AD сызықтары) процестері графиктік түрде кескінделген. Газдың ұлғаю кезіндегі жұмысының сан мәні $AB V_2' V_1$ фигурасының ауданына тең және оң жұмыс істейді (өйткені $\Delta V > 0$). Газ сығылғандағы жасалған жұмыс теріс таңбалы (өйткені $\Delta V < 0$) және оның сан мәні $CD V_1' V_2$ фигурасының ауданына тең. Осы цикл ішіндегі пайдалы жұмыстың сан мәні (22.1-суретте боялған



22.1-сурет



22.2-сурет

бөлік) AB және CD қисықтарының арасындағы қоршалған аудандардың айырымына тең.

Сонымен, циклдік процесс кезінде пайдалы механикалық жұмыс істеу үшін ұлғаюдағы жұмыстық дененің (газдың) температурасы оның сығылуына карағанда жоғары болуы тиіс. Бұл газдың қыздырғыштан алған Q_1 жылу мөлшері сығылу кезінде суытқышқа берген Q_2 жылу мөлшерінен көп болуы тиіс дегенді білдіреді.

Қыздырғыштан алынған Q_1 жылу мөлшерінің барлығы жұмыс істеуге жұмсалмайды. Өйткені жылу мөлшерінің Q_2 бөлігі суытқышқа беріледі, сонда пайдалы жұмыс, газдың ұлғаюына берілетін жылу мөлшері мен оны сығу кезінде алынатын жылу мөлшерінің айырымына тең:

$$A' = Q_1 - Q_2. \quad (22.1)$$

22.2-суретте жылу қозғалтқыштарының принципті сұлбасы кескінделген.

Циклдің тиімділігін сипаттау үшін ішкі энергияны механикалық энергияға түрлендіретін жылу машинасының *пайдалы әсер коэффициенті* (ПӘК) енгізіледі.

1824 жылы француз инженері Сади Карно жылу машинасының максимал мүмкін болатын ПӘК мына формуламен анықталатынын көрсетті:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%. \quad (22.2)$$

Жылу қозғалтқышының пайдалы әсер коэффициенті деп қозғалтқыштың атқарған $A = Q_1 - Q_2$ жұмысының қыздырғыштан алған Q_1 жылу мөлшеріне қатынасын айтады.

Нақты жағдайларда Q_1 мен Q_2 шамаларын өлшеу іс жүзінде мүмкін болмағандықтан, (22.1) формуланың тек теориялық мәні ғана бар. Алайда Карно Q_2 басқа жылу шығыны ескерілмейтін идеал қозғалтқыш үшін ПӘК тек қыздырғыштың T_1 температурасы мен суытқыштың T_2 температурасына ғана тәуелді екенін және мына формула бойынша есептелетінін дәлелдеді:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (22.3)$$



Никола Леонард
Сади Карно
(1796—1832)

(22.3) формуладан егер қыздырғыштың T_1 температурасын максимал жоғарылатсақ және суытқыштың T_2 температурасын максимал төмендетсек, жылу машинасының ПӘК артаыны көрінеді. Осы бағытта жылу қозғалтқыштарын жетілдіру жүргізілді. Қолданыста пайдаланылатын жылу қозғалтқыштарының ПӘК максимал мүмкіндіктен айтарлықтай аз.

22.1-кестеде жылу машиналарының бірнеше типтері, олардың ПӘК, қыздырғыш пен суытқыштың температурасы ретінде қабылданатын температуралардың жуық мәндері көрсетілген. Нақты машиналардағы ПӘК мәні идеал машиналардағы ПӘК мәнінен айтарлықтай төмен екені 22.1-кестеден көруге болады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Қандай машиналар жылу машиналары деп аталады? Жылу машиналарына мысалдар келтіріңдер.
2. Күнделікті тұрмыстан механикалық энергияны ішкі энергияға түрлендіруді бейнелейтін мысалдар келтіріңдер.
3. Кез келген жылу қозғалтқыштарының негізгі бөліктерін атаңдар. Қозғалтқыштың жұмыс істеу принципінің сұлбасы қандай?
4. Дөңгелек процесс немесе цикл деген не?
5. Карно циклі қандай процестерден тұрады?
- *6. Жұмыстық денеге берілген барлық жылу мөлшері механикалық энергияға түрлене алатындай циклі жүзеге асыруға бола ма?
7. Жылу машинасының ПӘК деген не?
8. Жылу машинасының максимал ПӘК неге тең?
9. Жылу машиналарының ПӘК арттыру жолдарын көрсетіңдер.
- *10. Неліктен іштен жану қозғалтқыштары бу машиналарын ығыстырды?
- *11. Карбюраторлы қозғалтқышпен салыстырғанда дизельді қозғалтқыштардың артықшылығы неде (22.1-кесте)?

22.1- кесте

Жылу машинасы	Жұмыс денесі	Қыздырғыштың температурасы T_1 , К	Суытқыштың температурасы T_2 , К	ПӘК η_{max} , %	Машинаның ПӘК, %
Поршеньді бу машинасы	Бу	480	300	37	7—15
Бу турбинасы	Бу	850	380	55	20—25
Дизель	Жанған отынның қалдығы	2100	380	82	30—39
Карбюраторлы қозғалтқыш	Жанған отынның қалдығы	2100	380	82	18—24

Осы тақырыпта негізгі мәселелер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындалды?
---	---	--

§ 23. Жылу қозғалтқыштарының рөлі және қоршаған ортаны қорғау

Тірек ұғымдар: қоршаған ортаның ластануы, жылыжай эффектісі.

Бүгінгі сабақта: жылу қозғалтқыштарын пайдаланудан туындайтын экологиялық мәселелерді білесіңдер.

Ауыл шаруашылығы мен өндірісте жылу қозғалтқыштарының рөлі айтарлықтай маңызды. Жылу қозғалтқыштары ауыл шаруашылығы мен өндірістің барлық салаларының дамуын жүзеге асыратын жылу электрстанцияларында кеңінен пайдаланылады. Мысалы, адамзат пайдаланатын барлық электр энергиясының 80—85%-ына жуығын өндіретін жылу электрстанцияларында, негізінен, қуатты бу және газ турбиналары қолданылады.

Қазіргі заманғы көлікті жылу қозғалтқышсыз елестету мүмкін емес. Дизельдік қондырғылары мен электрлік тасымалы бар қуатты жылу машиналары және жылу кемелері сәйкесінше теміржол арнасы және су жолдары арқылы жүк жеткізеді. Іштен жану қозғалтқыштары бар миллиондаған автокөліктерде жолаушылар мен жүктерді тасиды. Авиацияда ұшақтар мен тікұшақтарда поршеньді қозғалтқыштар орнатылады, ал алып әуе кемесі турбобұрамалы және турбореактивті қозғалтқыштармен жабдықталған. Зымырандық қозғалтқыштар жәрдемімен жасанды серіктерді, ғарыштық зымырандарды ұшыру жүзеге асырылады. Ауыл шаруашылығында өндірістік процестерді механикаландыру үшін іштен жану қозғалтқыштары кеңінен пайдаланылады. Оларды тракторларға, комбайндарға, сорғыш құралдарға және т.б. орнатады.

Сонымен бірге экономикалық мәселелерді шеше отырып, адамзат тіршілік ететін қоршаған ортаға жылу қозғалтқыштарының тигізетін әсерін де ұмытуға болмайды. Энергетикалық қуаттардың үнемі артуы, көліктердің алуан түрінің дамуы, көмір, мұнай, газды өнеркәсіпте тұтынудың өсуі соншалық, Жер шарының жеке аудандарында, тіпті ғаламшар ауқымында іштен жану өнімдерінің зиянды қалдықтарынан табиғатты қорғау проблемасы күрделене түсуде. Суқоймалары мен атмосфераның ластануы ерекше наразылық тудырады. Жылу машиналарының қоршаған ортаға теріс ықпалы әртүрлі факторлардың әсерімен байланысты.

Жылу машиналарында отынды жағу арқылы атмосферадағы оттектің үлкен мөлшері ластанады, нәтижесінде оның ауадағы мөлшері азаяды. Алуан түрлі отын жанғанда жасыл өсімдіктер өндіретін оттектің 10—25%-ы жойылады. Тек бір ғана реактивті әуе кемесі 5 сағ ұшу үшін ғана 45 т оттек жұмсайды.

Жылу машиналары тек оттекті жандырып қана қоймай, атмосфераға баламалы көмірқышқыл газын (көміртек оксидін) шығарады. Жыл сайын қазіргі уақытта отынның жануы салдарынан Жер атмосферасына қосымша 200 млн т көмірқышқыл газы қосылады да, оның атмосферадағы концентрациясын арттырады. Көміртек оксиді молекулаларының Жердің инфрақызыл (жылулық) сәулесін жұтуға қабілеттілігі және көмірқышқыл газының одан әрі артуы *жылыжай эффектісін* тудырып, атмосфера температурасын көтереді.

Өнеркәсіптік мекемелердің (қазандық пештерінде), жылу электростанцияларында, жылу қозғалтқыштарында отынның барлық түрі толығымен жанбағандықтан, атмосфера күлмен, көмір қалдықтарымен, күкірт тотықтарымен және басқа газ қалдықтарымен ластанады. Атмосфераға шығарылған жанудың улы өнімдері адамдарға, жануарлар мен өсімдіктер дүниесіне зиянды әсер етеді. Бүкіл әлемде қазіргі энергетикалық қондырғылар жыл сайын атмосфераға 150 млн т күкірт (IV) оксидін, 50 млн жуық азот (II) оксидін, 70 млн шаршы метр қорғасын мен басқа металдардың қосылыстарын шығарады. Атмосфераның ластануына ерекше қауіп төндіретін сан шамасы күрт өсіп келе жатқан автокөлік болып табылады.

Толық жанбаған өнімдердегі кейбір қосылыстар (CO_2 , SO_2 , H_2S және басқалар) атмосферадағы су буларымен химиялық реакцияға түседі. Нәтижесінде қышқыл ертінділерінің ұсақ тамшылары алыс қашықтыққа тасымалданып, қышқыл жаңбыр деп аталатын жауын түрінде Жер бетіне түседі. Қышқыл жаңбыр адамдардың денсаулығына, жануарлар мен өсімдіктер дүниесіне, топыраққа, суқоймаларына, құрылыстарға зиян келтіреді.

Өнеркәсібі дамыған барлық елдерде соңғы уақытта қоршаған ортаны қорғауға үлкен назар аудара бастады. Осыған байланысты ауадағы ластануды төмендетуге және толық жоюға бағытталған жұмыстар жүргізілуде. Соның ішіндегі негізгі шараларға ластану өнімдерін атмосфераға шығаруды болдырмау жатады. Ол үшін отынның толық жануын қамтамасыз ету, бөлінген газдарды мұқият тазартудан өткізу, сондай-ақ толық жағылатын аса таза отынды іздестіру бойынша жұмыстар жүргізіледі.

Егер іштен жану қозғалтқыштарының ыстық қоспаларына сутек үстемелесе, онда отын толық жануы мүмкін. Отын ретінде сутекті қолдану мүмкіндігінің болашағы зор деп есептеледі, өйткені сутекті қозғалтқыштың жану өнімі кәдімгі су болып табылады.

Жанатын газдармен және олардың өнімдерімен ауаның ластануын азайту үшін қарқынды жұмыстар жүргізілуде. Осы мақсатта қозғалтқыштарға арнайы сүзгілер мен катализаторлар орнатылады. Барлық жұмыс істеп тұрған жылу орталықтары мен жылу электр-станцияларындағы құралдарға газ тазалағыш және шаң-тозанды ұстағыш жабдықтар орнатылады. Жылу станцияларын тиімді орналастыру шаралары қарастырылып, оларды қаладан тысқары орналастырады және айналасы көгалдандырылған жасыл аймақ жасайды.

Әрбір адам қоршаған ортаны қорғауға үлес қосуы тиіс. Әркім шамасы келгенше өндірісте және тұрмыста энергияны үнемдеуге ат салысуы керек, яғни электр құралдарын қосылған күйінде қалдыруға, ғимаратты жылытқанда пайдасыз шығындауға болмайды.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Жылу қозғалтқыштары қолданылатын салаларды атаңдар. Мысал келтіріңдер.
2. Жылу қозғалтқыштарының қоршаған орта мен адамға кері әсері қандай?
3. Жылу машиналарының жұмысы кезінде атмосфераның шамадан тыс ысуы неге қауіпті?
- *4. Жылу машиналарын пайдалануға байланысты экологиялық мәселені шешудің жолдары қандай?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Газдалған су алу үшін су арқылы сығылған көмірқышқыл газды өткізеді. Неліктен сол кезде судың температурасы төмендейді?

Шешуі. Көмірқышқыл газының судағы көпіршіктерінің ұлғаюын жуықтап адиабаталық процесс деп есептеуге болады. Сондықтан жеке көпіршік үшін термодинамиканың бірінші заңы мына түрде болады:

$$0 = DU + pDV$$

және ішкі энергия, демек, газдың температурасы да, көпіршіктің көлемі ұлғайған сайын азаяды.

2-есеп. Идеал жылу машинасының қыздырғышының температурасы 117°C , ал суытқышта 27°C . Машинаның қыздырғыштан 1 с ішінде алатын жылу мөлшері 60 кДж тең. Машинаның ПӘК, 1 с ішінде суытқышқа берілетін жылу мөлшерін және машинаның қуатын табу керек.

Шешуі. Идеал жылу машинасының ПӘК максимал және Карно циклінің ПӘК тең:

$$\eta = \eta_{\text{к}} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

мұндағы T_1 және T_2 — сәйкес қыздырғыш пен суытқыштың температуралары. Жылу машинасының ПӘК қыздырғыштан алынған жылу мөлшері және суытқышқа берілген жылу мөлшерімен

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

формуласы арқылы анықталады. Демек, 1 с ішінде суытқышқа берілетін жылу мөлшері

$$Q_2 = Q_1(1 - \eta)$$

катынасымен есептеледі, мұндағы Q_1 — 1 с ішінде қыздырғыштан алынған жылу мөлшері. Машинаның N қуаты жұмыс денесінің 1 с ішінде атқарған A жұмысына тең. Идеал жылу машинасы үшін

$$N = A = Q_1 - Q_2, \quad \eta = 1 - \frac{300 \text{ К}}{390 \text{ К}} \approx 0,23;$$

$$Q_2 = 60 \text{ кДж} \cdot 0,77 \approx 46 \text{ кДж};$$

$$N \approx 14 \text{ кДж/с} = 14 \text{ кВт}.$$

Жауабы : $\eta = 23\%$; $Q_2 = 46 \text{ кДж}$; $N = 14 \text{ кВт}$.

9-жаттығу

- Газ күйі өзгерісінің адиабаталық процесі үшін термодинамиканың бірінші заңының формуласын жазыңдар және оған талдау жасаңдар.
- Параграф материалдарын пайдалана отырып, идеал газ күйінің өзгеру процесіне термодинамиканың бірінші заңының қолданылуын сипаттайтын 23.1-кестені толтырыңдар.

23.1- кесте

Газ күйінің өзгеру процесі					
Изотермиялық ұлғаю, T					
Изохоралық қыздыру, V					
Изобаралық ұлғаю, p					
Адиабаталық ұлғаю					

- Неге суытқышсыз жылу қозғалтқыштарын жасау мүмкін емес?
- Теніз, мұхит суларында, атмосфера ауасында үлкен ішкі энергия бар. Осы энергияны қалай пайдалануға болады?
- Қыздырғыш пен суытқыштың температурасы сәйкесінше: а) 600°C және 40°C ; ә) 200°C және 15°C жағдайлары үшін идеал жылу қозғалтқыштарының ПӘК есептеңдер.

Осы тақырыпта негізгі мәліметтеріңізді?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілеріңіз келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	---	---

§ 24. Ауаның ылғалдылығы, шық нүктесі

Тірек ұғымдар: қаныққан бу, қанықпаған бу, қаныққан будың қасиеттері, қанықпаған будың қасиеттері, ауаның салыстырмалы ылғалдылығы, ауаның абсолют ылғалдылығы, шық нүктесі.

Бүгінгі сабақта:

қаныққан және қанықпаған бумен, олардың қасиеттерімен, абсолют және салыстырмалы ылғалдылықтармен танысасыңдар; шашты және конденсациялық гигрометрлердің жұмыс істеу принципін сипаттауды, гигрометр мен психрометрдің көмегімен ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтауды, салыстырмалы ылғалдылықты табуға арналған формуланы пайдалануды үйренесіңдер.

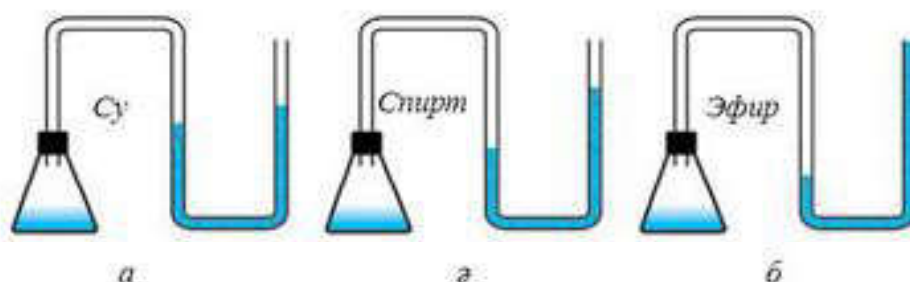
Қаныққан және қанықпаған булар. Егер ыдыстағы сұйықтың ашық беті атмосферамен шектесіп жатса, онда кебу процесі конденсацияға карағанда тезірек жүреді және сұйықтың денгейі уақыт өткен сайын төмендейді. Мұның себебі қозғалыстағы ауа буды алып кетеді де, сұйықтың бетіндегі тығыздық төмендейді.

Тәжірибелер жабық ыдыстағы сұйықтың денгейі уақыт өтуімен өзгермейтінін көрсетеді. Бұл мұндай ыдыста сұйықтың кебу процесі толығынан конденсация процесімен теңесіп отыратынын білдіреді, яғни сұйықтан қанша молекула ұшып шықса, сонша молекула оған кері оралады. Басқаша айтқанда, бұл жағдайда сұйықтың да, оның бетіндегі будың да молекулаларының саны өзгеріссіз қалады, бірақ осы кезде сұйық пен будың арасында молекулалар алмасуы үздіксіз өтіп жатады. Сұйық пен оның буының арасындағы мұндай тепе-теңдікті *жылжымалы немесе динамикалық тепе-теңдік* деп атайды.

Өзінің сұйығымен динамикалық тепе-теңдікте болатын бу кеңістікті қанықтыратын немесе қаныққан бу деп аталады. Булану конденсациядан артық болса, онда сұйықтың бетіндегі бу және сұйық жоқ кездегі бу қанықпаған деп аталады.

Қаныққан будың тығыздығы мен қысымы заттың тегіне тәуелді болатын, болмайтынын білу үшін мынадай тәжірибе жасайық. Манометрлерге қосылған су, спирт және эфир құйылған үш бірдей жабық колба алайық (24.1-сурет).

Жабық колбаларда қысымды ауамен бірге құйылған сұйықтардың қаныққан булары да тудырады. Ең үлкен қысым ішіне эфир құйылған колбада, ал ең аз қысым су құйылған ыдыста. Демек, ең үлкен қысымды тезірек кебетін сұйықтың қаныққан буы тудырады. Осындай тәжірибелерден мынадай қорытындыға келеміз: *меніікті булану жылтуы неғұрлым аз болса, сұйық соғұрлым тезірек кебеді және оның*



24.1-сурет

кеңістікті қанықтыратын буының қысымы мен концентрациясы жоғары болады (осы кезде түрліше сұйықтардың температуралары бірдей болуы тиіс).

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы. Су буының атмосфераның түрлі бөліктеріндегі мөлшері **ауаның ылғалдылығы** деп аталады. Ауаның ылғалдылығын сандық мәндермен сипаттау үшін ауаның абсолют және салыстырмалы ылғалдылығы деген түсініктерді пайдаланады.

Ауаның абсолют ылғалдылығы ауадағы су буының ρ_a тығыздығымен немесе оның p_a қысымымен өлшенеді.

Ауаның ылғалдылығын ауаның салыстырмалы ылғалдылығы ұғымы дәлірек сипаттайды. Ауаның ϕ салыстырмалы ылғалдылығы ρ_a абсолют ылғалдылықтың берілген температура кезінде ауаны қанықтыру үшін қажетті ρ_x су буы тығыздығының қанша пайызын құрайтынын көрсететін санмен өлшенеді:

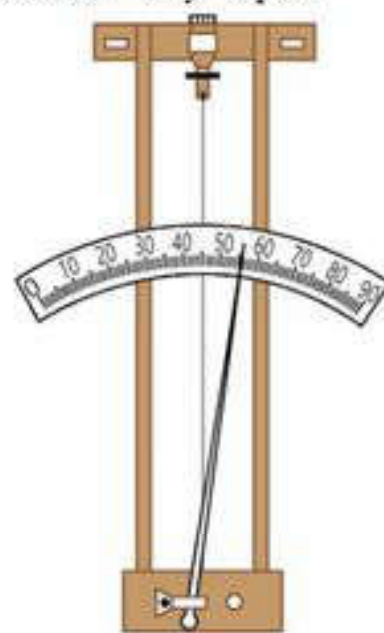
$$\phi = \frac{\rho_a}{\rho_x} \cdot 100\%. \quad (24.1)$$

Сөйтіп, салыстырмалы ылғалдылық тек абсолют ылғалдылықпен емес, сонымен қатар ауаның температурасымен де аныкталады. Салыстырмалы ылғалдылықты есептегенде ρ_a немесе ρ_x мәндерін кестеден алу керек.

Салқындау процесінде ауаның оның өзінде бар су буымен қанығу кезіндегі температурасы **шық нүктесі** деп аталады. Шық нүктесі белгілі болса, ауаның абсолют ылғалдылығын кестеден алады, өйткені ол шық нүктесіндегі қаныққан бу ρ_x тығыздығына тең. Содан кейін осы кестеден ауаның берілген температурасы үшін ρ_a мәнін тауып, (24.1) формула бойынша ϕ салыстырмалы ылғалдылықты есептейді.

Ауаның ылғалдылығын анықтауға арналған құралдардың көпшілігі — **гигрометрлер** (грекше “гигрос” — “ылғалдылық”) және **психрометрлер** (грекше “психриа” — “суық”).

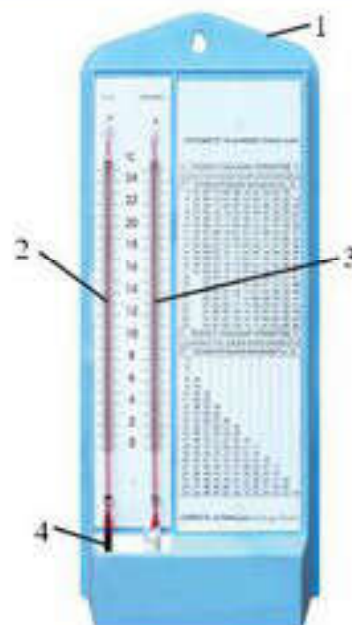
Гигрометр **шашты** (24.2-сурет) және **конденсациялық** (24.3-сурет) деп бөлінеді. Шашты



24.2-сурет



24.3-сурет



24.4-сурет

гигрометрдің жұмыс істеу принципі адам шашының (жыққы жалының) ауа ылғалдылығы артқанда ұзаруына негізделген. Конденсациялық гигрометрдің жұмысы абсолют ылғалдылықтың кестесі бойынша шық нүктесін анықтауға негізделген. Эфир толтырылған ыдысқа ауаны үрлеп енгізу арқылы эфирдің булануына қол жеткізеді. Сонда ыдыс салқындайды да, оның өңделген сыртқы металл бетінде ауаның құрамындағы су буы конденсацияланады, содан кейін (24.1) формула бойынша ауаның салыстырмалы ылғалдылығын есептейді.

Психрометр (2) құрғақ және (3) ылғал екі термометр бекітілген (1) корпустан тұрады (24.4-сурет). Корпусқа суы бар (4) ыдыс бекітілген. (3) термометрдің басы матамен оралып, суы бар ыдысқа батырылған. Су буланған кезде (3) термометр салқындайды. Психрометрлік кестенің көмегімен термометрлер көрсетіп тұрған температуралар айырымы бойынша ауаның ылғалдылығын табуға болады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Қаныққан және қанықпаған буларға анықтама беріндер.
2. Қаныққан будың қандай қасиеттері бар?
3. Қаныққан бу идеал газ заңдарына бағына ма? Түсіндіріндер.
4. Қанықпаған буды сипаттандар.
5. Ауаның абсолют және салыстырмалы ылғалдылығы деген не?
- *6. Гигрометр мен психрометр қалай жұмыс істейді?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туынды?

§ 25. Сұйықтың беттік керілуі

Тірек ұғымдар: сұйықтың беттік қабаты, беттік керілу, беттік керілу күші.

Бүгінгі сабақта:

сұйықтың беттік керілу құбылысының табиғатын түсіндіруді үйренесіңдер.

Сұйықтың беттік қабаты. Сұйықтың ішіндегі молекулалық күштер әсерінің сұйықтың бетіндегі әсерінен қандай айырмашылығы бар екенін қарастырайық.

Молекулалық күштердің сұйықтың ішіндегі M_1 молекулаға түсірілген тең әсерлі күшінің орташа мәні нөлге жуық (25.1-сурет).

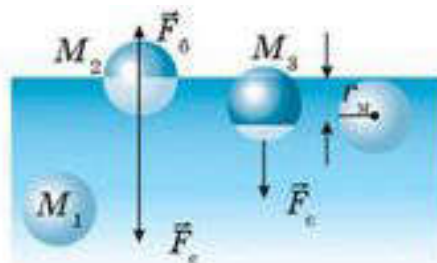
Осы тең әсерлі күштің кездейсоқ ауытқулары

M_1 молекуланы сұйық ішінде тек хаосты түрде қозғалуға ғана мәжбүр ете алады. Сұйықтың беттік қабатында орналасқан M_2 және M_3 молекулалардың жағдайы басқаша.

Молекулалардың төңірегінде r_m радиуспен молекулалық әсер сферасын сызайық (шамамен 10^{-9} м). Сонда M_2 молекула үшін төменгі жарты сферада жоғары жарты сфераға қарағанда молекулалар саны көп, өйткені төменде сұйық, ал жоғарыда бу мен ауа ғана. Сондықтан M_2 молекула үшін молекулалық тартылыс күштерінің тең әсерлісі F_c төменгі жарты сферада жоғары жарты сферадағы молекулалық күштердің F_0 тең әсерлісінен артық болады. F_0 күші ескермеуге болатындай аз. M_3 молекулаға түсірілген молекулалық тартылыс күштерінің тең әсерлісі M_2 молекуламен салыстырғанда аз, себебі ол тек қою көк түспен боялған облыстағы молекулалардың әсерімен ғана анықталады. Ең бастысы M_2 және M_3 молекулаларға түсірілген тең әсерлі күштер сұйықтың бетіне перпендикуляр бағытта сұйық ішіне қарай бағытталған.

Сонымен, сұйықтың қалыңдығы молекулалық әсер радиусына тең болатын беттік қабатта орналасқан барлық молекулалары сұйықтың ішіне қарай тартылады (25.1-сурет). Бірақ сұйық ішіндегі кеңістіктің басқа да молекулалармен толуынан беттік қабат сұйыққа молекулалық қысым деп аталатын қысым тудырады. Теориялық есептеулер көрсеткендей, молекулалық қысымның шамасы соншалықты үлкен болады. Мысалы, су үшін ол $11 \cdot 10^3$ Па, эфир үшін $1,4 \cdot 10^3$ Па.

Беттік керілу. Сұйықтың бетінде орналасқан молекулалар оның ішіне тартылады да, олардың потенциалдық энергиясы сұйықтың ішіндегі молекулалардың потенциалдық энергиясынан артық болады. Мұндай қорытындыға молекулалардың өзара әсерлесуінің потенциалдық энергиясының теріс болатынын және сұйықтың беттік қабатындағы әсерлесетін молекулалар саны сұйықтың ішіндегі молекулаларымен салыстырғанда аз екенін ескерсек қана келеміз.



25.1-сурет

Сұйықтың беттік қабатындағы молекулалардың қосымша потенциалдық энергиясын *еркін энергия* деп атайды. Оның көмегімен сұйықтың еркін бетін азайтуға бағытталған жұмыс атқаруға болады. Керісінше сұйық ішіндегі молекуланы сұйықтың бетіне шығару үшін молекулалық күштерді жеңу керек, яғни жұмыс атқару қажет. Осы кезде еркін энергияның ΔE өзгерісі сұйықтың еркін бетіндегі ауданының ΔS өзгерісіне тура пропорционал болатыны анық:

$$\Delta E = \sigma \Delta S. \quad (25.1)$$

$\Delta E = A$ болғандықтан,

$$A = \sigma \Delta S. \quad (25.2)$$

Сонымен, сұйықтың еркін бетінің ауданының кемуі кезінде молекулалық күштердің A жұмысы ΔS шамасына тура пропорционал. Бұл жұмыс сұйықтың тегіне және сыртқы жағдайларға, мысалы, температураға тәуелді болуы тиіс. Осы тәуелділікті σ коэффициенті өрнектейді.

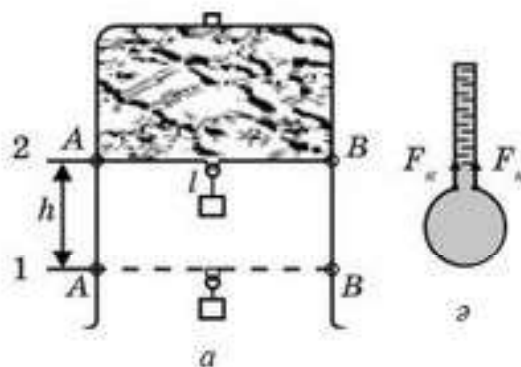
Сұйықтың еркін бетінің ауданы өзгергенде молекулалық күштер жұмысының сұйықтың тегіне және сыртқы шарттарға тәуелділігін сипаттайтын σ шамасы *сұйықтың беттік керілу коэффициенті немесе беттік керілу* деп аталады. σ шамасы сұйықтың еркін бетінің ауданы бір бірлікке өзгергенде молекулалық күштердің атқаратын жұмысымен өлшенеді, демек,

$$\sigma = \frac{A}{\Delta S}. \quad (25.3)$$

σ беттік керілудің ХБ жүйесіндегі өлшем бірлігі: $[\sigma] = 1 \text{ Дж/м}^2 = 1 \text{ Н/м}$.

Кез келген жүйе өздігінен потенциалдық энергиясы минимал күйге өтетіні секілді, сұйық та өз бетінше өзінің еркін бетінің ауданы минимал болатын күйге өтуі тиіс. Мұны төмендегі тәжірибенің көмегімен дәлелдейік.

II әрпі түрінде пілген сымға жылжымалы AB белдікті бекітеді (25.2-сурет). Осындай раманы сабынды суға батырсақ, онда сабынның көпіршік қабыршағы пайда болады. Раманы сабынды судан шығарып алғаннан кейін AB белдік жоғары қарай көтеріледі, яғни молекулалық күштер сұйықтың еркін бетінің ауданын азайтады.

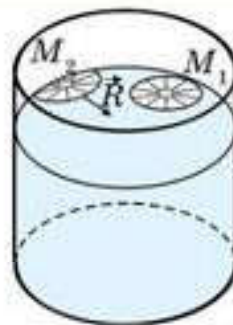


25.2-сурет

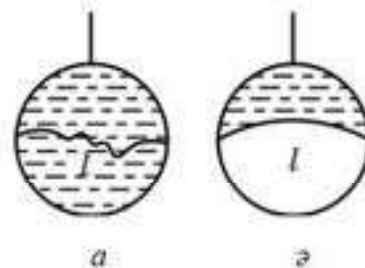
Бірдей көлем кезінде шар бетінің ауданы ең кіші мән қабылдайды, сондықтан салмақсыз күйде сұйықтың пішіні шар түріне ие болады. Сол себепті сұйықтың кішкентай тамшыларының пішіні шар тәрізді.

Беттік керілу күші. Сұйықтың бетінде орналасқан M_1 молекула сұйықтың

ішінде орналасқан молекулалармен ғана емес, сонымен қатар молекулалық әсер сферасының шегінде сұйық бетіндегі молекулалармен де әсерлеседі (25.3-сурет). Молекула үшін сұйық бетінің бойымен бағытталған молекулалық күштердің R тең әсерлісі нөлге тең, ал беттің жнегінде орналасқан M_2 молекула үшін ол нөлге тең емес. 25.3-суреттен көріп отырғанымыздай,



25.3-сурет



25.4-сурет

күш еркін беттің шегарасына нормаль және беттің өзіне жанама бойымен бағытталған. Сұйық бетінің бойымен бағытталған молекулалық күштер сұйықтың еркін бетіндегі кез келген түйық сызыққа нормаль бойымен, осы түйық сызық камптын сұйық беті минимал болатындай бағытта әсер етеді.

Сымнан жасалған сақинаға ұзындығы l жіп байланған (25.4, *a*-сурет). Егер сақинада сабын қабыршағы болса, онда жіп қабыршақ үстінде қалай болса солай орналасады, өйткені молекулалық күштер жоғары контурмен шектелген беттің ауданын да, төменгі контурмен шектелген беттің ауданын да азайтуға тырысады. Енді қабыршақты жіптің астыңғы жағынан тесейік. Сонда молекулалық күштер жоғары контурмен шектелген бетті азайтып, жіп тартылады (25.4, *ә*-сурет).

Сұйық молекулаларының өзара әсерлесуінен пайда болатын, сұйықтың еркін бетінің ауданын кемітуді тудыратын және осы бетке жанама бойымен бағытталған F_x күш **беттік керілу күші** деп аталады.

Енді белдікке әсер ететін F_x беттік керілу күшінің оның l ұзындығына пропорционал болатынын көрсетейік (25.4, *a*-сурет). Беттік керілу күшінің белдікті 1-калыптан 2-калыпқа алып өткенде атқаратын жұмысы $A = \sigma \Delta S$. Осы кезде сұйықтың ΔS еркін бетінің толық кемуі $2hl$, себебі еркін беттің саны екіге тең. Сондықтан $A = 2\sigma hl$.

Екінші жағынан, күшті жолға көбейтіп те жұмысты табуға болады. Біздің жағдайымызда қабыршақ бетінің белдікпен екі жанасу сызығы болатындықтан (25.4, *ә*-сурет), жалпы күш $2F_x$ және $A = 2F_x h$. Сонымен, $2F_x h = 2\sigma hl$ немесе

$$F_x = \sigma l. \quad (25.4)$$

Онда

$$\sigma = \frac{F_x}{l}. \quad (25.5)$$

Осыдан **беттік керілу коэффициенті** сұйықтың еркін беті шегарасының бірлік ұзындығына әсер ететін беттік керілу күшіне тең.

Енді сұйықтың еркін бетінің ауданы минимал болатыны түсінікті. Молекулалық қысым күші сұйық бетінен молекулаларды сұйықтың ішіне қарай тартып алады, ал беттік керілу күші еркін беттің ауданын кішірейтеді, яғни осы бетте пайда болған “кемтіктің”, демек, төмен кеткен молекуланың орнын жабады.

Сонымен, сұйықтың беттік қабаты әрқашан да керілу күйінде болады. Бірақ бұл күйді созылған серпімді қабыршақтың керілуімен салыстыруға болмайды. Керіліп тұрған қабыршақтың ауданы артқан кезде серпімділік күші де артып отырады, ал беттік керілу күші сұйық бетінің ауданына тәуелсіз. Мысалы, 25.4-суретте 1- және 2-калыптардағы күштер тең, себебі сұйықтың еркін бетінің бірлік ауданына келетін молекулалар саны бірдей.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Сұйықтың беттік қабатында өтіп жатқан процесті сипаттаңдар.
- *2. Еркін энергия дегеніміз не?
3. Беттік керілу коэффициентінің физикалық мағынасы қандай?
4. Беттік керілу күші дегеніміз не? Өлшем бірлігі қандай?

Осы тақырыпта негізгі нәтижелерді?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы не білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 26. Жұғу. Капиллярлық құбылыстар

Тірек ұғымдар: жұғатын сұйық, шеттік бұрыш, жұқпайтын сұйық, лапластық қысым, капиллярлық құбылыстар.

Бүгінгі сабақта:

жұғатын және жұқпайтын сұйықпен, капиллярлық құбылыстармен және олардың табиғаттағы және техникадағы рөлімен танысасыздар; лапластық қысымды өрнектейтін формуланы есептер шығаруда қолдануды үйренесіздер.

Жұғу. Шеттік бұрыш. Егер шыны таяқшаны сынапқа батырып алсақ, онда сынаптың жұғынын байқамаймыз. Ал егер осы таяқшаны суға батырып алсақ, онда оның ұшында су тамшысын байқаған болар едік. Бұл қарапайым тәжірибелер сынап молекулаларының бір-бірімен тартылу күшінің шыны молекулаларының тартылу күшінен артық болатынын көрсетеді, ал су молекулаларына келсек, олар бір-біріне шыны молекулаларына қарағанда әлсіз тартылады. Егер сұйық молекулаларының бір-біріне тартылу күші қатты дене молекулаларының өзара тартылғанына қарағанда әлсіз болса, онда сұйық осы затқа

жұғады. Мысалы, су таза шыныға жұғады да, парафинге жұқпайды. Егер сұйық молекулаларының бір-біріне тартылу күші қатты дене молекулаларының тартылу күшінен артық болса, онда сұйық осы затқа жұқпайды дейді. Сынап таза шыныға жұқпайды, ал мыс пен мырышқа жұғады.

Қайсыбір заттан жасалған жазық пластинаны горизонталь орналастырып, оған зерттемек болып отырған сұйықты тамызайық. Сонда беттегі тамшы 26.1, а, ә-суреттердегідей түрде орналасады. Бірінші жағдайда, сұйық қатты денеге жұғады, ал екінші жағдайда жұқпайды. 26.1, а, ә-суреттерде көрсетілген бұрыш θ шеттік бұрыш деп аталады.

Ол қатты дененің жазық беті мен А нүктесі арқылы өтетін сұйықтың еркін бетіне жүргізілген жанама арасында пайда болады. Жұғатын сұйықтар үшін шеттік бұрыш әрқашан да сүйір, ал жұқпайтын сұйықтар үшін доғал.

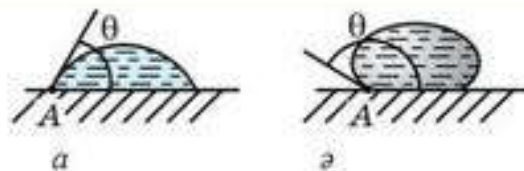
Қатты бет вертикаль болғанда сұйық өзі құйылған ыдыстың шетіне жұғатын жағдайда көтеріледі де (26.2, а-сурет), ал жұқпайтын жағдайда төмен түседі (26.2, ә-сурет).

Сұйықтың майысқан беті тудыратын қысымы. Сұйық бетінің ыдыс жиегінде майысатынын жінішке түтіктерде жақсы бақылауға болады, өйткені бұл жерде сұйықтың беті түгел майысады. Қимасы дөңгелек түтікте бұл бет сфераның бір бөлігі болады да, ол **мениск** деп аталады (грекше “менискос” — “айдың орағы, доғасы”). Жұғатын сұйықтың менискісі — ойыс, ал жұқпайтын сұйықта — дөңес (26.3-сурет).

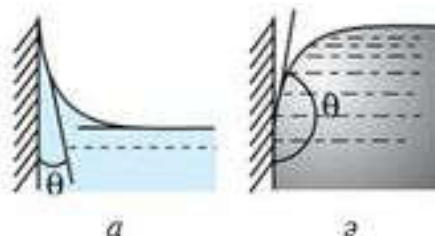
Мениск бетінің ауданы түтіктің ішкі қимасының ауданынан артық, сондықтан молекулалық күштердің әсерінен сұйықтың майысқан беті жазылуға тырысады да, қосымша p_z қысым тудырады, бұл қысым жұғатын сұйық үшін (ойыс мениск) сұйықтан тысқары, ал жұқпайтын сұйық үшін (дөңес мениск) сұйықтың ішіне қарай бағытталған. Сөз етіп отырған қысым оны анықтаған француз ғалымы П. Лапластың құрметіне **лапластық қысым** деп аталады. Сұйықтың радиусы R болатын сфералық бет үшін бұл қысым

$$p_z = \frac{2\sigma}{R} \quad (26.1)$$

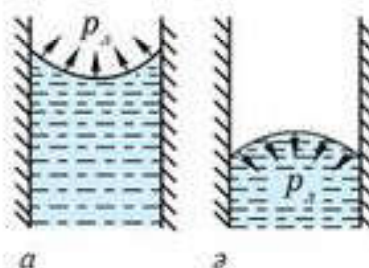
формуласымен анықталады.



26.1-сурет



26.2-сурет



26.3-сурет

Капиллярлық құбылыс. Егер суға жіңішке шыны түтікті батырсақ, онда су түтікке тартылып, оның түтіктегі деңгейі түтіктің сыртындағы деңгейінен h биіктікте болады (26.4, *a*-сурет). Бұл түтіктегі p_2 лапластық қысымның жоғары қарай бағыттталатынымен түсіндіріледі. Ол суды жоғары қарай тартып, түтіктің h биіктіктегі су бағанының гидростатикалық $p_i = \rho gh$ қысымымен теңескенге дейін көтеріледі.

