

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі ұсынған

Н.А. Закирова
Р. Р. Аширов

ФИЗИКА

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

10



ӘОЖ 373.167.1
ҚБЖ 22.3.я72
3-16

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

ISBN 978-601-318-230-8

ӘОЖ 373.167.1
ҚБЖ 22.3.я72

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

ISBN 978-601-318-230-8

© Закирова Н.А.,
Аширов Р.Р., 2019
© «Арман-ПВ» баспасы, 2019

Барлық құқығы қорғалған. Баспаның рұқсатынсыз көшіріп басуға болмайды.

Шартты белгілер

Анықтамалар

Бақылау сұрақтары

Теориялық материал бойынша өзін тексеруге арналған сұрақтар

★ Жаттығу

1

Сыныпта орындалатын жаттығулар

Эксперименттік тапсырмалар

Зерттеу жұмыстарына арналған тапсырмалар

Шығармашылық тапсырма

Шығармашылық деңгейдегі тапсырмалар

? **Жауабы қандай?**
Физикалық құбылыстардың мәнін түсіндіруді талап ететін сұрақтар

↻ **Тапсырма**
Сыныпта орындалатын тапсырмалар

🕒 **Өз тәжірибең**
Сыныпта орындалатын эксперименттік тапсырмалар

🔍 **Бұл қызық!**
Тақырыпқа қатысты қосымша ақпараттар

📖 **Маңызды ақпарат**
Жаратылыстану ғылымдарынан ақпарат

🌐 **Естеріңе түсіріңдер!**
Меңгерілген материалды қайталауға арналған тапсырмалар

! **Назар аударыңдар!**
Жаттығуды орындау кезінде қиындық тудыратын оқу материалы

✓ **Есте сақтаңдар!**
Жадынама



Назар аудар

Электронды қосымша жүктелген CD қолжетімсіз болған жағдайда, қосымшаны *arman-pv.kz* сайтынан тауып, өз компьютеріңе жүктеп алуыңа болады

Алғы сөз

Балалар, бұған дейін физиканы оқу арқылы сендер механикалық, жылулық, электромагниттік құбылыстармен, атом мен ядроның құрылысымен таныс болдыңдар. Негізгі мектептің физика курсына оның негізгі бөлімдерімен танысуды аяқтадыңдар. 10-сыныпқа арналған осы физика оқулығын парактап қарасандар, жоғарғы сыныпта механиканы, молекулалық физиканы, электродинамиканы әрі қарай оқитындарыңды байқайсыңдар. Оқуды одан әрі жоғарғы оқу орындарында жалғастырғанда да сендер физиканың осы бөлімдерін қарастырасыңдар. Бұл – физика ғылымын оқып-зерттеудің ерекшелігі.

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

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

Сонымен, негізгі мектептің физика курсына танысқан физика құбылыстары шынайы құбылыстардың жалпылама үлгісінде жасалған, сондықтан олар әрі қарай егжей-тегжейлі нақтылауды қажет етеді. Жоғары сынып пен жоғарғы оқу орнындағы физика курсына физиканың сол бөлімдері тереңдетіле оқытылады.

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

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

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

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

Авторлар

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

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

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

1-ТАРАУ

КИНЕМАТИКА

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

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

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

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

§ 1. Физиканың қазіргі замандағы рөлі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- қазіргі замандағы физиканың рөлі туралы ойларынды білдіріп, пікірлеріңе дәйектемелер келтіре аласыңдар.



1-тапсырма

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



Жауабы қандай?

1. Қазіргі кезеңде жаратылыстану ғылымдарының біріктірілуінің себебі неде?
2. Неліктен ғылым тікелей өндіргіш күшке айналды?



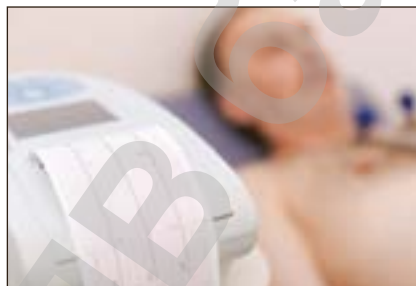
2-сурет. Қазақстандық «КАЗЦИНК» компаниясының геофизикалық зерттеулерге арналған тікұшақ-зертханасы

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

Андре Мишель Львов

I Қазіргі замандағы физика

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



1-сурет. Жүректің электркардиограммасы

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

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

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



3-сурет. Біртұтас ақпараттық өріс

II Физика – қоршаған орта туралы білім көзі

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

III Физика және ғылыми-техникалық прогресс (ФТП)

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



Жауабы қандай?