Егер $p_2 = \frac{2\sigma}{R}$, онда $p_2 = p_i$ кезінде $\frac{2\sigma}{R} = \rho gh$, осыдан

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g R}. \quad (26.2)$$

Толық жұғатын кезде ($\theta = 0$) жіңішке түтіктегі менискінің түрі жарты сфераны береді де, сфералық беттің R радиусы түтіктің ішкі r радиусына тең болады, сонда

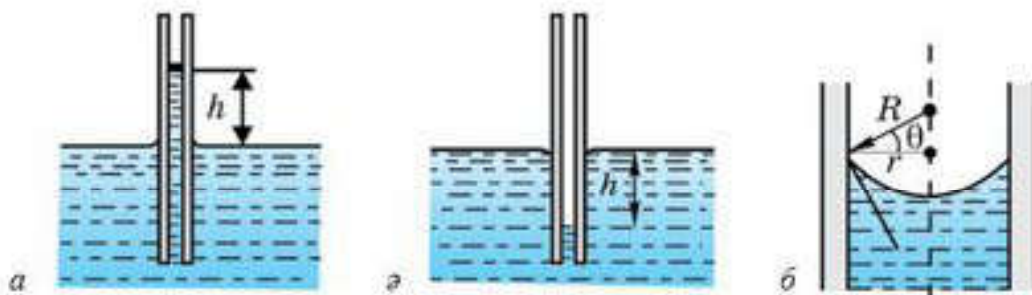
$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r}. \quad (26.3)$$

Жартылай жұқпайтын кезде ($\theta \neq 0$) менискінің радиусы $R = \frac{r}{\cos \theta}$ (26.4, *б*-сурет) және

$$h = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{\rho g r}. \quad (26.4)$$

26.4, *a*, *ә*-суреттерден түтіктің ішкі диаметрі неғұрлым кіші болса, соғұрлым h биіктіктің үлкенірек болатынын көреміз. Ішкі диаметрі шаштың диаметрімен шамалас (не одан да кіші) болатын түтіктерде судың көтерілуі біршама жоғары, сондықтан мұндай түтіктерді **капиллярлар** деп атайды (грекше “*капиллярис*” — “шаштай жіңішке”). Жұғатын сұйықтар капиллярларда жоғары көтеріледі (26.4, *a*-сурет), жұқпайтын сұйықтарда төмен түседі (26.4, *ә*-сурет). Жұғатын сұйықтардың капиллярларға тартылуы немесе жұқпайтын сұйықтардың капиллярлардан итеріліп шығарылуы **капиллярлық құбылыстар** деп аталады.

Капиллярлық құбылыстар табиғатта және техникада үлкен рөл атқарады. Өсімдіктер көптеген капиллярлардан тұрады. Ағаштарда топырақтағы ылғал капиллярлардың бойымен көтеріліп, жапырақтар



26.4-сурет

аркылы атмосфераға буланады. Топырақта да капиллярлар болады, топырақ неғұрлым тығыз болған сайын, олар соғұрлым жіңішке. Су осы капиллярлармен жер бетіне көтеріліп, тез буланып кетеді де, Жер қатып қалады. Көктемде Жер жыртқан кезде осы капиллярлар бұзылып, топырақ бетіндегі ылғал сақталып қалады.

Техникада да көптеген жағдайларда осы капиллярлық құбылыстарды ескеруге тура келеді.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Сұйықтың қатты денеге жұғу-жұқпауының механизмі қандай?
2. Лапластық қысым дегеніміз не? Ол қалай бағытталған?
3. Капиллярлық құбылысты түсіндіріңдер.
4. Капиллярлық құбылыстарға өмірден мысалдар келтіріңдер.
5. Күзде және көктемде Жер жыртудың қандай тиімділіктері бар?
6. Неліктен суды (булануы, конденсациясы, қатуы, капиллярлармен көтерілуі) өмірмен, тіршілікпен қатар атайды?
7. Неліктен адам құрғақ ауада 100°C және одан да жоғары температураға шыдайды?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. 19°C кезінде ауадағы су буының парциал қысымы $1,1$ кПа болды. Салыстырмалы ылғалдылықты табу керек.

Шешуі. Салыстырмалы ылғалдылық анықтама бойынша мынаған тең:

$$j = \frac{P}{P_{\text{к.к}}} \cdot 100\%.$$

$t = 19^{\circ}\text{C}$ болғанда, судың қаныққан буының қысымы $p_{\text{к.к}} = 2,2$ кПа. Сондықтан

$$j = \frac{1,1 \text{ кПа}}{2,2 \text{ кПа}} \cdot 100\% = 50\%$$

және ішкі энергия, демек, газдың температурасы да көпіршіктің көлемі ұлғайған сайын азаяды.

Жауабы: $j = 50\%$.

2-есеп. Сынапты барометр түтікшесінің диаметрі 3 мм. Егер сынаптың капиллярлық түсуін ескерсек, онда барометрдің көрсетуіне қандай түзету енгізу керек?

Шешуі. Барометрдегі сынап қысымының капиллярлық құбылысқа байланысты өзгерісі

$$D_p = \frac{2s}{R}.$$

Сынапты шыныға мүлдем жұқпайтын сұйық деп есептеуге болатынын ескеру керек, сондықтан формуладағы D_p қысымның ұлғаюына

сәйкес келеді және барометр нақты мәнінен үлкен қысымды көрсететін болады. Сынап бағанының төмен түсуіне сәйкес келетін шама мынаған тең:

$$h = \frac{D_p}{\rho g} = \frac{2s}{R\rho g} = \frac{4s}{d\rho g},$$

мұндағы R — радиус, d — түтікшенің диаметрі.

$$h = \frac{4 \cdot 510 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}}{3 \cdot 10^{-2} \cdot 14 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} = 5 \text{ мм.}$$

Жауабы : $h = 5 \text{ мм.}$

10-жаттығу

1. Ағайын оқиғасында 16°N . Ағайын пәуілінің үлкеніне 50% . Ағайынның үлкеніне қарағанда.
2. Ойық 7°N , пәуілінің үлкеніне 50% . Ағайын оқиғасында қалай?
3. Әділ есіміне $7,7 \cdot 10^{-3}$ ең по ағайынның оқиғасында 15°N ағайынның пәуілінің үлкеніне қалай?

Осы тақырыпта негізгі мәселелер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білімдерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

ТАРАУДЫҢ МАҢЫЗДЫЛАРЫ



II бөлім. ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ

Молекулалық физиканың негізінде зат құрылысының молекулалық-кинетикалық теориясы жатыр. Оның негізгі қағидалары мыналар: барлық заттар арасында бос аралықтары бар кішкентай бөлшектердің (молекулалардың) орасан көп санынан тұрады. Молекулалар ретсіз (жылулық) қозғалыста болады	
Авогадро тұрақтысы заттың 1 мольдегі молекулалар немесе атомдар санына тең	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Кез келген денедегі молекулалар саны (N) зат мөлшерін (V) Авогадро тұрақтысына (N_A) көбейткенге тең	$N = \nu N_A$
Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі (Клаузиус теңдеуі)	$p = \frac{1}{3} m n_0 v^2$
Газдың берілген массасының күйі T температурамен, p қысым және V көлеммен анықталады. Тек екі параметрі ғана өзгертін, ал үшіншісі тұрақты күйде қалатын процестер <i>изопроецестер</i> деп аталады. Мұндай процестер үшеу:	$N = \nu N_A$ $N = \frac{m}{M} N_A$
Изотермиялық процесс	$T = \text{const}$
Изобаралық процесс	$p = \text{const}$
Изохоралық процесс	$V = \text{const}$
Бойль—Мариотт заңы: $pV = \text{const}$ ($T = \text{const}$, $m = \text{const}$)	$p_1 V_1 = p_2 V_2$
Гей—Люссак заңы: $V/T = \text{const}$ ($p = \text{const}$, $m = \text{const}$)	$V_1 T_2 = V_2 T_1$
Шарль заңы: $p/T = \text{const}$ ($V = \text{const}$, $m = \text{const}$)	$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$
Идеал газ күйінің теңдеуі (Клапейрон теңдеуі)	$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{const}$
Менделеев — Клапейрон теңдеуі — газдың кез келген массадағы күйін сипаттайтын универсал теңдеуі	$pV = \frac{m}{M} RT$

<p><i>Термодинамиканың бірінші заңы:</i> термодинамикалық процестерге қолданылатын энергияның сақталуы мен түрленуін өрнектейді. Термодинамикалық жүйе бір күйден екінші күйге өткенде жүйенің ішкі энергиясының өзгеруі (ΔU) жүйеге берілген жылу мөлшері мен сыртқы күштердің атқарған жұмысының қосындысына тең және энергияның өзгерісі жүйенің әртүрлі күйлерге өту тәсіліне тәуелді емес</p>	$DU = Q + A$
<p><i>Термодинамиканың екінші заңы :</i> табиғаттағы процестердің қайтымсыздығын айғақтайды. Ол жылуы төмен денеден жылуы жоғары денеге жылудың өздігінен берілу және қыздырғыштан алынған барлық жылу мөлшерін толығымен механикалық энергияға түрлендіруге қабілетті жылу машинасын жасау мүмкіндіктерін теріске шығарады</p>	
<p>Қозғалтқыш орындаған жұмыстың қыздырғыш алған жұмыс денесінің жылу мөлшеріне қатынасы қозғалтқыштың <i>пайдалы әсер коэффициенті</i> деп аталады</p>	$\eta = \frac{A}{Q_1}$
<p>Жылу қозғалтқышының максимал ПӘК қыздырғыш пен суытқыш температуралары айырымының қыздырғыш температурасына қатынасына тең</p>	$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$



§ 27. Электр өрісі

Тірек ұғымдар: электр өрісі, электр өрісінің кернеулігі, электр өрісінің күш сызықтары, суперпозиция принципі.

Бүгінгі сабақта:

электр өрісінің негізгі қасиеттерімен және оның күштік сипаттамасымен танысасыздар.

Кулон заңы бойынша зарядтардың өзара әсерлесуі тәжірибе жүзінде дәлелденген дерек болып табылады. Алайда зарядтардың өзара әсерлесу заңының математикалық өрнегі өзара әсерлесу процесінің өзінің физикалық бейнесін ашпайды, яғни q_1 зарядтың q_2 зарядқа әсері қалай жүзеге асады деген сұраққа жауап бермейді.

Ағылшын физигі Майкл Фарадей электр зарядтарының өзара әсерлесу фактісіне мынадай түсініктеме берді: әрбір электр зарядының айналасында әрқашанда *электр өрісі* болады. *Электр өрісі* — кеңістікте үздіксіз және басқа электр зарядтарына әсер етуге қабілетті материялық объект.



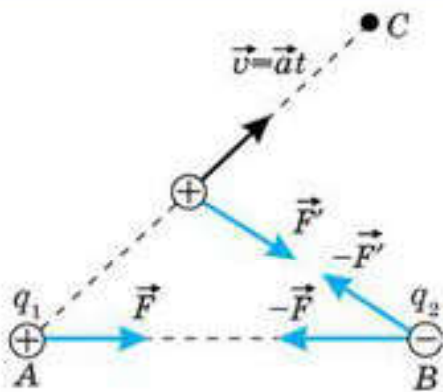
Майкл Фарадей
(1791—1867)

Осы көзқарас бойынша q_1 және q_2 электр зарядтарының өзара әсерлесуі q_1 заряд өрісінің q_2 зарядқа және сәйкес q_2 заряд өрісінің q_1 зарядқа әсер етуінің нәтижесі болып табылады.

Электр өрісінің *объективті түрде бар болатыны* — оның материялылығы туралы факт электр зарядтарының үдемелі қозғалысы кезінде өтетін құбылыстарды қарастыру барысында дәлелденеді. Бұл мәселе электромагниттік толқындарды оқып-үйренген кезде қарастырылатын болады. Ал мұнда біз тек бір ғана фактіге тоқталамыз.

q_1 және q_2 электр зарядтары қозғалмай тұрғанда және олар A және B нүктелерінде болғанда q_2 зарядқа q_1 заряд тарапынан BA түзуі бойымен бағытталған күш әсер етеді (27.1-сурет). Егер қайсыбір t уақыт мезетінде q_1 заряд A нүктесінен C нүктесіне қарай қозғала бастаса, онда q_2 зарядқа әсер ететін күштің модулі мен бағыты өзгеруі керек. Кулон заңына сәйкес, бұл өзгерістер лезде өтуі тиіс еді, демек, кез келген уақыт мезетінде кулон күші зарядтарды қосатын түзудің бойымен бағытталуы тиіс.

Бірақ, шын мәнінде, басқаша болатыны байқалады. Егер қайсыбір t уақыт мезетінде q_1 заряд тыныштық күйінен шығып, үдемелі қозға-



27.1-сурет

латын болса, онда q_1 заряд тарапынан q_2 зарядқа әсер ететін күштің өзгерісі тек мына өрнекпен анықталатын Δt уақыт аралығы өткенде ғана байқалады:

$$\Delta t = \frac{l}{c},$$

мұндағы l — зарядтардың арақашықтығы, $c = 3,0 \cdot 10^8$ м/с — вакуумдағы жарық жылдамдығы. Электр зарядтарының үдемелі қозғалысы кезінде олардың өзара әсерлесу

өзгерісінің кешеуілдеуі өріс теориясының дұрыстығын дәлелдейді. Электр өрісіндегі зарядтардың үдемелі қозғалысы кезінде болатын кез келген өзгерістер осындай жылдамдықпен таралады.

Жарық жылдамдығының мәні үлкен болғандықтан, электр өрісіндегі бірнеше метр арақашықтықтағы өзгерістердің кешеуілдеуін бақылау өте қиын. Ал ғарышта бұл кешеуілдеулер оңай бақыланады, бірақ олар ғарыш аппараттарын басқаруда бірқатар қиындықтар тудырады.

Мысалы, ғарыштық байланыс пунктiнен радиохабаршы антеннасы арқылы жіберiлген командалар Ай бетiнде ғарыштық ұшу аппаратының қабылдаушы антеннасына оларды жібергеннен кейiн тек 1,3 с өткенде ғана жетедi, өйткенi Жерден Айға дейiнгi арақашықтық шамамен 400 000 км құрайды. Шолпан ғаламшарының бетiне қонуды жүзеге асыру кезiнде “Венера” автоматты ғарыш станциялары Жерден келетiн хабарларды жібергеннен кейiн 3,5 мин өткен соң алған, себебi Жер мен Шолпанның арақашықтығы 60 млн км артық.

Электр өрісінің кернеулігі. Суперпозиция принципі. Электр өрісін сипаттайтын шамаларды анықтайық. Ол үшін ең қарапайым q нүктелік зарядтың өрісін екінші (сынақ) q_c нүктелік зарядтың көмегімен зерттейік. Қозғалмайтын q зарядтың өрісіне әкелінген q_{1c} сынақ зарядқа Кулон күші әсер етеді:

$$F_1 = k \cdot \frac{qq_{1c}}{r^2}.$$

Осы нүктеге екінші бір q_{2c} сынақ зарядты әкелеміз. Сонда оған кулондық F_2 күш әсер ететін болады:

$$F_2 = k \cdot \frac{qq_{2c}}{r^2}.$$

Осы күштердің q_1 және q_2 сынақ зарядтарға қатынасын табайық:

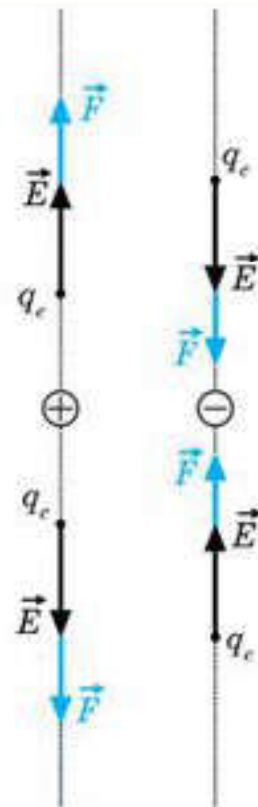
$$\frac{F_1}{q_{1c}} = \frac{F_2}{q_{2c}} = \frac{kq}{r^2} = \text{const}.$$

Бұл қатынас q_c сынақ зарядқа тәуелсіз, әрқашан тұрақты шама болып қалады. Ендеше, $\frac{F}{q_c}$ түріндегі ерекше қатынас берілген нүктедегі өрісті сипаттайды.

Берілген нүктедегі өрісті сипаттайтын және $\frac{F}{q_c}$ түріндегі қатынаспен анықталатын физикалық шама **өріс кернеулігі** деп аталады да, E әрпімен белгіленеді.

Сынақ зарядқа (q_c) әсер ететін өрістің күші векторлық шама. Олай болса, \vec{E} қатынасына тең $\frac{\vec{F}}{q_c}$ өріс кернеулігі де векторлық шама болып табылады:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_c} \tag{27.1}$$



27.2-сурет

Электр өрісі кернеулігінің өлшем бірлігі ретінде ньютонның кулонға қатынасы (Н/Кл) алынады.

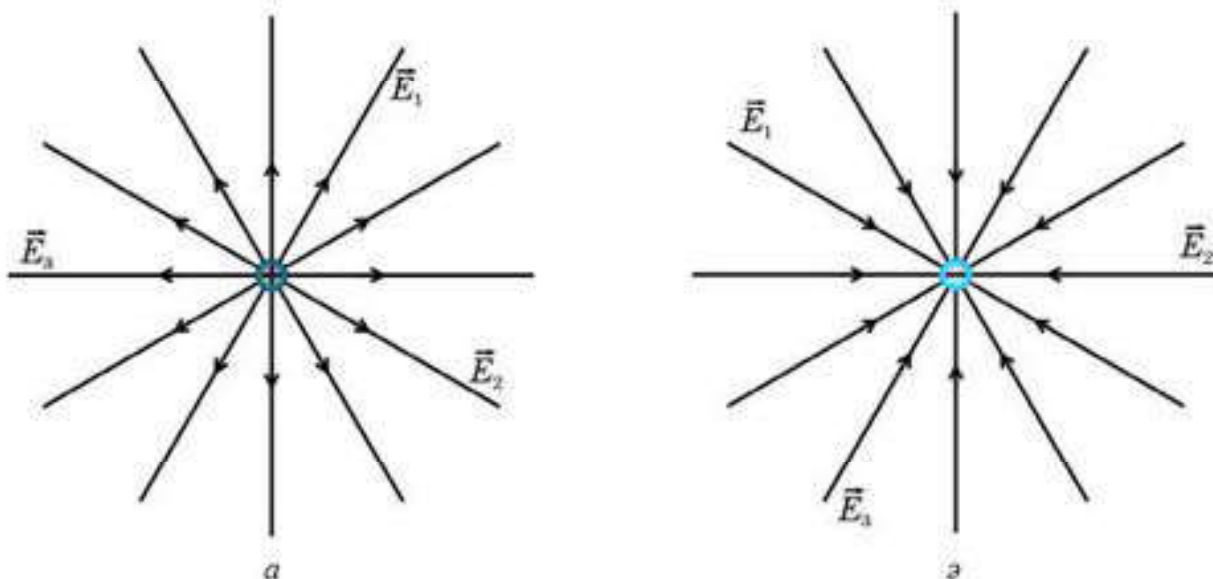
Соңғы формуладан **кернеулік электр өрісінің күштік сипаттамасы** болып табылатынын көреміз.

Ендеше, кернеуліктің кез келген нүктедегі бағыты үшін осы нүкте орналасқан оң сынақ зарядына өрістің әсер ететін күшінің бағыты алынады (27.2-сурет).

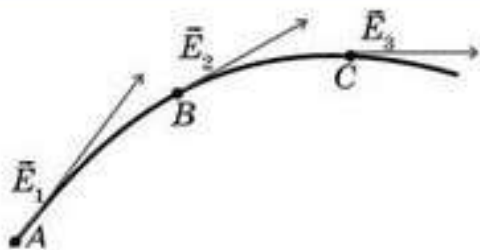
Кернеулік векторының бағыттары үшін:

— егер q заряд оң болса, онда \vec{E} векторын зарядтан сыртқа қарай бағыттау (27.3, а-сурет);

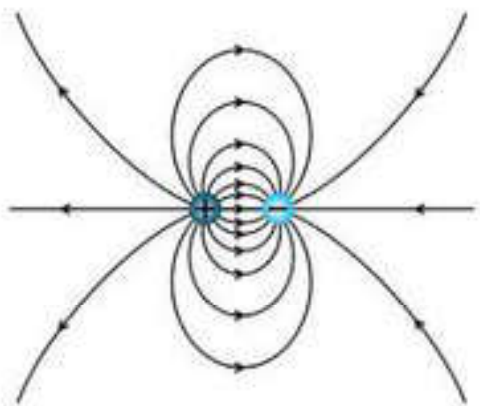
— егер q заряд теріс болса, онда \vec{E} векторын зарядқа қарай бағыттау қабылданған (27.3, ә-сурет).



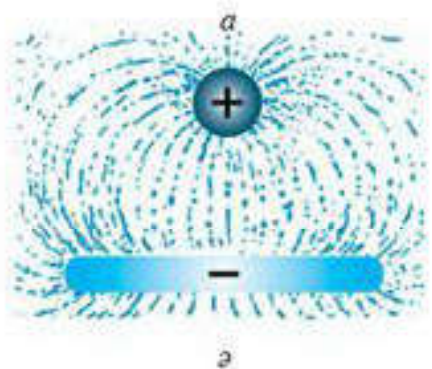
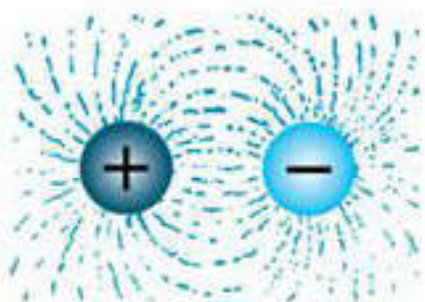
27.3-сурет



27.4-сурет



27.5-сурет



27.6-сурет

орындарда өріс кернеулігі үлкен болғандықтан, күш сызықтары да жиірек орналасқан (27.3-сурет). Бұл шарт екі немесе одан да көп зарядтар жүйесінің электр өрісін кескіндеу кезінде орындалады (27.5—27.6-суреттер).

Күш сызықтарының көрнекі суреттемесін тәжірибе жолымен де алуға болады. Мысалы, металл пластиналары орнатылған шыны бетіне гипосульфиттің ұсақ үгінділерін себейік. Пластиналар зарядталған

М. Фарадейдің ұсынысы бойынша электр өрісін кернеулік сызықтарымен, басқаша айтқанда, күш сызықтары көмегімен көрнекі түрде кескіндеуге болады. Мәселен, нүктелік зарядтардың электр өрісі, 27.3-суретте көрсетілгендей, радиалды күш сызықтарымен бейнеленген.

27.3—27.5-суреттерден көрініп тұрғандай, күш сызықтарының бағыттары үшін өріс кернеулігі векторларының бағыттары алынады. Сондықтан оң зарядтың күш сызықтарының бағыты зарядтан сыртқа қарай, ал теріс зарядтың күш сызықтары зарядқа қарай бағытталады.

Жалпы алғанда, күш сызықтары кез келген қисықтармен өрнектеле алады. Бұндай жағдайда электр өрісінің кернеулігі қисықтың кез келген нүктесінде осы нүкте арқылы жүргізілген жанама бойында жатады (27.4-сурет).

Берілген санақ жүйесінде тыныштықта тұрған зарядталған бөлшектер тудыратын электр өрісі *электростатикалық өріс* деп аталады.

Кез келген сызықтардың әрбір нүктелері арқылы жүргізілген жанамалары өрістің осы нүктелердегі кернеуліктерінің бағыттарымен сәйкес келсе, онда мұндай сызықтарды *күш сызықтары* (кернеулік сызықтары) деп атайды.

Белгілі бір аймақта электр өрісінің кернеулігі жоғары болған сайын ол жердегі өрістің күш сызықтары тығызырақ орналасады. Расында да, нүктелік зарядқа жақын

кезде үгінділерді жайлап қозғасақ, олар электр өрісінің күш сызықтарының бойымен орналасады (27.6, ә-сурет).

Біртекті өріс электр өрісінің жеке жағдайы болып саналады.

Егер электр өрісі кернеулігінің векторы \vec{E} өрістің барлық нүктесінде бірдей болса, онда ол өрісті **біртекті** деп атайды.

Біртекті электр өрісін жақын орналасқан параллель екі пластинаның арасында алуға болады. Ол үшін оларды абсолют мәндері тең әр аттас зарядтармен біркелкі зарядтау керек.

27.7-суретте параллель пластиналардың арасындағы электр өрісінің күш сызықтары көрсетілген. Пластиналар арасындағы кеңістікте біртекті электр өрісі пайда болады. Шынында да, осы бөліктегі өріс кернеулігінің векторлық шамасы (модуль) және бағыты бойынша тең, яғни $\vec{E} = \text{const}$.

Электр өрісінің бірқатар ерекше қасиеттері бар.

1. *Зарядтар жүйесінің электростатикалық өрісінің күш сызықтары тұйықталмаған*. Олар оң зарядтарда басталып, теріс зарядтарда аяқталады (27.5, 27.6-суреттер).

2. *Жеке зарядтардың күш сызықтары зарядтан шексіздікке кетеді* (27.3, ә-сурет) немесе *шексіздіктен зарядқа келеді* (27.3, а-сурет).

3. *Электр өрісінің күш сызықтары қиылыспайды*. Мұндай қорытынды тәжірибе нәтижелерінен туындайды (27.7-сурет). Расында, өрістің кез келген нүктесінде \vec{E} векторының бір ғана бағыты бар (27.4-сурет). Олай болса, күш сызықтары қиылыспайды, кері жағдайда $\vec{F} = q\vec{E}$ векторының сол бір нүктеде бірнеше бағыты болған болар еді.

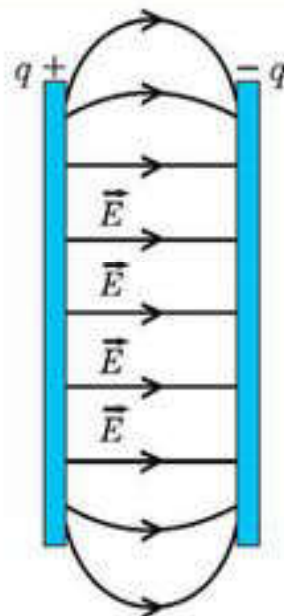
Зарядты орын ауыстырғанда жасалатын электр өрісінің жұмысы заряд траекториясының формасына тәуелсіз болады. Ол тек траекторияның бастапқы және соңғы нүктесінің орнымен ғана анықталады.

Егер B нүктесіне (27.8-сурет) q оң зарядын орналастырсақ, онда өріс оған (27.1) формулаға сәйкес $\vec{F} = q\vec{E}$ күшпен әсер етеді.

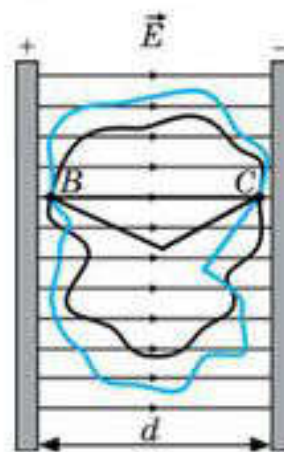
Бағыты \vec{E} векторының бағытымен сәйкес осы күштің әсерінен заряд өріс бағыты бойынша орын ауыстырып, C нүктесіне жеткенде жұмыс жасалады және ол оң жұмыс болады:

$$A_+ = F \cdot d = qEd, \quad (27.2)$$

мұндағы d — пластиналардың арақашықтығы.



27.7-сурет



27.8-сурет

Бұл нәтиже заряд қозғалысының кез келген траекториясы үшін дұрыс. Сондықтан электр өрісінің жұмысы зарядтың бастапқы және соңғы нүктесінің траекториясына байланысты.

Егер қайсыбір тұрақты күш оң зарядты C нүктесінен B нүктесіне дейін кері бағытта қозғалысқа келтірсе, онда теріс жұмыс жасалады:

$$A_- = -qEd.$$

Осыдан шығатын қорытынды: тұйықталған $B \rightarrow C \rightarrow B$ траекториядағы зарядтың жұмысы нөлге тең:

$$A = A_+ + A_- = 0.$$

Нүктелік q зарядтың электр өрісінің кернеулігін анықтайық, ол үшін одан r қашықтыққа q_c сынақ зарядын орналастырамыз. Кулон заңы бойынша зарядтар мынадай күшпен өзара әсерлеседі:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{qq_c}{r^2}. \quad (27.3)$$

Сонда q нүктелік заряд өрісінің кернеулігі мынаған тең:

$$E = \frac{F}{q_c} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}. \quad (27.4)$$

Нақты өмірде электр өрісі бір емес, бірнеше зарядтардың $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$ әсерінен пайда болады. Сынақ q_c зарядқа әсер етуші қорытқы күш F осы зарядқа әрбір басқа заряд тарапынан әсер ететін күштердің векторлық қосындысына тең екені тәжірибе жүзінде дәлелденген:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n. \quad (27.5)$$

(27.1), (27.3), (27.4) формулалардан мына өрнектерді аламыз:

$$\vec{F} = q_c \vec{E}; \quad \vec{F}_1 = q_c \vec{E}_1; \quad \vec{F}_2 = q_c \vec{E}_2; \quad \vec{F}_3 = q_c \vec{E}_3; \quad \dots; \quad \vec{F}_n = q_c \vec{E}_n,$$

мұндағы q_c — сырттан әкелінген сынақ заряд; \vec{E} — зарядтар жүйесі өрісінің қорытқы кернеулігі; $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \dots, \vec{E}_n$ — жүйедегі әрбір q_1, q_2, \dots, q_n зарядтың тудыратын кернеуліктері.

Осы өрнектерді (27.5) формулаға қойып, мынаны аламыз:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots + \vec{E}_n. \quad (27.6)$$

Алынған векторлық қосынды өрістердің **қабаттасу (суперпозиция) принципін** бейнелейді.

Бұл принципке сәйкес зарядтар жүйесі өрісінің кернеулігі әрбір зарядтың берілген нүктеде дербес тудыратын өріс кернеуліктерінің векторлық қосындысына тең.

27.9-суретте q_1 және q_2 зарядтарының B нүктесіндегі өрістерінің қабаттасуы көрсетілген. Өрістердің қабаттасу принципі бойынша B нүктесіндегі өрістердің қорытқы кернеулігі \vec{E} мына векторлық қосындыға тең:

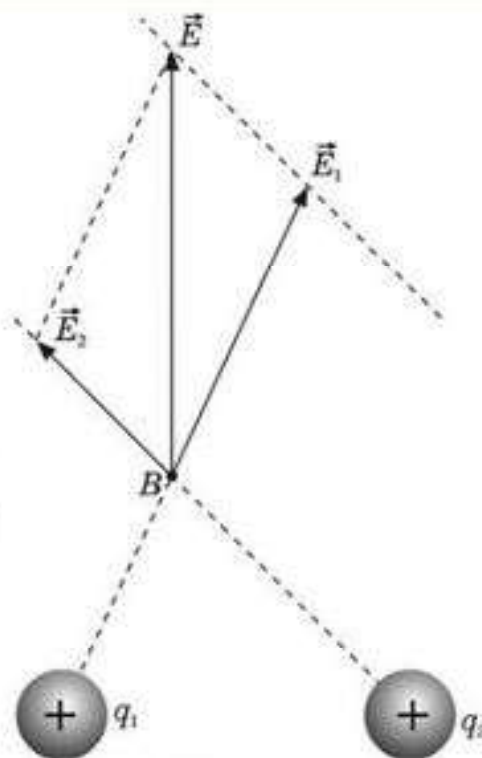
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2,$$

мұндағы $E_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1}{r_1^2}$, $E_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_2}{r_2^2}$.

Векторлық қосынды $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ параллелограмм ережесі бойынша есептеледі (27.9-сурет).

Кернеулік векторлары \vec{E}_1 және \vec{E}_2 екі өрістің қабаттасуы болатын B нүктесінде әрбір өрістің күш сызықтары майысып, бір-біріне беттесетінін атап көрсету керек. Олай болса, өрістердің қабаттасуы жағдайында B нүктесі арқылы электр өрісінің тек бір ғана қорытқы күш сызығы өтеді. B нүктесінде бір өрістің бірнеше күш сызықтарының қиылысатыны туралы жалған түсінік тұмауы тиіс.

27.1-кестені пайдаланып, электростатикалық өріс пен тартылыс өрісінің арасындағы ұқсастықты қар астыруға болады.



27.9-сурет

27.1- кесте

Тартылыс өрісі мен электростатикалық өріс шамаларының салыстырмалы кестесі

Шамалардың физикалық мағынасы	Шамалар	
	Тартылыс өрісінде	Электр өрісінде
Дененің оған әсер ететін күшке тәуелді болатын сипаттамасы	Масса, m	Заряд, q
Өріс қасиетін анықтайтын шама	Еркін түсу үдеуі, g	Кернеулік, E
Дене мен зарядқа әсер ететін күш	$\vec{F} = m\vec{g}$	$\vec{F} = q\vec{E}$

Кулон заңы мен электр өрісі кернеулігінің формуласы негізінде нүктелік өріс кернеулігі үшін мына өрнекті аламыз:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\epsilon r^2}$$

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Өріс теориясы электр зарядтарының өзара әсерлесуін қалай түсіндіреді?
2. Қандай тәжірибелік фактілер өріс теориясының дұрыстығын дәлелдейді?
3. Электр өрісі деп нені түсінеміз?
4. Электр өрісінің негізгі қасиеттері қандай?
5. Қандай өрістер электростатикалық деп аталады?

6. Электр өрісінің кернеулігі деген не? Кернеулігі E электр өрісінде q зарядқа әсер ететін күш неге тең?
7. Күш сызықтары деп нені айтады? Күш сызықтарының қандай қасиеттерін білесіңдер?
8. Қандай электр өрісі біртекті деп аталады және оны қалай алуға болады?
9. Біртекті электр өрісінде зарядтың орын ауыстыру жұмысы неге тең?
10. Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі неге тең?
- *11. Өрістердің қабағтасу (суперпозиция) принципінің физикалық мағынасы неде?
- *12. Өріс кернеуліктерінің векторлық қосындысы қалай анықталады?

11-жаттығу

1. Электр өрісінде тұйық траектория бойымен орын ауыстыру жұмысы нөлге тең екенін дәлелдендер.
2. Электр өрісіндегі тұйық траектория бойымен зарядтың орын ауыстыру жұмысымен Жердің гравитациялық өрісінде тұйық траектория бойымен дененің орын ауыстыру жұмысын салыстырыңдар.
3. Аттас, бірақ абсолют шамасы бойынша бірдей зарядпен зарядталған шексіз параллель екі пластинаның арасында электр өрісі нөлден өзгеше, ал пластинаның сыртындағы кеңістікте неге нөлге тең болатынын өрістердің суперпозициясы негізінде графикалық түрде түсіндіріңдер.
4. Егер $q = 3 \cdot 10^{-8}$ Кл зарядты кернеулігі $E = 600$ Н/Кл тең өріс нүктесіне орналастырсақ, онда оған қандай күш әсер етеді?
5. Зарядталған кішкене шардан 10 см қашықтықтағы $q = 1 \cdot 10^{-9}$ Кл зарядқа $F = 1,5 \cdot 10^{-2}$ Н күш әсер етеді. Осы нүктедегі өріс кернеулігін және шардың зарядын анықтаңдар.
6. Кернеулігі $E = 10^6$ Н/Кл тең электр өрісіндегі электронға әсер ететін күшті есептендер. Электрон қандай үдеумен қозғалады?
7. $1 \cdot 10^{-8}$ Кл нүктелік зарядпен байланысқан және одан 30 см қашықтықтағы өріс кернеулігін есептендер.
8. $q_1 = 3 \cdot 10^{-7}$ Кл және $q_2 = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл екі нүктелік заряд жүйесі өрісінің дәл ортасындағы кернеулігін табыңдар. Зарядтардың арақашықтығы $r = 20$ см.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 28. Конденсаторлар. Электрсыйымдылық. Сыйымдылықтың өлшем бірлігі және электр мөлшері

Тірек ұғымдар: электрсыйымдылық, конденсатор.

Бүгінгі сабақта: электр тізбектеріндегі конденсатордың рөлін түсіндіруді үйренесіңдер.

Конденсаторлар. Конденсатор өзара жұқа диэлектрик қабақпен ажыратылған екі өткізгіштен (астарлардан) тұратын жүйе болып табылады. Диэлектриктің қалыңдығы астарлардың мөлшерлерінен көп

кіші болуы тиіс. Сонда конденсатордағы зарядтар тудыратын электр өрісі түгел дерлік астарлардың арасында жинақталған болады.

XVIII ғасырдың ортасында Клейст ойлап тапқан тұңғыш конденсаторда бір астардың рөлін сынап, ал екінші астардың рөлін банкіні ұстап тұрған адамның қолы атқарды. Осы күнгі қағаз конденсатордың астары бір-бірінен парафин сіңірілген қағазбен ажыратылған және нықтап ширатылған екі алюминий фольга жолағы болып табылады. Қағаз конденсаторлармен қатар, пайдаланылатын түріне қарай диэлектрик ауа, керамика, слюда және басқа конденсаторлар болып бөлінеді.

Электролиттік конденсаторларда астарлардың біреуі — металл пластинаның бетіне жағылған оксидтік қабыршақ диэлектрик болады, ал екінші астардың рөлін электролит атқарады.

Егер астарларының біріне $+q$ заряд, ал екіншісіне модулі бойынша дәл осындай, бірақ қарсы таңбалы $-q$ заряд беріп, конденсаторды зарядтайтын болсақ, конденсатор астарларының арасында U потенциалдар айырымы пайда болады. Потенциалдар айырымы конденсатордың зарядына пропорционал болатындықтан $(U \sim q)$, $\frac{q}{U}$ қатынасы енді q да, U да тәуелді болмайды.

Конденсатор астарларының біреуінің зарядының осы астарлар арасындағы потенциалдар айырымына қатынасына тең скаляр физикалық шама конденсатордың электрсыйымдылығы деп аталады:

$$C = \frac{q}{U}, \quad (28.1)$$

Сыйымдылықтың анықтамасынан конденсатор зарядының

$$q = CU \quad (28.2)$$

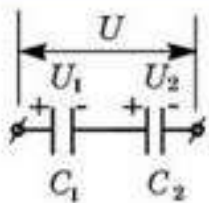
екені шығады.

Сондықтан бірдей кернеу кезінде сыйымдылығы үлкен конденсаторда көбірек заряд жинақтауға болады.

ХБ жүйесінде сыйымдылықтың өлшем бірлігі **фарад** (1 Ф) болып табылады. 1 Ф — заряды 1 Кл болған кезде астарларының арасында 1 В кернеу пайда болатын конденсатордың сыйымдылығы. 1 Ф — өте үлкен сыйымдылық. Сондықтан практикада көбінесе үлестік бірліктер — *микрофарад* (1 мкФ = 10^{-6} Ф), *нанофарад* (1 нФ = 10^{-9} Ф) және *пикофарад* (1 пФ = 10^{-12} Ф) пайдаланылады.

Практикалық мақсатта көбіне конденсаторларды батареяларға біріктіреді. Конденсаторларды батареяларға тізбектей және параллель жалғайды.

Конденсаторларды тізбектей жалғау. Конденсаторларды тізбектей жалғаған кезде барлық конденсаторлардағы заряд бірдей болады (және олар барлық батареяның зарядына тең). 28.1-суреттен көріп



28.1-сурет

отырғанымыздай, он q зарядты C_1 конденсатордың сол жақ астарына орналастырса, онда он жақтағы астарда индукция салдарынан теріс заряд жинақталады. Демек, C_2 конденсатордың сол жақ астарында $+q$ оң заряд, он жақ астарында $-q$ теріс заряд пайда болады. Тізбектей жалғанған конденсаторлардың әрқайсысындағы заряд q -ға тең, оны былай жаза аламыз: $q_1 = q_2 = q$.

Осы тізбектей жалғанған әрбір конденсатордың кернеуі

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; \quad U_2 = \frac{q}{C_2}$$

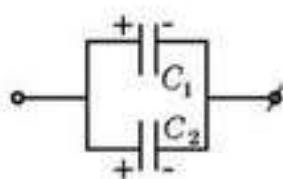
болады. Конденсаторлардың жалпы кернеуі $U = U_1 + U_2$ немесе $\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2}$ өрнегімен анықталады.

Осыдан конденсаторлардың жалпы сыйымдылығы

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Жоғарыда айтылғандардан, конденсаторларды тізбектей жалғау белгілері шығады:

$$\left. \begin{aligned} 1. \quad q &= q_1 = q_2 = q_3 = \dots = q_n; \\ 2. \quad U &= U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n; \\ 3. \quad \frac{1}{C} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}; \\ 4. \quad U_1 : U_2 : U_3 : \dots &= \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3} : \dots \end{aligned} \right\} \quad (28.3)$$



28.2-сурет

Конденсаторларды параллель жалғау. Конденсаторларды параллель жалғаған кезде C_1, C_2 конденсаторларының сол жақ астарларындағы потенциалдар бірдей және олардың таңбасы оң болады (28.2-сурет). Сол секілді оң жақ астарлардың да потенциалы бірдей (теріс таңбалы).

Демек, параллель жалғанған кезде жеке конденсаторлардағы кернеу бірдей және тізбектің кернеуіне тең, яғни

$$U = U_1 = U_2.$$

Параллель жалғау кезінде конденсаторларда жинақталатын зарядтың шамасы әртүрлі (олар конденсатордың сыйымдылығына тәуелді). Конденсаторлардағы заряд

$$q_1 = C_1 U, \quad q_2 = C_2 U.$$

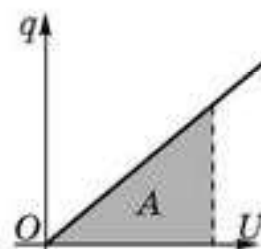
Конденсаторлар батареяларының толық заряды

$$q = q_1 + q_2 = C_1U + C_2U = U(C_1 + C_2)$$

және $q = CU$ болғандықтан, $C = C_1 + C_2$. Параллель жалғанған конденсаторлардың батареясының сыйымдылығы жекеленген конденсаторлар сыйымдылықтарының қосындысына тең. Осыдан конденсаторлардың параллель жалғануының белгілері шығады :

$$\left. \begin{array}{l} 1. q = q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n ; \\ 2. U = U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n ; \\ 3. C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n ; \\ 4. q_1 : q_2 : q_3 : \dots = C_1 : C_2 : C_3 : \dots \end{array} \right\} (28.4)$$

q заряд өрістің екі нүктесінің арасында орын ауыстырғанда электр өрісі күштерінің атқаратын жұмысы, U кернеу тұрақты қалса, $A = qU$ болады. Бірақ конденсаторды зарядтағанда оның астарларындағы кернеу нөлден U шамасына дейін артады (28.3-сурет), сондықтан өрістің атқаратын жұмысын есептегенде кернеудің орташа мәнін алу керек :



28.3-сурет

$$A = qU_{\text{орт}} = \frac{q(U+0)}{2} = \frac{qU}{2}.$$

Бұл A жұмыс зарядталған конденсатордың $W_{\text{эл}}$ энергиясын арттыруға кетеді де, $W_{\text{эл}} = A$ болады. Осыдан зарядталған конденсатордың энергиясы

$$W_{\text{эл}} = \frac{qU}{2}. \quad (28.5)$$

$q = CU$ болғандықтан, конденсатордың энергиясы үшін тағы бір формула аламыз :

$$W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2}. \quad (28.6)$$

$U = \frac{q}{C}$ өрнегін ескерсек, онда

$$W_{\text{эл}} = \frac{q^2}{2C}. \quad (28.7)$$

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Конденсатор дегеніміз не?
2. Конденсатордың қандай түрлерін білесіңдер?
3. Электрсыйымдылық дегеніміз не?
4. Жазық конденсатордың электрсыйымдылығы неге тең?
5. Сыйымдылықтың қандай бірліктерін білесіңдер?

6. Электродта 0,559 мг күміс бөліну үшін азот қышқылы күміс ерітіндісі арқылы қанша кулон электр мөлшерін өткізу керек?



Тапсырма

Стақанға су құйып, онда мыс купоросының бірнеше кристалын ерітіндер. Ерітіндіге ақ қаныттырдың жолақшасын батырып, оларды қалта шамы батареясының полюстеріне жалғандар. Пластиналардың бірінде мыстың бөлінетінін бақылаңдар.

Есеп шығару мысалы

Бірінші конденсатордың сыйымдылығы 0,5 мкФ, ал екіншісі 5000 пФ. Осы конденсаторларға бірдей зарядтар жинақтау үшін берілетін кернеулерді салыстыру керек.

Шешуі. Жазық конденсатордың сыйымдылығын анықтауға арналған формуладан

$$Q = CU$$

екені шығады. Зарядтары бірдей, ал сыйымдылықтары әртүрлі екі конденсатор үшін

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} = \frac{5000 \cdot 10^{-12}}{0,5 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{100}.$$

Жауабы: екінші конденсатордағы кернеу 100 есе үлкен болуы керек.

12-жаттығу

- Егер $q = 1,5 \cdot 10^{-7}$ Кл зарядты бір нүктенен екінші нүктеге орын ауыстырғанда $A = 9 \cdot 10^{-5}$ Дж жұмыс атқарылса, онда екі нүктенің арасындағы потенциалдар айырымы қандай болатынын есептеңдер.
- Потенциалдар айырымы $\Delta\phi = 220$ В электр өрісінде $q = 5$ Кл заряд орын ауыстырғанда қандай жұмыс жасалады?
- Екі пластинаның арасындағы біртекті электр өрісінің кернеулігі $E = 2,5 \cdot 10^4$ В/м. Егер пластиналардың арақашықтығы $d = 2$ см болса, онда олардың арасындағы потенциалдар айырымы қандай?
- Арақашықтығы 0,1 м, ал потенциалдар айырымы 220 В тең екі пластинаның арасындағы біртекті өрістің кернеулігі қандай?
- Конденсаторды потенциалдар айырымы $\Delta\phi = 40$ В дейін зарядтау үшін оған $q = 2 \cdot 10^{-4}$ Кл заряд керек. Конденсатордың сыйымдылығы неге тең?
- Электрсыйымдылығы 10 мкФ конденсаторды $\Delta\phi = 220$ В потенциалдар айырымына дейін зарядтайды. Конденсатордың заряды мен энергиясын табыңдар.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 29. Ток көзінің электр қозғаушы күші және ішкі кедергі. Кернеу және потенциалдар айырымы

Тірек ұғымдар: бөгде күштер, ЭҚК, кернеу.

Бүгінгі сабақта:

ток көзінің жұмыс істеу принципімен танысасындар және ЭҚК пен кернеу арасындағы айырмашылықты білесіндер.

Тізбекте электр тогы бар болуы үшін тізбек тұйық болуы және потенциалдар айырымын тудыратын құралдың болуы қажет екені сендерге 8-сыныптан белгілі.

Электр тогы сандық жағынан ток күшімен сипатталады.

Ток күші (I) деп сан мәні өткізгіштің көлденең қимасынан Δt уақыт бірлігі ішінде өтетін Δq зарядтардың мөлшеріне тең физикалық шаманы айтады:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \quad (29.1)$$

Ток күші мен зарядтың байланысын қарастырайық (29.1-сурет). Зарядталған бөлшектер, түсірілген электр өрісі әсерінен, өткізгіштің бойымен орын ауыстырсын және Δt уақыт ішінде ұзындығы $l = v\Delta t$, көлденең қимасының ауданы S болатын көлемнен v жылдамдықпен қозғалып келе жатқан барлық зарядталған бөлшектер өтсін делік.

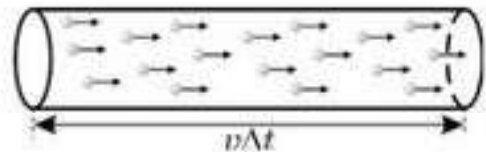
Егер зарядталған бөлшектердің концентрациясы n болса, онда берілген көлемдегі зарядталған N бөлшектердің саны $N = n \cdot \Delta t S$ болады. Әрбір зарядталған бөлшек өзімен бірге q_0 заряд ала жүретіндіктен, бөлініп алынған көлем арқылы Δt уақыт ішінде өтетін барлық Δq зарядты анықтай аламыз: $\Delta q = q_0 N = q_0 n v \Delta t S$, мұндағы q_0 — зарядталған бір бөлшектің заряды. (29.1) формуласын ескере отырып, келесі өрнекті аламыз:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = q_0 n S v. \quad (29.2)$$

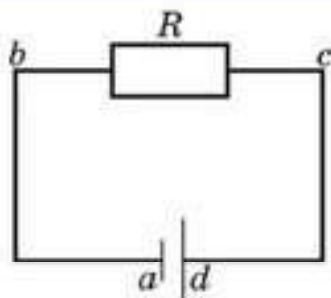
Егер зарядтардың жылдамдығы уақыт бойынша өзгермесе, (29.2) формуладан ток күші тұрақты болатыны шығады, яғни $I = \text{const}$.

Күші уақыт бойынша өзгермейтін электр тогын тұрақты ток деп атайды.

Әрі қарай біз тек тұрақты токпен байланысты мәселелерді қарастырамыз.



29.1-сурет



29.2-сурет

Тұйық электр тізбегі сыртқы және ішкі бөлік-терден тұрады. Сыртқы тізбек, әдетте, тұтынушылар немесе R кедергісі бар жүктеме деп аталатын әртүрлі құралдарды қамтиды. Ішкі тізбек ток көзі болып табылады.

Тұйық тізбектің сыртқы ($abcd$) бөлігіндегі еркін зарядтарға электр өрісінің күштері, ал ішкі (ad) бөлігінде бөгде күштер деп аталатын электрлік емес күштер әсер етеді (29.2-сурет).

Электростатикалық күштер әр аттас зарядтардың қосылуын тудырады, соның салдарынан өткізгіштегі зарядтың шамасы кемиді, ал оған сәйкес потенциалдар айырымы да азаяды. Бөгде күштер керісінше әр аттас зарядтардың бөлінуін тудырады және өткізгіш ұштарында потенциалдар айырымының болуын қамтамасыз етеді.

Дәл сол бөгде күштер арқылы сыртқы тізбекте потенциалдар айырымы сақталып, оның бойымен ток өтеді.

Бөгде күштер деп электрлік зарядталған бөліктердің бағытталған қозғалысын тудыратын табиғаты электрлік емес күштерді айтады.

Бөгде күштер ток көздерінен, атап айтқанда, гальвани элементтерінен, аккумуляторлардан, батареялардан, сондай-ақ жел, су, органикалық отын және т.б. энергияларын пайдаланатын аса қуатты электр генераторларынан алынады.

Мысалы, гальвани элементінде бөгде күштер электродтар мен электролиттердің арасындағы химиялық реакциялардың энергиясы есебінен пайда болады, ал электр генераторларында генератор роторы айналуының механикалық энергиясы есебінен туындайды.

Ішкі кедергі. Тұрақты ток тек тұйықталған электр тізбегінде ғана болады. Тұйықталған (немесе толық) электр тізбегі екі бөліктен тұрады: сыртқы және ішкі. Тізбектің *сыртқы бөлігін* әртүрлі ток тұтынушылары және жалғаушы сымдар, ал *ішкі бөлігін* ток көздері (гальвани элементтері, аккумуляторлар және т.б.) түзеді.

Электр тізбегінің әр бөлігінің электр тогына өзіндік кедергісі болады. Сыртқы тізбектің кедергісін *сыртқы кедергі* (оны R деп белгілейді), ал тізбектің ішкі бөлігінің кедергісін *ішкі кедергі* (ол r деп белгіленеді) деп атайды. Олардың қосындысын тізбектің *толық кедергісі* деп атайды:

$$R_{\tau} = R + r. \quad (29.3)$$

Оң және теріс зарядтарды бөлетін құрал ток көзі деп аталады.

А. Вольта 1799 жылы бірінші ток көзін — *вольт бағанын* жасады. Бұл ток көзі 20 мыс және мырыш пластиналар жұбынан құралған цилиндр бағанынан тұрды (29.3-сурет). Бұл пластиналар бір-бірі-

нен тұзды сумен суланған шұға дөнгелекшелер арқылы бөлінген болатын.

ХБ жүйесіндегі ЭҚК өлшем бірлігі *вольт* (В) болып табылады:

$$1В = 1 \text{ Дж/Кл.}$$

Гальваникалық элемент тұдыратын кернеу (мысалы, саусак батареясы) әдетте, 1—2 В аралығында болады, ал күн күркіреген кездегі бұлттар арасындағы кернеу 100 млн В-қа дейін жетеді.

Шығу кернеуі ток көзінен алынатын ток күшіне тәуелді болады. 1,5 В жаңа гальваникалық элементінің ішкі кедергісі 1,5 Ом шамасында. Егер бұл элемент 1 А ток күшін қамтамасыз ететін болса, онда оның шығу кернеуі номиналдық ЭҚК шамалы ғана ерекшеленеді:

$$U = \mathcal{E} - Ir = 1,5В - 1А \cdot 0,1 \text{ Ом} = 1,4 \text{ В.}$$

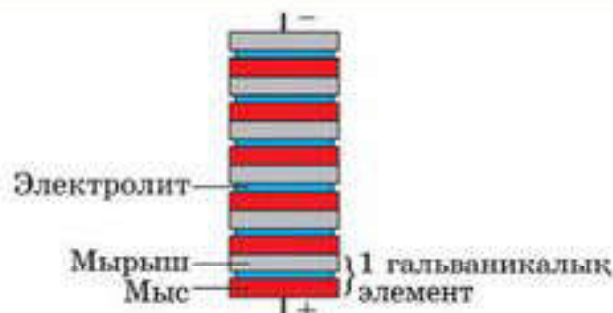
Элементтің ішкі кедергісі батарея ескіре бастаған кезде артады.

Бөгде күштер жұмысының A_6 тасымалданатын q зарядқа қиынғы $\frac{A_6}{q}$ берілген ток көзі үшін тұрақты шама болып табылады және электр қозғаушы күш (ЭҚК) деп аталады.

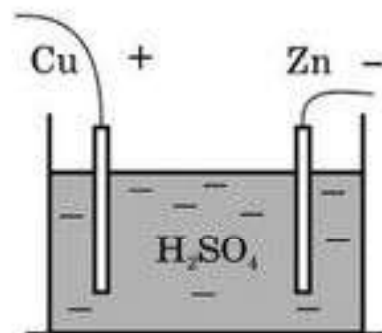
Электр қозғаушы күш — ток көзінің теріс полюсінен оң полюсіне оң зарядты тасымалдау бойынша бөгде күштердің атқаратын жұмысының осы заряд шамасына қатынасымен анықталатын физикалық шама:

$$\mathcal{E} = \frac{A_6}{q}. \quad (29.4)$$

Ток көздері түрлерінің біреуін қарастырайық. Мәселен, Вольта элементінде электродтардағы зарядтар электродтар мен электролиттер арасындағы химиялық реакция есебінен әр аттас болады. Күкірт қышқылының H_2SO_4 ерітіндісі құйылған ыдыс ішіне мырыш және мыс электродтар салынған (29.4-сурет). Мырыш атомдары күкірт қышқылымен өзара белсенді түрде әсерлеседі де, мырыш электродтан мырыш иондарын жұлып шығарып, H_2SO_4 молекуласындағы H_2 шамасымен алмасады. Мыс H_2SO_4 ионынан айырылып, теріс зарядталады. Осылайша мыс пен мырыш электродтарының арасында потенциалдар айырымы пайда болады. Егер ток көзі тұйықталмаса, мыс электрод пен электролит арасындағы потенциалдар айырымы шамамен +0,34 В, ал ал мырыш электрод пен электролит арасында



29.3-сурет



29.4-сурет

$-0,76$ В шамасына тең. Нәтижесінде электродтар арасында шамамен $1,1$ В потенциалдар айырымына тең тұрақты кернеу пайда болады. Ол электродтардың арақашықтығына да, олардың ауданына да тәуелсіз, тек элемент дайындалған заттардың химиялық қасиеттерімен анықталады.

Сонымен, егер тізбек бөлігінде электростатикалық күштермен қатар бөгде күштер әсер ететін болса, онда зарядтың орын ауыстыруы бойынша жасалған жұмыс A , электростатикалық күштердің жұмысы мен A_ε бөгде күштер жұмысының қосындысы арқылы анықталады. Демек, тізбекте тұрақты ток өтуі үшін қажет болатын толық жұмыс

$$A = A_\varepsilon + A, \quad (29.5)$$

болады. (29.5) теңдеуінің екі жағын да q зарядқа бөлейік:

$$\frac{A}{q} = \frac{A_\varepsilon}{q} + \frac{A_2}{q}. \quad (29.6)$$

Бұл теңдеудің сол жақ бөлігіндегі $\frac{A}{q}$ қатынасы U кернеу немесе тізбектің белгілі бір бөлігіне кернеудің түсуі деп аталады: $U = \frac{A}{q}$.

Кернеу — тізбек бөлігінде барлық әсер етуші күштердің атқарған жұмысының тасымалданатын заряд шамасына қатынасына тең физикалық шама.

(29.4) теңдеуінің оң жақ бөлігіндегі $\frac{A_\varepsilon}{q}$ — ЭКК, ал $\frac{A_2}{q} = \phi_1 - \phi_2$ — потенциалдар айырымы болып табылады. Осыларды ескере отырып, (29.6) теңдеуді келесі түрде жаза аламыз:

$$U = \varepsilon + (\phi_1 - \phi_2). \quad (29.7)$$

Бұл формуладан тізбек бөлігіндегі кернеу осы бөлікте әсер ететін электр қозғаушы күш пен оның ұштарындағы потенциалдар айырымының қосындысына тең болатынын байқаймыз.

Егер тізбек бөлігінде тек электростатикалық күштер әсер етсе және ток көзінің полюстері ажыратылған болса, онда $U = \phi_1 - \phi_2$. Демек, ток көзі жоқ тізбек бөлігіндегі кернеу потенциалдар айырымына тең.

Тәжірибе. Өздерің электролит элементін жасап көрулеріңе болады. Ол үшін лимон немесе кез келген цитрус жемісін, мыс тиян және мырыш жалатылған шегені пайдалануға болады. Тиян мен шегені бір-біріне жақындау, бірақ жанаспайтындай етіп, лимонға орналастырындар. Егер сезгіш вольтметрлерің болса, мыс тиян мен шеге арасындағы потенциалдар айырымын байқай аласындар.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Электр тогы дегеніміз не?
2. Тізбекте электр тогы өтуі үшін қандай шарттар орындалуы тиіс?
3. Электр тогы қалай қарай бағытталған?

4. Ток күші деп қандай физикалық шаманы айтады? Ол қандай бірліктермен өлшенеді?
5. Қандай тоқты тұрақты ток деп айтады?
6. Ток күші зарядпен қалай байланысқан?
7. Қандай күштер бөгде деп аталады?
8. Ток көзі деп нені атайды? Электр тізбегіндегі ток күшінің рөлі қандай?
- *9. Ток көзінің электр қозғаушы күшінің физикалық мағынасы неде?
- *10. Кез келген гальвани элементінің құрылысы қандай және қалай жұмыс жасайды?
11. Ток көзі жоқ тізбек бөлігіндегі кернеу неге тең?
12. Ток көзі бар тізбек бөлігіндегі кернеу неге тең?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындалды?

§ 30. Ом заңдары

Тірек ұғымдар: тізбек бөлігі және толық тізбек үшін Ом заңдары, кедергі.

Бүгінгі сабақта: токтың электр тізбегінде өту заңдарымен танысасындар.

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы. Сендер тізбектің бөлігі үшін Ом заңын оқыған кезде өткізгіште ток бар болуы үшін оның ұштарында потенциалдар айырымын туғызу қажеттігін білесіндер.

Біртекті өткізгіштің ұштарындағы потенциалдар айырымын кернеу деп атайды.

Біртекті өткізгішке бөгде күштер әсер етпейтін өткізгіш жатады. Қатты, сұйық, газ тәріздес, плазма күйіндегі әрбір өткізгіш үшін ток күшінің оған түсірілген потенциалдар айырымына қатысты белгілі бір тәуелділік болады. Тәжірибелер егер біртекті өткізгішті тұрақты температурада ұстаса, онда оның бойымен өтетін токтың күші түсірілген кернеуге пропорционал болады:

$$I = kU,$$

Ток күшінің кернеуге тәуелділігін алғаш 1826 жылы тәжірибе жүзінде Георг Ом алған болатын. Ол ЭҚК және ток күші ұғымдарын енгізді, кейіннен оның атымен аталған заңды тұжырымдады және осы заңды әртүрлі электр тізбектеріне, атап айтқанда, өткізгіштерді тізбектей және параллель жалғауға қолданды.

Кедергіні ХБ жүйесінде Оммен өлшейді:

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$

Ток күші тізбекке тізбектей жалғанатын амперметрмен өлшенеді. Тізбек бөлігіндегі кернеу тізбекке параллель жалғанатын вольтметрмен өлшенеді.

Тізбектегі ток күші ток көзінің сипаттамаларына, яғни оның ішкі кедергісіне және ЭҚК, сондай-ақ тізбектің сыртқы бөлігінің кедергісіне тәуелді болады.

Г. Ом k коэффициентінің орнына оған кері шама $R = \frac{1}{k}$ енгізді және оны *өткізгіштің кедергісі* деп атады. Осыны ескере отырып, тізбек бөлігі үшін Ом заңын аламыз:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (30.1)$$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы былай тұжырымдалады: **тізбек бөлігі арқылы өтетін ток күші бөліктің ұштарындағы кернеуге тура пропорционал да, оның кедергісіне кері пропорционал.**

Өткізгіштегі ток күшінің оған түсірілген кернеуге $I(U)$ тәуелділігін өткізгіштің *вольт-амперлік сипаттамасы* деп атайды.

Кедергі — *өткізгіштің негізгі электрлік сипаттамасы*. Өткізгіштің кедергісі оның өлшеміне және пішініне, сондай-ақ ол жасалған материалға тәуелді. Осылай біртекті цилиндр өткізгіштің кедергісін

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (30.2)$$

формуласы бойынша анықтауға болады, мұндағы ρ — өткізгіштің меншікті кедергісі, l — өткізгіштің ұзындығы, S — оның көлденең қимасының ауданы.

Әрбір материалдың өзіне ғана тән меншікті кедергісі болады және ол материал температураға қатысты өзгеріп отырады. Температура жоғарылауымен материалдың меншікті кедергісі артады.

Оны былай түсіндіруге болады электр тогының әсерінен электрондар өткізгіштің кристалдық торында қозғала отырып, жылулық қозғалысқа да қатынасады. Температура төмен болғанда, кристалдық тордың түйіндеріндегі иондардың тербеліс амплитудалары үлкен болмайды, сондықтан электрондардың өткізгіштегі қозғалысына кедергі де аз болады. Өткізгіштің температурасы артқанда, электрондардың жылулық қозғалысының жылдамдығы да, кристалдық тордың түйіндеріндегі иондардың тербеліс амплитудалары да артады, ал бұған сәйкес олардың бағытталған қозғалысына кедергі де күшейе түседі. Өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі келесі формула бойынша өрнектеледі:

$$R = R_0 (1 + \alpha_t), \quad (30.3)$$

мұндағы R_0 — 0°C температура кезінде өткізгіш кедергісі, t — өткізгіштің

градуспен берілген температурасы, R — t температура кезіндегі өткізгіш кедергісі, α — кедергінің температуралық коэффициенті.

Меншікті кедергінің өлшем бірлігі — $1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Өздерін білетіндей, $R = \rho \frac{l}{S}$, онда (30.3) тәуелділігі меншікті кедергі үшін де орынды болады, яғни

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t). \quad (30.4)$$

Көптеген қоспасы жоқ металдар үшін кедергінің температуралық коэффициенті $\alpha = \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$.

Өткізгіш кедергілерінің өзгеруі бойынша оның температурасын анықтауға болады, бұл өте жоғары және өте төмен температураларды өлшеу кезінде қолданылады.

Кедергі термометрлері деп аталатын металл термометрлермен, мысалы, металдың балку температурасы және сұйылтылған газдардың температурасы өлшенеді.

Толық тізбек үшін Ом заңы. Енді ЭҚК \mathcal{E} және ішкі кедергісі r болатын ток көзінен, сондай-ақ кедергісі R сыртқы бөліктен тұратын тұйық (толық) тізбекті қарастырайық (30.1-сурет). Қарастырылып отырған тізбекте жеткізуші сымдарымен бірге резистор сыртқы тізбекті — ток көзінен тыс ($adcb$) тізбек бөлігін құрайды. Онда тізбектің сыртқы және ішкі бөлігіндегі R_0 жалпы кедергі $R_0 = R + r$ болады.

Тізбек бөлігінде q заряд орын ауыстырғандағы A өріс жұмысы $A = qU$ болатынын ескерейік, мұндағы $U = IR$ және $q = It$, онда $A = UIt$ немесе $A = I^2 R_0 t$, немесе

$$A = I^2 (R + r)t \quad (30.5)$$

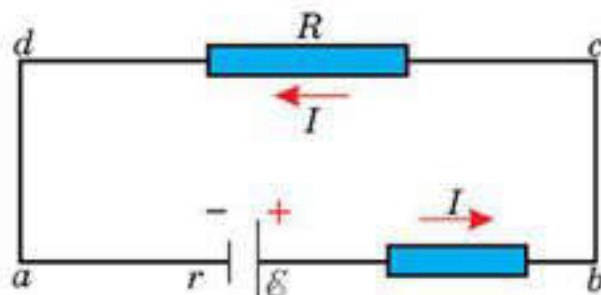
деп жаза аламыз. Алайда бұл жұмыс ток көзі ішінде зарядты орын ауыстыру бойынша бөгде күштердің атқарған жұмысына да тең: $A = A_{\mathcal{E}}$, онда

$$A_{\mathcal{E}} = \mathcal{E}q = \mathcal{E}It. \quad (30.6)$$

(30.5) және (30.6) теңдеулерінің оң жақтарын теңестірсек,

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad (30.7)$$

аламыз.



30.1-сурет

Бұл өрнек *толық тізбек үшін Ом заңын* бейнелейді және ол былай тұжырымдалады: *тұйық тізбектегі ток күші оған әсер ететін электр қозғаушы күшінің шамасына тура пропорционал да, тізбектің ішкі және сыртқы кедергілердің қосындысына кері пропорционал*.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Тізбек бөлігі үшін Ом заңының өрнегі қандай және ол қалай оқылады?
2. Өткізгіштің кедергісі қандай шамаларға тәуелді? Өткізгіш кедергісі температураға қатысты өзгере ме, өзгерсе, оны қалай түсіндіруге болады?
3. Кедергінің өлшем бірлігі қандай?
4. Толық тізбек үшін Ом заңының өрнегі қандай және ол қалай оқылады?

Есеп шығару мысалы

Кедергілері 600 Ом және 6000 Ом реостаттарды кернеуі 220 В тізбекке қосуға бола ма? Бірінші реостат 250 мА, ал екіншісі 2 А ток күшіне есептелген.

Берілгені:

$$R_1 = 600 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 6000 \text{ Ом}$$

$$I_{1(\max)} = 0,25 \text{ А}$$

$$I_{2(\max)} = 2 \text{ А}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$I_1 — ? \quad I_2 — ?$$

Шеңуі. Реостаттарды желіге жалғағанда олардан өтетін ток күштері

$$I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \text{ болады.}$$

$$I_1 = \frac{220 \text{ В}}{600 \text{ Ом}} \approx 0,37 \text{ А.}$$

$$I_2 = \frac{220 \text{ В}}{6000 \text{ Ом}} \approx 0,037 \text{ А.}$$

Бірінші реостатты желіге жалғауға болмайды, себебі ол 0,25 А дейінгі ток күшіне есептелген, ал желіден 0,37 А ток өтеді.

Жауабы : $I_1 \approx 0,37 \text{ А}; \quad I_2 \approx 0,037 \text{ А.}$

13-жаттығу

1. Ток күші 1 мА кезіндегі кедергісі 100 кОм резистордағы кернеуді анықтаңдар.
2. 3,5 В кернеу кезінде қалта шамындағы ток күші 0,28 А тең. Шам қылының кедергісін анықтаңдар.
3. Диаметрі 0,8 мм оқшауланған мыс сым катушкаға оралып, желіге тізбектей қосылған. Егер кернеу 2,5 В кезінде амперметр 0,6 А ток күшін көрсетсе, сымның ұзындығы қандай болғаны?
4. Ток көзінің ЭҚК 4,5 В, ішкі кедергісі 1 Ом тең. Жүктеме кедергісі 8 Ом кезіндегі тізбектегі ток күшін анықтаңдар. Жүктемедегі кернеу неге тең?
5. Ток көзінің ЭҚК 6 В. Ток күші 0,5 А кезінде жүктемедегі кернеу 5,8 В тең. Ток көзінің ішкі кедергісін анықтаңдар.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туыншады?
---	--	---

§ 31. Электр тогының жұмысы мен қуаты

Тірек ұғымдар: токтың әсері, токтың жұмысы мен қуаты, Джоуль—Ленц заңы.

Бүгінгі сабақта: токтың әсерін және оларды сипаттайтын заңдарды зерделейсіңдер.

Электр тогының бар екенін оның жылулық, химиялық және магниттік әсері бойынша байқауға болады. Электр тогы (нақтырақ айтсақ, электр тогының көзі) осындай әсерлер арқылы жұмыс жасайды. Мысалы, ток жүрген кезде өткізгіш қызады да, оның салдарынан олардың ішкі энергиясы артады. Өткізгіштің ішкі энергиясының артуы ток жұмысының есебінен жүзеге асады. Осы жұмысты анықтайық.

Ток жұмысын джоульмен (Дж) өлшейді: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ с}$.

Ток көзінің энергиясы есебінен заряд тасымалданғанда, яғни ток өткенде жұмыс атқарылады:

$$A = q\Delta\phi, \quad (31.1)$$

мұндағы q — тасымалданатын заряд, $\Delta\phi$ — зарядтың орын ауыстыруы аралығындағы нүктелердің потенциалдар айырымы. Егер тізбек бөлігінде ток көзі болмаса, онда $\Delta\phi = U$. Онда тізбек бөлігі үшін $U = IR$ Ом заңын ескере отырып, (31.1) өрнегін төмендегідей жаза аламыз:

$$A = qIR. \quad (31.2)$$

Электр тогының жылулық әсерін алғаш рет ағылшын физигі Дж. Джоуль зерттеді. Джоуль өзінің 1841 жылы жарияланған еңбегінде өткізгіште бөлініп шығатын жылу мөлшері ток күшінің квадратына пропорционал болатынын тағайындады.

Ресейлік ғалым Э.Х. Ленц Ом заңын алғаш мойындап, оны қолданғандардың бірі болды. Ол 1843 жылы өткізгіштегі ток бөліп шығаратын жылу мөлшері өткізгіштің кедергісіне тура пропорционал болатынын анықтады. Сондықтан электр тогының жылулық әсері туралы заң физика ғылымының тарихына Джоуль—Ленц заңы деген атпен енді.

Ток күші I тұрақты болғанда өткізгіштің көлденең қимасы арқылы t уақыт аралығында тасымалданған заряд

$$q = It, \quad (31.3)$$

онда өткізгіштегі бөлініп шыққан жылу мөлшері электр тогының жұмысына тең:

$$Q = A$$

немесе (31.2) және (31.3) формулаларын ескеріп, бұл теңдеуді төмендегідей жаза аламыз:

$$Q = I^2 R t. \quad (31.4)$$

Бұл формула *Джоуль—Ленц заңын* сипаттайды және ол былай тұжырымдалады: **тогы бар өткізгіште бөлініп шығатын жылу мөлшері ток күші квадратының, өткізгіш кедергісінің электр тогының өту уақытының көбейтіндісіне тура пропорционал.**

Көптеген тұрмыстық электр құралдарында одан өтетін ток емес, оның тұтынатын қуаты көрсетіледі.

Өткізгіштерді әртүрлі жолмен жалғау кезіндегі жылу мөлшерін есептеу ыңғайлы болу үшін Джоуль—Ленц заңын түрліше жазуға болады.

Тізбек бөлігі үшін Ом заңын пайдалана отырып, (31.4) формуласын келесі түрде ұсынуға болады:

$$Q = I U t \quad (31.5)$$

немесе

$$Q = \frac{U^2}{R} t. \quad (31.6)$$

Өткізгіштерді тізбектей жалғау кезінде ток күші оның өне бойында бірдей болғандықтан, (31.4) формуласына сәйкес уақыт бірлігі ішінде бөлініп шығатын жылу мөлшері кедергісі үлкен қыздыру элементінде көп болады.

(31.6) формуласынан қыздыру элементтерін параллель жалғау кезінде уақыт бірлігі ішінде әрбір қыздыру элементінде бөлініп шығатын жылу мөлшері оның кедергісіне кері пропорционал екені шығады.

Электр тогының қуаты. Уақыт бірлігі ішінде электр құралы пайдаланатын энергия немесе токтың қуаты кез келген электр құралының маңызды сипаттамасы болып табылады.

8-сыныптың физика курсынан токтың қуаты $P = \frac{A}{t} = \frac{Q}{t}$ екені өздеріне белгілі. (31.4) және (31.6) формулаларын ескеріп,

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} = I U \quad (31.7)$$

аламыз. Онда қыздыру элементі бөліп шығаратын жылу мөлшерін есептеуге арналған формуланы келесі түрде жаза аламыз:

$$Q = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t = I U t.$$

Токтың қуаты джоульдің секундка қатынасымен өлшенеді. Қуаттың ХБЖ өлшем бірлігі — *ватт* : $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$. Бұл бірлік Джеймс Уаттың (1736—1819) құрметіне оның атымен аталған.

Адам үшін қауіпсіз деп есептелетін кернеу құрғақ жерлерде (бөлме, ғимарат) 36 В дейін жетеді. Ал ылғал жерлерде бұл мән 12 В болады.

Қысқа тұйықталудан туындайтын салдарлардан сақтану үшін тізбекке балқымалы сақтандырғыштар немесе бөліп таратқыш тақта қосылады. Балқымалы сақтандырғыштар қысқа тұйықталу кезінде тез жанып кетіп, тізбекті ажырататын жіңішке металл сым болып табылады.

Тұрақты ток заңдарын пайдалану. Қазіргі заманғы өркеннеттің дамуын электр тоғынсыз елестету мүмкін емес. Ол үйлер мен өндіріс орындарын жарықтандырады, станоктарды, электронды-есептеуіш машиналарын қозғалысқа келтіреді, радиотолқындарды шығарады және т.б.

Электр тоғының жылулық әсері өне бойымен ток өткен кезде температурасы арта түсетін әртүрлі тұрмыстық және өндіріс құралдары мен қондырғыларда кеңінен қолданылады. Кез келген қыздыру құралының негізгі бөлігі қыздыру элементі болып табылады, ол, мысалы, қыздыру шамында, өлшеу техникасының құралдарында, дәнекерлеу аппараттарында және заманауи техниканың көптеген салаларында пайдаланылады.

Қыздыру элементі бөліп шығаратын жылу қоректендіру элементіндегі қуат пен оның бойынан өтетін ток күшінің көбейтіндісіне тең екенін білеміз. Демек, қыздыру элементінің қуатын біле отырып, мысалы, массасы белгілі суды белгілі бір температураға дейін қыздыруға кететін уақытты анықтауға болады.

Өткізгіштерде бөлініп шығатын жылу мөлшерінің ток күшінің квадратына және кедергіге пропорционал болуы бірқатар маңызды техникалық және экономикалық сипаттағы мәселелерді шешу қажеттігіне әкеледі. Осылай, мысалы, тұтынушыларға қажетті электр энергиясын жеткізу үшін сымдардағы энергия шығыны рұқсат етілетін нормадан артпауы, желінің жеткізуші сымдарына жұмсалатын металл шығыны минимал болуы сияқты шарттар орындалуы тиіс. Мұндай мәселелер кешенін тұрақты ток заңдарын білмей шешуге болмайды.

Қабырғадағы розеткалардан шығатын өткізгіштер балқымалы сақтандырғыштар мен бөліп таратқыш тақтаға жеткенге дейін бірқатар қашықтықты жүріп өтеді. Бұл сымдар қызбауы және розеткалардан үлкен ток пайдаланылған жағдайда үлкен кернеу туғызбауы үшін жеткілікті мөлшердегі жуан өткізгіштер пайдаланылады.

Жарықтандыру желілерінде 220 В кернеудегі қысқа тұйықталу кезіндегі ток күші өте үлкен болатынын, сымдар күйіп кетуі, тіпті өрт болу қаупі де бар екенін естен шығармау қажет.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Тізбектен электр тогы өткенде қандай энергияның есебінен жұмыс істелінеді?
2. Тізбек бөлігіндегі жұмысты қалай есептеуге болады?
3. Токтың жұмысын қандай бірліктермен өлшейді?
4. Джоуль—Ленц заңы қалай тұжырымдалады?

Есеп шығару мысалдары

1-есеп. Ток күші 1 А болған кездегі көлденең қимасы $1,4 \text{ мм}^2$ алюминий өткізгіштің кернеулігі қандай?

Шешуі. Өткізгіштің кедергісі

$$R = \frac{\rho l}{S},$$

мұндағы ρ — меншікті электр кедергісі, l — өткізгіштің ұзындығы, S — оның көлденең қимасының ауданы. l ұзындықта кернеу (потенциалдар айырымы) Ом заңымен анықталады:

$$U = IR,$$

мұндағы I — ток күші. Олай болса, өткізгіштегі электр өрісінің кернеулігі $E = \frac{U}{l} = \frac{IR}{l}$.

$$E = \frac{1 \text{ А} \cdot 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}}{1,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ В/м}.$$

Жауабы: $E = 20 \text{ мВ/м}$.

2-есеп. 220 В кернеуге есептелген тұрмыстық электр плитасында екі спираль бар, олардың әрқайсысының жұмыстық режимдегі кедергісі 80,7 Ом. Айырып-қосқыштың көмегімен бір спиральды, екі спиральды тізбектей немесе екі спиральды параллель жалғауға болады. Әр жағдайдағы қуатты есептеңдер.

Шешуі. Егер R бір спиральдың кедергісі болса, онда екі спиральдың кедергісі $2R$ (тізбектей жалғаған жағдайда) және $\frac{R}{2}$ (параллель жалғаған жағдайда).

Екінші жағынан, бір спиральды жалғаған кездегі токтың қуаты, Джоуль—Ленц заңына сәйкес, мынаған тең: $P_1 = \frac{U^2}{R}$.

Сондықтан тұтынатын қуат тізбектей жалғаған кезде

$$P_2 = \frac{U^2}{2R} = \frac{P_1}{2},$$

ал параллель жалғаған кезде $P_3 = \frac{2U^2}{R} = 2P_1$, $P_1 = \frac{(220 \text{ В})^2}{80,7 \text{ Ом}} \approx 600 \text{ Вт}$,
 $P_2 = 300 \text{ Вт}$, $P_3 = 1200 \text{ Вт}$.

Жауабы : $P_1 \approx 600 \text{ Вт}$; $P_2 = 300 \text{ Вт}$; $P_3 = 1200 \text{ Вт}$.

14-жаттығу

1. Егер қалта шамының кернеуі 3,5 В, ал ток күші 0,28 А болса, ондағы электр тогы 5 мин ішінде қандай жұмыс атқарады?
2. Егер резистордағы ток күші 10 мА, ал оның кедергісі 1 кОм болса, онда 10 мин ішінде қанша жылу мөлшері бөлініп шығады?
3. Егер кедергісі 1 кОм резисторды кернеуі 100 В тізбекке жалғасак, 10 мин ішінде қанша жылу мөлшері бөлініп шығады?
4. Кедергілері 50 Ом және 100 Ом екі өткізгіш электр тізбегіне тізбектей жалғанған. Осылардың қайсысында көбірек жылу мөлшері бөлінеді және қанша есе?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	--	---

§ 32. Металдардағы электр тогы

Тірек ұғымдар: классикалық

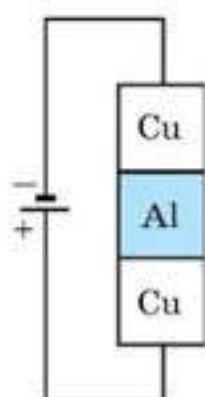
электрондық теория, заттың меншікті кедергісі, кедергінің температуралық коэффициенті, кедергі термометрі.

Бүгінгі сабақта:

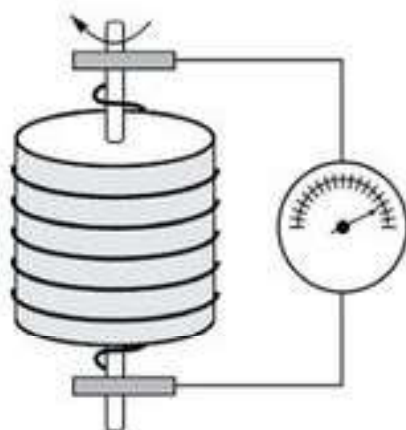
металдардың өткізгіштігінің электрондық табиғатын дәлелдейтін тәжірибелермен танысасыздар; металдардың өткізгіштігінің электрондық теориясының негізгі қағидаларын зерделейсіздер.

Металдардағы электр тогын электрондардың бағытталған қозғалысы тудырады. Бұл көптеген тәжірибелермен дәлелденген. Солардың кейбірін қарастырайық.

1901 жылы Э. Рикке тәжірибе жасады. Ғалым беті ұқыпты тегістелген үш цилиндрден тұратын (біреуі алюминий, екеуі мыстан жасалған) электр тізбегін құрады (32.1-сурет). Осы тізбек арқылы бір жыл бойы электр тогын жіберді. Осы уақыт ішінде цилиндрлер арқылы жалпы шамасы $3,5 \cdot 10^6$ Кл тең заряд өтеді, бірақ одан цилиндрдің химиялық құрамы өзгерген жоқ. Тәжірибе аяқталған соң цилиндр-



32.1-сурет



32.2-сурет

лерді бір-бірінен ажыратады, сонда олардың массасы өзгеріссіз қалады. Атомдардың бір денеден екінші денеге өтуі қатты денелердегі кәдімгі диффузия құбылысының нәтижесінен ерекшеленбеді. Демек, электр зарядын тасымалдаушы бөлшек мыс пен алюминийге ортақ электрон болып табылады.

1916 жылы американдық физиктер Т.Стюарт пен Р.Толмен жасаған тәжірибеде металл өткізгіштермен оралған үлкен диаметрлі катушка 500 айн/мин жиілікпен айналады да, бірден тоқтайды (32.2-сурет). Осы кезде катушкада электрондардың инерциямен қозғалуынан туған қысқа ток пайда болады. Ток сырғымалы контакт көмегімен өткізгіштің ұштарына қосылған гальванометр арқылы тіркелген. Т. Стюарт пен Р. Толмен эксперименттік түрде ток тасымалдаушы бөлшектің $\frac{q_0}{m}$ меншікті зарядын анықтады. Ол $1,8 \cdot 10^{11}$ Кл/кг тең болып, электронның меншікті зарядына дәл келді.

XX ғасырдың басында неміс физигі П. Друде мен нидерландық физик Х. Лоренц металдардың электр өткізгіштігінің классикалық электрондық теориясын құрды. Осы теорияның негізгі қағидалары :

1. Металдардың жақсы электр өткізгіштігі олардағы еркін электрондар санының орасан зор болуымен түсіндіріледі. Мысалы, мыстағы еркін электрондар концентрациясы $8,4 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$. Еркін электрондар газ секілді тордың иондары арасындағы кеністікті үздіксіз және бейберекет қозғала отырып толтырады. Еркін электрондар жынығын молекулалық-кинетикалық теория заңдары қолданылатын электрондық газ ретінде қарастыруға болады. Осылайша металдардағы электрондардың ретсіз қозғалысының жылдамдығы анықталып, ол шамамен 60—100 км/с тең болды. Сыртқы электр өрісі жоқ кезде өткізгіштің кез келген көлденең қимасы арқылы электрондар тасымалдайтын толық заряд нөлге тең, себебі электрондар хаосты қозғалады. Сондықтан электр тогы болмайды.

2. Сыртқы электр өрісінің әсерінен электрондардың ретсіз қозғалысы реттеліп, электр тогы пайда болады. Егер ұзындығы l өткізгішке U потенциалдар айырымын берсек, онда өткізгіш ішінде кернеулігі $E = \frac{U}{l}$ электр өрісі туады. Ньютонның екінші заңына сәйкес, осы өрістің әсерінен электрондар $a = \frac{eE}{m}$ үдеуге ие болады. Сондықтан

t уақыт өткеннен кейінгі электрондар жылдамдығы $v = \frac{eEt}{m}$ тең. Электрондардың тор иондарымен әрбір соқтығысынан кейін, негізінен, электрон жылдамдығының бағыты өзгереді, ал электрондық газдың орташа жылдамдығының модулі тұрақты және $v_{\text{орт}} = \frac{eEt}{2m}$ тең.

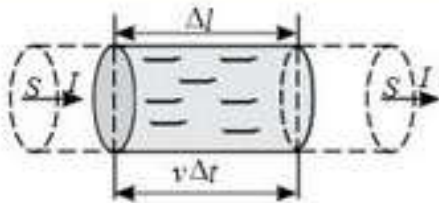
Осылайша тор иондарымен соқтығысу нәтижесінде металдардағы электрондар теңүдемелі емес, тұрақты орташа жылдамдықпен қозғалады. Бұл жылдамдық түсірілген күшке пропорционал:

$$F = eE.$$

Сондықтан хаосты қозғалатын электрондар өріс бағытына карама-қарсы бағытта $v_{\text{орт}}$ орташа жылдамдықпен орын ауыстырады.

3. Металл өткізгіштің бойынан өтетін электр тогының күші тәжірибе жүзінде тағайындалған тізбек бөлігіне арналған Ом заңымен анықталатыны белгілі. Бірақ өткізгіштің электрондық теориясын пайдаланып, П. Друде мен Х. Лоренц аталған заңды теориялық жолмен алды.