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



2-тапсырма

1. 1-кестені өздерің білетін физика мен оларға байланысты техника бөлімдері және техникалық құрылғы мысалдарымен толықтырыңдар.
2. Келтірген мысалдарыңның негізінде қазіргі заманғы физика мен техниканың рөлі туралы пікірлеріңді айтыңдар.



Жауабы қандай?

Неліктен ғылыми-техникалық прогресті тоқтату мүмкін емес?

1-кесте. Физиканың техникамен байланысы

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

Назар аударыңдар!

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

3-тапсырма

1. Қазіргі даму кезеңіндегі адамзат алдында шешімін күтіп тұрған жаһандық мәселелерге мысалдар келтіріңдер.
2. Осы мәселелердің туындау себептерін көрсетіңдер.
3. Аталған мәселелерді шешу жолдарын ұсыныңдар.

Жауабы қандай?

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

IV Физика және адам мәдениеті

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

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

бөлінушілік шартты түрде салыстырмалы, қозғалмалы, олар біздің ақыл-ойымыздың әлемді танып-білудегі мүмкіндіктерін бейнелейді. Табиғат құбылысын зерттей отырып, біз табиғат құбылыстарының қарапайым үлгілерін жасаймыз. Таным процесі – абсолют шындыққа біртіндеп жақындау процесі. Бұл – белгілі нәрселерге жаңа фактілерді механикалық түрде қосу емес, жаңаның ескіні теріске шығара отырып, бұрын жинақталған барлық сенімді және негізгі білімді жүйелі түрде жалпылау процесі. Біздің әлем туралы түсінігіміз үздіксіз тереңдетіледі және кеңейеді, материялық әлемді тану процесі шексіз.

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

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

Бақылау сұрақтары

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

★ Жаттығу

1

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

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

Шығармашылық тапсырма

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

§ 2. Физикалық шамалардың қателіктері. Өлшеу нәтижелерін өңдеу

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- жүйелі және кездейсоқ қателерді ажырата аласыңдар;
- тәуелді, тәуелсіз және тұрақты физикалық шамаларды анықтайсыңдар;
- физикалық шамаларды өлшеу дәлдігіне сәйкестендіріп, тәжірибелік зерттеулердің соңғы нәтижелерін жаза аласыңдар.

I Өлшеу түрлері.

Өлшеу қателіктерінің себептері

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

Өлшеу қателігі – шаманың өлшенген мәнінің оның нақты мәнінен ауытқуы.

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

Аталған себептер кездейсоқ немесе жүйелі қателіктерге алып келеді.

II Кездейсоқ және жүйелі қателіктер

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

Ол өлшеу процесіне әсер ететін көптеген басқарылмайтын себептерден, мысалы, желдің лебінен, кернеудің кенеттен өзгеруінен туындайды. Кездейсоқ қателіктің әсері тәжірибені көп рет қайталау барысында азаюы мүмкін.

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



1-тапсырма

1. Физикалық шамаларды тура және жанама өлшеуге мысалдар келтіріңдер.
2. Келтірген мысалдарыңдағы өлшеу қателіктерінің негізгі себептерін көрсетіңдер.
3. Кездейсоқ қателіктердің себептерін атандар.



Есте сақтаңдар!

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

Жүйелі қателік қайталап өлшеу арқылы жойылмайды. Оны түзетулер енгізу немесе тәжірибенің жүргізілуін өзгерту арқылы жояды.

III Шаманы бірнеше рет тура өлшеу кезіндегі абсолют және салыстырмалы қателік

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

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

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

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

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

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

Салыстырмалы қателік өлшеу сапасын сипаттайды. Ол мынадай формуламен анықталады:

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

IV Бірінші реттік тура өлшеулер мен олардың қателігі

Көптеген өлшеуіш аспаптар үшін аспаптық қателік оның шкаласында немесе паспортында көрсетілетін дәлдік класымен беріледі. γ дәлдік класын біле отырып, абсолют аспаптық қателікті анықтауға болады:

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

Егер көрсеткіш шкаланың сызықшасымен сәйкес келсе, өлшеудің абсолют қателігі аспаптық қателіктен аспайды:

$$\Delta = \Delta_{\text{и}}$$

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

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



2-тапсырма

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



Есте сақтаңдар!

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

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

c – аспап шкаласының бөлік құны.