Ұзындығы l , электрондарының концентрациясы n және көлденең қимасының ауданы S болатын металл өткізгішті алайық (32.3-сурет). Анықтама бойынша



32.3-сурет

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 N}{t} = \frac{q_0 n V}{t} = \frac{q_0 n S l}{t} = q_0 n S v_{\text{срт}}$$

Біздің жағдайымызда $q_0 = e$, сондықтан

$$I = enSv_{\text{срт}} \quad (32.1)$$

Электрондардың бастапқы жылдамдығы нөлге $v_1 = 0$ тең, ал олардың λ еркін жүру жолына тең жолды жүріп өткеннен кейінгі жылдамдығы $v_2 = at$ болсын. Осы жағдайда электр өрісінің әсерінен бағытталған қозғалысқа келген электрондардың орташа жылдамдығы

$$v_{\text{срт}} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} = \frac{v_2}{2}$$

$$a = \frac{eE}{m}, \text{ ал } v_2 = at \text{ болғандықтан, } v_2 = \frac{eEt}{m}$$

Электрондардың тор иондарымен соқтығысулары арасындағы уақыт $t = \frac{\lambda}{u}$, мұндағы λ — еркін жүру жолының ұзындығы, u — электрондардың ретсіз қозғалысының орташа жылдамдығы. Сонда $v_{\text{срт}} = \frac{eE\lambda}{2mu}$. Осы өрнекті (32.1) формуласындағы $v_{\text{срт}}$ орнына қойсақ,

$$I = \frac{e^2 n S E \lambda}{2 m u} \quad (32.2)$$

формуласын аламыз. $\rho = \frac{2 m u}{e^2 n \lambda}$ шамасы *заттың меншікті кедергісі* деп

аталады. $E = \frac{U}{l}$ болғандықтан, (32.2) формуланы

$$I = \frac{US}{\rho l} = \frac{U}{\frac{\rho l}{S}} = \frac{U}{R}$$

деп жаза аламыз. Бұл — *тізбектің бөлігіне арналған Ом заңының математикалық өрнегі*. R шамасы *өткізгіштің кедергісі* деп аталады.

4. Әртүрлі заттар ішкі құрылымымен ерекшеленетін болғандықтан, олардың кедергілері де өзгеше болады. Бұл кристалдық тордағы иондардың орналасуына және заттағы еркін электрондардың концентрациясына байланысты.

5. Өткізгіштегі электрондардың бағытталған қозғалысының орташа жылдамдығы өте аз болғанмен, өткізгіште ток лезде пайда болады. Себебі өткізгішті ток көзіне қосқан мезетте әрбір электронға жарық жылдамдығымен таралатын электр өрісі әсер етеді. Вакуумда қозғалған кезде еркін электрондарға ешқандай қарсы әсер болмайды және ол электр өрісі күшінің жасайтын жұмысы есебінен кинетикалық энергия алады. Электрондар зат ішінде қозғалған кезде тор иондарымен және

басқа электрондармен соқтығысып, қарсы әсерге кездеседі. Осы кезде олар электр өрісінен алған энергиясын жоғалтады. Нәтижесінде зат бөлшектерінің хаосты қозғалысының қарқындылығы артады да, дене қызады. Сондықтан зат арқылы ток өткен кезде оның ішкі энергиясы әрқашан артады. Металдардан ток өткен кездегі бөлінетін жылу мөлшерін *Джоуль—Ленц заңына* сәйкес анықтайды, яғни

$$Q = I^2 R t.$$

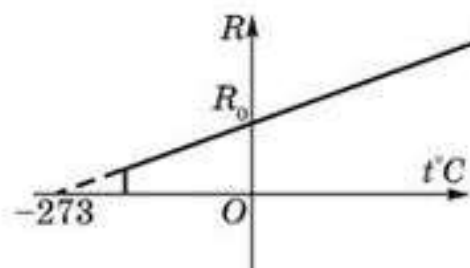
6. Барлық металдарда температураның жоғарылауымен кедергі де артады. Себебі температураның жоғарылауымен электрондардың жылулық (хаосты) қозғалысының қарқындылығы артады, сонымен бірге электрондардың бір-бірімен және тор иондарымен соқтығысу саны өседі. Осы кезде электрондардың реттелген қозғалысы кемиді. Тәжірибе көрсеткендей, температураның кең интервалында металдардың меншікті кедергісінің температураға тәуелділігі

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t) \quad (32.3)$$

болады. Металдардың меншікті кедергісінің температураға тәуелділігі 32.4-суретте көрсетілген. $R = \frac{\rho l}{S}$ болғандықтан, өткізгіш кедергісі

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \quad (32.4)$$

заңдылығы бойынша температураға тәуелді өзгереді, мұндағы α — *кедергінің температуралық (жылулық) коэффициенті*, ρ_0 және R_0 — металл өткізгіштің 0°C температурадағы сәйкесінше меншікті кедергісі және өткізгіштің өз кедергісі, ρ және R — өткізгіштің t температурадағы сәйкесінше меншікті кедергісі және өткізгіштің өз кедергісі.



32.4-сурет

Таза металдардың кедергісінің температуралық коэффициенті бір-бірінен аз ерекшеленеді және шамамен $0,004 \text{ K}^{-1}$ ($1/273 \text{ K}$) тең. Металдар үшін α коэффициенті оң мәнге ие болады, себебі өткізгіш жылыған кезде кедергі артады, ал көмір, электролит және таза жартылай өткізгіш үшін α коэффициенті теріс, себебі оның кедергісі металл жылыған кезде кемиді.

Металл кедергісінің температураға тәуелділігі *кедергі термометрлерінде* қолданылады. Ол температураны градустың мыңдық үлесіне дейінгі дәлдікпен өлшеуге мүмкіндік береді, өйткені кедергіні өте жоғары дәлдікпен өлшеуге болады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Неліктен барлық металдар жақсы өткізгіштер?
2. Металдарда еркін электрондар қалай пайда болады?
3. Неліктен металдардағы өткізгіштік электрондық болып табылады?
4. Өткізгіште сыртқы электр жок кездегі және бар кездегі еркін электрондардың әсерін сипаттап айтып беріңдер.
5. Металдағы электрондар қозғалысы орташа жылдамдығының шамасын олардың электр өрісі тарапынан болатын реттелген қозғалысының орташа жылдамдығының шамасымен салыстырыңдар.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

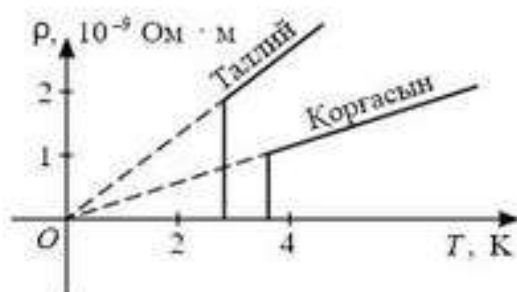
Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындалды?

§ 33. Асқын өткізгіштік

Тірек ұғымдар: асқын өткізгіштік, кризистік температура, жоғары температуралық асқын өткізгіштік.

Бүгінгі сабақта:

асқын өткізгіштік және жоғары температуралық асқын өткізгіштік құбылыстарымен танысасыңдар.



33.1-сурет

Нидерландық физик Х. Камерлинг-Оннес (1853—1926) 1911 жылы *асқын өткізгіштік* деп аталатын құбылысты ашты. Кейбір металдардың кедергісі өте төменгі температурада нөлге дейін түсетіні анықталды (33.1-сурет). Бұл металдардың осы температурадан бастап электр тогына кедергі жасамайтынын көрсетеді. Егер осындай металдан сақина

жасап, оның бойымен ток жіберсе, онда өткізгіштің қызуына энергия жұмсалмайтын болғандықтан, сақинадағы ток ұзақ уақыт тұрады. Асқын өткізгіштігі өшпейтін электр тогының ең ұзақ өмір сүруі екі жылдай уақытқа созылған.

Қазіргі кезде асқын өткізгіштікке көптеген металдар мен қорытпалардың да не болатыны анықталған. Кейбір металдар, оның ішінде ең жақсы өткізгіштер (мыс, күміс, алтын, платина, натрий, калий, темір, никель) асқын өткізгіштік қасиетке не болмайтыны көңіл аудартады.

Асқын өткізгіштік теориясын 1957 жылы американдық ғалымдар Л. Купер, Дж. Бардин мен Дж. Шриффер құрды (оны “БКШ теориясы”

деп те атайды). Олар *асқын өткізгіштікті электрондық сұйықтың асқын аққыштығы* деп түсіндірді (асқын аққыштық дегеніміз — үйкеліссіз ағу, ол кенес физигі Л.Д.Ландау (1908—1968) ашқан кванттық сұйыққа тән).

Асқын өткізгіштік күйі тек бүтін *спині* (бөлшектің өз осінен айналуынан туатын өздік магнит өрісі) бар бөлшектер тобына тән. Электрондардың *спині* $\frac{1}{2}$ -ге тең. Сондықтан Л. Купер асқын өткізгіштерде электрондар *спиндері* карама-қарсы бағыттанып, қосынды *спині* нөлді беретін электрондық жұптарға бірігіп, *купер жұбы* деп аталатын электрондар “топтамасын” құратынын дәлелдеді. Осындай жағдайда өте көп бөлшектер үйлесімді қозғалады да, кванттық механиканың заңдарын макроскопиялық масштабта қолдануға болады. Жеке электронның кристалдық тор иондарымен соқтығысуы мүмкін емес, сондықтан осындай электрондар “топтамасының” қозғалысын тежеу оңай болмайды. Осы кванттық жүйенің энергиясы кенеттен өзгереді де, электрондардың “асқын өткізгіштік жұбы” металл ішінде үйкеліссіз белгілі жылдамдыққа дейін қозғала алады.

Асқын өткізгіштік күйді кристалл құрылымын түрлендіру немесе қоспа қосу арқылы өзгертеді. Магнит өрісі металдың асқын өткізгіштік күйін жояды және бұл күйді жоятын өріс шамасы әртүрлі температураларда түрліше болады. *Кризистік деп аталатын белгілі бір температурада өте әлсіз магнит өрісінің өзі заттың асқын өткізгіштік қасиетін жояды*. Дененің өлшемі асқын өткізгіштікке қатты әсер етеді.

1933 жылы *асқын өткізгіштік ток — беттік ток* екені анықталды.

Асқын өткізгіштік төменгі температураларда көлденең қимасының ауданы аз болатын металл өткізгіште өте үлкен ток алуға мүмкіндік береді. Сондықтан асқын өткізгіш материалдардан қуатты генераторлар мен электромагниттің өзекшелерін сұйық гелиймен салқындату арқылы жасайды.

1986 жылы жоғары температурадағы асқын өткізгіштік құбылысы ашылды. Лантанның, барийдің және басқа элементтердің асқын өткізгіштік күйге шамамен 100 К температурада өтетін күрделі оксидтік қосылысы алынды. Алынған асқын өткізгіш заттар морттық қасиетке ие болып шықты. Өңдеу кезінде олар тез бүлініп, ұнтаққа айналады. Асқын өткізгіштік физикасының алдында асқын өткізгіш материалдарды іздеу ғана емес, сонымен қатар олардың жоғары технологиялық қасиеттерін анықтау міндеті де тұр.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Температураның жоғарылауымен металдар кедергісінің артуын түсіндіріңдер.
2. Асқын өткізгіштік деп қандай құбылысты атайды? Оны кім ашты?
3. Асқын өткізгіштік құбылысын қалай түсіндіруге болады?

Осы тақырыпта негізгі мәліметтерді?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	---	---

§ 34. Жартылай өткізгіштердегі электр тогы

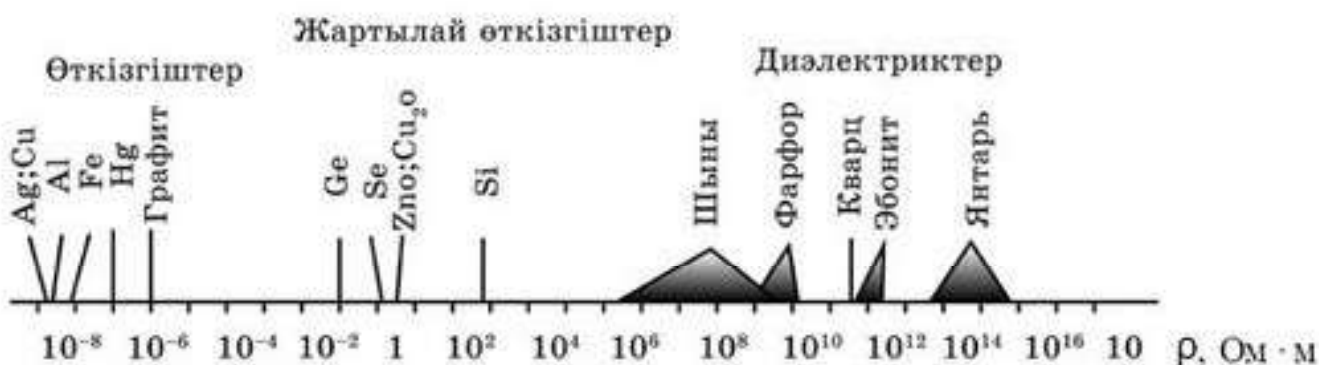
Тірек ұғымдар: өткізгіштер, жартылай өткізгіштер және диэлектриктер, коваленттік байланыс, электронды-кемтік өткізгіштік, жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі, донорлық қоспа, акцепторлық қоспа, жартылай өткізгіштердің аралас өткізгіштігі, *n*-және *p*-типті жартылай өткізгіштер.

Бүгінгі сабақта:

атомдар арасындағы коваленттік байланыс жартылай өткізгіштердің кристалдық құрылымын қалай қалыптастыратынын білесіңдер; жартылай өткізгіштердің өткізгіштігі меншікті және аралас өткізгіштік болып бөлінетінін білесіңдер; электронды-кемтік өтудің қасиеттерімен танысасыңдар.

Өткізгіштер, диэлектриктер, жартылай өткізгіштер. Барлық заттар электр өткізгіштігіне қарай үш топқа бөлінетіні өздеріңе мәлім: *электр тогын жақсы өткізетін заттар — өткізгіштер* [$\rho = (10^{-5} - 10^{-8}) \text{ Ом} \cdot \text{м}$], *меншікті өткізгіштігі өте төмен заттар — диэлектриктер* [$\rho = (10^8 - 10^{17}) \text{ Ом} \cdot \text{м}$] және *электр тогын өткізгіштігі өткізгіш пен диэлектриктің арасында жататын заттар — жартылай өткізгіштер* [$\rho = (10^4 - 10^5) \text{ Ом} \cdot \text{м}$] (34.1-сурет).

Өткізгіштерде еркін заряд тасымалдаушылардың көп болуы олардың жақсы өткізгіштік қасиетін түсіндіреді. Бірақ өткізгіштің құрамындағы қоспа оның кедергісін арттырады. Себебі еркін заряд



тасымалдаушылардың концентрациясы өзгермесе де, олардың қозғалысына қоспа кедергі жасайды.

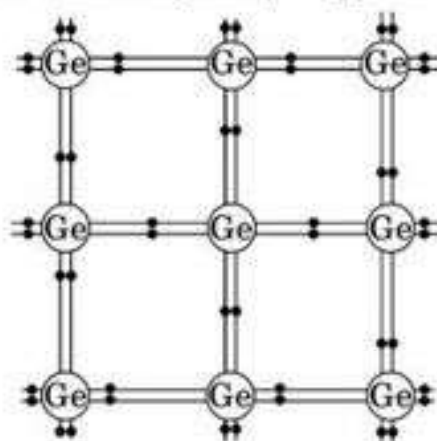
Диэлектриктерде еркін заряд болмағандықтан, олар электр тогын өте нашар өткізеді. Диэлектриктердің құрамында қоспа болса, онда, әдетте, олардың электрондары өз атомдарымен нашар байланысқан болады. Сондықтан олар атомдарды оңай тастап кетеді де, еркін күйге өтіп, диэлектриктің кедергісін азайтады.

Жартылай өткізгіштердің тобына коваленттік байланыстағы заттар жатады. Көршілес төрт атом арасындағы коваленттік байланыс валентті электрондардың бірігуі есебінен пайда болады. Демек, осы байланыс пайда болғанда әр атомнан бір валентті электроннан катысып, электрондық жұп түзеді. Осы “қоғамдасқан” электрондар уақытының көп бөлігін көршілес атомдар аралығындағы кеңістікте өткізеді. Аталған байланыстың құрылымы 34.2-суретте көрсетілген. Электрондардың “ұжымдық” жұбы тек екі атомға ғана тиісті. Әрбір атом көрші атомдармен төрт байланыс құрады, ал берілген валентті электрон олардың кез келгеніне қарай қозғала алады. Көрші атомға жақындаған электрон оған, сосын келесі атомға өтеді, осылайша кристалл бойымен жүреді. Сондықтан “ұжымдық” валентті электрондар тұтас кристаллға тиісті деп айтуға болады.

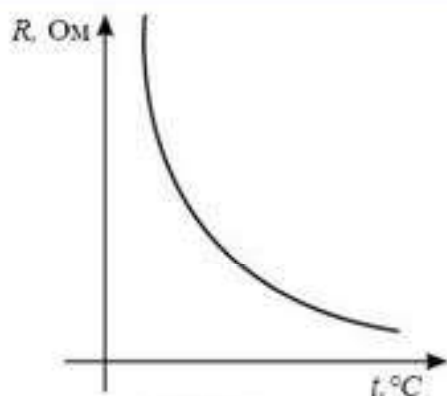
Төменгі температурада коваленттік байланыс жеткілікті берік (валентті электрондар кристалдық торға берік байланысқан) және берілген жағдайда жартылай өткізгіш диэлектрик секілді әсер етеді. Сыртқы электр өрісі электрондардың бағытталған қозғалысын тудыра алмайды.

Асқын өткізгіштік кезінде металдардың кедергісі температураның жоғарылауымен артады, ал салқындаған кезде кемиді де, нөлге тең болады. Ал диэлектриктердің температурасының жоғарылауымен кедергісі кемісе де, салыстырмалы түрде ол үлкен қалпында қалады, нөлге дейін түспейді. Диэлектриктердің электрондары атомды тастап кетуі үшін көп энергия қажет, сондықтан қатты диэлектриктер үлкен өткізгіштікке ие болғанша балқып үлгереді.

Жартылай өткізгіштерде атомдардан электрон бөлініп шығуы үшін диэлектриктерге қарағанда аз энергия жұмсалады. Сол себепті жартылай өткізгіштер қызған кезде еркін заряд тасымалдаушылардың саны тез өседі де, кедергі кемиді. Жартылай өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділік графигі 34.3-суретте берілген. Төменгі температурада жартылай өткізгіштердің кедергісі диэлектриктердің кедергісімен теңеседі,



34.2-сурет



34.3-сурет

тәуелді. Бұл ерекшелік

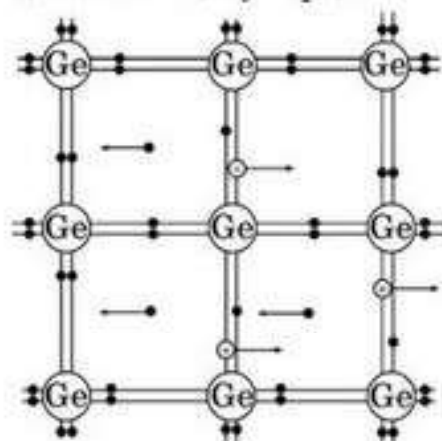
өйткені осы кезде оларда еркін заряд тасымалдаушылар болмайды. Жартылай өткізгіште асқын өткізгіштік құбылыстың байқалмауы енді түсінікті.

Жартылай өткізгіштердің кедергісі жарықтану кезінде де кемиді, себебі сәулелену қозғалыстағы еркін зарядтардың пайда болуына жеткілікті энергия әкеледі.

Сонымен, *жартылай өткізгіштердің өткізгіштігі температура мен жарықтануға* жартылай өткізгіштіктің кеңінен қолданылуына жол ашты.

Жартылай өткізгіштердің меншікті және қоспалы өткізгіштігі. Температураның жоғарылауымен жартылай өткізгіштегі электрондар өз атомдарымен байланысын үзеді де, еркін заряд тасымалдаушыға айналады. Еркін заряд тасымалдаушыларға электрондар мен кемтіктер (коваленттік байланыс бұзылғанда босап қалған орын) жатады. Басқа байланыстармен салыстырғанда кемтіктерде артық оң заряд болады (34.4-сурет). Кристалдардағы кемтік өз калпын сақтамайды. Пайда болған кемтікке электронның секіріп түсуі байланысты калпына келтіреді. Осылайша атомдарды байланыстыратын электрондардың қозғалысы кристалл бойымен кемтіктің орын ауыстыруын тудырады. *Кристалл ішінде еркін электрондардың қозғалысынан пайда болған өткізгіштік электронды өткізгіштік, ал кемтіктердің қозғалысынан пайда болған өткізгіштік кемтіктік* деп аталады. Таза жартылай өткізгіштерде әр уақытта бірдей мөлшерде еркін электрондар мен кемтіктер болады. Сондықтан *таза жартылай өткізгіштің өткізгіштігі жартылай электронды, жартылай кемтіктік. Мұндай өткізгіштікті меншікті өткізгіштік* деп атайды.

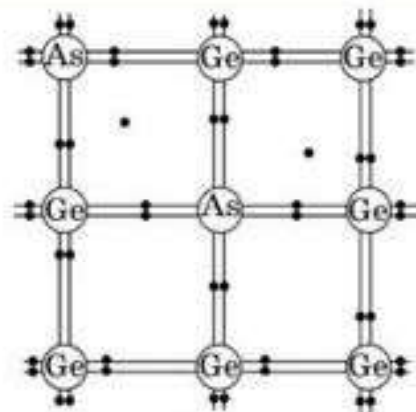
Таза жартылай өткізгіштердің құрамына арнайы тандап алынған қоспаны қосу арқылы жасанды түрде электрондық немесе кемтіктік өткізгіштігі басым жартылай өткізгіш дайындауға болады.



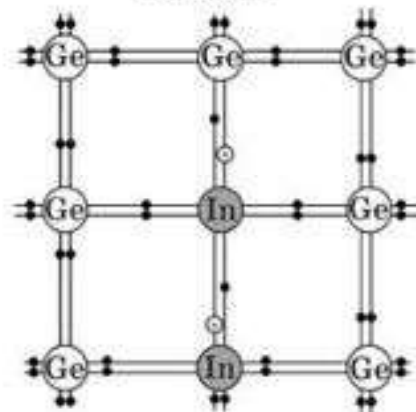
34.4-сурет

Таза, балқытылған германийдің құрамына Менделеев кестесіндегі V топтың қандай да бір элементінің атомынан тұратын (мысалы, мышьяк атомы) қоспаның шамамен $10^{-5}\%$ қосайық. Сонда қатқаннан кейін кәдімгі германийдің байырғы кристалдық торын аламыз. Бірақ тордың түйіндерінде мышьяк атомдары орналасады (34.5-сурет).

Осы кезде мышьяк атомының төрт валенттік электроны германийдің көрші атомдарымен коваленттік байланыс жасайды, ал бесінші электрон мышьяк атомымен әлсіз байланысқан. Осы электронды жұлып алу үшін жартылай өткізгіш атомын пондауға карағанда аз энергия жұмсалады. Сондықтан қалыпты температурада жартылай өткізгіштегі мышьяк атомдары пондалған күйде кездеседі. Мышьяк атомының оң зарядтары тормен байланысқан (локальданган) және сыртқы электр өрісінің әсерінен қозғалысқа келмейді, ал еркін электрондар (қоспаның әр атомынан бір-бірден) қозғалыстағы заряд тасымалдағыш болып табылады. Мұндай кристалдық өткізгіштік электрондық болады да, ол *n-типті* (нәтиже — “теріс”) өткізгіштік, ал кристалдың өзі *n-типті* деп аталады. Жартылай өткізгіштегі еркін электрондарды тудыратын қоспаны *донорлық* (беруші) немесе *i-типті қоспа* деп атайды.



34.5-сурет



34.6-сурет

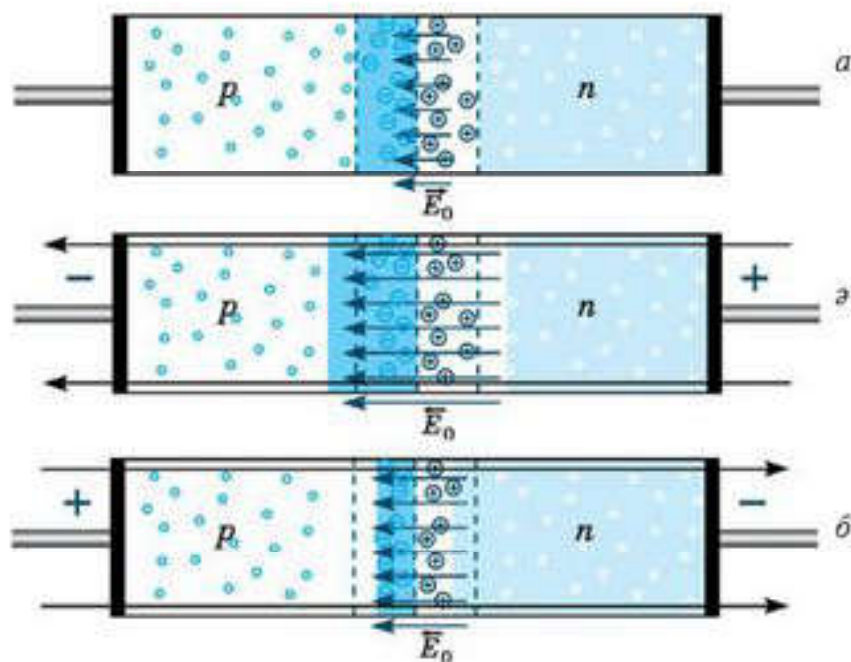
Егер таза германийге Менделеев кестесінің III тобындағы элементтердің атомын, мысалы, үш валенттік электроны бар индийді қосса, онда осы электрондар германийдің үш көрші атомымен коваленттік байланысты орнатуға жетеді. Германийдің төртінші атомымен байланысуы үшін индий атомы көрші атомдардың біреуінен электрон алады да, теріс ионға айналады, ал германий атомдарының біреуінде кристалл бойымен қозғалып жүретін кемтік пайда болады (34.6-сурет). III топ элементтері атомдарының қоспасы бар германий кристалдарында кемтіктік өткізгіштік басым. Оны *p-типті* (позитив — “оң”) өткізгіштік деп атайды. *p-типті өткізгіштікті тудыратын қоспа акцепторлық* (қабылдайтын) немесе *p-типті өткізгіштік* деп аталады.

Қоспалы жартылай өткізгіштерде қалыпты температура кезінде-ақ “электрон—кемтік” жұбы пайда болады. Сондықтан негізгі ток тасымалдаушылармен қатар, аз мөлшерде қарама-қарсы таңбалы ток тасымалдаушылар (негізгі емес ток тасымалдаушылар) да болады. Жоғары емес температураларда негізгі емес ток тасымалдаушылар электрөткізгіштікке қатыспайды. Дегенмен жоғары температура кезінде “электрон—кемтік” жұбы қарқынды пайда бола бастайды, жартылай өткізгіштің өткізгіштігі аралас сипатта болады. Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі байқалатын температурадан

төме n температура кезінде гана жартылай өткізгіштерде кемтіктік немесе электрондық өткізгіштіктің басымдылығы сақталады.

Электронды-кемтіктік ауысу. Кез келген жартылай өткізгіштік құралда бір немесе бірнеше электронды-кемтіктік ауысу (немесе $p-n$ ауысу) болады. **Электронды-кемтіктік ауысу** дегеніміз — өткізгіштегі әртүрлі типті екі жартылай өткізгіштердің жанасу аймағы.

n -типті жартылай өткізгіштерде негізгі еркін заряд тасымалдаушылар электрондар болғандықтан, олардың концентрациясы кемтіктер концентрациясынан артық ($n_n \gg n_p$). p -типті жартылай өткізгіштерде негізгі заряд тасымалдаушылар — кемтіктер ($n_p \gg n_n$). n - және p -типті екі жартылай өткізгіш жанасқанда диффузия процесі жүреді. p аймағынан кемтіктер n аймаққа өтеді, ал электрондар керісінше n аймағынан p аймағына өтеді. Нәтижесінде жартылай өткізгіштің жанасқан жеріне жақын n аймағында электрондар концентрациясы азаяды және оң зарядталған қабат пайда болады. p аймақта кемтіктер концентрациясы азаяды да, теріс зарядталған қабат түзіледі. Осылайша өткізгіштер шегарасының аймағында электрондар мен кемтіктердің диффузия процесіне электр өрісі кедергі жасайтын қосарланған электрлік қабат пайда болады (34.7, a -сурет). Әртүрлі типті өткізгіштігі бар жартылай өткізгіштің шегаралық аймақ бөлігінің (оны *жапқыш қабат* деп атайды) ені, әдетте, шамамен он немесе жүз атомаралық қашықтыққа тең. Осы қабаттың көлемдік заряды p және n аймақтар арасында жуық шамамен германий $n-p$ ауысуы үшін 0,35 В, ал кремний үшін 0,6 В тең U_T тежегіш (жапқыш) кернеу тудырады. $n-p$ ауысуы біржақты өткізгіштік қасиетіне ие.



34.7-сурет

Егер $n-p$ ауысуы бар жартылай өткізгіш ток көзіне оның оң полюсіне n аймақ, теріс полюсіне p аймақ жалғанатындай етіп қосылса, онда жапқыш қабаттағы өріс кернеулігі артады (34.7, а-сурет). p аймақтағы кемтіктер және n аймақтағы электрондар $n-p$ ауысуынан араласып кетеді де, жапқыш қабаттағы негізгі емес тасымалдаушылар концентрациясы артады. $n-p$ ауысуы арқылы ток жүрмейді. $n-p$ ауысуына берілген кернеу *кері* деп аталады. Шамасы аз болатын кері ток жартылай өткізгіштің меншікті өткізгіштігіне негізделген, яғни p аймақтағы еркін электрондар мен n аймақтағы кемтіктердің концентрациясы аз.

Егер $n-p$ ауысуы бар жартылай өткізгішті ток көзіне оның оң полюсіне p аймақ, ал теріс полюсіне n аймақ жалғанатындай етіп қосса, онда жапқыш қабаттағы электр өрісінің кернеулігі кемиді де, негізгі тасымалдаушылардың жанасу қабаты арқылы ауысуы жеңілдейді (34.7, б-сурет). p аймақтан кемтіктер және n аймақтан электрондар бір-біріне карама-қарсы бағытта қозғала отырып, $n-p$ ауысуын қиып өтеді де, *тура* бағыттағы токты тудырады. Бұл жағдайда ток көзінің кернеуі жоғарылағанда $n-p$ аймағы арқылы өтетін ток күші артады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Жартылай өткізгіштерге қандай заттар жатады?
2. Жартылай өткізгіштердің кедергісі температураға қалай тәуелді?
3. Коваленттік деп қандай байланысты айтады?
4. Жартылай өткізгіштер қызғанда не болады?
5. Өткізгіштегі кемтік деген не?
6. Меншікті өткізгіштік деген не?
7. Қандай қоспалар акценторлық деп аталады?
8. Донорлық қоспа деп нені айтады?
9. Қандай өткізгіштік қоспалы деп аталады?
10. Қандай жартылай өткізгіш n -типті жартылай өткізгіш деп аталады?
11. Қандай жартылай өткізгіш p -типті жартылай өткізгіш деп аталады?
12. Электронды-кемтіктік ауысу деп нені айтады?
13. Электронды-кемтіктік ауысудың қандай қасиеттері бар?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

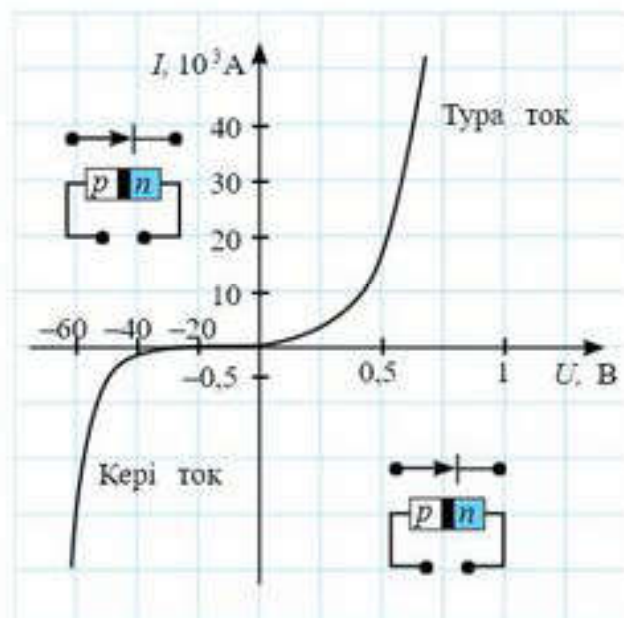
Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§35. Жартылай өткізгіштік құралдар

Тірек ұғымдар: жартылай өткізгіштік диод, жартылай өткізгіштік транзистор, эмиттер, база, коллектор, интегралды микросхема.

Бүгінгі сабақта:

жартылай өткізгіштік диод қалай жұмыс істейтінін білесіңдер; диодтың вольт-амперлік сипаттамасымен танысасыңдар; жартылай өткізгіштік құралдардың қолданылуын қарастырасыңдар.

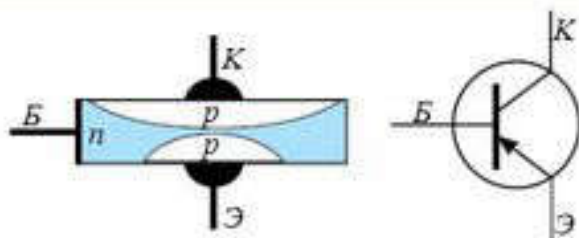


35.1-сурет

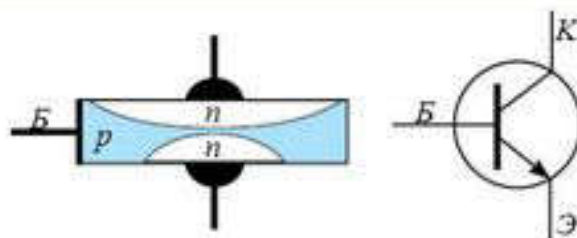
Жартылай өткізгіштік диод. $n-p$ ауысуының тоқты тек бір бағытта өткізетін қасиеті жартылай өткізгіштік диодтарда қолданылады. Жартылай өткізгіштік диод кремний мен германий кристалдарынан жасалады. Оларды дайындаған кезде қандай да бір типті өткізгіштігі бар кристалға басқа типті өткізгіштік алу үшін қоспа қосады. Жартылай өткізгіштік диод түзеткіштерде айнымалы тоқты тұрақты токқа түрлендіру үшін қолданылады. 35.1-суретте кремний диодының вольт-амперлік сипаттамасы берілген.

Жартылай өткізгіштік диодтардың вакуумдық диодтармен салыстырғанда көптеген артықшылықтары бар, атап айтсақ, өлшемі аз, жұмыс істеу мерзімі ұзақ, механикалық беріктігі жоғары. Жартылай өткізгіштік диодтың кемшілігі — оның параметрлерінің температураға тәуелділігі. Мысалы, кремний диоды температураның -70°C мәнінен $+80^{\circ}\text{C}$ дейінгі диапазонында ғана жұмыс істейді. Германий диодында жұмыс істеу диапазоны біршама үлкен.

Жартылай өткізгіштік транзистор. Екі $n-p$ ауысуы бар жартылай өткізгіштік құралдар *транзисторлар* деп аталады (ағылшынша “transfer” — “тасымалдау” және “resistor” — “кедергі”). Әдетте, транзисторларды жасағанда германий мен кремний қолданылады. Транзисторлар $p-n-p$ және $n-p-n$ транзисторы деп екіге бөлінеді. Мысалы, $p-n-p$ типті германий транзисторы донорлық қоспасы бар германийден жасалған шағын пластина, яғни n -типті жартылай өткізгіштік. Осы пластинада акцепторлық қоспасы бар, яғни кемтіктік өткізгішті екі аймақ пайда болады (35.2-сурет). $n-p-n$ типті транзисторда негізгі германий пластинасы p -типті өткізгіштікке, ал онда пайда болған екі аймақ n -типті өткізгіштікке ие (35.3-сурет).



35.2-сурет



35.3-сурет

Транзистордың пластинасын (Б) база деп, аймақтардың бірін — қарама-қарсы типті өткізгіштікті (К) коллектор, ал екіншісін (Э) эмиттер деп атайды. Коллектордың көлемі эмиттердің көлемінен үлкен болады.

Әртүрлі құрылымдағы шартты белгілеулерде эмиттердің нұскамасы транзистор арқылы өтетін токтың бағытын көрсетеді.

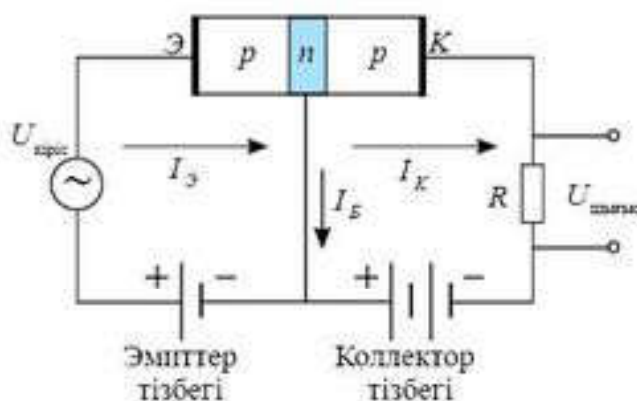
Транзистордың $n-p$ ауысуының екеуі де екі ток көзіне жалғанады. 35.4-суретте $p-n-p$ құрылымды транзисторды тізбекке қосу көрсетілген. “Эмиттер—база” ауысуы тура бағытта (эмиттер тізбегі), ал “коллектор—база” ауысуы тежегіш бағытта (коллектор тізбегі) қосылады.

Эмиттер тізбегі ажыратылып тұрған кезде коллектордағы ток өте аз, себебі негізгі еркін заряд тасымалдаушылар — базадағы электрондар мен коллектордағы кемтіктер үшін ауысуға жол жоқ.

Эмиттер тізбегін тұйықтаған кезде ондағы негізгі заряд тасымалдаушылар болып табылатын кемтіктер базаға ауысады да, тізбекте I_3 эмиттер тогы пайда болады. Эмиттерден базаға түскен кемтіктер үшін коллектор тізбегінде $n-p$ ауысуы ашық тұрады. Көптеген кемтіктер осы ауысудың өрісіне қармалып коллекторға өтеді де, I_K тогын тудырады. Эмиттер және коллектор токтары тең болуы үшін транзистордың базасын өте жұқа қабат түрінде жасайды. Эмиттер тізбегіндегі ток күші өзгерсе, коллектордағы ток күші де өзгереді.

Егер эмиттер тізбегін айнымалы кернеу көзіне қоссақ (35.4-сурет), онда коллектор тізбегіне жалғанған резисторда амплитудасы кіріс сигналының амплитудасынан көп үлкен болатын айнымалы кернеу пайда болады. Демек, транзистор айнымалы кернеуді күшейтетін күшейткіш рөлін атқарады.

Дегенмен транзистордағы күшейткіштің мұндай сұлбасы тиімсіз, себебі онда ток бойынша сигналдың күшейтілуі жоқ және кіріс сигналдарының көздері арқылы I_3 эмиттердің барлық тогы өтеді. Транзистордағы күшейткіш-



35.4-сурет

тің нақты сұлбаларын айнымалы кернеу көзіне одан базаның азғана $I_s = I_{\text{э}} - I_{\text{к}}$ тогы өтетіндей етіп қосады. Базадағы токтың азғана өзгерісі коллектордағы токты айтарлықтай өзгертеді.

Жартылай өткізгіштік құралдарды қолдану. Қазіргі кезде радио-электроникада жартылай өткізгіштік құралдар кеңінен қолданылады. Қазіргі технология өлшемдері бірнеше микрометр болатын жартылай өткізгіштік құралдар — диодтар, транзисторлар, жартылай өткізгіштік фотоқабылдағыштар т.б. жасауға мүмкіндік береді. Интегралды микросхема және оны қолдану принциптерімен айналысатын *микроэлектрониканың* дамуы электронды техниканың жаңа кезеңі болып табылады.

Интегралды микросхема деп өзара байланысқан элементтердің — бір кристалда бірыңғай технологиялық процесспен жасалған жалғағыш сымдардың, аса кіші диодтардың, транзисторлардың, конденсаторлар мен резисторлардың жиынтығын айтады. Өлшемі 1 см микросхемада бірнеше жүз мың микроэлементтің болуы мүмкін. Осындай жетістіктердің нәтижесінде қазіргі электрондық техниканың, ғарыштық байланыстың және электронды-есептеуіш машина жасаудың көптеген салаларына үлкен өзгерістер енді.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Жартылай өткізгіштік диодтың құрылысы қандай және қалай жұмыс істейді? Қайда қолданылады?
2. Жартылай өткізгіштік диодтың вольт-амперлік сипаттамасы қандай? Осы кисықтың сипатын түсіндіріңдер?
3. Транзистордың құрылысы қандай? Оның жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер. Ол қайда қолданылады?
4. База, эмиттер және коллектордың жұмысы неге негізделген?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

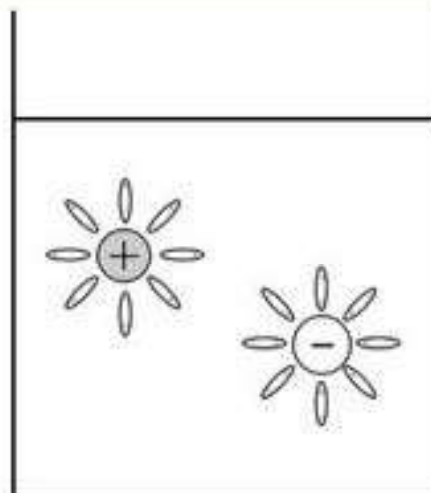
§ 36. Электролиттердегі электр тогы

Тірек ұғымдар: электролиттік диссоциация, электролит, анион, катион, электролиз, Фарадейдің электролиз үшін бірінші және екінші заңдары, заттың электрохимиялық эквиваленті, заттың химиялық эквиваленті, гальваностегия.

Бүгінгі сабақта:

электролиттік диссоциация қалай өтетінін білесіңдер; электролит деген не екенін білесіңдер; электролиз үшін Фарадей заңдарымен танысасыңдар; электролиз заңдарын есептер шығаруда қолдануды үйренесіңдер.

Электролиттік диссоциация. Электр тогының қышқылдың, тұздардың және сілтілердің ерітінділері арқылы өтуін қарастырайық. Таза су — диэлектрик, оған тәжірибе арқылы көз жеткізуге болады. Егер қыздырғыш шамды ішіне екі металл пластина салынған таза су құйылған ваннаға тізбектей қосып, сосын шам мен ваннаны ток көзіне қоссақ, онда шам жанбайды. Қанттың судағы ерітіндісі де ток өткізбейді. Ал егер су құйылған ыдысқа қышқылдың бірнеше тамшысын тамызсақ, онда шам жарқырап жанады. Демек, қышқылдың судағы ерітіндісі ток өткізгіш болып табылады. Енді осы құбылыстың себептерін қарастырайық.



36.1-сурет

Су молекулалары табиғи *дипольдер* болып табылады. Енді суда тұз қышқылының молекуласы (HCl) бар дейік. Бұл молекула H^+ және Cl^- иондардан тұрады, ал оларды біріктіріп ұстап тұрған — Кулондық тартылыс күші. Судың зарядтардың электрлік әсерлесуін әлсірететінін білеміз (шамамен 80 еседей). Судың бейберекет қозғалыстағы молекулалары тұз қышқылы молекуласын жан-жақтан келіп соққылайды. Осының нәтижесінде HCl молекуласы иондарға ыдырайды. Судың дипольдері қышқылдың молекуласын қоршап алып, оны иондарға “бөлетін” секілді (36.1-сурет). Судағы қарама-қарсы зарядталған иондар бір-біріне тартылып, олар қайтадан молекулаларға біріге алады. Сондықтан қышқылды суда еріткенде онда молекулалардың ыдырауы ғана емес, сонымен бірге иондардан бейтарап молекулалардың пайда болуы да қатар жүріп жатады, яғни



(нұсқамалар процестің екі бағытта да өтетінін көрсетеді).

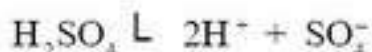
Молекулалардың еріткіштің әсерінен иондарға ыдырауы электролиттік диссоциация деп аталады. Ерітілген зат молекулаларының қандай бөлігінің иондарға ыдыраған молекулалар болып табылатынын көрсететін сан *диссоциация дәрежесі* деп аталады.

Иондардың бейтарап молекулаға қайта қосылу процесі *рекомбинация* деп аталады.

Сөйтіп, ерітінділердегі зарядтарды тасымалдаушылар иондар болып табылады. Диссоциацияланған кезде сутек және металдардың иондары оң зарядталады. Ерітінділердегі иондар бірнеше атомдардан тұрады.

Молекулаларды иондарға тек еріткіш қана ыдыратып қоймайды. Мысалы, қатты қыздырған кезде заттың иондардан тұратын молекулалары жеке-дара иондарға ыдырай алады. Сондықтан тұздардың ерітінділері де электр тогының жақсы өткізгіштері болып табылады.

Электролиз. Енді иондары бар ерітінді арқылы токтың қалай өтетініне тоқталайық. Заряд тасымалдаушылары тек қана иондар болып табылатын сұйық өткізгіш *электролит* деп аталады. Ваннада күкірт қышқылының судағы ерітіндісі болсын делік. Күкірт қышқылы молекулаларының диссоциациясы өтеді, ол мына теңдеумен сипатталады:



Ваннаға платина пластиналарын салып, оларды амперметр арқылы батареямен қосайық. Бұл пластиналар *электродтар* деп аталады. Батареяның оң полюсімен жалғанған электрод *анод*, ал теріс полюспен жалғанған электрод *катод* деп аталады. Егер тізбекті тұйықтасак, онда электролитте электродтар арасында электр өрісі пайда болады. Осы өрістің әсерінен H^+ сутек иондары катодқа қарай, ал қышқыл қалдығының SO_4^{2-} иондары анодқа қарай ұмтылады. Катодқа жетіп, H^+ иондар платинаның еркін электрондарының біреуін өзіне қосып алып, сутектің бейтарап атомына айналады. Бұл атомдар өзара жұптасып сутек газының молекулаларын түзіп, катодтан бөлініп шығады.

Осы айтылғаннан көріп отырғанымыздай, ток электролит арқылы өткен кезде заттың түрленуі қатар өтіп жатады, яғни электролиттегі токтың химиялық әсері болады. *Электролит арқылы ток өткен кезде электродтарда заттың бөлініп шығу процесі электролиз деп аталады. Электролит құйылған электродтары бар ыдысты электролиттік ванна деп атайды. Ерітіндідегі оң иондарды катиондар* (себебі олар электролиз кезінде катодқа тартылады), *ал теріс иондарды аниондар дейді*. Сутектің және металдардың иондары катиондар болып табылады.

Электролиттегі ток та Ом заңына бағынады, яғни кернеуге тура пропорционал өзгереді. Электролитті қыздырған кезде оның тұтқырлығы төмендеп, осының нәтижесінде иондардың қозғалғыштығы артады. Сонымен бірге қыздырған кезде электролитте ерітілген заттың диссоциация дәрежесі, яғни электролиттегі токты тасымалдаушылар саны артады. Демек, қыздырған кезде электролиттің кедергісі кемиді.

Электролиз кезінде бөлініп шығатын заттың мөлшері. Фарадейдің бірінші заңы. Ерітінді арқылы өтетін заряд пен катодтың массасын электролизге дейін және одан кейін өлшей отырып, Фарадей мынаны тағайындады: *электролиз кезінде бөлініп шығатын заттың массасы ерітінді арқылы өтетін электр мөлшеріне тура пропорционал*:

$$m = kq. \quad (36.1)$$

(36.1) өрнек *Фарадейдің бірінші заңының математикалық өрнегі* болып табылады.

Фарадей тәжірибелері көрсеткендей, электролиз кезінде бөлініп шығатын заттың массасы тек q зарядтың шамасына ғана емес, сонымен

қатар заттың тегіне де тәуелді. Электролиз кезінде бөлініп шыққан зат массасының заттың тегіне тәуелділігін білдіретін k пропорционалдық коэффициентін **заттың электрохимиялық эквиваленті** деп атайды. *Электрохимиялық эквивалентті электродта, электролит арқылы бірлік заряд өткен кезде, бөлініп шығатын заттың массасымен өлшенеді*, яғни

$$k = \frac{m}{q}. \quad (36.2)$$

Халықаралық бірліктер жүйесінде k электрохимиялық эквиваленттің өлшем бірлігі — 1 кг/ Кл.

$q = It$ болатындықтан, *Фарадейдің бірінші заңын былай жазуға болады*:

$$m = kIt. \quad (36.3)$$

Тәжірибе электрохимиялық эквивалентті үлкен дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Кезінде бұл (36.3) формуласы зарядтың өлшем бірлігі кулонды күмістің электрохимиялық эквиваленті арқылы анықтауға мүмкіндік берді, күміс үшін $k = 1,118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл = 1,118 мг/Кл.

Фарадейдің екінші заңы. Иондардың бір моіінің массасының (граммен алынған) бір ионның салыстырмалы молекулалық массасына тең болатынын еске түсірейік:

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

Иондардың мольдік массасының олардың валенттігіне қатынасы M/n осы иондардың **химиялық эквиваленті** деп аталады. Мысалы, мыстың салыстырмалы атомдық массасы 63,54, ал мыс иондарының валенттігі 2-ге тең. Сонда мыстың мольдік массасы 63,54 г/моль, ал оның химиялық эквиваленті $\frac{63,54}{2}$ г/моль = 31,77 г/моль = $31,77 \cdot 10^{-3}$ кг/моль болады.

Өз тәжірибелерінің нәтижелеріне сүйеніп, Фарадей *электродта бір химиялық эквиваленттің кез келген түрдегі иондарының бөлініп шығуы үшін электролит арқылы электрдің бірдей F мөлшерін жіберу керек* екенін тапты:

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль.}$$

Демек, *бір химиялық эквивалентті құрайтын барлық иондардың жалпы заряды F мәніне тең*.

Егер электролиз кезінде электродта m зат массасы бөлініп шыкса және химиялық эквивалент $\frac{M}{n}$ болса, онда бөлініп шыққан m зат массасы заттың химиялық эквивалентіне қатынасы бөлініп шыққан химиялық эквиваленттердің санын береді. Сонымен, электролит арқылы

q заряд өтсе, онда q шамасының F Фарадей тұрақтысына қатынасы да электролиз кезінде бөлініп шыққан химиялық эквиваленттің санын береді: $\frac{m}{\left(\frac{M}{n}\right)} = \frac{q}{F}$. Осыдан

$$m = \left(\frac{M}{nF}\right)q. \quad (36.4)$$

(36.1) және (36.4) теңдеулерін салыстыра отырып, мынаны аламыз:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}. \quad (36.5)$$

(36.5) формуласы **Фарадейдің екінші заңының математикалық өрнегі болып табылады**. Түрліше заттардың электрохимиялық эквиваленттері олардың химиялық эквиваленттеріне тура пропорционал болатынын көрсететін (36.4) формуласы Фарадейдің электролиз үшін біріккен заңын өрнектейді.

Электролиздің техникада қолданылуы. Электролиз техникада кеңінен қолданылады. Металлургияда электролизді кенді балқытқан кезде алынған металды бөгде қоспалардан арылту үшін пайдаланады.

Электролиздің көмегімен балқытылған кеннен сумен реакцияға түсетін және судағы ерітіндіден өз бетінше бөлінбейтін жеңіл металдарды алуға болады. Осындай тәсілмен алюминийді, натрийді, литийді және т.б. алады. Мырыш пен никельді **электрострикциямен**, яғни металды ерітіндіден электролиздің көмегімен бөліп алады.

Электролиз кезінде бөлініп шыққан оттегі атомы өте күшті тотықтырғыш болып табылады. Оны әртүрлі дәрі-дәрмектерді жасаған кезде пайдаланады. Электролиздің көмегімен металдан жасалған заттарды ауада тотықпайтын басқа металдың жұқа қабатымен қаптауға болады.

Мұндай қаптау тәсілін **гальваностегия** деп атайды. Мысалы, *никельдеу* мен *хромдау* осы тәсілмен іске асырылады. Гальваностегияны әшекей заттарына күміс және алтын жалату кездерінде пайдаланады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Электролиттік диссоциация дегеніміз не? Оның механизмі қандай?
2. Диссоциация дәрежесі дегеніміз не?
3. Қандай құбылыс рекомбинация деп аталады?
4. Неліктен сұйықтардың өткізгіштігі ноль?
5. Электролит дегеніміз не?
6. Электролиз дегеніміз қандай құбылыс? Ол қалай жүреді?
7. Электролиз үшін Фарадейдің бірінші заңын тұжырымдаңдар.
- *8. Электрохимиялық эквивалент деп қандай шаманы айтады? Оның физикалық мағынасы неде?
9. Фарадейдің электролиз үшін екінші заңын тұжырымдаңдар.

- *10. Химиялық эквивалент деп қандай шаманы атайды? Оның физикалық мағынасы неде?
11. Фарадей тұрақтысы деп нені айтады? Оның физикалық мәні неде?
12. Электрліздің техникада қолданылуына мысал келтіріңдер.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	--	---

§ 37. Газдардағы электр тогы

Тірек ұғымдар: газдың иондалуы, тәуелсіз және тәуелді газ разрядтары, соққымен иондалу, екінші ретті электрондық эмиссия, доғалық разряд, ұшқындық разряд, тәжді разряд, плазма.

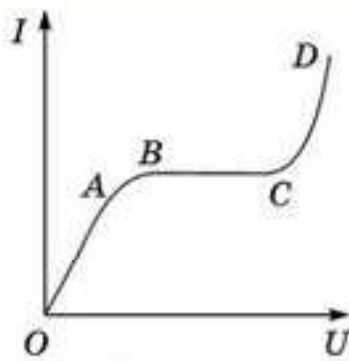
Бүгінгі сабақта:

газдың иондалуы деген не екенін және оның қалай өтетінін білесіңдер; газ разрядтың вольт-амперлік сипаттамасын зерделейсіңдер; газ разрядтың тәуелсіз және тәуелді болатынын білесіңдер; тәуелсіз газ разрядтың пайда болу механизмін меңгересіңдер; газ разрядтың әртүрлі түрлерін қарастырасыңдар; заттың жаңа күйі — плазмамен танысасыңдар.

Газдың иондалуы. Газдың иондық және электрондық өткізгіштігі. Қалыпты жағдайларда барлық газдар жақсы изоляторлар болып табылады, бірақ шектелген көлемде газдарды, оның ішінде ауаны өткізгішке айналдыруға болады. Ол үшін оларда жасанды түрде заряд тасымалдаушыларды тудыру қажет, яғни газ молекулаларын иондайды.

Мұны мынадай тәжірибенің көмегімен көрсетуге болады. Үлкен жазық конденсаторды алып, оның пластиналарын ажыратып, кернеуі бірнеше мың вольт болатын ток көзіне қосамыз. Сызғыш гальванометр пластиналардың арасында электр өрісі болса да, тізбекте токтың жоқ екенін көрсетеді. Бұл пластиналардың арасындағы ауада еркін зарядтар жоқ немесе олардың саны соншалықты аз болып, гальванометр оны сезбейді деген сөз. Әрі қарай екінші тұжырымның дұрыс екенін көреміз.

Пластиналардың арасына жанып тұрған шырақты қояйық немесе оған рентген сәулелерін бағыттайық. Осы кезде гальванометрдің тілшесі ауытқиды, яғни тізбек бойымен ток өтеді. Демек, ауада молекулалар иондалады (зарядты тасымалдаушылар пайда болады). Егер иондаушыны алып кетсе, онда ток тез арада жоғалып кетеді, өйткені пластиналардың арасындағы ауа қайтадан изоляторға айналады. Осындай тәжірибелердің негізінде *газдың иондаушысы жоғары температура, рентген, ультракүлгін сәулелер, α -сәулелер және т.б. болып табылатыны тағайындалды*.



37.1-сурет

Газдың иондалуымен қатар кері процесс — *иондардың рекомбинациясы* да жүріп жатады, яғни газ иондарынан бейтарап молекула лар түзіледі. Иондалу кезінде газ молекуласынан валенттік электрондардың біреуі жұлынып шығады. Осы электрондардың бір бөлігі еркін күйде қалады. Сөйтіп, иондалған газдағы зарядтарды тасымалдаушылар еркін электрондар мен иондар (оң да, теріс те) болып табылады. Сондықтан *иондалған газдың өткізгіштігі жартылай иондық, жартылай электрондық болады*.

Газдағы ток күшінің кернеуге тәуелділігі. Конденсатордың пластиналарындағы U кернеуді жоғарылатып және гальванометрмен I ток күшін өлшей отырып, иондаушы өне бойы жұмыс аткарып тұрған кездегі газдағы ток күшінің кернеуге тәуелділігін (яғни газ аралығының вольт-амперлік сипаттамасын) алуға болады (37.1-сурет). Осы графиктен көріп отырғанымыздай, *газдағы ток кернеудің аз мәндерінде ғана Ом заңына бағынады*. Неліктен осылай болатынын анықтайық.

Пластиналардың арасындағы кернеудің шамасы аз болған кезде токтың тасымалдаушылары өрістің әсерінен баяу қозғалып, көп жағдайларда пластиналарға жетпей-ақ рекомбинацияланып үлгереді. Кернеу артқан кезде өрістің әсерінен иондардың қозғалыс жылдамдығы артады да, олардың рекомбинациялану ықтималдығы азаяды. Сондықтан бірлік уақытта иондардың көпшілігі пластиналарға жетіп, онда бейтарап күйге көшеді, демек, ток артады. Сонымен, осы бөлікте (OA) токтың артуы газдағы заряд тасымалдаушылар рекомбинацияларының азаюы есебінен жүреді. Егер пластиналардағы кернеу одан әрі де арта беретін болса, онда токты тасымалдаушылардың рекомбинациясы тоқтап, токтың кернеуге тәуелсіз болатын I_{\max} ен үлкен мәніне жететін кезеңі туады (37.1-суреттегі BC бөлігі). Шындығында, рекомбинация жоқ кезде пластиналарға понизатор тудыратын барлық дерлік иондар жетіп үлгереді. Сондықтан кернеудің артуы токты арттыра алмайды.

Бұл жағдайда токты арттыру үшін иондаушының интенсивтігін (қарқындылығын) көтеру керек. Газдағы мәні кернеуге тәуелсіз болатын мұндай ток *қанығу тогы* деп аталады.

Тағы да айта кететін нәрсе, астарларда разрядталған иондар қайтадан өздері шыққан газдың бейтарап молекулаларына айналады. Бұл *газдағы токтың химиялық әсері болмайтынын және оған Фарадей заңы қолданылмайтынын* көрсетеді.

Пластиналар арасындағы өрістің кернеулігі ондаған мың вольт болатындай жеткілікті жоғары кернеулерге жеткен кезде өріс күштерінің әсерінен қозғалысқа келген еркін электрондар соншалықты үлкен

кинетикалық энергияға ие болып, газ молекулаларымен соқтығысып, олардың электрондарын жұлып шығарады, яғни оларды иондайды. Мұндай құбылысты *соққымен иондау* деп атайды. Соққымен иондаудың салдарынан электродтардың арасындағы ток тасымалдаушылардың саны көбейеді де, ток тез артады (37.1-суреттегі *CD* бөлігі).

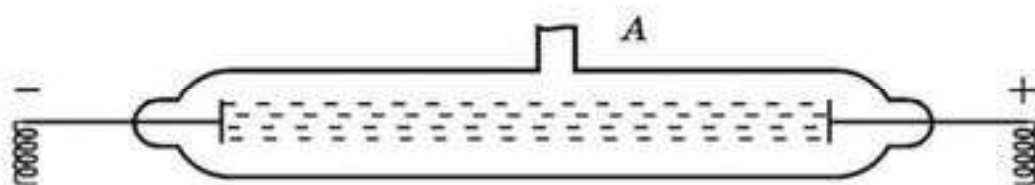
Атмосфералық қысым кезіндегі газдағы электр разряды. *Тек тосын иондаушының әсерінен ғана болатын газдағы разряд тәуелді разряд деп аталады.* Бұл разрядты *шыныш* разряд деп те атайды (оны тек өлшеуіш құралдардың көмегімен ғана анықтауға болады). *Тосын ионизатордың көмегінсіз-ақ пайда болатын разрядты тәуелсіз разряд деп атайды.*

Жоғарыда көрсеткеніміздей, газдағы токты тасымалдаушылар — еркін электрондар және иондар. Газ арқылы ток өткенде иондар электродтарда разрядталады да, бейтарап молекулаларға айналады, ал электрондар оң электродта жұтылады. Сонымен қатар токты тасымалдаушылардың бір бөлігі рекомбинацияланып жоғалып кетеді. Демек, газдағы токты белгілі бір деңгейде ұстап тұру үшін токты тасымалдаушылардың санын қайсыбір тәсілмен толықтырып отыру керек. Мұны тәуелді разрядта тосын ионизатор, ал тәуелсіз разряд кезінде оның рөлін токтың өзі атқарады. Газдағы токтың жана тасымалдаушыларын жасаудың бірнеше механизмдері бар. Олардың біреуі — соққы ионизациясы.

Тәуелсіз разряд кезіндегі ток тасымалдаушылардың пайда болуының басқа да механизмдерін қарастыра кетейік.

Теріс электродтың жоғары температурасында термоэлектрондық эмиссия құбылысы пайда болады, ол газда еркін электрондар санын біршама арттырады. Одан әрі газдың оң зарядталған иондары теріс электродқа тартылады. Иондардың кинетикалық энергиясы жеткілікті жоғары болса, онда олар электродқа келіп соқтығысқан кезде, одан электрондарды жұлып ала алады. Бұл құбылыс *екінші реттік электрондық эмиссия* деп аталады (37.2-сурет).

Қалыпты қысым және салқын катод кезінде екінші реттік электрондық эмиссия тек жоғары кернеу кезінде ғана пайда болады. Егер катод қыздырылса, онда тәуелсіз разряд электродтардағы онша үлкен емес кернеу кезінде-ақ пайда болады. Мұндай разрядтың *электрлік доға* деп аталатын түрін 1802 жылы орыс физигі В.В. Петров (1761—1834) ашқан.



37.2-сурет

Газдардағы *догалық разряд* қызған катодта немесе электродтардың арасында жоғары кернеуде пайда болады. Электрлік доға техникада кеңінен қолданылады, мысалы, догалық электр пештерінде, алюминий алынатын электролиз құбылысында, электрмен пісіруде, прожекторларда қуатты жарық көздері ретінде және т.б. Ом заңы догалық разрядқа қолданылмайды.

Газдағы ұшқындық разряд деп тасқындық тесіп өтудің пайда болуына жеткілікті жоғары кернеудегі разрядты айтады. Ұшқын пайда болар мезетте үлкен күш электродтардағы кернеуді төмендетеді де, разряд тоқтайды. Біраз уақыттан кейін электродтардағы кернеу артады да, разряд қайтадан жанарады. Бұл разрядтар бірінен кейін бірі өте шапшаң өтеді, сондықтан көзге бірігіп жарқыраған прек тәрізді сызық болып көрінеді. Қуатты ток көздерінде ұшқынды разряд доға разрядына ауысады.

Ондағы газ өте жоғары температураға дейін қызады да, қатты жарқырайды. Газдың қызуынан пайда болған қысымның кенет көтерілуінен дыбыс әсері пайда болады. Табиғаттағы орасан зор ұшқынды разрядтың мысалы — найзағай. Найзағай ойнағанда Жер мен бұлт арасындағы кернеу бірнеше жүздеген вольтке жетіп, найзағай тогының күші 100 000 А асып кетеді. Разрядтың ауа кедергісі аз дау жерден (ол газда кездейсоқ орналасады) ағуы себепті найзағай прелеңдеп көрінеді.

Газдардағы тәжді разряд кеңістіктегі өрістің барлық жерінде емес, электродқа немесе өткізгішке жақын және өріс кернеулігі жоғарырақ жерлерде соққымен иондаудан пайда болады. Ондай разряд тасқыны кернеулігі төмен аймаққа жеткенде сөнеді. Разрядтың бұл түрі ұшқындық разрядқа қажетті кернеуден едәуір төмен кернеуде өтеді. Ол жоғары кернеудің астында тұрған өткізгіштің маңында пайда болады. Тәжді разрядта әлсіз жаркыл және шатырлаған дыбыс байқалады. Мұнда өткізгішке жақын жердегі ауада иондар разрядталады, соның салдарынан өткізгішпен беріліп жатқан энергияның шығыны болады. Сондықтан жоғары вольттік өткізгіштердегі тәжді разряд — зиянды құбылыс. Тәжді разряд электрофилтрлерде, яғни ауаны ластайтын түтіннің ұсақ бөлшектерінен газдарды тазалауда және т.б. қолданылады.

Плазма. Иондалған газ өткізгіш болғанмен, түгел алғанда электрлік бейтарап. Себебі ондағы ток таситын оң және теріс зарядтардың саны өзара тең. *Атомдарының не молекулаларының басым көпшілігі иондалған газ плазма деп аталады.* Басқаша айтқанда, *плазма деп заттың оң және теріс зарядтарының мөлшері өзара тең, бірақ электрлік жағынан бейтарап күйін айтады.* Егер плазмада бейтарап

атомдар не молекулалар кездесе, оларды *жартылай иондалған* деп атайды. Егер заттың барлық атомдары немесе молекулалары түгелдей иондалған болса, онда плазманы *толық иондалған* деп атайды.

20 000—30 000 К температурада кез келген зат толық иондалған *плазма* болады. Заттың бұл күйі табиғатта барынша кең тараған. Әлемнің барлық дерлік заты шоғырланған Күн және басқа жұлдыздар — плазманың жоғары температурадағы алып жиынтығы. Атмосфераның жоғары қабаты (ионосфера) жартылай иондалған плазмадан тұрады. Өте күшті сиретілген күйдегі плазма ғарыштық кеңістікте де таралған. Ток өтетін газ да жартылай иондалған плазмаға мысал бола алады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. а) Жоғары температураға дейінгі қыздыру кезінде; ә) рентген сәулелерінің көмегімен; б) ультра сәулелер көмегімен; в) α -сәулелерінің көмегімен иондалу кезінде иондаушыларды тудыратын газдың иондалу механизмін қалай түсіндіруге болады?
2. Рекомбинация дегеніміз не? Оның тез өтетін себебі неде? (Иондалу тоқтағаннан кейінгі жағдайды қарастырыңдар.)
3. Газдың иондалу процесі деп нені атайды? Оның қалай өтетінін сипаттаңдар.
4. Газдың өткізгіштігі неге ионды-электрондық болады?
5. Газдардағы токтың вольт-амперлік сипаттамасы қандай? Осы кісіқтың сипатын түсіндіріңдер.
6. Тәуелді разрядтар деп нені атайды? Ол қалай жүреді?
7. Қандай процесс соққымен иондау немесе электрондық соққымен иондау деп аталады?
8. Тәуелсіз разрядтың қандай түрін білесіңдер?
9. Доғалық разрядтың өту ерекшелігін сипаттаңдар.
10. Тәжді разрядтың өту ерекшелігі неде?
11. Ұшқындық разрядтың өту ерекшеліктерін айтып беріңдер.
12. Плазма деген не?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

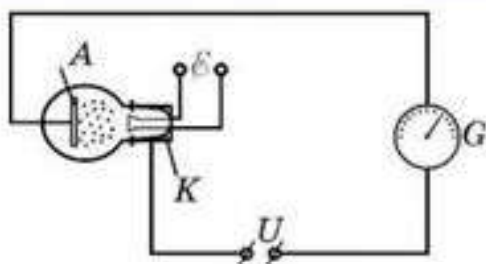
Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	--	---

§ 38. Вакуумдағы электр тогы

Тірек ұғымдар: термоэлектрондық эмиссия, электрондық бұлт, екі электродты шам, үш электродты шам, электронды-сәулелік түтік.

Бүгінгі сабақта:

термоэлектрондық эмиссия процесі қалай өтетінін білесіңдер; вакуумдық диодтың вольт-амперлік сипаттамасын зерделейсіңдер; кейбір вакуумдық-электрондық құралдардың жұмыс істеу принципі мен қолданылуын қарастырасыңдар.



38.1-сурет

Толық вакуум идеал изолятор болып табылады. Жоғары вакуумда кеңістік арқылы ток жүру үшін осы кеңістікке еркін электрондар ендіру керек. Мұны термоэлектрондық эмиссияның көмегімен ғана іске асыруға болады. Вакуумның ішіне электр желісіне қосылған металл сымды орналастырамыз (38.1-сурет). Вакуумдық

қыздырғыш шамды пайдалансақ, онда қызған сымнан вакуумға электрондар ұшып шығады. Егер K қыздырғыш сым мен A электродтың арасында электр өрісін тудырса, онда ол электрондарды A электродқа қарай айдайды, сонда тізбек тұйықталып, вакуумда ток жүреді. Бұл жерде еркін электрондар вакуумда еш кедергісіз қозғалады да, өріс күштерінің атқаратын жұмысы есебінен кинетикалық энергия алады.

Егер 38.1-суреттегі электродтар арасындағы өріс кернеулігі U болса, онда K және A электродтардың арасында зарядтың орын ауыстыру жұмысы

$$A = Ue \quad (38.1)$$

формуласымен өрнектеледі. Осы жұмыстың есебінен электрондар кинетикалық энергия алады, ол

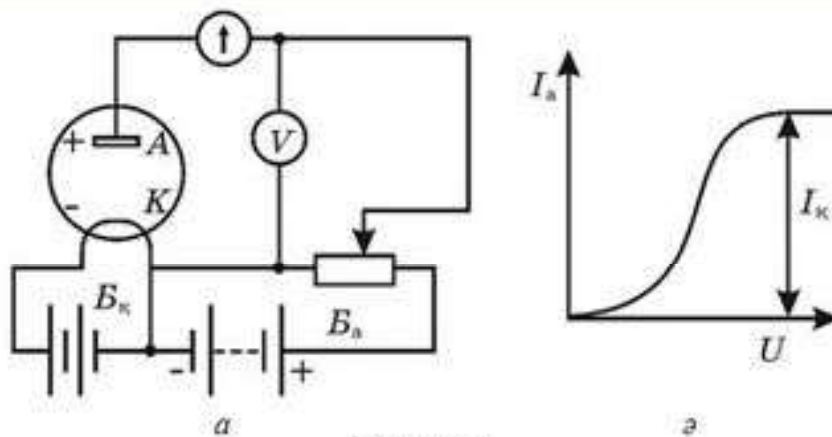
$$W_x = Ue \text{ немесе } \frac{mv^2}{2} = eU, \quad (38.2)$$

мұндағы m — электронның массасы; v — оның жылдамдығы және e — заряды.

Бұл жағдайда U кернеуді *үдеткіш кернеу* деп атайды. Электронның массасы өте аз, сондықтан вакуумдағы электронның қозғалысын жеңіл басқаруға болады.

Екі электродты электрондық шам (диод). Электрондық шамдардың құрылысы электр өрісінің көмегімен вакуумдағы еркін электрондардың қозғалысын бақылауға негізделген. *Екі электроды бар қарапайым электрондық шамды екі электродты шам немесе диод деп атайды.* Электродтардың бірі *вольфрам сымнан* жасалып, ұшы шамнан шығарылады. Бұл сымды B_1 қыздыру батареясына жалғап, токпен қыздыруға мүмкіндік береді (38.2, *a*-сурет). Шамда оның ішінен ауа сорып алынып, жоғары вакуум жасалады. K сымы қызған кезде (ол шамның катоды қызметін атқарады) термоэлектрондық эмиссия есебінен шамда еркін электрондар пайда болады.

Шамның екінші электроды A анод болып табылады. Оны катодпен B_1 анодтық батарея арқылы жалғауға болады. Анодтың бір шығысы бар. Демек, диодтың тізбекке қосылатын үш шығысы болады. Анодтың



38.2-сурет

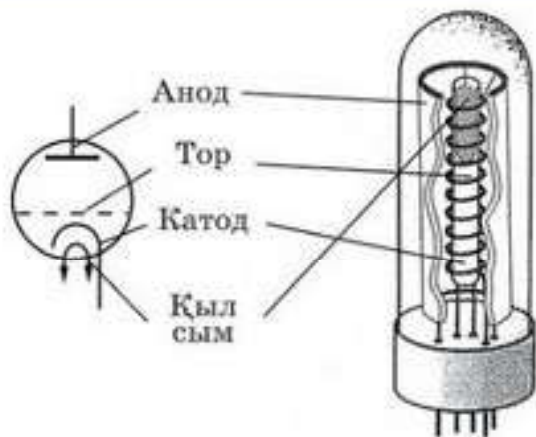
батареясы ағытылған, ал катод қыздырылған кезде шамның ішіндегі еркін электрондар катодтың маңында жиналып *электрондық бұлт* түзеді. Катодтың температурасы тұрақты болғанда катодтан ұшып шығып жатқан және оған қайта оралып жатқан электрондар арасында динамикалық тепе-теңдік орнайды. Демек, катод пен анод арасындағы кеңістіктегі еркін электрондар саны тұрақты болып қалады. Кеңістіктегі зарядты арттыру үшін катодтың температурасын арттыру керек.

Егер анод теріс полюсіне, ал катод оң полюсіне келетіндей етіп анодтық батареяны қоссақ, онда шамның ішіндегі электр өрісі кеңістіктегі зарядты катодқа қарай ығыстырады. Ал ондағы заряд біршама кемиді де, анодтық тізбекте ток болмайды. Оны гальванометрдің көмегімен анықтауға болады.

Енді шамның анодын B_a батареяның оң полюсіне, ал катодты теріс полюсіне қоссақ, онда шамдағы электр өрісінің әсерінен электрондар анодқа қарай орын ауыстырады, сөйтіп шамда ток пайда болады да, гальванометрдің тілшесі ауытқиды (38.2, а-сурет).

Сонымен, *диодтың ерекшелігі сол, ол тоқты тек бір ғана бағытта өткізеді*. Электрондық шамның, міне, осы қасиетін техникада айнымалы токты түзету үшін пайдаланады. Анодтық кернеу жоғарылаған кезде шамдағы ток әуелі кернеумен бірге артады (катод маңындағы электрондық бұлттан электрондар катодқа қарағанда анодқа көбірек бағытталады), кернеу одан әрі жоғарылағанда шамдағы токтың күші артуын тоқтатады, яғни ток I_k қанығу тоғына жетеді. Катодтың қызу температурасы артқан сайын, ол да артады (38.2, б-сурет). Осы айтылғандардан Ом заңын электрондық шамдарға қолдануға болмайтыны шығады.

Үш электродты электрондық шам (триод). Электрондық шамдағы токты басқаруды ынғайлы ету үшін *катод пен анодтың арасында орналас­тырылған қосымша тор деп аталатын электродты пайдаланады*. Торды катодқа жақын орналастырады, сондықтан тор мен катод арасына түсірілген азғана кернеудің өзінде-ақ олардың арасында электр өрісі пайда болып, ол шамның анодтық тоғына күшті әсер етеді.



38.3-сурет

Әдетте, торды катодтың маңайында аз санылау қалдырып, сымнан оралған спираль түрінде жасайды. Ал анодты тор мен катодты қамтып тұратындай тұтас цилиндрлік бет түрінде жасайды. *Торы бар электрондық шамды үш электродты электрондық шам немесе триод деп атайды*. Триодты сызбада 38.3-суретте көрсетілгендей етіп белгілейді.

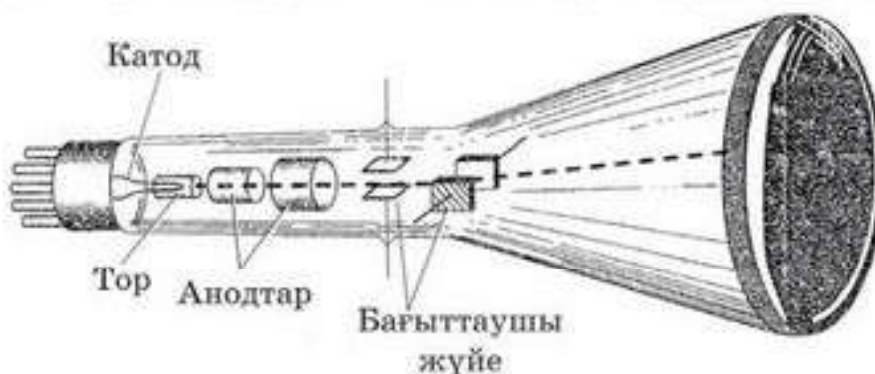
Электронды-сәулелік түтік. Осциллограф, теледидар, радиолокациялық

құралдар экрандарында және басқа да электрондық құралдар электрондар шоғының көмегімен кескіндер алу үшін *электронды-сәулелік түтікті* пайдаланады. Ол ішінен ауа сорылып алынған герметикалық, түбі кең шыны колба болып табылады. Түтіктің жіңішке жағында электронды зеңбірек орналасқан, ол *электрондық сәуле* тудырады. Электрондық зеңбірек *қыздырылатын катодтан және басқарушы электродтан* тұрады, ол триодтағы тор тәрізді жұмыс істейді (38.4-сурет).

Катодты қыздырғанда термоэлектрондық эмиссия пайда болады. Анодка қарай бағытталған электрондар басқарушы электродтағы санылау арқылы өтеді. Басқарушы электрод қуыс цилиндр түрінде жасалады. Басқарушы электрод анодка бағытталған электрондар санын реттейді және олардан жіңішке шоқ түзеді, міне, осы шоқ *электрондық сәуле* деп аталады.

Анод тесіктері бар бірнеше дискілерден тұрады. Бұл дискілер қуыс цилиндр ішіне орналасқан. Анодтың мұндай құрылысы электрондық сәулені колбаның түбіне фокустауға көмектеседі. Колбаның түбі *экран* болып табылады. Түтіктің аноды мен катодының арасына бірнеше мың вольт кернеу беріледі.

Анод пен катодтың арасындағы өріс электрондарға үлкен жылдамдықтар береді, ал осындай электрондар люминофор жағылған экранға келіп түскенде экранда жаркыл, яғни электр ондардың ізі пайда болады.



38.4-сурет

Түтіктегі электрондық шоқты басқару үшін қосымша электр өрісін тудыратын *бағыттаушы пластиналарды* пайдаланады. Ол үшін түтіктің ішінде электрондық шоқтың жолына өзара перпендикуляр жазықтықтарда орналасқан екі пластина жұбы қойылады. Пластиналардың бір жұбы электрондық сәулені горизонталь бағытта, ал екінші жұбы — вертикаль бағытта бұрады. Осының нәтижесінде электрондық сәулені экранның кез келген нүктесіне апаруға мүмкіндік туады. Электрондық сәулені магнит өрісінің көмегімен де басқаруға болады. Бұндай басқару теледидар түтіктерінде пайдаланылады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Термоэмиссия деп қандай процесті айтады? Ол қалай жүреді?
2. Электродтан шығатын эмиссияны қалай арттыруға болады?
3. Неліктен вакуумның өткізгіштігі біржақты?
4. Вакуумдық диод деп нені атайды? Оның құрылысы мен жұмыс істеу принципін айтып беріңдер.
5. Вакуумдық триод дегеніміз не? Оның құрылысы қандай және қалай жұмыс істейді?
- *6. Электронды-сәулелік түтікше деп нені атайды? Оның құрылысы мен жұмыс істеу принципі қандай?

Есеп шығару мысалы

Алюминийді алудың электролиздік тәсілінде ток күші 40 кА болған кезде 5 В кернеуде жұмыс істейтін ванна қолданылады. 1 т алюминий алу үшін қанша уақыт қажет және осы кезде қандай энергия шығындалады?

<p>Берілгені:</p> <p>$I = 40 \text{ кА} = 40 \cdot 10^3 \text{ А}$</p> <p>$U = 5 \text{ В}$</p> <p>$m = 1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$</p> <hr/> <p>$t = ? \quad E = ?$</p>	<p><i>Шешуі</i>. Фарадей заңы бойынша $t = \frac{m}{kI}$.</p> <p>Қуат $P = IU$ болғандағы энергия шығыны</p> <p>$E = Pt = IUt$ тең.</p> $t = \frac{10^3 \text{ кг}}{0,093 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл} \cdot 40 \cdot 10^3 \text{ А}} =$ <p>$= 3,1 \text{ тәул} = 74,4 \text{ сағ.}$</p>
---	---

$E = 40 \cdot 10^3 \text{ А} \cdot 5 \text{ В} \cdot 74,4 \text{ сағ} = 15 \text{ МВт} \cdot \text{сағ.}$

Жауабы : $t = 3,1 \text{ тәул}$; $E = 15 \text{ МВт} \cdot \text{сағ.}$

15-жаттығу

1. Ғүейдө күокіеу әдісінің уәәөдіесі еңііаа 50 іеі іііаа 0.3 а пөәә әеііаі. Аааә уәәөдіесө еәәәііі 0.4 іі әіәә. ііаа ііу әеііііаа әуііаәгаі қоәоуі оауііааә.
2. Өөәіі 250 і³ аіәәуі әуіііаауі 27°N оаііааооәаауі әәіа күіііу 0.2 ііа пөәәіаі оіеуіагаі. Қәәәоуі іәәәәааі пөәәөі әө үоіі ғүейдө күокіеуің әеііә әдісінің уәәөдіесі еңііаа іә әдкіеу қәіаәә қәәуә әіааәө еәдәә?
3. Оәәәәәәә өеііәіііаауі аііа іаі уәәі әәәііаауі қәәқәқ 24 іі. Ііу қәәқәқәқ уәәөдііааә 4 іі іііаа әуіі өәәі. Аііәуің үәәөіә еәдіәіі әііқәәәәә.

Осы тақырыпта неіі менгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы неіі білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туыңдады?

§ 39. Магнит өрісі. Магнит индукциясының векторы. Бұрғы ережесі

Тірек ұғымдар: магнит өрісі, магнит өрісінің күш сызықтары, магнит индукциясының векторы, оң қол ережесі.

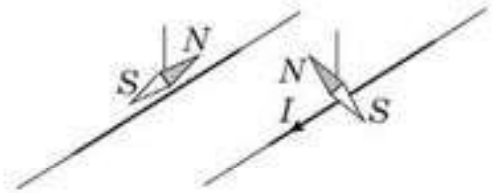
Бүгінгі сабақта: магнит индукция векторының физикалық мағынасын білесіңдер.

Электр тогы компас тілшесіне әсер етіп, оны токқа перпендикуляр бағытта йтынын байқағаннан соң, Эрстед тогы бар өткізгіш өзін қоршаған кеңістіктің қасиеттерін өзгертетіні туралы болжам айтты (39.1-сурет). Кеңістіктегі бұл өзгеріс магнит тілшесіне токтың осы әсерін жеткізеді. Шын мәнінде, тогы бар өткізгіштің маңайында магниттік әсерлерді жеткізетін ерекше орта пайда болады. Бұл ортаны Эрстед *магнит өрісі* деп атады.

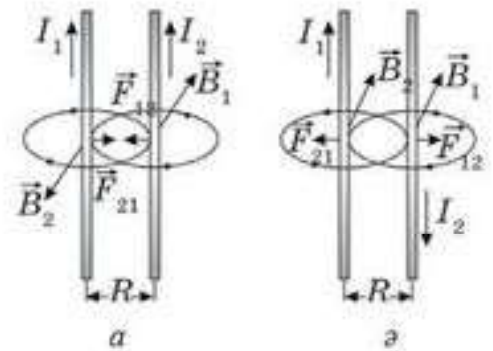
Параллель токтардың өзара әсерін ашқан А.Ампердің тәжірибелері осы әсерлердің магнит өрісі арқылы жүзеге асатынын дәлелдеді. Параллель өткізгіштердің бойынан өтетін токтар бағыттас болса, олар тартылады, ал егер токтар әртүрлі бағытта жүрсе, өткізгіштер тебіледі (39.2-сурет). Өзара әсерлесетін токтардың күші олардың арақашықтығына тәуелді.

Егер ток өтіп жатқан раманы магнит полюстерінің арасына қойса, ол белгілі бір бағытпен орналасады (39.3-сурет). Демек, магнит өрісінің магниттік әсері ғана емес, сонымен қатар бағыттаушы әсері де бар.