3-тапсырма

4-суретте көрсетілген вольтметрдің аспаптық қателігін анықтаңдар.



4-сурет. 2-дәлдіктегі класқа жататын вольтметр шкаласы

V Жанама өлшеулер және олардың қателіктері

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

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

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

2-кесте. Абсолют және салыстырмалы қателік формулаларының ізделіп отырған шаманың формуласымен сәйкестігі

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

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

VI Кестелік шамаларды анықтау кезіндегі өлшеу қателігін бағалау

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

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

Салыстырмалы қателік мынадай қатынаспен анықталады:

Оның мәні өлшеу сапасының бағасы болып табылады.

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

VII Шамаларды біріктіріп өлшеу кезінде тәжірибелер нәтижесін график түрінде беру

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

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

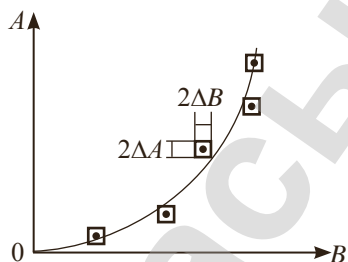
VIII Өлшеу нәтижелерін қателіктерді ескере отырып жазу

Өлшеу нәтижелерін қателіктерді ескере отырып жазу мына ережелер бойынша орындалады:

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

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

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



5-сурет. *A және B нүктелерінің айқын интервалдары көрсетілген A нүктесінің B нүктесіне тәуелділік графигі*



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



4-тапсырма

Егер онда 2,5 дәлдіктегі класқа жататын (6-сурет) және өлшеу шегі 15 В болатын вольтметрдің көрсеткіші 3,5 В болса, кернеуді өлшеу нәтижелерін жазыңдар.

Бақылау сұрақтары

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

★ Жаттығу

2

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

Эксперименттік тапсырма

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

Шығармашылық тапсырма

Екі тақырыптың біріне хабарлама дайындаңдар:

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

§ 3. Теңудемелі қозғалатын дене кинематикасының негізгі түсініктері мен теңдеулері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- дененің теңудемелі қозғалысы кезінде жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графигін пайдаланып, орын ауыстыру формуласын қорытып шығара аласыңдар;
- сандық және графикалық тапсырмаларды шешуде кинематикалық теңдеулерді пайдалана аласыңдар.



Жауабы қандай?

Дененің қозғалысын зерттегенде неліктен кинематикада орын ауыстыру жылдамдығымен қатар жол жылдамдығы пайдаланылады?

I Кинематиканың негізгі міндеті

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

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

II Есептерді шығарудың координаталық тәсілі

Кинематика есептерін координаталық тәсіл бойынша шығару векторларға амалдар қолданудан скаляр шамаларға амалдар қолдануға көшеді. 9-сыныптың физика курсынан векторлық шамалар мен олардың проекцияларының қатынастарының бір-бірінен айырмашылығы болмайтыны белгілі. Мысалы, векторлық түрдегі үдеуді есептеу формуласын: $\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$ векторлардың проекциялары арқылы жазуға болады $a_x = \frac{v_x - v_{0x}}{\Delta t}$, бұл кезде теңдік бұзылмайды.

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

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

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

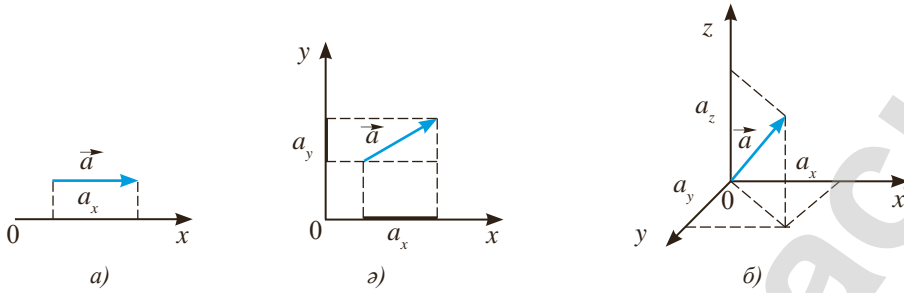
$$a = a_x.$$

Қарастырылып отырған Ox және Oy осьтеріне қатысты проекциялары бар болса (7, ә-сурет), онда оның модулін Пифагор теоремасы бойынша анықтайды:

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

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

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



7-сурет. Таңдап алынған координата осьтеріне түсірілген вектордың проекциялары

III Түзу сызықты теңайнымалы қозғалыс үшін кинематика формулалары

3-кестеде дененің түзу сызықты теңайнымалы қозғалысын сипаттайтын шамаларды есептеу формуласы берілген: a_x үдеу, v_x орын ауыстыру жылдамдығы, s_x орын ауыстыру және x дене координатасы. Денелердің еркін түсуі түзу сызықты теңайнымалы қозғалыстың дербес жағдайы болып табылады, бұл кезде дене қозғалысының үдеуі $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$.