Қазіргі көзқарас бойынша тогы бар өткізгіштер бір-біріне тікелей күшпен емес, оларды қоршаған магнит өрісі арқылы әсер етеді. Магнит өрісінің көзі — қозғалыстағы электр зарядтары (токтар). Магнит өрісі тогы бар өткізгіштердің айналасындағы кеңістікте қозғалмайтын электр



39.1-сурет



39.2-сурет. Бірдей (а) және қарама-қарсы бағытталған (ә) токтардың магниттік әсерлері



39.3-сурет



39.4-сурет

зарядының манайында пайда болған электр өрісі секілді туындайды. Тұрақты токтардың магнит өрісін заттардың молекулалары ішінде айналатын микротоктар туғызады.

Токтардың магнит өрісі электр өрісінен ерекшеленеді. Магнит өрісі электр өрісіне қарағанда тек қозғалыстағы зарядтарға ғана (тока) күштік әсер етеді.

Магнит өрісі дегеніміз — магниттік әсерлерді тасымалдайтын материяның ерекше түрі. Ол біздің саналмыздан тыс өмір сүреді. Ол кеңістікте үзіліссіз және оның әсері шексіздікке дейін тарайды.

Магнит өрісін **магнит индукциясының векторы** \vec{B} деп аталатын күштік шамамен сипаттайды.

Магнит өрісін күш сызықтары көмегімен графликтік түрде кескіндейді. Егер ұсақ магнит үгінділерінің үстіне магнит қойсақ, онда осы үгінділер магнит тілшелері тәрізді магнит өрісінде магниттеледі де, күш сызықтарының бойында орналасады (39.4, а, ә, б-суреттер).

Магнит өрісінің күш сызықтары деп өрістің әр нүктесіндегі жанама осы нүктедегі магнит индукция векторының бағытымен сәйкес келетіндей ойша салынған сызықтарды түсінеміз.

Магнит өрісінің күш сызықтары — еш жерден үзілмейтін тұйық сызықтар. Бұл магнит өрісінің көзі магнит зарядтарының болмайтынын көрсетеді. Осындай қасиетке не өрістер **құйынды** өріс деп аталады.

\vec{B} векторының оң бағыты ретінде магнит өрісінде S оңтүстік полюстен N солтүстік полюске еркін бағдарланатын магнит тілшесінің бағыты қабылданған (39.5-сурет).

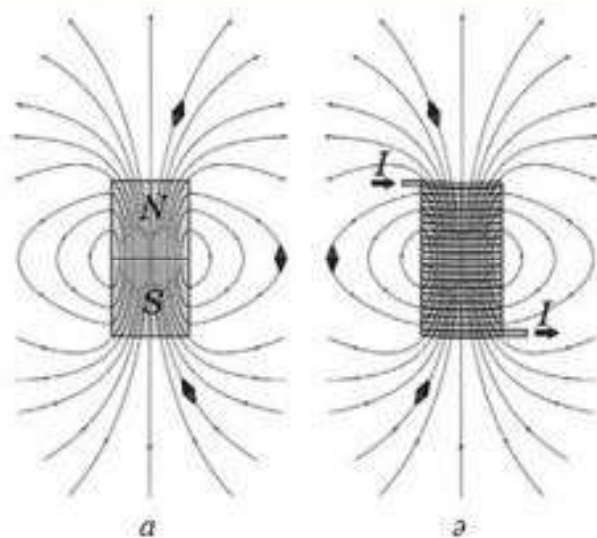
Магнит өрісінің бағытын оң қол ережесімен анықтаған жеңіл: *егер оң қолдың бас бармағын өткізгіштегі ток бағытымен бағыттаса, онда өткізгішті орай ұстаған төрт саусақтың бағыты магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын көрсетеді.*

39.5-суретте тұрақты магнит пен тогы бар катушканың магнит өрісінің күш сызықтары кескінделген. Суреттен көріп отырғанымыздай, катушка мен тұрақты магниттің ішіндегі магнит өрісінің күш сызықтары оңтүстіктен солтүстікке, ал сыртындағы күш сызықтары керісінше солтүстіктен оңтүстікке бағытталған.

Бізге магнит өрісінің күш сызықтары солтүстік полюстен “шығып”, оңтүстік полюске “кіріп” жатқандай болып көрінеді.

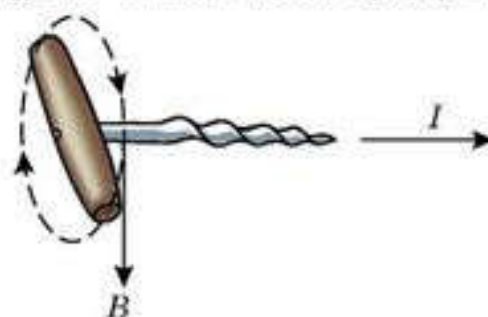
Бұрғы ережесі. Тоғы бар өткізгіш тудыратын өрістің магнит индукция векторының бағыты *бұрғы ережесімен* анықталады: егер оң бұрандалы бұрғының ұшының қозғалысы өткізгіштегі токтың бағытымен сәйкес келсе, онда магнит индукциясы векторының бағыты бұрғының сабының айналу бағытымен бағытталады (39.6-сурет).

А.Ампер кезінде Жердің және жолақ магниттің магнит өрісі сәйкесінше Жердің және магниттің ішіндегі микротоктардың циркуляциясынан пайда болады деген болжам айтқан. Бұл гипотеза атом ядросының құрылысы ашылғаннан кейін расталды. Микротоктардың рөлін өз ядроларын айнала қозғалып жүретін электрондар атқарады.



39.5-сурет. Өрістің магнит индукция сызықтары:

а) тұрақты магнит; ә) тоғы бар катушка



39.6-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Электр және магнитті құбылыстардың байланысын кім және қалай ашқан?
2. Эрстед тәжірибесі туралы баяндаңдар. Бұл тәжірибеден қандай қорытынды жасауға болады?
3. Бойынан ток өтетін раманы магнит өрісіне орналастырса не байқалады?
4. Қандай өзара әсер магниттік деп аталады?
5. Магнит өрісінің негізгі қасиеттерін атаңдар.
6. Магнит өрісін суретте қалай бейнелейді?
7. Қандай сызықтар магнит өрісінің күш сызықтары деп аталады?
8. Тұрақты магнит өрісі мен электрстатикалық өрістің күш сызықтарының ерекшеліктері неде?
9. Магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын қалай табады?
- *10. Жердің магниттік қасиетін Ампер қалай түсіндірді?

Осы тақырыпта негізгі мәңгердіңдер?

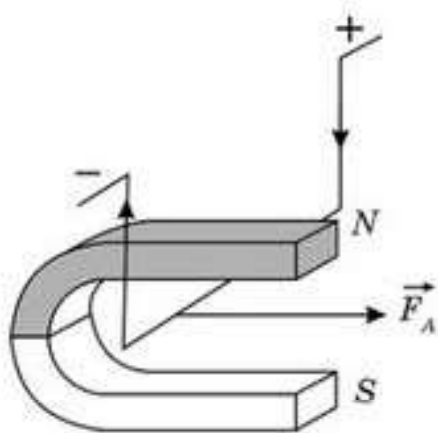
Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	---	---

§ 40. Ампер күші

Тірек ұғымдар: Ампер күші, сол қол ережесі.

Бүгінгі сабақта:

магнит өрісінің тогы бар өткізгішке әсер ететін күшін анықтауды үйренесіңдер.



40.1-сурет

Магнит өрісін сандық тұрғыда сипаттау үшін \vec{B} векторының бағытын ғана емес, оның модулін де анықтау тәсілін көрсету керек. Ол үшін зерттелетін магнит өрісіне тогы бар өткізгішті енгізіп, өткізгіштің қандай да бір тұзусызықты бөлігіне әсер ететін күшті өлшеу керек.

1820 жылы француз физигі Андре Мари Ампер эксперименттік түрде магнит өрісі тарапынан тогы бар өткізгішке әсер ететін күштің өткізгіштегі токтың күшіне, оның

белсенді бөлігінің ұзындығына (магнит өрісінде тұрған өткізгіштің бөлігіне), магнит өрісінің шамасына тура пропорционал екенін көрсетті. Ол тогы бар өткізгішті таға тәрізді магнит полюстерінің арасына орналастырып, ток күші мен магнит өрісін және өткізгіштің белсенді бөлігін өзгертті (40.1-сурет). Сонда тогы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күштің шамасы өткізгіштің магнит өрісінде орналасу жағдайына тәуелді болатыны анықталды.

Егер тогы бар өткізгіштің магнит өрісінің индукция сызықтарына перпендикуляр орналасса, онда күштің шамасы ең үлкен, ал параллель жатса, күштің шамасы нөлге тең екені тағайындалды. Өз тәжірибелерінің нәтижесін жалпылай келе, Ампер магнит өрісінің тогы бар өткізгішке әсер ететін күшін есептеу формуласын алды. Оны *Ампер күші* деп атайды:

$$F_A = BI \Delta l \sin \alpha,$$

мұндағы B — магнит индукциясының векторы, I — өткізгіштегі ток күші, Δl — өткізгіштің белсенді бөлігінің ұзындығы, α — магнит индукциясының векторы мен өткізгіштегі токтың арасындағы бұрыш.

Ампер күшінің бағытын *сол қол ережесі* бойынша табады: *егер сол қолды магнит өрісінің күш сызықтары алақанға кіретіндей, ал төрт саусақты ток бойымен бағытталаатындай етіп ұстаса, онда 90° бұрыш құрайтын бас бармақ Ампер күшінің бағытын көрсетеді* (40.2-сурет).

Тогы бар өткізгіш магнит өрісінің индукция векторына перпендикуляр болғанда күш максимал және мынаған тең:

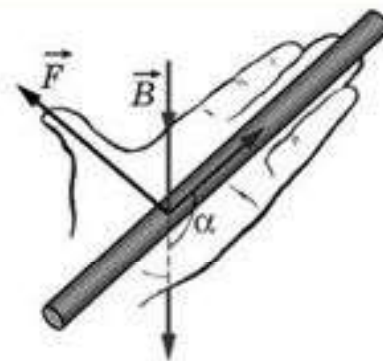
$$F_{\max} = BI \Delta l. \quad (40.1)$$

Осыдан *магнит индукциясының векторы деп бойынан бірлік ток өтетін бірлік ұзындықтағы өткізгішке әсер ететін магнит өрісінің максимал күшін анықтайтын физикалық шаманы түсінеміз* :

$$B = \frac{F_{\max}}{I\Delta l} \quad (40.2)$$

Халықаралық бірліктер жүйесінде магнит өрісінің индукциясы тесламен (Тл) өлшенеді. Бұл бірлік серб физигі Н. Тесланың (1856—1943) құрметіне аталған:

$$1B = 1Тл = 1 \frac{Н}{А \cdot м}$$



40.2-сурет

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Ампер күші деп нені атаймыз?
2. Ампер күшінің бағытын қалай табады?
3. Магнит индукция векторының физикалық мағынасы қандай?
4. 1 Тл дегеніміз не?
5. Сол қол ережесін тұжырымдаңдар.
6. Оң қол және сол қол ережесін қолданып, параллель токтардың бағыты бірдей болса тартылатынын, ал қарама-қарсы болғанда тебілетінін дәлелдендер.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	--	---

§ 41. Лоренц күші

Тірек ұғымдар: Лоренц күші, сол қол ережесі, зарядталған бөлшектің электр және магнит өрістерінде қозғалуы.

Бүгінгі сабақта: магнит өрісінің қозғалыстағы бөлшектерге әсерін зерттейсіңдер.

Қозғалысқа түскен зарядталған бөлшекке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күш Лоренц күші деп аталады. Ол зат құрылысының электрондық теориясының негізін қалаған голландиялық физик Х. Лоренцтің (1853—1928) құрметіне осылай аталған. Ол күш Ампер заңының көмегімен табылады.

Ампер күші — магнит өрісінде орналасқан, бойымен өтетін I ток өткізгіштің ұзындығы Δl кесіндісіне әсер ететін күш. Ток күшін зарядтарды тасымалдаушылардың реттелген қозғалысының орташа

жылдамдығы мен олардың концентрациясы арқылы өрнектеуге болады:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 N}{t} = \frac{q_0 n V}{t} = \frac{q_0 n S l}{t} = q_0 n S v \quad (41.1)$$

Онда Ампер күшін зарядтың жеке тасымалдаушыларына әсер ететін күштер арқылы өрнектей аламыз:

$$F_A = B q_0 n v S \Delta l \sin \alpha, \quad (41.2)$$

Ұзындығы Δl өткізгіштің S көлденең қимасы арқылы өтетін зарядтарды тасымалдаушылардың жалпы саны $N = n S \Delta l$ екенін ескерсек, Ампер күші мынаған тең болады:

$$F_A = B q_0 N v \sin \alpha. \quad (41.3)$$

Бұдан магнит өрісінде қозғалатын жеке зарядталған бөлшекке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күш

$$F_{\pi} = B q_0 v \sin \alpha \quad (41.4)$$

формуласы арқылы анықталатыны шығады, мұндағы α — бөлшектердің жылдамдық векторы мен магнит индукциясы векторының арасындағы бұрыш.

Осы күшті ең алғаш Лоренц есептеп тапқан болатын. Лоренц күшінің бағытын *сол қол ережесі* бойынша анықтайды: *егер сол қолды магнит өрісінің күш сызықтары алақанға кіретіндей етіп орналастырып, қолдың төрт саусағын оң заряды бар бөлшектер қозғалысының бағытымен бағыттасақ, онда 90° бұрыш жасай бағытталған бас бармақ Лоренц күшінің бағытын көрсетеді.*

Электр және магнит өрістеріндегі зарядталған бөлшектің қозғалысы. Электр өрісіндегі бөлшек. Егер электростатикалық өрістің берілген нүктесіндегі өріс кернеулігі белгілі болса, онда зарядталған бөлшекке әсер ететін кулон күшін таба аламыз:

$$F = Eq.$$

Бұл күш

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} \quad (41.5)$$

үдеуін тудырады, мұндағы m және q — бөлшектің массасы мен заряды. Егер заряд ($q > 0$) оң болса, онда үдеу бағыты электр өрісі кернеулігінің бағытымен сәйкес келеді, ал заряд ($q < 0$) теріс болса, онда бағыты қарама-қарсы болады.

Егер электростатикалық өріс **біртекті** болса, онда бөлшектің қозғалысы сыртқы күштер жоқ кезде бірқалыпты үдемелі. Бөлшек траекториясының түрі бастапқы шарттарға тәуелді. Егер бастапқыда

зарядталған бөлшектер тыныштықта болса ($v_0 = 0$) немесе бастапқы жылдамдық үдеумен бағыттас болса, онда бөлшек өріс бойымен бірқалыпты түзусызықты қозғалады және оның жылдамдығы артады. Егер бастапқы жылдамдық пен үдеудің векторлары қарама-қарсы бағыттас болса әрі параллель болса, онда бөлшектер осы өрісте тежеледі.

Егер бастапқы жылдамдық пен үдеу арасындағы бұрыш сүйір болса $0^\circ < \alpha < 90^\circ$ (немесе доғал), онда осы электростатикалық өрісте зарядталған бөлшектер парабола бойымен қозғалады.

Барлық жағдайда электростатикалық өрістегі зарядталған бөлшектердің қозғалыс жылдамдығының модулі, сондай-ақ кинетикалық энергиясы өзгеріп отырады.

Магнит өрісіндегі бөлшек. Магнит өрісінің тыныштықтағы зарядталған бөлшектерге әсер етпейтінін есте ұстаған жөн. Магнит өрісі тек қозғалыстағы зарядталған бөлшектерге ғана әсер етеді. Сонымен қатар магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектерге әсер ететін Лоренц күші әр уақытта бөлшектердің қозғалыс жылдамдығына перпендикуляр болады. Сондықтан магнит өрісіндегі жылдамдықтың модулі өзгермейді. Демек, бөлшектердің кинетикалық энергиясы да өзгермейді. Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшек траекториясының түрі өріске кіретін бөлшектің жылдамдығы мен магнит индукциясы арасындағы бұрышқа тәуелді. Өртүрлі үш жағдай болуы мүмкін.

1. Зарядталған бөлшектер магнит өрісіне оның күш сызықтарына параллель бағытта ұшып кіреді. Бұл жағдайда Лоренц күші бөлшекке әсер етпейді және бөлшек бірқалыпты түзусызықты қозғалысын сақтайды.

2. Бөлшектер магнит өрісіне оның күш сызықтарына перпендикуляр бағытта ұшып кіреді (41.1-сурет). Бұл жағдайда Лоренц күші магнит өрісі мен бөлшектің жылдамдық векторына перпендикуляр бағытталып, оған центрге тартқыш үдеу береді:

$$a_n = \frac{F_n}{m} = \frac{Bqv}{m}. \quad (41.6)$$

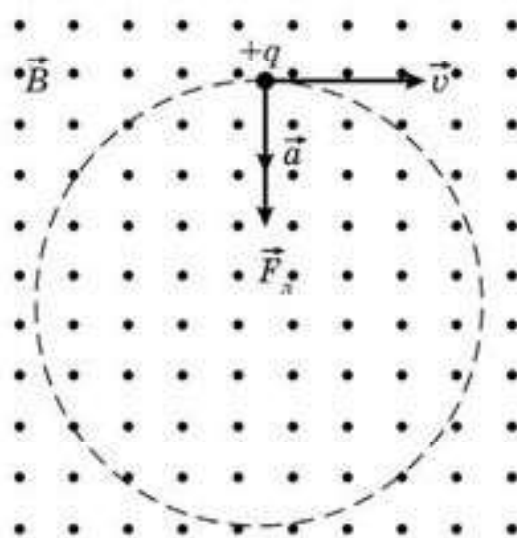
Центрге тартқыш үдеудің мына формуламен өрнектелетінін білеміз:

$$a_n = \frac{v^2}{R}. \quad (41.7)$$

Ендеше, магнит өрісіне перпендикуляр ұшып кірген зарядталған бөлшек шеңбер бойымен мына радиуспен қозғалады:

$$R = \frac{mv}{Bq}. \quad (41.8)$$

Бөлшек жылдамдығының модулі өзгермегендіктен, оның айналу периодын



41.1-сурет

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$$

формуласы арқылы анықтаймыз. Соңғы формуладан бөлшектің айналу периодының жылдамдық пен траекторияның радиусына емес, бөлшектің меншікті заряды ($\frac{q}{m}$) мен өрістің магнит индукциясына тәуелді екенін көріп отырмыз.

3. Бөлшек магнит өрісіне оның күш сызықтарына бұрыш жасай енеді (41.2-сурет). Бөлшектің қозғалысын оның өріс бойымен $v_{||} = v \cos \alpha$ жылдамдықпен бірқалыпты түзу сызықты қозғалысы мен өріске перпендикуляр шеңбер бойымен жазықтықта жылдамдық модулі $v_{\perp} = v \sin \alpha$ тұрақты болатын қозғалысының қосындысы ретінде қарастыруға болады. Нәтижесінде бөлшек осі магнит өрісіне параллель болатын бұрандалы сызық бойымен қозғалады. Бұл сызық шеңберінің радиусы тұрақты және мынаған тең:

$$R = \frac{mv \sin \alpha}{Bq}, \quad (41.9)$$

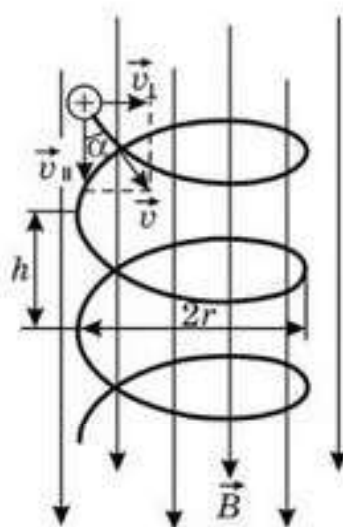
ал бұранданың қадамы (ол да тұрақты)

$$h = Tv \cos \alpha = \frac{2\pi m}{Bq} v \cos \alpha \quad (41.10)$$

формуласынан табылады. Спиральдың айналу бағыты бөлшек зарядының таңбасына тәуелді.

4. Егер зарядталған бөлшек жылдамдығы біртекті емес магнит өрісі векторының бағытымен α бұрыш жасаса (мұнда өрістің индукциясы бөлшек қозғалысының бағытында өседі), онда шеңбердің радиусы мен бұранданың қадамы B өскен сайын кемиді. Магнит өрісінде зарядталған бөлшектерді фокустау осыған негізделген.

5. Егер қозғалыстағы зарядталған бөлшектерге индукциясы B болатын магнит өрісінен басқа бір мезгілде кернеулігі E электростатикалық



41.2-сурет

өріс әсер етсе, онда бөлшекке түсірілген тең әсерлі күш электр күші мен Лоренц күшінің векторлық қосындысына тең: $\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$. Бұл жағдайда қозғалыс сипаты мен траекторияның түрі осы күштердің қатынасы мен электростатикалық және магниттік күштердің бағытына тәуелді. Осылайша егер зарядталған бөлшектің жылдамдық векторы, электр өрісінің кернеулігі мен магнит өрісінің индукциясы өзара перпендикуляр болса, онда осы өрістегі бөлшектің бірқалыпты қозғалысын қарастыруға болады. Бөлшектің жылдамдығы мына қатынаспен анықталады: $v = \frac{E}{B}$.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Зарядталған бөлшек электр өрісінің: а) күш сызықтарына параллель; ә) күш сызықтарына перпендикуляр; б) күш сызықтарына бұрыш жасай ұшып кірсе, ол өрісте қалай қозғалады?
2. Бастапқыда тыныштықта болған зарядталған бөлшек магнит өрісінде қалай қозғалады?
3. Магнит өрісіне түскен бөлшек шеңбер бойымен қозғалуы үшін оған қандай күш әсер етуі тиіс? Бұл шеңбердің радиусын қалай есептеуге болады?
- *4. Зарядталған бөлшек біртекті емес магнит өрісіне ұшып кірді. Магнит өрісінің индукциясы бөлшектің қозғалыс бағытында азаяды. Бөлшектің айналу периоды, шеңбер радиусы және бөлшектің бұрандалы қозғалысының қадамы қалай өзгереді?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 42. Заттың магниттік қасиеттері

Тірек ұғымдар: магниттік өтімділік, диамагнетиктер, парамагнетиктер, ферромагнетиктер.

Бүгінгі сабақта:

заттарды олардың магниттік қасиеттеріне қарай жіктей білуді және олардың қолданылу салаларын анықтауды үйренесіңдер; магнитті материалдардың қазіргі қолданылу салаларын талдауды және олардың қолданылу бағыттарын талқылауды үйренесіңдер.

Магнит — бұл өзінің магнит өрісі бар дене. Бұл сөз ежелгі гректің *magnetis lithos* — Магнессиядан (Кіші Азиядағы ежелгі қала Магнессияның атауы) шыққан тас деген мағынаны білдіреді. Ертеде осы жерлерде магнетиттің, яғни магнит өрісі бар тастың кен орны ашылған болатын. Магнетит магнит кені немесе магнитті темір рудалары деп те аталады.

Қазір біз магнетит деген (немесе магнитті темір) FeO (31%) мен Fe_2O_3 (69%) тұратын минерал екенін білеміз.

Заттағы магнит өрісін тек сымдар арқылы өтіп жатқан токтар ғана емес, сонымен қатар заттың өзіндегі атомдар мен молекулалардың ішіндегі электрондардың қозғалысы да тудырады. Бұл қозғалыстар кішігірім микроскопиялық токтарға эквивалентті, оларды *молекулалық токтар* деп атайды. Молекулалық токтар жайлы түсінікті А. Ампер енгізді, ол тұңғыш рет кез келген магниттелген дененің магниттік қасиеттерінің дене ішінде айналып жүретін көптеген элементар дөңгелек токтардың әсерінен болатыны жайлы гипотеза көтерді.

Сыртқы магнит өрісі жоқ кезде заттағы молекулалық токтар бей-берекет бағдарланған, сондықтан олардың меншікті магнит өрістері теңгеріледі. Сыртқы B_0 магнит өрісін түсірген кезде бұл теңгерілім бұзылады, сөйтіп пайда болған молекулалық токтардың магнит өрісі заттағы магнит өрісінің индукциясын өзгертеді. Осы кезде дене *магниттеледі* дейді. Магниттелген заттағы магнит өрісінің B индукциясы B_0 вакуумдық шамасынан үлкен де, кіші де бола алады.

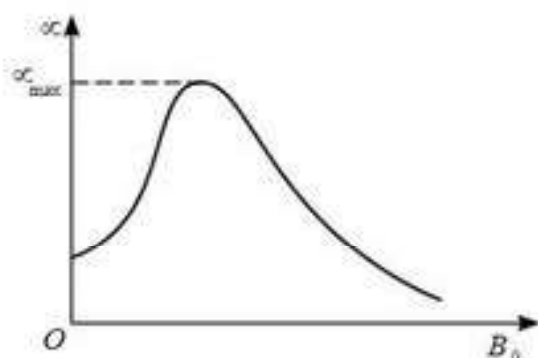
Біртекті ортадағы магнит өрісі индукциясының (B) вакуумдағы магнит өрісі индукциясының (B_0) қатынасына тең болатын физикалық шама ортаның магнит өтімділігі деп аталады:

$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

Көптеген заттардың магнит өтімділігі μ (мю) бірден өзгешелігі аз болады. Магнит өрісіне енгізген кезде мұндай денелер өте әлсіз магниттеледі ($B \approx B_0$), сондықтан оларды *әлсіз магниттелетіндер* деп атайды. Мысалы, ауа үшін $\mu = 1,00000038$, платина үшін $\mu = 1,00025$, алюминий үшін $\mu = 1,000023$, мырыш үшін $\mu = 0,999991$, шыны үшін $\mu = 0,999987$, алтын үшін $\mu = 0,999961$. $\mu > 1$ болатын заттар сыртқы магнит өрісі бағытында магниттеледі, $\mu < 1$ болатын заттар түсірілген магнит өрісіне қарсы магниттеледі. Бұл заттардың біріншілерін Фарадей *парамагнетиктер* деп, ал екіншілерін *диамагнетиктер* деп атады. Фарадейге дейін бұл заттардың магниттік қасиеттері (әлсіздігінен) тіптен белгісіз болып келді.

Ферромагнетиктер деп аталатын заттардың күшті магниттік қасиеттері болады; оларда $\mu > 1$. Бұлар: темір, никель, кобальт, олардың көптеген құймалары, сонымен қатар Жерде сирек кездесетін элементтер.

Ферромагнетиктерді B_0 сыртқы магниттік өріске орналастырған кезде олар магниттеледі, әрі B_0 өрісінен жүздеген және мыңдаған есе күшті болатын өздерінің меншікті өрістерін тудыра бастайды. Ферромагнетиктердің магнит өтімділігі сыртқы (магниттеуші) өрістің индукциясына тәуелді болады (42.1-сурет).



42.1-сурет

Олар үшін келтірілген μ кестелік мәндері осы шаманың максимал мәндеріне сәйкес келеді. Мысалы, кобальт үшін $\mu=175$, никель үшін $\mu=1120$, трансформатор болаты $\mu=8000$, пермаллой-68 (ерекше темірникель балкымасы) үшін $\mu=250\ 000$, ал супермаллой үшін магнит өтімділігі 10^6 жетеді.

Сыртқы магнит өрісті өшірген кезде ферромагнетик магниттелген күйде

кала береді, яғни өзінің меншікті магнит өрісін тудырады. Бірақ қалдық магниттелгендік әртүрлі заттарда әрқалай болады. Қалдық магниттелгендігі зор болатын ферромагнетиктерді *қатқыл* (немесе *магниттік қатқыл*) деп атайды. Міне, осыларды *тұрақты магниттерді* жасауға пайдаланады. Қатқыл ферромагнетиктерге көміртекті болат және бірқатар арнайы балкымалар жатады.

Сыртқы магнит өрісін өшірген кезде азғантай ғана магниттелгендік қалатын ферромагнетиктер *жұмсақ* (немесе *магниттік жұмсақ*) деп аталады. Оларға таза темір, электротехникалық болат, пермаллой жатады. Жұмсақ ферромагнетиктер оларға көп қайтара магниттелу қажет болатын жерлерде (трансформатор, электрқозғалтқыш және т.б.) қолданылады.

Әрбір ферромагнетик үшін белгілі температура болады, одан жоғарылағанда оның ферромагнетиктік қасиеттері жоғалады да, зат парамагнетикке айналады. Бұл температураны осы құбылысты ашқан француз ғалымы Пьер Кюридің есімімен **Кюри температурасы** (немесе нүктесі) (t_c) деп атайды. Мысалы, темір үшін $t_c = 768^\circ\text{C}$.

Ферромагнетиктердің қасиеттерін зерттеуді тұңғыш рет 1871—1872 жылдары орыс физигі А.Г.Столетов жүргізді. Қазіргі заман техникасын ферромагнетиктік материалдарсыз көзге елестету қиын. Ферромагнетиктер тұрақты магнит ретінде электрсанауыш құралдарда, дыбыс күшейткіштерде, магниттік компастарда пайдаланылады, ал өзек ретінде электромагниттерде, трансформаторларда және электрқозғалтқыштарда қолданылады. Ферромагниттік материалмен магнитофон, бейнемагнитофон және компьютерлерде қолданылатын магниттік таспалар жалатылған.

Ферриттер — темір Fe_2O_3 тотығының және басқа металл тотықтарының химиялық қосылысы болып табылатын материал. Ферриттерде ферромагниттік, жартылай өткізгіштік немесе диэлектрлік қасиеттер біріккен, сондықтан оларды радиотехника, электроника және есептеу техникасы саласында қолдануға болады (ферриттік антенналар, ферриттік өзектер, есептеуіш техникадағы оперативтік жад, кішігірім тұрақты магниттер және т.б.). Магнетит те ферритке жатады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Магнит атауы қалай шыққан?
2. Ампер гипотезасының мәнісі неде?
3. Магниттік өтімділік дегеніміз не?
4. Қандай заттарды пара- және диамагнетиктер деп атайды? Мысал келтіріңдер.
5. Ферромагнетиктер деген не? Мысал келтіріңдер.
6. Ферромагнетиктердің негізгі қасиеттерін атаңдар.
7. 800°C дейінгі температурада қыздырылған темір магнитке тартыла ма?
8. Ферриттер дегеніміз не? Олар қайда қолданылады?

Осы тақырыпта негізгі мәңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?

Тақырыпқа қатысты тағы негізгі білгілерін келеді?

Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 43. Жасанды магниттер. Соленоид

Тірек ұғымдар: магнит, табиғи магниттер, электромагниттер, жасанды магниттер, соленоид.

Бүгінгі сабақта: электромагнитпен және оның пайдалы қасиеттерімен, соленоидпен және олардың қолданылуымен танысасыздар.

Магниттердің үш түрі бар:

— магнитті кен деп аталатын *табиғи магниттер* темір немесе темір тотығы бар рудалар жерүсті магнетизмімен салқындатылып, магниттелген кезде түзіледі. Тұрақты магниттердің электр тогы болмаған кезде магнит өрісі болады, өйткені олардың домендері бір бағытқа бағытталған және олардың магнит өрістері қосыла отырып, бірін-бірі күшейтеді;

— *электромагниттер* (жасанды) — бойынан электр тогы өтетін сым катушкалары бар металл өзекше. Соның нәтижесінде магнит өрісі пайда болады және магнит металл заттармен өзара әсерлеседі;

— *уақытша магниттер* (жасанды) — бұл магниттелген күйде ғана тұрақты магниттер ретінде әсер ететін магниттер. Уақыт өте келе олар магниттік қасиеттерін жоғалтады (магнитсізденеді).

Электромагнит — бұл ішінде темір өзекшесі бар, оқшауланған (изоляцияланған) сымнан тұратын катушка, ол бойынан ток өткенде магнит өрісін тудырады. Өзекше магнит өрісін күшейту үшін қызмет етеді, өйткені темір магниттік күш сызықтарын ауаға қарағанда әлдеқайда жақсы өткізеді (темір арқылы өтетін магнит сызықтарының саны ауадағы дәл сондай қима арқылы өтетін сызықтар санынан жүздеген есе көп).

Электромагниттік ток сағат тілінің бағытына қарсы бағытта өтетін жағдайдағы ұшында *солтүстік полюс N*, ал қарама-қарсы ұшында *оңтүстік полюс S* түзіледі.



43.1-сурет

Әсерді күшейту үшін магнитке көбінесе тағы пішіні беріледі; бұл жағдайда электромагнит бір мезгілде екі полюсімен (*N* және *S*) де тартады (43.1-сурет).

Электромагниттерді қолдану. Электромагниттердің кең қолданыс

тапқаны сонша, тіпті олар қандай да бір түрде қолданылмайтын техника саласын атау қиын. Олар көптеген тұрмыстық техникада, атап айтқанда, электрқырғыштарында, магнитофондарда, теледидарларда және т.б. болады. Байланыс техникасының құралдары — телефон, телеграф және радио олардың көмегінсіз жасалуы мүмкін емес.

Электромагниттер электр машиналарының, көптеген өнеркәсіптік автоматика құралдарының, түрлі электротехникалық қондырғыларға арналған реттеу және қорғау аппараттарының ажырамас бөлігі болып табылады. Электромагниттерді қолданудың дамып келе жатқан саласы медициналық жабдықтар болып табылады. Сондай-ақ алып электромагниттер синхрофазотрондарда элементар бөлшектерді үдету үшін қолданылады.

Электромагниттерінің салмағы грамның үлестерінен бастап жүздеген тоннаға дейін, ал олардың жұмыс барысында тұтынатын электр қуаты милливаттан он мың киловатқа дейін өзгеріп отырады.

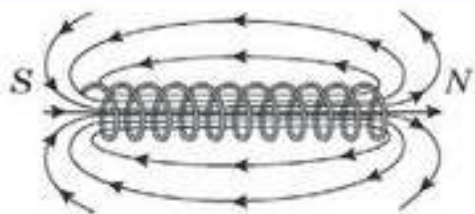
Электромагниттерді қолданудың ерекше саласы электромагниттік механизмдер болып табылады. Оларда электромагниттер қондырғыны қажетті ілгерілемелі қозғалысты жүзеге асыру үшін, немесе оны шектеулі бұрышта айналдыру үшін, немесе ұстап тұратын күшті тудыру үшін жетек ретінде пайдаланады.

Мұндай электромагниттерге: қайсыбір жұмыс денесінің орнын ауыстырғанда белгілі бір жұмыс атқаруға арналған тартушы электромагниттер; электромагниттік құлыптар; электромагниттік ілінісу және тежегіш муфталары; тежегіш электромагниттер; реледе, түйістіргіштерде, стартерлерде, автоматты ажыратқыштарда байланыс құралдарын іске қосатын электромагниттер; көтергіш электромагниттер; электромагниттік вибраторлар және т.б. мысал бола алады.

Бірқатар құралдарда электромагниттермен қатар немесе олардың орнына тұрақты магниттер (мысалы, металл кесетін станоктардың магниттік плиталары, тежегіш құралдар, магниттік құлыптар және т.б.) пайдаланылады (43.2-сурет).



43.2-сурет



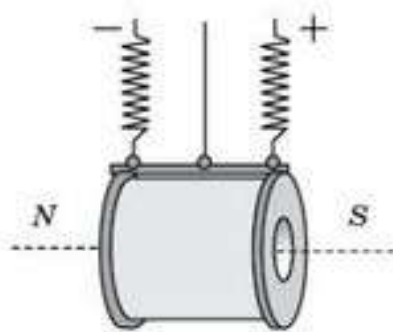
43.3-сурет



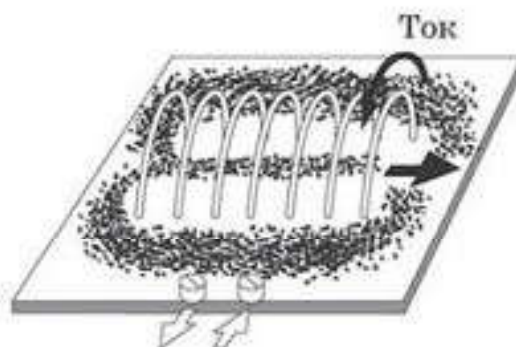
43.4-сурет

Тоғы бар катушканың магнит өрісінің күші катушка орамдарының санына, тізбектегі токтың күшіне және катушкада өзекшенің бар болуына тәуелді болады. Катушкадағы орам саны неғұрлым көп болса және ток күші неғұрлым үлкен болса, магнит өрісі соғұрлым күшті болады. Тоғы бар катушканың ішіне енгізілген темір өзекше катушканың магнит өрісін күшейтеді. Егер соленоидті жіпке іліп, одан ток өткізсек ол Жердің магнит өрісінің әсерінен компостың тілшесі сияқты еркін айналып бағдарланады (43.5-сурет). Соленоидтің магнит сызықтары шығып жатқан ұшы солтүстік полюсі, ал магнит сызықтары кіретін екінші ұшы магниттің оңтүстік полюсі болады.

Соленоидтің магнит өрісінің график түріндегі бейнесі жолақ магниттің магнит өрісіне ұқсас.



43.5-сурет



43.6-сурет

Тоғы бар катушканың магнит өрісінің магниттік сызықтары тұйық қисықтар болып табылады және олар катушканың сыртында солтүстік полюстен оңтүстік полюске қарай бағытталған (43.6-сурет).

Ұзындығы өзінің диаметрінен әлдеқайда үлкен болып келген соленоидтің ішіндегі магнит өрісінің магниттік сызықтары параллель және соленоидтің бойымен бағытталған. Мұнда магнит өрісі біртекті, оның кернеулігі ток күші мен орам санына пропорционал. Соленоидтің сыртқы магнит өрісі біртекті емес.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

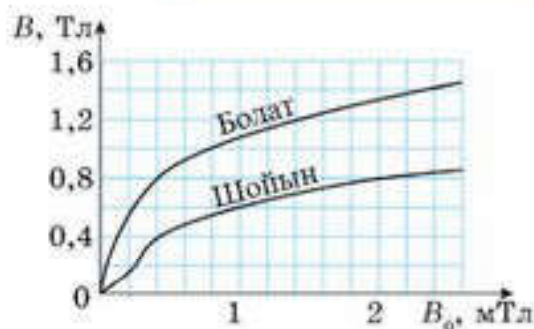
1. Магниттердің қандай түрлері бар?
2. Электромагнит дегеніміз не? Олар қайда қолданылады?
3. Соленоид деп нені айтады? Ол қандай мақсаттарда қолданылады?

Есеп шығару мысалы

Өзегі жоқ соленоидтің ішіндегі өріс индукциясы $B_0 = 2$ мТл. Егер соленоидтің ішіне көлденең қимасының ауданы 100 см^2 шойын өзекше енгізсе, онда магнит ағыны қандай болады (43.7-сурет)?

Шешуі. Магнит ағыны мынаған тең: $\Phi = BS$, мұндағы $B = \mu B_0$ графиктен табылады: $B = 0,8$ Тл. $\Phi = 0,8 \text{ Тл} \cdot 0,01 \text{ м}^2 = 8 \text{ мВб}$.

Жауабы : $\Phi = 8 \text{ мВб}$.



43.7-сурет

16-жаттығу

1. Индукциясы $0,1$ Тл магнит өрісінде ток күші 6 А тең, ұзындығы $0,5$ м өткізгіш орналасқан. Егер токтың бағыты магнит индукциясымен 90° , 30° және 0° бұрыш жасаса, өткізгішке әсер ететін күш қандай?
2. Индукциясы $0,2$ Тл біртекті магнит өрісінде ток күші 5 А тең, ұзындығы $0,3$ м өткізгішті әртүрлі жағдайда орналастырған кезде оған әсер ететін күштің ең үлкен және ең кіші мәндерін анықтаңдар.
3. Екі өткізгіштің арасындағы өзара тартылу күшін есептеңіз. Бірінші өткізгіштің ұзындығы $0,1$ м, екіншісінің ұзындығы $0,2$ м, олардың арасындағы қашықтық $0,05$ м. Ток күші 10 А.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерін келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§44. Электромагниттік индукция заңы

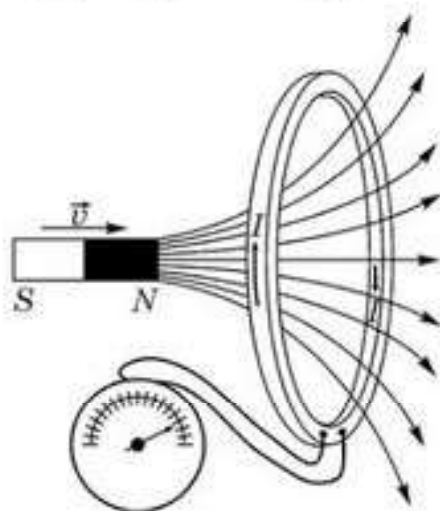
Тірек ұғымдар: электромагниттік индукция, индукциялық ток, индукция ЭҚК, магнит ағыны.

Бүгінгі сабақта:

электромагниттік индукция құбылысын кім және қалай ашқанын білесіңдер; осы құбылыстың мәнін айқындайсыңдар; Фарадей тәжірибелерімен танысасыңдар және контурда индукция ЭҚК қалай пайда болып және неге тәуелді болатынын білесіңдер.

Эрстедтің магнит өрісінің магнит тілшесіне әсерін ашуы сол кездің ғылыми әлемінде тәжірибелер жасап, жаңалықтар ашуға деген ерекше құлшыныстың туындауына ұйытқы болды. Ампер, Фарадей және т.б. ғалымдар электр токтарының магниттік өзара әсерін жан-жақты зерттеу бойынша жұмыстар жүргізді. Әлемдегі көптеген құбылыстардың симметриялы болып келуі, айталық, оң мен сол, оң және теріс (заряд), солтүстік пен оңтүстік (магнит полюстері) және т.б. ғалымдарға тура жол сілтегендей болды. Ғалымдар, егер өткізгіштегі электр тогы төңірегіндегі кеңістікте магнит өрісін тудыратын болса, онда магнит өрісі де өз кезегінде өткізгіште электр тогын тудыруы тиіс деген сенімде болды.

Эрстед ашқан жаңалықтан 12 жыл өткеннен кейін М. Фарадей адамзат қоғамының бұдан әрі дамуының өзегіне айналған *электромагниттік индукция құбылысын* ашты. Максвелл Фарадейдің ашқан жаңалығын математикалық теңдеулерге айналдырып, біріккен өріс теориясын, яғни *электромагниттік өріс теориясын* жасады да, ал кейін неміс ғалымы Г. Герц Максвеллдің электромагниттік толқындар жайлы гипотезасын тәжірибе жүзінде дәлелдеп, *электромагниттік толқындарды* алды.



44.1-сурет

Енді М. Фарадейдің тәжірибелеріне тоқтала кетейік. Олардың біреуінің карапайымдылығы соншалық, оны кез келген мектеп зертханасында, тіптен үй жағдайында да жасауға болады. Ол үшін тұрақты магнит, сезгіш гальванометр, катушка (соленоид) немесе жай ғана контур керек. Контурдың ұштары гальванометрге жалғанады (44.1-сурет). Егер магнитті контурға енгізсек, не одан шығарсақ, онда гальванометрдің тілшесі қозғалысқа келеді, яғни ток пайда болады. Ал егер магнит тыныштықта тұрса, онда токтың ешқандай

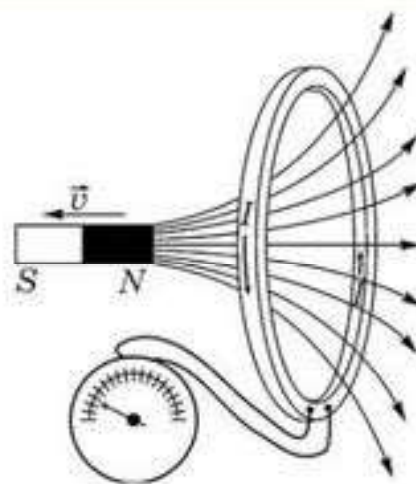
белгісі жоқ. Магнит контурға катысты қозғалғанда өткізгіште *индукциялық токтың* пайда болуының тұңғыш рет Фарадей байқады. 1831 жылы Фарадей индукциялық токтың шамасы оны тудыратын себепке тәуелді болатынын тағайындады.

Фарадей жүргізген көптеген тәжірибелердің ішінен ол ашқан құбылыстың мәнін сипаттайтын негізгі үшеуін бөліп көрсетуге болады.

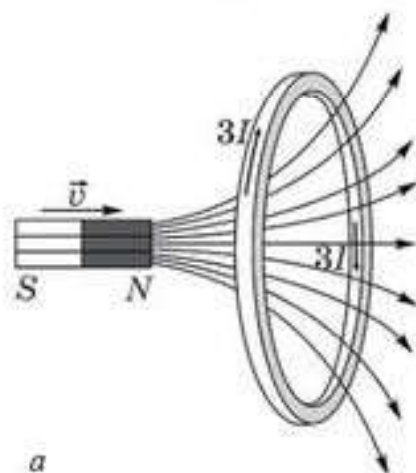
1. Контурға магнитті енгізгенде және оны суырып алғанда гальванометр тілшесі ауытқиды (44.1 және 44.2-суреттер). Магнитті енгізу және суыру кезіндегі тілшенің қозғалыс бағыты қарама-қарсы. Бұл индукция тогының бағыты өзгереді деген сөз. Тілшенің ауытқуы магнитті енгізу және шығару жылдамдығы неғұрлым көп болса, соғұрлым үлкен (44.3, а, ә, б-суреттер). Сонымен қатар ток күшінің кіретін және шығатын магниттер санына тура пропорционал болатыны да анықталды (44.3-сурет). Егер магнитті катушкаға (контурға) баяу енгізсек, онда ток күші магнитті кенеттен енгізгенге қарағанда аз болады (44.3, ә-сурет).

2. Тәжірибелердің келесі сериясының мағынасы мынада болды. Егер жолақ магнитті тогы бар катушкамен алмастырсақ және бірінші катушканың ұштарын гальванометрге жалғап, екінші катушка арқылы ток жіберсек, онда токты қосып-ажыратқанда және реостат арқылы ток күшін арттырып-азайтқанда гальванометрдің тілшесі ауытқиды (44.4-сурет). Токты қосқанда және ажыратқанда, катушкаларды жақындатқанда гальванометрдің тілшесі бір жаққа, ал токты ағытқанда не азайтқанда немесе катушкаларды бір-бірінен алыстатқанда ол басқа жаққа ауытқиды.

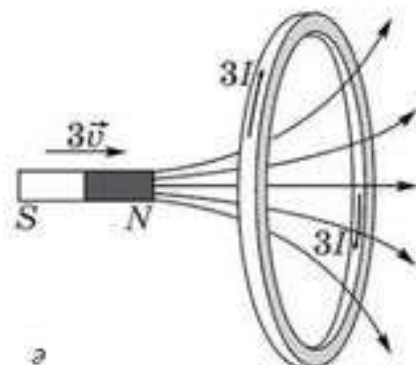
3. Егер деформация арқылы катушканың пішіні мен ауданын өзгертсе, онда токтың пайда болатыны тағайындалған. Ал контур біртекті магнит өрісінде индукция сызықтары оның жазықтығына перпендикуляр болатындай етіп орын ауыстырса, онда гальванометр токты



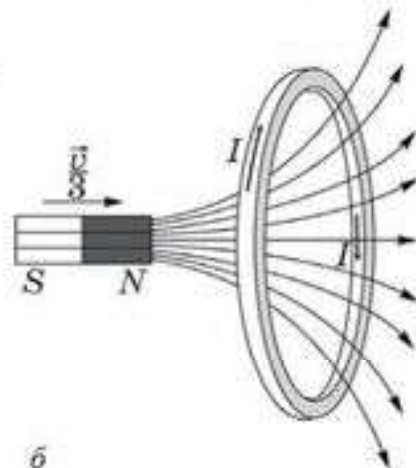
44.2-сурет



а

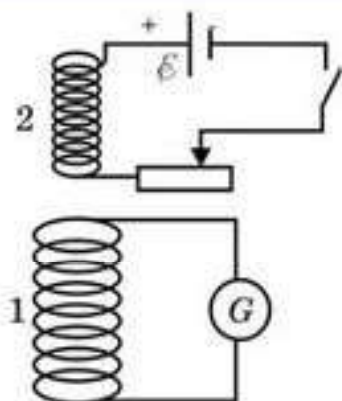


ә

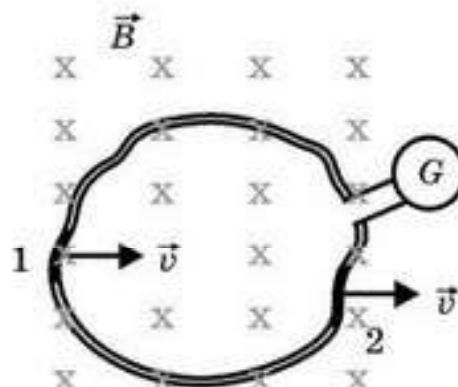


б

44.3-сурет



44.4-сурет



44.5-сурет

көрсетпейді, өйткені контурды тесіп өтетін магнит ағыны өзгермейді (44.5-сурет). Егер контурды осы өрісте айналдырсақ, онда гальванометр токтың бар екенін көрсетеді, әрі токтың бағыты айналу бағытына тәуелді болады.

Осы тәжірибелерден мынадай қорытындылар шығады:

1. *Контурда оны тесіп өтетін магнит өрісінің индукция векторының ағыны уақыт бойынша өзгерген кезде ғана индукция ЭКК пайда болады, яғни $\Delta\Phi \neq 0$.*

2. *Индукциялық токтың шамасы контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгеріс жылдамдығына, яғни $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ шамасына тәуелді.*

3. *Өткізгіш магнит өрісінің күш сызықтарын қиып өткенде ғана контурда индукциялық ток пайда болады.*

Өз тәжірибелерінен алынған мәліметтерді жалпылай отырып, Фарадей мынадай қорытындыға келді: *контурда пайда болатын индукция ЭКК контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісіне тура пропорционал:*

$$|E_i| = k \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|. \quad (44.1)$$

k пропорционалдық коэффициентінің мәні магнит ағынының өлшем бірлігін таңдап алғанға тәуелді. Егер ол бірге тең деп қабылданса, ал E_i вольтпен, Δt уақыт секундпен алынса, онда магнит ағынының бір секундағы өзгерісі өзі орайтын өткізгіште бір вольтқа тең ЭКК туғызу керек. Халықаралық бірліктер жүйесінде ондай ағын веберге (1 Вб) сәйкес келеді.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Электромагниттік индукция құбылысын түсіндіріңдер. Оны ашқан кім?
2. Электромагниттік индукция құбылысын тәжірибе арқылы бақылауға болатынына мысалдар келтіріңдер.

3. а) Магнитті тыныштықтағы тұйық контурға енгізсек; ә) тыныштықтағы магнитке тұйық контурды енгізсек, индукция ЭҚК мен индукциялық ток пайда бола ма? Контурды тұйықтасак не болады?
4. Егер тұйық токты магнит өрісіне параллель бағытта қозғалысқа келтірсе, индукция ЭҚК мен индукциялық ток пайда бола ма?
- *5. Контур біртекті магнит өрісіне қойылған. Индукциялық ток мына жағдайлардың қайсысында пайда болады: а) контур магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр қозғалады; ә) контур өріске қатысты қайсыбір бұрышпен ілгерілемелі қозғалады; б) контур өрісте қандай да бір осьті айнала бұрылады?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

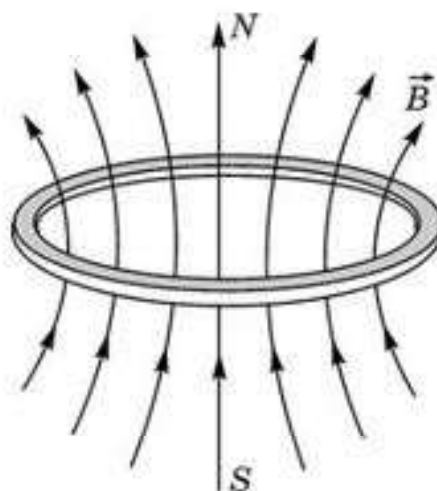
§ 45. Ленц ережесі

Тірек ұғымдар: магнит ағыны, индукциялық ток.

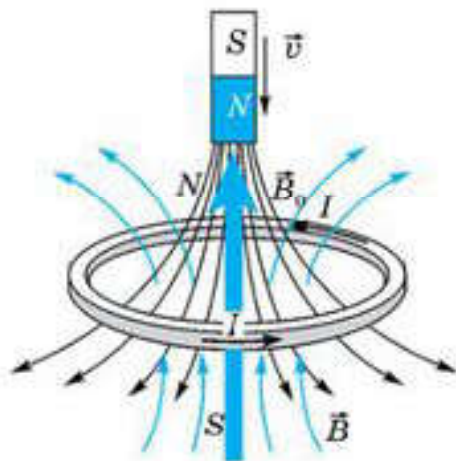
Бүгінгі сабақта:

индукциялық токтың шамасы неге тәуелді болатынын білесіңдер; контурдағы индукциялық токтың бағытын анықтауды үйренесіңдер.

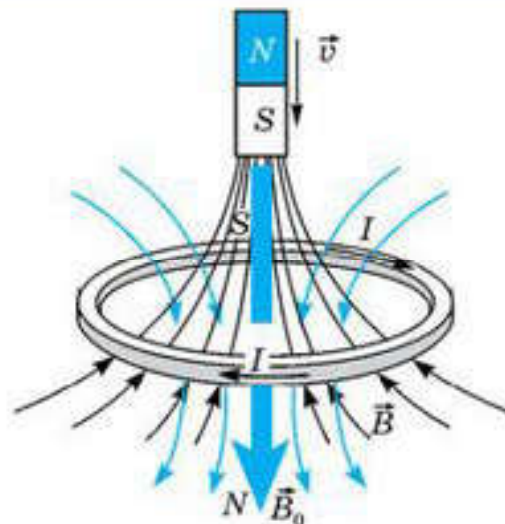
Магнит өрісінің күш сызықтарының тұйық екені және шарт бойынша олар солтүстік полюстен шығып, оңтүстік полюске кіріп жапаяны белгілі. Тіптен жіңішке деген жазық контурдың да солтүстік-оңтүстік полюстері бар (45.1-сурет). Токтың берілген бағыты кезінде контурдың үстінде солтүстік полюс, ал астында оңтүстік полюс орналасады. Егер Фарадейдің бірінші тәжірибесіне оралатын болсақ, магнитті контурға солтүстік полюсі арқылы енгізгенде контурдың үстінгі жағында, контурда пайда болатын индукциялық токтың әсерінен, солтүстік полюс “пайда болуы” тиіс (45.1, 45.2-суреттер). Кері жағдайда энергияның сақталу заңы бұзылар еді. Егер контурдың үстінде оңтүстік полюс пайда болса, онда магнит қозғалған кезде пайда болатын индукциялық ток жұмыс атқарып, нәтижесінде Джоуль—Ленц заңы бойынша есептелетін жылу бөліп шығарар еді. Оның үстіне, магниттің өзі де контурға тартылып, өзінің кинетикалық энергиясын арттырар еді, ал бұл энергияның сақталу заңына қайшы келеді. 45.2, 45.3-суреттерді бір-бірімен салыстырып, I индукциялық ток тудыратын магнит өрісінің индукция векторының



45.1-сурет

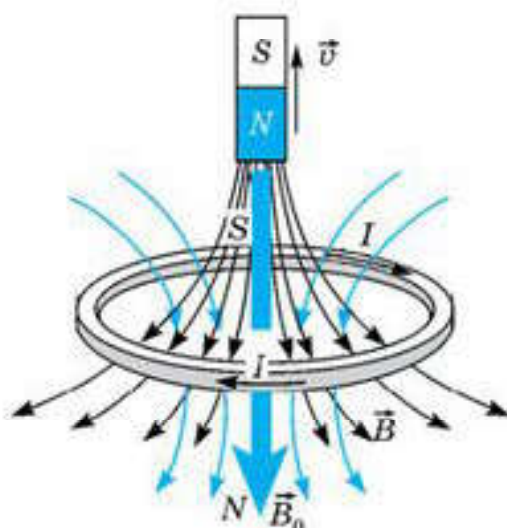


45.2-сурет



45.3-сурет

ағыны бұл жағдайда магниттің артып келе жатқан өрісіне қарсы бағытталғанын көреміз. Егер магнитті контурдан шығарсақ, онда контурдың үстінде оңтүстік полюс пайда болуы керек (45.4-сурет). Индукциялық токты тудыру үшін тосын күштердің жұмысы қажет болады, міне, осы жұмысты біз N және S полюстердің арасындағы тартылысты жеңу арқылы атқарамыз. Демек, энергияның сақталу заңы орындалу үшін контурдағы токтың бағытын қарама-қарсы бағытқа өзгерту керек. Осы кезде индукциялық токтың магнит өрісінің бағыты да өзгереді. 45.2, 45.3-суреттерді бір-бірімен салыстырайық. 45.2-суретте магниттің магнит өрісінің контурды тесіп өтетін ағыны артады, яғни $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$, ал индукциялық токтың магнит өрісінің ағыны бұған қарсы болады. 45.4-суретте магнитті суыра отырып, біз магниттің контурды тесіп өтетін магнит ағынын кемітеміз, яғни $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$, бірақ бұл жағдайда да индукциялық токтың магнит өрісі өзі тудырған магнит ағынының өзгерісіне қарсылық көрсетеді.



45.4-сурет

Сонымен, $|\mathcal{E}_i| = k \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$ магнит ағынының өзгерісі

$$I_i = \frac{\mathcal{E}_i}{R} = \frac{|\Delta\Phi|}{R|\Delta t|}$$

индукциялық токты тудырады, мұндағы R — контурдың кедергісі, оның магнит өрісі осы токты тудырған сыртқы магнит өрісінің өзгерісіне кедергі жасайды. Бұл — индукциялық токтың бағытын анықтайтын **Ленц ережесі**: *I индукциялық ток магнит өрісі индукциясының ағынын тудырады, ал оның $\Delta\Phi_i$ өзгерісі сыртқы магнит өрісі*

индукциясы ағынының $\Delta\Phi$ өзгерісіне кедергі жасайды. Демек, $\Delta\Phi_1$ және $\Delta\Phi_2$ бағыттары қарама-қарсы, яғни электромагниттік индукция заңындағы пропорционалдық коэффициент $k = -1$, ендеше,

$$\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (45.1)$$

Индукциялық токтың шамасы мынаған тең:

$$I_i = -\frac{1}{R} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}. \quad (45.2)$$

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Тұйық контурға магнитті енгізгенде индукциялық токтың пайда болуын түсіндіріңдер.
2. Тұйық контурда пайда болған индукция тогының шамасын қалай есептейміз?
3. Индукциялық ток пен сыртқы магнит өрісінің ағыны өзара қандай қатынаста болады?
4. Ленц ережесін тұжырымдаңдар.
- *5. Магнит ағыны мен дене импульсі арасындағы ұқсастықты неге сөз еттік?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туынды?

§ 46. Электромагниттік құралдар

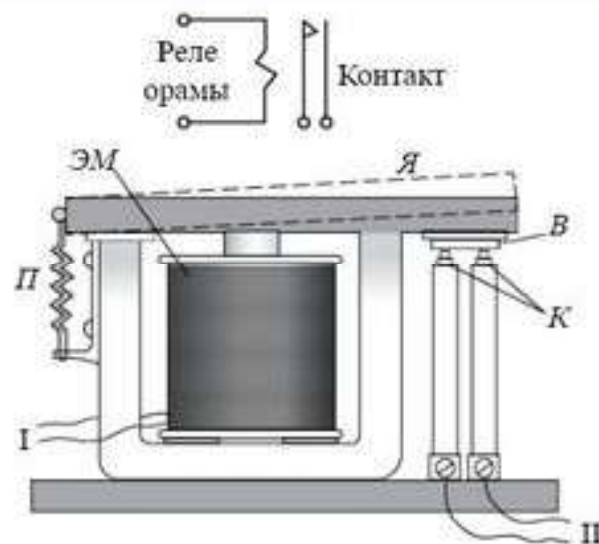
Тірек ұғымдар: реле, электромагнит, генератор, индукция ЭҚК, индуктор, трансформатор, жоғарылатқыш трансформатор, төмендеткіш трансформатор, трансформация коэффициенті.

Бүгінгі сабақта:

электромагниттік құралдар — реленің генератордың және трансформатордың құрылысымен, олардың жұмыс істеу принципімен танысасыңдар; трансформация коэффициентін есептеп шығаруды үйренесіңдер.

Электромагниттік реле. Техниканың әртүрлі салаларында, әсіресе автоматикада *реле* деп аталатын электромагниттік құрал кеңінен қолданылады.

Кез келген реленің негізгі бөлігі — электромагнит (46.1-сурет). Электромагниттің орамымен ток өткен кезде *Я* якорь электромагнитке тартылады да, оған бекітілген *В* пластина *К* контактілерді тұйықтайды. Электромагнит тізбегі реленің бастапқы тізбегі деп, ал *К* контактілермен тұйықталатын тізбек екінші ретті тізбек деп аталады. Реленің бастапқы тізбегінде ток болмаған кезде *П* серіппе якорьды тартып тұрады да, *К* контакты ажырайды. Якорьдың бұл күйі 46.1-суретте үзік сызықпен көрсетілген.



46.1-сурет. Электромагниттік реле және оның шартты белгілері

46.2-суретте электрқозғалтқышының жұмысын басқару үшін реленің қолданылуы сызбамен көрсетілген. Реле оның екінші ретті тізбегіне жалғанған қозғалтқыштың маңына орналастырылады. Реленің бастапқы тізбегін басқару пультінен қосады, сонда якорь екінші ретті тізбектің контактілерін тұйықтайды; реле іске қосылады да, қозғалтқыш қажетті машинаны қозғалысқа келтіреді. Электромагнит тізбегін ажыратқанда біз қозғалтқышты өшіреміз.



46.2-сурет

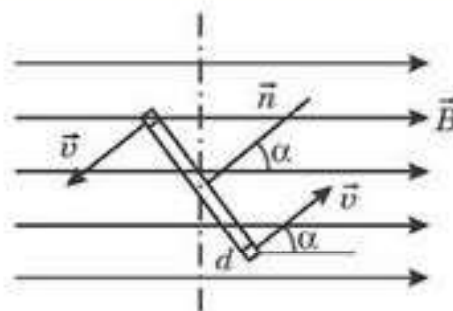
Реле болмаса, қозғалтқышты қосатын жерге қозғалтқышты қоректендіретін ток үшін сымдар тарту қажет болар еді. Бұндай тізбекке жуан сымдар керек, ал бұл тиімсіз. Релені іске қосуға жеткілікті ток қозғалтқышты қоректендіретін токтан ондаған, кейде тіпті мыңдаған есе аз. Сондықтан басқару пультінен релеге дейінгі сымдардың қимасы кішкентай болуы мүмкін.

Үлкен қаланың әр жерінде орналастырылған реленің көмегімен көше шамдарын күнделікті бір ғана орталық пункттен жағып және өшіріп отырады.

Генератор. Генератордың жұмыс істеу принципі электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Генератордың негізгі элементі магнит өрісінде айналатын рама болып табылады. Индукциясы B біртекті магнит өрісінде сымнан жасалған ауданы S рама тұрақты W бұрыштық жылдамдықпен айналып тұр делік (46.3-сурет).

Раманы тесіп өтетін магнит ағыны $\Phi = BS \cos \alpha$ формуласымен анықталатынын білесіндер, мұндағы α — B индукция векторы мен рамаға

тұрғызылған \vec{n} нормальдың арасындағы бұрыш. Бастапқы кезде α бұрышы нөлге тең болсын. Рама ω бұрыштық жылдамдықпен айнала бастағанда раманың бұрылу бұрышы $\alpha = \omega t$, онда магнит индукциясының ағыны уақыт өтуімен гармониялық заң бойынша өзгереді: $\Phi = BS \cos \omega_0 t$. Егер раманы тесіп өтетін магнит ағыны өзгерсе, онда индукциялық ЭКК өндіріледі. Егер $\Delta t \rightarrow 0$ шексіз аз уақыт аралығын алсақ, онда $\mathcal{E} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(-\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right) = -\Phi'$.



46.3-сурет

Сөйтіп, индукциялық ЭКК контурды қиып өтетін магнит ағынының кері таңбамен алынған уақыт бойынша туындысына тең болады: $\mathcal{E} = -\Phi' = -(BS \cos \omega t)' = BS \sin \omega t$.

Рамадағы индукциялық ЭКК максимал мәнін $\mathcal{E}_m = BS \omega$ деп белгілесек, онда $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ аламыз.

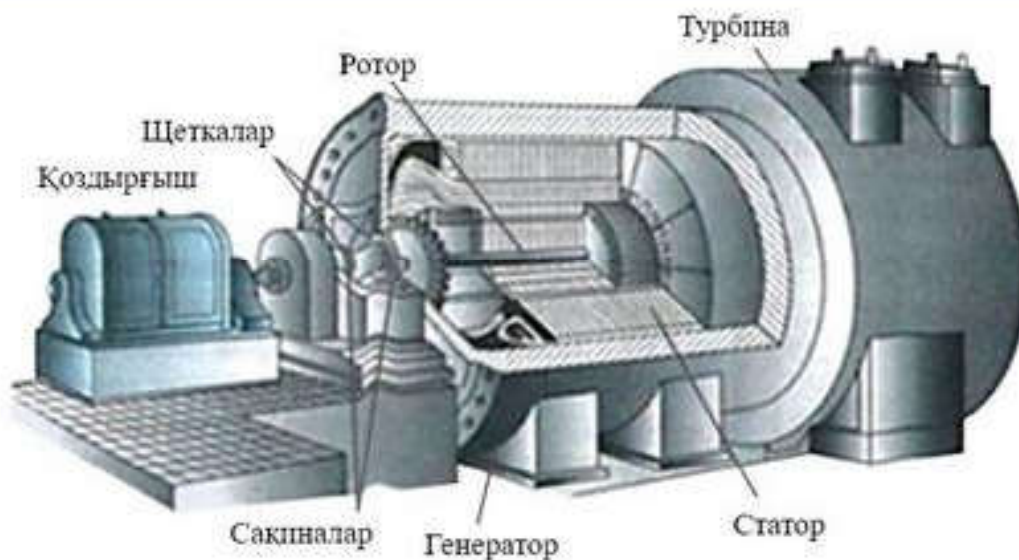
Сонымен, магнит өрісінде бірқалыпты айналып тұрған сым рамада индукциялық ЭКК пайда болады да, сымның бойымен синусоидалық айнымалы ток жүреді. Осындай токты пайдалану үшін ток генераторы пайдаланылады.

Ток генераторы деп энергияның қандай да бір түрін электр энергиясына айналдыратын қондырғыны айтады.

Электрстанцияларында электромеханикалық индукциялық айнымалы ток генераторының әртүрлі нұсқалары пайдаланылады. Мұндай генераторларда білікті айналдыратын механикалық энергия электр энергиясына айналады және олардың артықшылығына құрылысының қарапайымдығы және үлкен токтарды алуға болатыны жатады. Кез келген индукциялық генератордың негізгі бөліктері мыналар: *индуктор* — магнит өрісін тудыратын қондырғы (бұл тұрақты магнит немесе электромагнит болуы мүмкін); *якорь* — ЭКК индукцияланатын (пайда болатын) орама; *щеткалары бар сақиналар* — айналып тұрған бөліктерден индукциялық токты шығарып алатын немесе электромагниттерге қоректену үшін ток беретін қондырғылар.

Генерацияланатын ЭКК арттыру үшін раманың орнына ротор пайдаланылады. 46.4-суретте өнеркәсіптік генератордың моделі көрсетілген.

Ротордың айналуы кезінде орамалар статордың магнит өрісінде айналады және бұл кезде оларды тесіп өтетін магнит ағыны периодты түрде өзгеріп отырады. Бұл өзгерістер құйынды электр өрісін тудырып, орамаларда айнымалы ЭКК пайда болады, ал бұл, өз кезегінде, сыртқы тізбекті “қоректендіреді”. Техникалық қажеттіліктерге жиілігі 50 Гц синусоидалық айнымалы ток пайдаланылады. Ондай ток алу үшін ротор 50 айн/с жиілікпен айналуы тиіс.



46.4-сурет

Трансформатор . Трансформаторлар электр жеткізу желілеріндегі (ЭЖЖ) кернеуді арттыру және төмендету үшін пайдаланылады.

Айнымалы токтың трансформациясын жүзеге асыратын құрал трансформатор деп аталады.

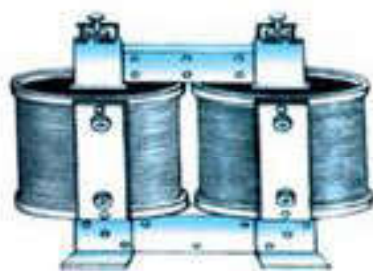
Трансформатордың әсері электромагниттік индукция құбылысына негізделген. Ол қуаттың практикалық түрде өзгеруінсіз айнымалы кернеуді бірнеше рет арттыруға немесе азайтуға мүмкіндік береді.

Қуаттың практикалық түрде шығындалуын болдырмай-ақ, айнымалы ток кернеуінің ток күшімен қатар өзгеруі айнымалы ток трансформациясы деп аталады.

Трансформатор арнайы трансформаторлық болаттан дайындалған түйік болат өзек болып табылады. Өзекке индуктивті түрде байланысқан екі орама кигізіледі (46.5-сурет).

Орамалардың бірі айнымалы ток көзіне қосылады, оны *бірінші ретті орама* деп атайды. Екінші орама тұтынушыға қосылады, оны *екінші ретті орама* деп атайды.

Бірінші орама арқылы өтетін айнымалы ток трансформатор өзегінде өзгермелі магнит ағынын тудырады. Ол бірінші ретті ораманың әр орамында ЭКК индукциясының лездік мәнін тудырады және дәл сондай ЭКК индукциясы екінші ораманың әр орамында да пайда болады. Егер бірінші



46.5-сурет

ретті ораманың орам саны n_1 , ал екінші орамада n_2 болса, онда $\mathcal{E}_1 = e n_1$, $\mathcal{E}_2 = e n_2$, мұндағы e — орамалардың әрқайсысының бір орамындағы индукция ЭКК. Бұдан $\frac{\mathcal{E}_1}{\mathcal{E}_2} = \frac{n_1}{n_2}$. Егер орамдардың кедергісін ескермесек, онда олардағы индукция ЭКК олардың қысқыштарындағы кернеуге тең болады: $\mathcal{E}_1 = U_1$; $\mathcal{E}_2 = U_2$.

Трансформатордың кернеуді өзгертуін трансформация коэффициенті сипаттайды. *Трансформация коэффициенті* — трансформатордың бірінші және екінші орамаларындағы кернеулердің қатынасына тең шама:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k.$$

Жоғарылатқыш трансформатор — кернеуді арттыратын трансформатор ($U_2 > U_1$). Мұндай трансформатордың екінші орамасындағы n_2 орам саны бірінші орамадағы n_1 орам санынан артық болуы тиіс, яғни $k < 1$.

Төмендеткіш трансформатор — кернеуді төмендететін трансформатор ($U_2 < U_1$). Мұндай трансформатордың екінші орамасындағы n_2 орам саны бірінші орамадағы n_1 орам санынан аз болуы тиіс, демек, $k > 1$.

Трансформаторлардағы қуаттың шығыны бірінші орамдағы ток көзі қуатының 2—3%-ын құрайды. Сондықтан, бірінші орамдағы $P_1 = U_1 I_1$ ток қуаты екінші орама тізбегіндегі $P_2 = U_2 I_2$ ток қуатына тең.

Демек, $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$. Трансформатордың көмегімен кернеуді арттырғанда

ток күші сонша есе азаяды және керісінше. Сонымен, электрстанцияларынан электр жеткізу желілеріне кернеуді жіберу кезінде ток күшін азайта отырып, кернеуді арттырады. Содан кейін тұтынушыға жеткенде, төмендеткіш трансформатордың көмегімен ток күшін арттыру арқылы кернеуді төмендетеді.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Генератор дегеніміз не? Оның құрылысы мен жұмыс істеу принципі қандай?
2. Неліктен магнит өрісінде айналатын рама генератордың негізгі элементі болып табылады?
3. Трансформатор қандай мақсаттарда қолданылады?
4. Трансформатордың құрылысы мен жұмыс істеу принципі қандай?
5. Трансформация коэффициенті деп нені айтамыз?

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

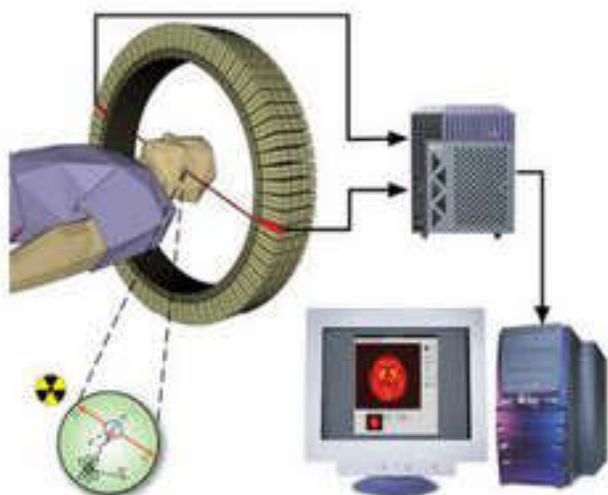
Жаңа алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?

§ 47. Магниттік-резонанстық томография

Тірек ұғымдар: магниттік-резонанстық томография, ядролық-магниттік резонанс, магнит өрісі, радиотолқындар.

Бүгінгі сабақта:

магниттік-резонанстық томографтың құрылысымен, оның жұмыс істеу принципімен танысасындар.



47.1-сурет

Магниттік-резонанстық томографияның жұмыс принципі. Бұл диагностикалық шараның жұмыс істеу принципінің негізінде ядролық-магниттік резонанс (ЯМР) құбылысы жатыр, оның көмегімен ағзаларды және тіндердің қабаттық бейнесін алуға болады (47.1-сурет).

Ядролық-магниттік резонанс — бұл атом ядроларының ерекше қасиеттерінде жатқан физикалық құбылыс. Электромагниттік өрісте радиожіліктік табиғаты бар импульс көмегімен энергия арнайы сигнал түрінде шығарылады. Компьютер бұл энергияны бейнелеп көрсетеді және суретін басып шығарады.

ЯМР адам ағзасының сутек атомдарымен қаныққандығына және ағза тіндерінің магниттік қасиеттеріне байланысты ол жайлы бәрін білуге мүмкіндік береді. Қандай да бір сутек атомының қай жерде екенін қарама-қарсы жақта орналасқан екі фазаға бөлінетін протондық параметрлердің векторлық бағыты бойынша, сондай-ақ олардың магниттік моментке тәуелділігі арқылы анықтауға болады.

Атом ядросы сыртқы магнит өрісіне орналастырылған кезде магниттік табиғаты бар момент өрістің магниттік моментінен кері бағытқа бағытталады. Организмнің белгілі бір аймағына кайсыбір жиіліктегі электромагниттік сәулелер әсер еткенде кейбір протондар бағыттарын өзгертеді, бірақ содан кейін бәрі қайта қалпына келеді. Бұл кезеңде компьютердегі арнайы жүйенің көмегімен томографта алынған деректер жинақталады, атомның бірнеше “босансыған” ядролары тіркеледі.

Магниттік-резонанстық томография (МРТ) — *бүгінгі таңдағы сәулелік диагностиканың адам ағзасының жай-күйі, метаболизмі,*

тіндері мен ағзадағы физиологиялық процестер туралы неғұрлым дәл мәлімет бере алатын әдістердің бірі.

Зерттеу кезінде ағзадағы жеке аймақтарының суреттері алынады. Ағза мен тіндер әртүрлі проекцияларда бейнеленеді, бұл оларды қима кескінде көруге мүмкіндік береді. Мұндай бейнелерді медициналық бағалаудан кейін нақты қорытынды жасауға болады.

Жалпы МРТ-ның негізі 1973 жылы қаланған деп саналады. Алайда алғашқы томографтардың заманауи томографтардан елеулі өзгешеліктері бар. Заманауи және сапалы әрі дәл жұмыс жасайтын томографтар пайда болғанға дейін оларды жақсарту жолында әлемнің аса ұлы ойшылдары еңбек етті.

Қазіргі магниттік-резонанстық томограф — ол магнит өрісі мен радиотолқындардың өзара әсерлесуі арқылы жұмыс істейтін жоғары технологиялық құрал (47.2-сурет). Құралдың көрінісі пациент орналастырылатын жылжымалы үстелі бар туннель құбыры сияқты. Бұл үстелдің жұмысы томографиялық магнитке байланысты қозғала алатындай етіліп ұйымдастырылған.

Адам ағзасының зерттелетін аймағын сигналдарды есептеп әрі оларды компьютерге жіберіп отыратын радиожиілікті сенсорлар қоршап тұрады. Алынған деректер компьютерде өңделеді, соның негізінде дәл бейне алынады. Бұл суреттер таспаға немесе дискіге жазылады (47.3-сурет).

Нәтижесінде рентген суреттеріне ұқсамайтын қажетті аймақтың бірнеше тұрғыдағы дәл бейнесі алынады. Ағзаның жұмсақ тіндерін бірнеше қырынан көруге болады әрі сүйек тіні бейнеленбейді, демек, ол кедергі келтірмейді деген сөз.



47.2-сурет. Заманауи МРТ аппараты



47.3-сурет

Осы әдістің көмегімен ағзаларды, дененің әртүрлі тіндерін, жүйке талшықтарын, байланыстырушы аппаратты және бұлшықеттерді шолып көруге болады. Қан ағысының жылдамдығын бағалауға, кез келген ағзаның температурасын өлшеуге болады.

Өзін-өзі бақылауға арналған сұрақтар

1. Магниттік-резонанстық томография деген не?
2. Магниттік-резонанстық томограф қандай құрал? Оның құрылысы мен жұмыс істеу принципі қандай?
3. МРТ негізі қашан қаланған?
4. Магниттік-резонанстық томография қандай мақсаттарда қолданылады?

Есеп шығару мысалы

Өткізгіштің ішіндегі ток күші 0,25 с ішінде 2 А бірқалыпты өзгерген кезде 20 мВ өздік индукция ЭҚК коздыратын болса, осы өткізгіштің индуктивтігі қандай?

Шешуі. Электромагниттік индукция заңы мен индуктивтіктің анықтамасынан мынадай өрнек аламыз:

$$E = \frac{D\Phi}{D_t} = L \frac{D_I}{D_t}$$

Осыдан ізделіп отырған индуктивтіктің формуласы мынаған тең:

$$L = \frac{E}{D_I / D_t}$$

$$L = \frac{2 \cdot 10^{-2} \text{ В} \cdot 0,25 \text{ с}}{2 \text{ А}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Жауабы: $L = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$

17-жаттығу

1. Ғадооәлінің ішіналы ішіне 32 н ішіна 24 іАА-аА 50 іАА-аА аАей өсаааАі еАса еіаоөеуінің ідоаоА ҰКЕ 10 А ііеуі үшін кайоА ідәі пәуі қажет?
2. ОАид өсәеше ғадооәлінің өөәлінің кейіпін аоАі 20 н², ае еіаоөеуі 20 іА. Оіе еуінің кайае ішіна өзәоаА ішіне өдінің еіаоөеуі 1 іОө аіеаА? Ғадооәлінің ішіна пәуі 1000.
3. Еіаоөеуі 0,2 Оө аіеауі адоөеуі адоәеуі ішіне өдінің аідеііаеуі ішінақай ұсінәуі 50 н өөеіаю 10 і/п әуәәіііккі қсғәәәу. Өөеі-аюінің әеәәіік аәөіду ішіне өдінің 30°, ае өөеіаюінің ішіна 60° аұдуә жәпәәу. Өөеіаюә іәәә аіеауі еіаоөеу ҰКЕ оаііңәд.

Осы тақырыпта нені меңгердіңдер?

Жана алған ақпарат қаншалықты пайдалы және қызықты болды?	Тақырыпқа қатысты тағы нені білгілерің келеді?	Тақырып барысында қандай сұрақтар туындады?
---	--	---

ТАРАУДЫҢ МАҢЫЗДЫЛАРЫ



III бөлім. ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

<p><i>Электр зарядының сақталу заңы</i> : оқшауланған электрлік жүйеде электр зарядтарының алгебралық қосындысы тұрақты болып қалады</p>	$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const}$
<p><i>Кулон заңы</i> : нүктелік екі зарядтың өзара әсер күші сол зарядтардың шамаларының көбейтіндісіне тура пропорционал да, арақашықтықтарының квадратына кері пропорционал</p>	$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2}$
<p><i>Электр өрісінің кернеулігі</i> — өрістің күштік сипаттамасы болып табылады</p>	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$
<p><i>Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі</i></p>	$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\epsilon r^2}$
<p><i>Суперпозиция принципі</i> , N зарядтар жүйесінің электр өрісінің кернеулігі олардың жеке өрістерінің кернеуліктерінің векторлық қосындысына тең</p>	$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$
<p><i>Потенциалдар айырымы</i> — заряд орын ауыстырғанда өріс күштерінің жасайтын жұмысының осы зарядқа қатынасына тең физикалық шама</p>	$(\phi_1 - \phi_2) = \frac{A}{q}$
<p>Зарядтың электр өрісіндегі орын ауыстыру жұмысы осы заряд шамасы мен потенциалдар айырымының көбейтіндісіне тең</p>	$A = q (\phi_1 - \phi_2)$
<p><i>Конденсатордың электрсійымдылығы</i> — конденсатор зарядының оның астарлары арасындағы потенциалдар айырымының қатынасына тең физикалық шама</p>	$C = \frac{q}{\phi_1 - \phi_2}$
<p><i>Жазық конденсатордың сыйымдылығы</i></p>	$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$

<p><i>Ток күші</i> — сан мәні өткізгіштің көлденең қимасынан Δt уақыт бірлігі ішінде өтетін Δq зарядтардың мөлшеріне тең физикалық шама</p>	$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$
<p><i>Электр қозғаушы күш</i> — ток көзінің теріс полюсінен оң полюсіне оң зарядты тасымалдау бойынша бөгде күштердің атқаратын жұмысының осы заряд шамасына қатынасымен анықталатын физикалық шама</p>	$\mathcal{E} = \frac{A_6}{q}$
<p><i>Кернеу</i> — тізбек бөлігінде барлық әсер етуші күштердің атқарған жұмысының тасымалданатын заряд шамасына қатынасына тең физикалық шама</p>	$U = \frac{A}{q}$
<p><i>Тізбек бөлігі үшін Ом заңы</i> — тізбек бөлігі арқылы өтетін ток күші бөліктің ұштарындағы кернеуге тура пропорционал, ал оның кедергісіне кері пропорционал</p>	$I = \frac{U}{R}$
<p><i>Толық тізбек үшін Ом заңы</i> — тұйық тізбектегі ток күші оған әсер ететін электр қозғаушы күшінің шамасына тура пропорционал, тізбектің ішкі және сыртқы кедергілерінің қосындысына кері пропорционал</p>	$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$
<p><i>Тізбек бөлігіндегі токтың жұмысы</i> ток күшіне, бөліктегі кернеуге және ток өтетін уақытқа тура пропорционал</p>	$A = UIt$
<p><i>Джоуль—Ленц заңы</i> — тогы бар өткізгіштегі бөлініп шығарылатын жылу мөлшері ток күші квадратының, өткізгіш кедергісі мен электр тогының өту уақытының көбейтіндісіне тең</p>	$Q = I^2 R t$
<p><i>Ампер күші</i></p>	$F_A = BI \Delta l \sin \alpha$
<p><i>Лоренц күші</i></p>	$F_L = Bq_0 v \sin \alpha$

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР

№ 1-зертханалық жұмыс .

Тұтқырлығы әртүрлі сұйықта қозғалатын кішкентай шардың қозғалысын зерттеу

Жұмыстың мақсаты : зерттелетін сұйық ішінде түсетін шардың жылдамдығы бойынша оның ішкі үйкеліс коэффициентінің мәндерін анықтау.

Құрал-жабдықтар : ішкі үйкеліс коэффициентін анықтауға арналған құрал, шарлар жиынтығы, микрометр, секундомер.

Қысқаша теория . Сұйықтың қозғалысы кезінде оның қабаттарының арасында сұйықтың барлық қабаттарының жылдамдығын теңдестіруге тырысатын ішкі үйкеліс күштері пайда болады.

Сұйықтың бір-бірінен ΔZ қашықтықта орналасқан ең жақын екі қабаты X осінің бойымен айырмашылығы Δv шамасына тең әртүрлі жылдамдықпен қозғалсын делік (1-сурет).

Сонда осы қабаттар арасындағы ΔS ауданға ішкі үйкеліс күші (тұтқырлық) әсер етеді, оның шамасы мынаған тең:

$$F = \eta \frac{\Delta v}{\Delta Z} \Delta S, \quad (1)$$

мұндағы η — *ішкі үйкелістің динамикалық коэффициенті* немесе мәні сұйықтың қасиеттеріне және температураға байланысты болатын жай тұтқырлық коэффициенті. $\frac{\Delta v}{\Delta Z}$ — жылдамдықтың *көлденең градиенті* деп аталады, ол Z осі бағытында ағын жылдамдығының қалай өзгеретінін көрсетеді.