3-кесте. Кинематика формулалары

Физикалық шамалар	Қозғалыс түрі	
	Түзу сызықты теңайнымалы қозғалыс	Еркін түсу
Үдеу	$a_x = \frac{v_x - v_{ox}}{\Delta t}$	$g = 9,8 \frac{M}{c^2}$
Орташа жылдамдық	$v_{opt.x} = \frac{v_0 + v_x}{2}$	$v_{opt.y} = \frac{v_0 + v_y}{2}$
Лездік жылдамдық	$v_x = v_{ox} + a_x t$	$v_y = v_{oy} + g_y t$
Орын ауыстыру	$s_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ $s_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}$; $s_x = \frac{v_0 + v_x}{2} t$	$h_y = v_{oy}t + \frac{g_y t^2}{2}$ $h_y = \frac{v_y^2 - v_{0y}^2}{2g_y}$; $h_y = \frac{v_0 + v_y}{2} t$
Дене координатасы	$x(t) = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$	$y(t) = y_0 + v_{oy}t + \frac{g_y t^2}{2}$

Дене координаталарының уақытқа тәуелділік теңдеуін қозғалыс теңдеуі деп атайды.

Түзу сызықты бірқалыпты қозғалыс формулаларын $a = 0$ екенін ескеріп, теңайнымалы қозғалыс формулаларынан алуға болады.

IV Теңайнымалы қозғалыс кезіндегі бірдей уақыт аралықтарындағы орын ауыстырулардың қатынасы

Дененің бастапқы жылдамдығы $v_0 = 0$ болсын, дененің t уақыттағы орын ауыстыруын $s_1 = \frac{at^2}{2}$ формуласымен анықтаймыз. $2t$ уақыттағы орын ауыстыру $s_2 = \frac{a(2t)^2}{2} = 4 \frac{at^2}{2}$ болады. Онда, екінші t уақыт аралығында дене

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

қашықтыққа орын ауыстырған.

Дәл осылай дененің үшінші t уақыт аралығындағы орын ауыстыруын анықтаймыз:

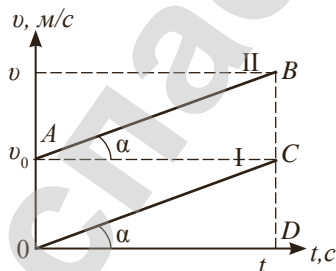
$$s_{23} = s_3 - s_2 = 9 \frac{at^2}{2} - 4 \frac{at^2}{2} = 5 \frac{at^2}{2}.$$

Алынған нәтижелер бойынша дененің бірдей уақыт аралығындағы орын ауыстыруы так сандар қатары сияқты қатынаста болады:

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

Жауабы қандай?

Непіктен орташа жылдамдық тек жолдың белгілі бір бөлігіне тиесілі?



8-сурет. Теңайнымалы қозғалыс кезіндегі жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графиктері

Тапсырма

8-суреттегі графиктерді пайдаланып:

- α бұрышының тангенсінің сандық мәні қозғалып бара жатқан I және II денелердің үдеуіне тең;
- OCD үшбұрышы ауданының сандық мәні бірінші дененің орын ауыстыруына $s_1 = \frac{at^2}{2}$ тең;
- $OABD$ трапециясының ауданы екінші дененің орын ауыстыруына $s_2 = v_0t + \frac{at^2}{2}$ тең болатынын дәлелдендер.

V Денелердің түзу сызықты теңайнымалы қозғалысын сипаттайтын шамалардың уақытқа тәуелділік графиктері

Физикалық шамалардың тәуелділік графиктерін салу үшін математикалық әдістер қолданылады. Сызықтық тәуелді шамалардың графигін салу үшін екі нүкте жеткілікті. Шамалардың квадраттық тәуелділігін сипаттайтын график параболаны береді, ол есептеуді және нүктелер санының көп салынуын қажет етеді (4-кесте).