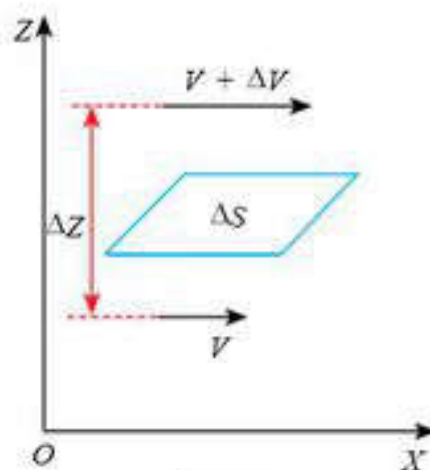
(1) теңдеуді η қатысты шешіп, табатынымыз:

$$\eta = \frac{F}{\frac{\Delta v}{\Delta Z} \Delta S}. \quad (2)$$

Олай болса, ішкі үйкеліс коэффициенті сан жағынан жылдамдық градиенті бірге тең болғанда бірлік ауданға әсер ететін күшке тең болады. ХБ жүйесінде ішкі үйкеліс коэффициентінің өлшем бірлігі мынадай:

$$[\eta] = \left[1 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2} \right] = 1 \text{Па} \cdot \text{с} = 10 \text{ Пуаз}.$$

ХБ жүйесінде ішкі үйкеліс коэффициентінің бірлігі — *пуаз* .



1-сурет

Тұтқырлық коэффициенті жағармай материалдарының маңызды сипаттамаларының бірі болып табылады. Тұтқырлық коэффициентін анықтаудың көптеген тәсілдері бар. Ең қарапайым және кен тарағандарының бірі — сұйық ішінде түсетін шардың жылдамдығын өлшеуге негізделген әдіс.

Сұйық ішіндегі шарға әсер ететін күштер:

1. Тік төмен бағытталған ауырлық күші, ол мынаған тең:

$$F_a = m_m \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_m \cdot g.$$

2. Тік жоғары бағытталған Архимед күші, ол мынаған тең:

$$F_A = m_c \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_c \cdot g,$$

мұндағы r — шардың радиусы, g — ауырлық күшінің үдеуі, ρ_m — шар материалының тығыздығы, ρ_c — сұйықтың тығыздығы.

Осы күштер айырымының әсерінен шар үдеу алып қозғалады, өйткені ауырлық күші кері итеруші күштен артық.

3. Сұйықтың тұтқырлығы тудыратын тік жоғары бағытталған кедергі күші.

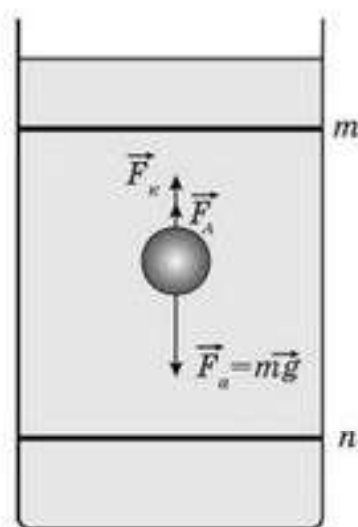
Аз жылдамдықтар үшін және кішкентай өлшемді денелер үшін бұл күш мына формуламен анықталады:

$$F_x = 6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v \quad (3)$$

Осылайша кедергі күшінің шамасы жылдамдыққа байланысты: қозғалыс жылдамдығы неғұрлым үлкен болса, кедергі күші көбірек болады. Шар сұйық ішінде түскен кезде кедергі күші ауырлық күші мен Архимед күшінің айырымына тең болғанға дейін оның қозғалысы артады:

$$F_x = F_a - F_A.$$

$$6\pi \cdot \eta \cdot r \cdot v = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_m \cdot g - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_c \cdot g. \quad (4)$$



2-сурет

Осы мезеттен бастап шар белгілі бір тұрақты жылдамдықпен бірқалыпты қозғала бастайды. (4) теңдеуді η қатысты шеше отырып, алатынымыз:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho_m - \rho_c}{v} \cdot g \cdot r^2. \quad (5)$$

Жұмыстың барысы. Құралдың негізгі бөлігі зерттелетін сұйықпен (глицеринмен) толтырылған биік шыны цилиндр болып табылады (2-сурет). Цилиндр қабырғаларына бір-бірінен белгілі бір қашықтықта, шардың сұйықтағы бірқалыпты қозғалысына сәйкес келетін сақина тәрізді екі m және n белгілері орнатылған.

Цилиндрдің түбінде шарлар құлап түсетін металл тор жатыр. Ол торды сұйықтан ұзын тұтқаның көмегімен шарлармен қоса алып шығуға болады.

Жұмыстың орындалу тәртібі.

1. Шардың диаметрін микрометрмен өлшеп, оның метрмен өрнектелген радиусын анықтаңдар.

2. Цилиндр қабырғасындағы белгілердің арақашықтығын өлшеп, оны метрмен өрнектеңдер.

3. Шарды мүмкіндігінше цилиндр осіне жақынырақ етіп, сұйыққа тастандар.

4. Секундомердің көмегімен 0,2 с дәлдікпен шардың цилиндр қабырғасындағы белгілер арасындағы қашықтықты жүріп өтетін t уақытын анықтаңдар.

5. Шардың осы аралықтағы түсу жылдамдығын табу керек: $v = \frac{l}{t}$, мұндағы l — белгілер арасындағы қашықтық, t — белгілер арасын жүріп өту уақыты.

6. Өлшеу нәтижелерін кестеде жазыңдар.

7. Зерттелетін сұйықтың тұтқырлық коэффициентінің мәнін табыңдар.

8. Диаметрлері әртүрлі үш шардың түсуін бақылай отырып, осыған ұқсас тәжірибелерді үш рет жасаңдар. Табылған үш мән бойынша ішкі үйкеліс коэффициентінің орташа нәтижесін анықтаңдар.

9. Эксперименттердің біреуі үшін салыстырмалы қателік келесі формула бойынша анықталады:

$$E = \frac{\Delta\eta}{\eta_{\text{орт}}} = \frac{\Delta l}{l} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta\rho_{\text{ш}} + \Delta\rho_{\text{с}}}{\rho_{\text{ш}} - \rho_{\text{с}}}$$

10. Бір өлшеудің абсолют қателігін анықтау керек: $\Delta\eta = E \cdot \eta_{\text{орт}}$.

Ішкі үйкеліс коэффициентінің η мәні температураға байланысты айтарлықтай өзгереді. Табылған мәнді анықтамалық мәнмен салыстыру үшін сұйықтық температурасын өлшеп, 1-кестеге жазыңдар.

1-кесте

№	Шардың диаметрі D , м	Шардың радиусы r , м	Белгілердің арақашықтығы l , м	Шардың түсу уақыты t , с	Шардың түсу жылдамдығы v , м/с	Тұтқырлық коэффициенті η , (Н · с)/м ²
1						
2						
3						
Орташа мәні						

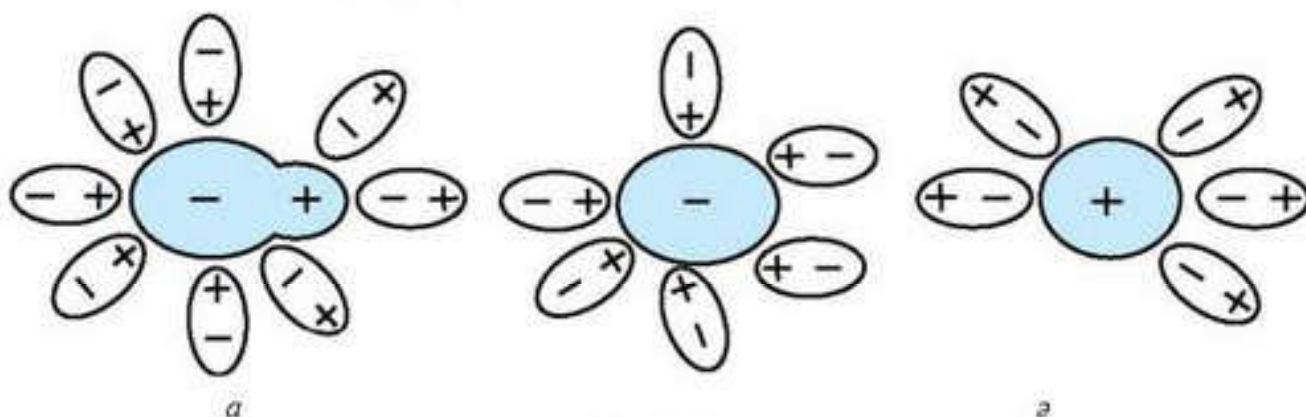
№ 2-зертханалық жұмыс .

Электролиттердегі электр тогының пайда болу шарттарын зерттеу

Жұмыстың мақсаты : электролиттерде токтың пайда болу шарттарын эксперимент арқылы анықтау; натрий хлоридінің судағы ерітіндісінің электрон заряды мен вольт-амперлік сипаттамасын тағайындау.

Құрал-жабдықтар : екі жеке электрод, жұптасқан электрод, кювет, ішінде суы бар ыдыс, тұз салынған ыдыс, түтікше, ұзын өзекше, тұрақтандырылған ток көзі, миллиметрлік қағаз, жабысқақ таспа, қайшы, шприц, шүберек, секундомер.

Қысқаша теория . Еріткіштің әсерінен молекулалардың иондарға ыдырауы электролиттік диссоциация деп аталады. Электролиттік диссоциацияның нәтижесі электр зарядын еркін тасымалдаушылар болып табылады (3-сурет).

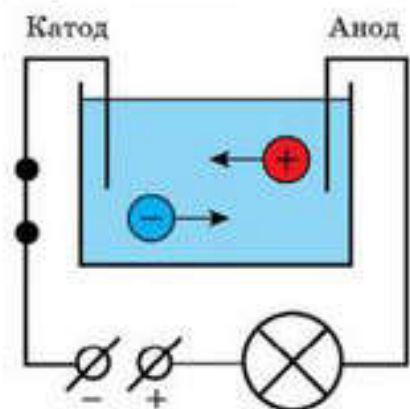


3-сурет



Еркін тасымалдаушылары иондар болып табылатын сұйық өткізгіштер *электролиттер* деп аталады.

Егер электролит ішіне екі пластинаны салып, оны сыртқы тізбекпен (бір пластинаны — ток көзінің оң полюсіне, екіншісін — теріс полюсіне) тұйықтаса, онда осы тізбекте электр тогы пайда болады.

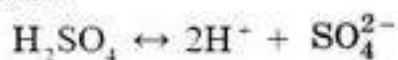


4-сурет

Бір пластина (+) анод деп, ал екіншісі (-) катод деп аталады (4-сурет).

Катодқа қарай қозғалатын оң иондар *катиондар* деп аталады. Анодқа қарай қозғалатын теріс иондар *аниондар* деп аталады.

Электролиттердегі ток химиялық әсер тудырады. Мысалы:





Бұл жағдайда катодта сутек (H_2), ал анодта оттегі (O_2) және су (H_2O) түзіледі.

Электролиттердегі ток Ом заңына бағынады.

1. Электролиз кезінде бөлініп шыққан заттың массасы ерітінді арқылы өткен электр мөлшеріне тура пропорционал болады:

$$m = q \cdot k, \quad q = I \cdot t \Rightarrow m = k \cdot I \cdot t,$$

мұндағы k — заттың электрохимиялық эквиваленті.

2. Заттың электрохимиялық эквиваленті атомдық массаның оның валенттігіне қатынасына тура пропорционал:

$$k = \frac{A}{n} \cdot \frac{1}{F},$$

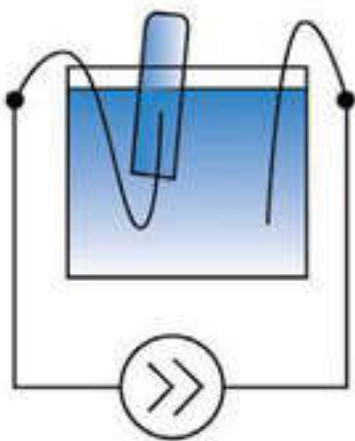
мұндағы A — атомдық масса, n — валенттілік, F — Фарадей тұрақтысы $F = 9,648 \cdot 10^4$ Кл/моль.

Сұйықтар, қатты денелер сияқты, өткізгіштер, жартылай өткізгіштер және диэлектриктер бола алады. Бұл сабақта біз сұйық өткізгіштерді қарастырамыз. Оның үстіне, электрондық өткізгіштігі бар сұйықтарды емес (балқытылған металдар), екінші текті сұйық өткізгіштерді (тұздардың, қышқылдардың, негіздердің ерітінділері мен балқымаларын) қарастыратын боламыз. Мұндай өткізгіштердің өткізгіштігі иондық болып табылады.

Натрий хлоридінің судағы ерітіндісі жақсы өткізгіштікке ие. Ол арқылы электр тогы өткен кезде электролиз процесі жүреді. Судағы ерітіндіде натрий хлоридінің молекулалары, электр зарядын тасымалдаушылар болып табылатын иондарды түзе отырып, диссоциацияланады. Электролиз кезінде теріс электродта сутек бөлініп шығады, ал оң электродқа жақын манайда хлор бөлінеді және күйдіргіш натрий түзіледі. Диссоциациялану процесі лезде өтпейтініне назар аудару керек, сондықтан кернеуді өзгерткен кезде ток бірден анықталмайды, ол шамалы уақыттан кейін тұрақталады.

Егер электролизді ерітінді арқылы t уақыт ішінде I тұрақты токты өткізе отырып жүргізсе, онда электродтар арасында $Q = I t$ заряд ағып өтеді. Бұл зарядты тасымалдау үшін $N = \frac{Q}{e} = \frac{I t}{e}$ ион қажет, мұндағы e — электрон заряды. Электролиз кезінде сутек иондары жұп-жұп болып бірігеді де, сутек газын түзеді. Сәйкесінше электролиз кезінде сутектің $n = \frac{N}{2} = \frac{I t}{2e}$ молекулалары түзіледі.

Егер бөлініп шыққан барлық сутекті жинайтын болсақ, онда былай жазуға болады: $PV = n k T$. Газдың қысымын, температурасын және көлемін біле отырып, электрон зарядын есептеп шығара аламыз.



5-сурет

Кондырғының сипаттамасы. Кондырғы электроліті бар ыдыстан, екі электродтан, тұрақты ток көзінен және газ жиналатын түтіктен тұрады. Электродтардың біреуінің қос имегі бар, ол өзінің бір шетіне түтікшені төңкерілген күйде бекітуге мүмкіндік береді.

Электроліт арқылы ток жібергенде электродта бөлініп шығатын сутек кішкентай көпіршіктер түрінде жоғары қарай көтеріледі. Егер осы электродқа төңкерілген түтікті суретте көрсетілгендей етіп кигізсе, онда сутек түгелдей түтіктің ішінде болады (5-сурет).

Жұмыстың орындалу тәртібі.

1-бөлім.

1. Зертханалық жұмыста пайдаланылатын барлық құралдардың қолданылу принциптерімен танысасындар.
2. Үлкен ыдысты ернеуіне дейін сумен толтырып, оны кюветке қойындар.
3. Мұғалімнен тұз алып, оны ыдысқа салындар да, ұзын өзекшемен мұқият араластырындар. Тұз суда толығымен еруі керек.
4. Екі жеке электродты алып, оларды ыдыстың қарама-қарсы қабырғаларына сымдарды сыртқа қаратып бекітіндер (кондырғы сызбасын қараңдар).
5. Миллиметрлік қағаз жолағынан сызғыш жасап алындар. (Бөліктерге бөліп, жазып қойындар). Жасалған сызғышты жабысқақ таспамен түтікшеге жапсырындар.
6. Түтікшені алып, оны су толтырылған ыдысқа түбін төмен қаратып толығымен батырындар. Түтік сумен тұтас толтырылуы қажет. Түтіктің саңылауын саусақпен қысып тұрып, төңкеріндер де, түтіктің саңылауы су астында болғанда ғана оны босатындар. Түтікті пілген электродқа кигізіндер. Нәтижесінде сумен (ауа көпіршіктерінсіз) толық толтырылған, пілген электродқа кигізілген, төңкерілген түтікшені алуларың керек.
7. Қолдарыңды шүберекпен жақсылап сүртіндер.
8. Өткізгіш сымдарды сызбаға сәйкестендіріп, қарама-қарсылықты сақтай отырып, ток көзіне жалғандар.
9. Ток көзіндегі кернеуді реттеуге жауап беретін екі оң тұтқаны максимумға (сағат тілінің бағытымен), ал токты реттеуге жауап беретін екі сол жақ тұтқаны, керісінше, минимумға дейін бұрандар. Сандық таблодағы ажыратып-қосқышты ток күшін көрсету режиміне ауыстырындар.
10. Ток көзін қосындар. Токты нақты белгілеп алатын сол жақ тұтқалармен ток күшін жылдам 25 мА қойындар (ток көзіне орнатылған

амперметрдің көрсетуі бойынша). Алдын ала белгіленген ток күшін тағайындап алып, бірден секундомерді қосындар.

11. Шамамен 30 мин күтіңдер.

12. Ток көзін өшіріп, бір мезгілде секундомерді де тоқтатындар. Секундомердің көрсетуін жазып алыңдар.

13. Түтікті тік жоғары көтере отырып, түтік ішіндегі су мен сутектің арасын бөлетін шегара ыдыстағы судың бетімен сәйкес келетіндей болғанша көтеріңдер. Бөлетін шегара миллиметрлік қағаздың қай бөлігінің тұсында екеніне назар аударындар.

14. Түтікті судан толық шығарып алып, ішіндегі суын төгіп тастандар. Түтікке шприцпен сутек алып тұрған деңгейге дейін таза су құйындар. Сондай-ақ шприц шкаласы бойынша судың көлемін анықтандар.

15. Электродтарды ток көзден ажыратып, оларды сұйықтан шығарып алыңдар да, шүберекпен мұқият сүртіндер.

16. Электрон зарядын анықтандар. Қателікті бағалаңдар. Қорытынды жасаңдар.

2-бөлім .

17. Қос электродты суға салыңдар.

18. Қосарланған электродтың өткізгіш сымдарын ток көзіне жалғандар.

19. Кернеуді реттеуге жауапты тұтқаларды максимал деңгейге дейін бұраңдар.

20. Ток көзін қосындар. Токты реттеуге жауап беретін тұтқалармен ток күшін 25 мА орналастырыңдар. Кернеу тұрақталғанша бірнеше минут күтіңдер.

21. Сол жақ тұтқалармен ток күшінің мәнін өзгерте отырып және ток көзіне орнатылған вольтметр бойынша кернеуді анықтап, электролит арқылы өтетін ток күшінің электродтар арасындағы кернеуге (токтың 25 мәнінен 0 мА дейінгі аралықтағы) тәуелділігін анықтандар. Әрбір өлшеудің алдында берілген ток күшінде кернеу тұрақтағанға дейін 1—2 мин күтіңдер.

22. Осы тәуелділіктің графигін салыңдар.

23. Қорытынды жасаңдар.

Қателіктер:

Шприцтің қателігі — 0,2 мл.

Секундомердің қателігі — 0,5 с.

ФИЗИКАЛЫҚ ПРАКТИКУМ

МЕХАНИКА

1. Сырғанау үйкеліс коэффициентін өлшеу

Құрал-жабдықтар : ағаш сызғыш, ағаш білеуше, механикадағы жиынтықтан массалары 100 г болатын 4 жүк, динамометр.

Жұмыстың орындалу тәртібі .

1. Мына есепті шешіндер: Салмағы P тең білеушеге динамометрді бекітіп, оны горизонталь орналастырылған ағаш сызғыштың бойымен бірқалыпты тарта бастайды. Егер білеушенің қозғалысы барысында динамометр $F_{\text{үйк}}$ күшін көрсететін болса, онда ағаш пен ағаш арасындағы үйкеліс коэффициенті неге тең?

Үйкеліс коэффициентін есептеу үшін $m = \frac{F_{\text{үйк}}}{P}$ формуласын пайдаланындар.

2. Қолда бар құрал-жабдықты пайдаланып, үйкеліс коэффициентін табуға қажетті шамалардың мәнін өлшеп алындар. Білеушеге әсер ететін $F_{\text{үйк}}$ күші оның қозғалысы кезінде өлшенеді, ал білеушенің салмағы оны өлшеу арқылы табылады.

3. Өлшеулер барысында алынған мәліметтерді ($F_{\text{үйк}}$ және P) 2-кестеге жазындар.

2-кесте

$P_{\text{өз}}$, Н	$P_{\text{жүк}}$, Н	P , Н	ΔP , Н	$F_{\text{үйк}}$, Н	$\Delta F_{\text{үйк}}$, Н	μ	D_{μ}	E_m

4. Осы жұмыстың басында алынған формуланы пайдаланып, үйкеліс коэффициентін есептеп шығарындар.

Шамалардың белгіленуі: $P_{\text{өз}}$ — білеушенің салмағы; $P_{\text{жүк}}$ — жүктердің салмағы; P — білеушенің жүктермен қоса алғандағы салмағы; ΔP — білеушенің жүктермен қоса алғандағы салмағын өлшеудің абсолют қателігі; D_{μ} — үйкеліс коэффициентін анықтаудың абсолют қателігі; E_m — үйкеліс коэффициентін анықтаудың салыстырмалы қателігі.

5. Білеушенің салмағын $P_{\text{өз}}$ өлшендер.

6. Білеушені сызғыштың бір шетіне жақын орналастырып, оған динамометрді бекітіндер. Динамометрді жайлап тарта отырып, білеушені сызғыш бетімен бірқалыпты қозғалтындар. Үйкеліс күшін $F_{\text{үйк}}$ өлшендер.

7. Бір жүктің салмағын $P_{\text{жүк}}$ өлшендер. Білеушенің жүкпен қоса алғандағы салмағын P есептендер.

8. Жүкті білеушенің үстіне қойып, тәжірибені қайталаңдар. Тәжірибені екі, үш және төрт жүкпен қайталап жасандар.

9. Кестеге білеушенің жүкпен қоса алғандағы салмағын өлшеудің D_p абсолют қателігін және үйкеліс күшін анықтаудың $D_{F_{\text{үйк}}}$ абсолют қателігін жазындар.

10. Әрбір тәжірибенің нәтижелері бойынша үйкеліс коэффициентін табындар.

11. Мәңбір мәні үшін D_m абсолют қателікті есептеп шығарындар.

12. m дің әрбір мәні үшін E_m салыстырмалы қателікті есептеп шығарындар.

МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА ЖӘНЕ ТЕРМОДИНАМИКА

2. Қатты дененің меншікті жылусыйымдылығын анықтау

Құрал-жабдықтар : калориметр, ыстық және суық су, жібі бар металл цилиндр, термометр, мензурка, ғіртастары бар таразы.

Жұмыстың орындалу тәртібі .

1. Мына есепті шешіндер: ішінде массасы m_1 және температурасы t_1 суы бар калориметрге массасы m_2 және температурасы t_2 металл цилиндрді батырады; егер жылудық тепе-теңдік орнағаннан кейін судың температурасы θ тең болатын болса, онда цилиндрдің меншікті жылусыйымдылығы неге тең? $c = \frac{\Delta Q}{m\Delta T}$ формуласын пайдаланындар.

2. Калориметрге массасы $m_1 = 100 - 150$ г болатын бөлме температурасындағы суды құйындар.

3. Металл цилиндрді өлшеп алып, оны ыстық судың ішінде жылытындар да, тез калориметрге батырындар.

4. Тұрақталған температураны өлшендер.

5. Өлшеу нәтижелерін 3-кестеге жазындар.

3-кесте

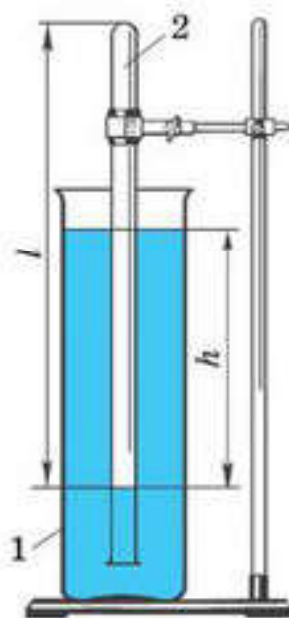
m_1 , кг	c , Дж/кг · °С	t_1 , °С	m_2 , кг	t_2 , °С	θ , °С
	4200				

6. Осы жұмыстың басында алынған формуланы пайдаланып, цилиндр жасалған металдың жылусыйымдылығын есептеп шығарындар. Анықтамалық құралдан бұл қандай металл екенін анықтаңдар.

3. Бойль—Мариотт заңын тәжірибелік тексеру

Жұмыстың мақсаты : белгілі бір газ массасының көлемі ($t = \text{const}$) қысым өзгергенде қалай өзгертінін зерттеу және олардың арасындағы қатысты тағайындау.

Құрал-жабдықтар : биіктігі 40 см суы бар шыны цилиндр; бір жағы жабық, ұзындығы 40—50 см шыны түтікше; миллиметрлік бөліктері бар өлшеуіш сызғыш; БР-52 барометр-анероид (сыныпқа біреу); әмбебап штатив.



6-сурет

Қысқаша теориялық мағлұмат. Суы бар цилиндрге ашық жағымен шыны түтікшені батырса, түтікшедегі ауаға атмосфералық қысым мен биіктігі h су бағанының гидростатикалық қысымының қосындысына тең қысым түседі. Есептеуді жеңілдету үшін бұл қысымдарды миллиметрлік сынап бағанымен өлшеу қолайлы. Су тығыздығы сынап тығыздығынан 13,6 есе аз; сондықтан биіктігі h су бағаны биіктігі $\frac{h}{13,6}$ мм сынап бағанының қысымына тең қысым түсіреді. Түтікшедегі қысым $p = H + \frac{h}{13,6}$, мұндағы H — атмосфералық қысым (мм сынап бағанында); h — цилиндрдегі су деңгейі мен түтікшедегі су деңгейінің айырымы (мм сынап бағанында) (6-сурет).

Түтікшедегі ауа көлемі $V = S \cdot l$, мұндағы l — ауа бағанының ұзындығы. Түтікшенің көлденең қимасының ауданы S тұрақты болғандықтан, l сандық мәнін шартты түрде V мәні үшін алуға болады. Түтікшені батыру тереңдігін өзгерткенде, ондағы ауаның қысымы мен көлемі өзгереді. Осы шамалардың арасындағы тәуелділікті зерттендер.

Жұмыстың орындалу тәртібі .

1. Барометрмен атмосфералық H қысымды өлшендер (мм сынап бағаны). Түтікшедегі ауа суға батырғанға дейін осындай қысымда тұрады.

2. Ашық жағымен түтікшені суға терең батырыңдар. Түтікшедегі ауа бағанының l ұзындығын және түтікше мен цилиндрдегі су деңгейлерінің айырымы h өлшендер.

3. Түтікшенің ең аз тереңдікке батуының l және h өлшеулерін қайталаңдар.

4. Көбейтуді барлық тәжірибелер үшін есептендер: $\left(H + \frac{h}{13,6}\right) \cdot l$, оларды салыстырыңдар, қорытынды жасаңдар.

5. Өлшеулердің Δc абсолют және s салыстырмалы кателігін есептендер.

6. Өлшеулер мен есептеулердің нәтижелерін 4-кестеге жазыңдар.

4-кесте

№	H	h	$l(V)$	$p = H + \frac{h}{13,6}$	$\left(H + \frac{h}{13,6}\right) l = C$	Δc	$s = \frac{\Delta c}{C}$
1							
2					$H + \frac{h}{13,6}$		
3							

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

4. Электр кедергісін анықтау

Құрал-жабдықтар : сым резисторлар (3 дана), тұрақты кернеу көзі, амперметр, вольтметр, кілт, жалғастырушы сымдар.

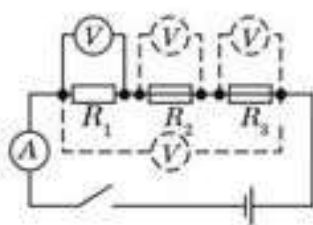
Жұмыстың орындалу тәртібі .

1. 7-суретте бейнеленген электр тізбегін жинаңдар. Тізбектегі ток күшін, сондай-ақ оның әртүрлі бөліктеріндегі кернеуді өлшеп, 5-кестені толтырыңдар.

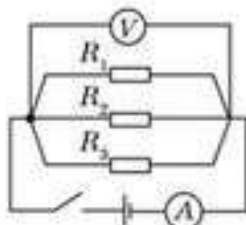
5-кесте

№	I_1	I_2	I_3	I_4	U	U_1	U_2	U_3	U_4

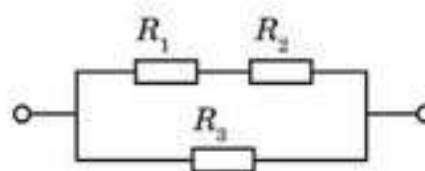
Жеке резисторлардың кедергілерінің ($R_1+R_2+R_3$) қосындысын R жалпы кедергімен салыстырып, қорытынды жасаңдар.



7-сурет



8-сурет



9-сурет

2. 8-суретте көрсетілген электр тізбегін жинаңдар. Ток күші мен кернеуді өлшеп, R жалпы кедергіні табыңдар.

Алдыңғы тапсырмада табылған жеке резисторлардың кедергілерін пайдаланып, 6-кестені толтырыңдар және қорытынды жасаңдар.

6-кесте

№	$1 / R$	$1 / R_1$	$1 / R_2$	$1 / R_3$

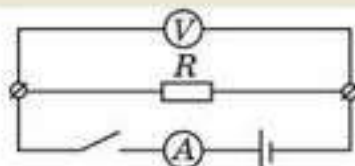
3. 9-суретте көрсетілген тізбектің жалпы кедергісін эксперименттік жолмен анықтаңдар және оны теориялық жолмен табылған мәнімен салыстырыңдар.

5. Өткізгіштің меншікті кедергісін анықтау

Құрал-жабдықтар : меншікті кедергісі белгісіз материалдан жасалған өткізгіш сым, тұрақты кернеу көзі, амперметр, вольтметр, штангенциркуль, кілт, сызғыш, жалғастырушы сымдар.

Жұмыстың орындалу тәртібі .

1. Есепті шешіндер: егер U кернеу кезінде ұзындығы l және диаметрі d өткізгіш арқылы I ток өтетін болса, онда оның меншікті кедергісі неге тең?



10-сурет

Өткізгіштің меншікті кедергісін есептеуге арналған формуланы пайдаланындар: $r = \frac{RS}{l}$.

2. 10-суретте бейнеленген электр тізбегін жинастырындар және меншікті кедергіні анықтау үшін қажет шамалардың мәнін өлшендер. Өлшеу нәтижелерін 7-кестеге жазындар.

7-кесте

№	D , мм	ΔD , мм	U , В	ΔU , В	I , А	ΔI , А

№	l , м	Δl , м	r , Ом · мм ² /м	Δr , Ом · мм ² /м

3. Осы жұмыстың басында алынған формуланы пайдалана отырып, өткізгіштің меншікті кедергісін есептендер.

6. Ток көзінің ЭҚК және ішкі кедергісін анықтау

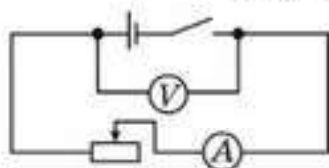
Құрал-жабдықтар : ток көзі, реостат, амперметр, вольтметр, кілт, жалғастырушы сымдар.

Жұмыстың орындалу тәртібі .

1. Есепті шешіндер: бір ғана ток көзін алдымен бір резисторға, одан кейін екіншісіне жалғайды; бірінші жағдайда ток көзінің полюстеріндегі кернеу U_1 , ал тізбектегі ток күші I_1 болады, екінші жағдайда сәйкес U_2 және I_2 . Ток көзінің ЭҚК және ішкі кедергісі неге тең?

Келесі формулаларды пайдаланындар:

$$E = U + Ir, \text{ мұндағы } U = IR. \text{ Сондықтан } r = \frac{E - U}{I}.$$



11-сурет

2. 11-суретте бейнеленген электр тізбегін жинандар және ЭҚК және ток көзінің ішкі кедергісін анықтау үшін қажет шамалардың мәнін реостат тиегінің әртүрлі екі жағдайында өлшендер. Өлшеу нәтижелерін 8-кестеге жазындар.

8-кесте

№	I_1 , А	U_1 , В	I_2 , А	U_2 , В

3. Осы жұмыстың басында алынған формулаларды пайдаланып, ток көзінің ЭҚК және ішкі кедергісін есептендер.

4. Тізбекті ток көзінен ажыратындар және вольтметрдің көмегімен ЭҚК өлшендер. Өлшенген мәнін алдыңғы тапсырмадағы табылған мәнімен салыстырындар.

7. Электролиз әдісімен элементар зарядты анықтау

Құрал-жабдықтар : тотияйын ерітіндісі бар цилиндр пішінді ыдыс, мыс электродтар, гиртастары бар таразы, амперметр, тұрақты кернеу көзі, реостат, сағат, кілт, электр пеші, жалғастырушы сымдар.

Жұмысты орындау тәртібі .

1. Есепті шешіндер: тотияйын ерітіндісі арқылы Δt уақыт ішінде I токты жіберу кезінде катодта массасы m мыс бөлініп шықты. Мыстың бір ионының массасы m_1 , валенттігі n . Элементар заряд e неге тең?

2. Элементар зарядты e есептеу үшін Фарадей заңынан шығатын формулаларды пайдаланындар:

$$m = kI \Delta t; \quad e = \frac{M}{mnN_A} \cdot I \Delta t$$

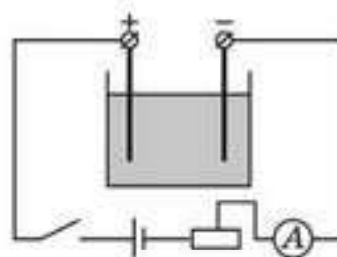
немесе

$$e = \frac{M}{(m_2 - m_1)nN_A} \cdot I \Delta t$$

3. Сендердің жұмыстарында катод ретінде пайдаланылатын электродтың m_1 массасын таразыны пайдаланып өлшендер.

4. 12-суретте көрсетілген электр тізбегін жинаңдар және қажетті өлшеулерді жүргізіп, 9-кестені толтырындар. Реостат көмегімен жұмыс істеу кезінде тізбектегі ток күші тұрақты (1 А шамасында). Катодты қайтадан өлшегеннен кейін (электролиз біткеннен кейін) оны сумен шайқандар және электр пешін пайдаланып кептіріндер.

Егер оның жаңа массасы m_2 болса, онда бөлінген мыстың массасы $m = m_2 - m_1$ болады.



12-сурет

9-кесте

m_1 , кг	m_2 , кг	m , кг	Δt , с	I , А	k , кг/Кл	n	m_1 , кг
			1200			2	$1,06 \cdot 10^{-25}$

5. Жұмыстың басында алынған формуланы пайдаланып, элементар зарядты есептеңдер.

Жаттығулардың жауаптары

1-жаттығу.

2. 5 км. 3. 50 км; 250 км. 4. 5 с. 5. 2 м/с^2 . 6. 100 м. 8. 14 м/с; 32 м.

2-жаттығу.

1. 1250 Н. 2. 10 Н; 5 Н; 5 Н. 3. 4480 км. 4. 13590 км. 5. 39 м/с^2 , $9,8 \text{ м/с}^2$.

3-жаттығу.

2. 1 с; 8,66 м; 1,25 м. 3. 40 м. 4. 7,1 км/с. 5. 4000 м/с. 6. 6,69 км/с.

4-жаттығу.

1. 1,6 м/с. 2. 0,04 м/с. 3. 240 Дж. 4. 6800 Дж. 5. 4,9 Дж. 6. 2 м. 7. 3,1 Дж.
8. 8 м. 9. 1 Дж. 10. 40 Дж; 20 м.

7-жаттығу.

2. $1,5 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$. 3. $E = 5 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}$.

8-жаттығу.

1. $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. 2. $3 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

9-жаттығу.

5. Екі жағдай үшін де идеал жыту қозғалтқышының ПӘК 0,93.

10-жаттығу.

2. $6,8 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^{-3}$. 2. 18°C . 3. 61,4%.

11-жаттығу.

4. $1,8 \cdot 10^5 \text{ Н}$. 5. $1,5 \cdot 10^7 \text{ Н/Кл}$; $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ Кл}$. 6. $1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Н}$. 7. 10^3 Н/Кл . 8. $9 \cdot 10^4 \text{ Н/Кл}$.

12-жаттығу.

1. 600 В. 2. 1,1 кДж. 3. 500 В. 4. 220 В/м. 5. 5 мкФ. 6. $2 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$; 0,2 Дж.

13-жаттығу.

1. 100 В. 2. 12,5 Ом. 3. 122 м. 4. 0,5 А; 4 В. 5. 0,4 Ом.

14-жаттығу.

1. 294 Дж. 2. 60 Дж. 3. 6 кДж.

15-жаттығу.

1. 33 Вт. 2. 3,6 мКл. 3. 41 кВ.

16-жаттығу.

1. 0,3 Н; 0,15 Н; 0. 2. 0,3 Н; 0. 3. 1,7 А.

17-жаттығу.

1. 12300 Дж. 2. 0,1 А. 3. 0,435 В.

МАЗМУНЫ

Алғы сөз	4
----------------	---

I бөлім . МЕХАНИКА

1-тарау . КИНЕМАТИКА

§ 1. Дене қозғалысы кинематикасының теңдеулері мен графиктері	5
§ 2. Салыстырмалы қозғалыс	13
§ 3. Қисықсыздықты қозғалыс кинематикасы	16

2-тарау . ДИНАМИКА

§ 4. Күш. Күштерді қосу. Ньютон заңдары	20
§ 5. Бүкіләлемдік тартылыс заңы	24
§ 6. Гравитациялық өрістегі снарядтың қозғалысы	28

3-тарау . СТАТИКА ЖӘНЕ ГИДРОСТАТИКА

§ 7. Массалар центрі. Тепе-теңдік түрлері.	33
§ 8. Қатынас ыдыстар. Паскаль заңын қолдану	36
§ 9. Атмосфералық қысым. Торричелли тәжірибесі	40

4-тарау . САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ

§ 10. Механикадағы импульс пен энергияның сақталу заңдары	43
---	----

5-тарау . ГИДРОДИНАМИКА

§ 11. Сұйықтардың кинематикасы	51
§ 12. Тұтқыр сұйық	55

II бөлім . ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ

6-тарау . МОЛЕКУЛАЛЫҚ ФИЗИКА

§ 13. Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидалары	60
§ 14. Термодинамикалық параметрлер	67
§ 15. Кристалл және кристалл емес заттар	69

7-тарау . ГАЗ ЗАҢДАРЫ

§ 16. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі	74
§ 17. Идеал газ күйінің теңдеуі	78
§ 18. Изопроцестер	81

8-тарау . ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ

§ 19. Термодинамиканың бірінші заңы	86
§ 20. Термодинамиканың бірінші заңын термодинамикалық процестерге қолдану	88
§ 21. Табиғаттағы жылу процестерінің қайтымсыздығы. Термодинамиканың екінші заңы	92
§ 22. Жылу қозғалтқыштары	94
§ 23. Жылу қозғалтқыштарының ролі және қоршаған ортаны қорғау	98

9-тарау . СҰЙЫҚТАР ЖӘНЕ ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕР

§ 24. Ауаның ылғалдылығы, шық нүктесі	102
§ 25. Сұйықтың беттік керілуі	105
§ 26. Жұғу. Капиллярлық құбылыстар	108

III бөлім. ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ

10- тарау . ЭЛЕКТРОСТАТИКА

§ 27. Электр өрісі	115
§ 28. Конденсаторлар. Электрсыйымдылық. Сыйымдылықтың өлшем бірлігі және электр мөлшері	122

11- тарау . ТҰРАҚТЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

§ 29. Ток көзінің электр қозғаушы күші мен ішкі кедергі. Кернеу және потенциалдар айырымы	127
§ 30. Ом заңдары	131
§ 31. Электр тогының жұмысы мен қуаты	135

12- тарау . ӨРТҮРЛІ ОРТАДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

§ 32. Металдардағы электр тогы	140
§ 33. Асқын өткізгіштік	144
§ 34. Жартылай өткізгіштердегі электр тогы	146
§ 35. Жартылай өткізгіштік құралдар	152
§ 36. Электрוליиттердегі электр тогы	154
§ 37. Газдардағы электр тогы	159
§ 38. Вакуумдағы электр тогы	163

13- тарау . МАГНИТ ӨРІСІ

§ 39. Магнит өрісі. Магнит индукциясының векторы. Бұрғы ережесі	169
§ 40. Ампер күші	172
§ 41. Лоренц күші	173
§ 42. Заттың магниттік қасиеттері	177
§ 43. Жасанды магниттер. Соленоид	180

14- тарау . ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ

§ 44. Электромагниттік индукция заңы	184
§ 45. Ленц ережесі	187
§ 46. Электромагниттік құралдар	189
§ 47. Магниттік-резонанстық томография	193
Зертханалық жұмыстар	199
Физикалық практикум	206

Учебное издание

**Казахбаева Данагуль Мукажановна
Кронгарт Борис Аркадьевич
Токбергенова Уазипа Конырбаевна**

ФИЗИКА

Учебник для 10 классов общественно-гуманитарного направления
общеобразовательных школ
(на казахском языке)

Редакторы *А. Сабадалиева*
Көркемдеуші редакторы *А. Сланова*
Техникалық редакторы *Л. Садықова*
Корректоры *Г. Тұрмағанбетова*
Компьютерде беттеген *Л. Жақсылықова*

Баспаға Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің
№ 0000001 мемлекеттік лицензиясы 2003 жылы 7 шілдеде берілген



ИБ № 5874

Басуға 07.06.19 қол қойылды. Пішімі 70×100^{1/16}. Офсеттік қағаз.

Қаріп түрі "SchoolBook Kza". Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 17,42 + 0,32 қосарбет. Шартты бояулы беттаңбасы 71,63.

Есептік баспа табағы 10,66 + 0,54 қосарбет.

Таралымы 45 000 дана. Тапсырыс №

"Мектеп" баспасы, 050009, Алматы қаласы, Абай даңғылы, 143-үй

Факс: 8(727) 394-37-58, 394-42-30

Тел.: 8(727) 394-41-76, 394-42-34

E-mail: mektep@mail.ru

Web-site: www.mektep.kz