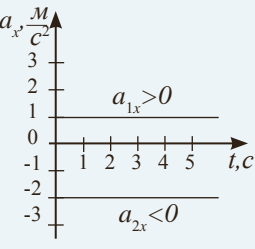
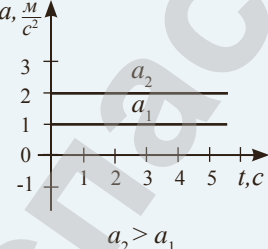
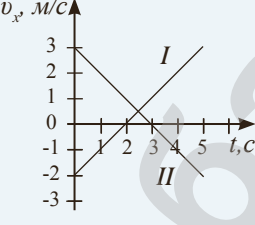
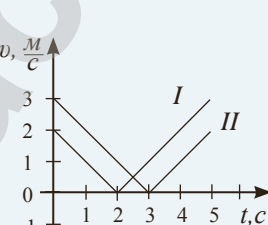
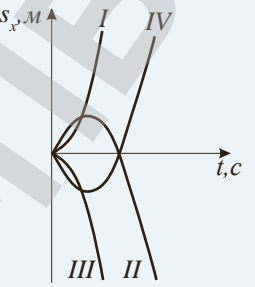
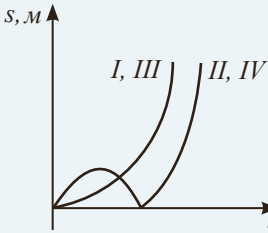
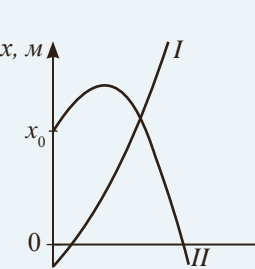
Шамалар модульдерінің теріс мәндері болмайды, сондықтан шама модулінің уақытқа тәуелділік графигі уақыт осінің үстінде орналасады.

Жылдамдықтың уақытқа тәуелділік графигі астындағы фигура ауданы сандық мәні бойынша дененің орын ауыстыруына тең екендігін дәлелдеу қиын емес.

Жауабы қандай?

Непіктен қозғалыстағы дененің үдеуін дене жылдамдығының уақытқа тәуелділік графигінің көлбеу бұрышының тангенсі ретінде анықтауға болады?

4-кесте. Кинематикалық шамалардың уақытқа тәуелділік графикатері

Физикалық шама	Уақытқа тәуелділік теңдеуі, тәуелділік түрі	Шама проекциясының уақытқа тәуелділік графигі	Шама модулінің уақытқа тәуелділік графигі
Үдеу	$a_x = \text{const}$ Үдеу уақытқа тәуелді емес		
Лездік жылдамдық	$v = v_{0x} + a_x t$ жылдамдық уақытқа тура пропорционал тәуелді	 <p style="text-align: center;">I: $a_x > 0$ II: $a_x < 0$</p>	
Орын ауыстыру	$s_x = v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ Орын ауыстырудың уақытқа тәуелділігі квадраттық функцияны береді	 <p style="text-align: center;">I: $v_{0x} > 0, a_x > 0$ II: $v_{0x} > 0, a_x < 0$ III: $v_{0x} < 0, a_x < 0$ IV: $v_{0x} < 0, a_x > 0$</p>	
Координата	$x(t) = x_0 + v_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ дене координатасы – уақыттың квадраттық функциясы		<p style="text-align: center;">I: $x_0 < 0, v_{0x} > 0, a_x > 0$ II: $x_0 > 0, v_{0x} > 0, a_x < 0$</p>

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

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

Берілгені:

$$t = 5 \text{ с}$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

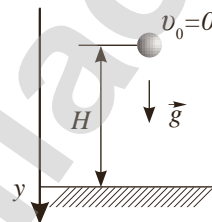
$$v_0 = 0$$

$$H - ? \quad h_1 - ? \quad h_2 - ? \quad h_3 - ?$$

$$h_4 - ? \quad h_5 - ?$$

Шешуі:

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



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

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

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

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

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

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

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

Дәл осылайша $h_3 = 25 \text{ м}$,

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

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

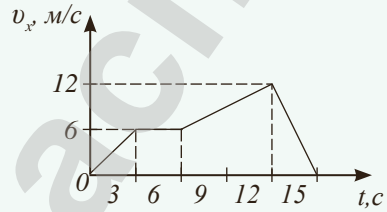
Бақылау сұрақтары

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

★ Жаттығу

3

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



9-сурет. 4-есепке қатысты



10-сурет. 5-есепке қатысты

Эксперименттік тапсырма

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

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

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

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

Күтілетін нәтиже:

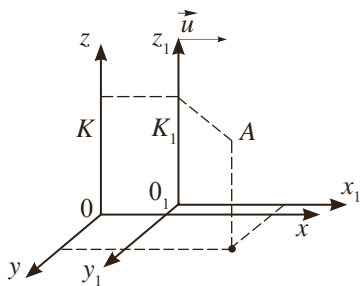
Осы параграфты игергенде:

- инвариантты және салыстырмалы физикалық шамаларды ажырата аласыңдар;
- орын ауыстыру мен жылдамдықтарды қосудың классикалық заңын есептер шығаруда қолдана аласыңдар.

I Механикалық қозғалыстың салыстырмалылығы. Инвариантты және салыстырмалы шамалар

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

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



II-сурет. K – бақылаушыға қатысты қозғалмайтын санақ жүйесі, K_1 – қозғалатын санақ жүйесі

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

II Галилей түрлендірулері

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

себебі t уақыт ішінде қозғалатын санақ жүйесі Ox ось бойымен қозғалмайтын жүйеге қатысты $OO_1 = u_x t$ қашықтыққа орын ауыстырады. Екі санақ жүйесінде де y, z және y_1, z_1 координаталары бірдей. Қарастырылып отырған санақ жүйелерінде уақыт біркелкі өтеді. K_1 жүйесінен K жүйесіне өткенде Галилей жасаған координаталық түрлендіру мына түрге келеді:

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

Қозғалатын санақ жүйесі қозғалмайтын жүйеге қатысты Ox, Oy және Oz осьтері бойымен бір уақытта орын ауыстырғанда Галилей түрлендіруі былай болады:

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

Бұл жағдайда қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыру жылдамдығының модулі:

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

тең. Дене координаталары салыстырмалы шамалар, аз жылдамдықпен қозғалатын денелер үшін уақыт инвариантты болып табылады.

III Орын ауыстыруларды қосу ережесі

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

Қарастырылып отырған дененің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруын \vec{s} , қозғалатын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруын \vec{s}_1 деп белгілейік.

Векторларды қосу ережесі бойынша:

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

Дененің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруы дененің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруы мен қозғалатын санақ жүйесінің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты орын ауыстыруының геометриялық қосындысына тең. Орын ауыстыру – салыстырмалы шама.

Орын ауыстыруларды қосу формуласының Ox және Oy осьтеріне проекциялары мына түрге келеді:

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

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

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

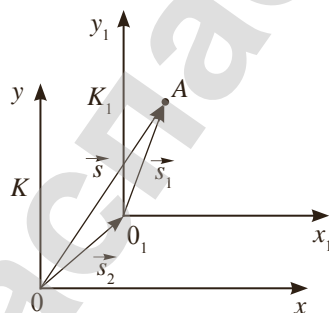
$$x = x_1 + s_{2x} \quad (5)$$

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

Егер қозғалатын санақ жүйесі қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты Ox осі бойымен u_x жылдамдықпен және Oy осі бойымен u_y жылдамдықпен қозғалатын болса, онда жоғарыда жазылған теңдеулер мына түрге келеді:

$$x = x_1 + u_x t$$

$$y = y_1 + u_y t$$



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



Өз тәжірибең

Екі оқушының өзара перпендикуляр екі бағытта орын ауыстыруын бастапқы нүктеге және бір-біріне қатысты анықтандар. Тәжірибе бойынша қозғалып бара жатқан денені, қозғалатын және қозғалмайтын санақ жүйелерін атаңдар.



Жауабы қандай?

Санақ нүктесін таңдау оқушылардың бір-біріне қатысты орын ауыстыруына қалай әсер етеді?

Орын ауыстыруларды қосу арқылы біз жазықтық бойымен қозғалатын дене үшін Галилей түрлендірулерін аламыз.

IV Жылдамдықтарды қосу ережесі

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

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

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

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

Салыстырмалы жылдамдық – дененің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

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

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

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

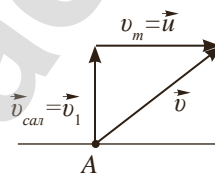
Дененің жылдамдығы – салыстырмалы шама.

V Екі дененің салыстырмалы жылдамдығы

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

? Жауабы қандай?

Нәліктен Жерді қозғалмайтын санақ жүйесі ретінде санағанда, оның Күнді айнала қозғалуы мен тәуліктік қозғалысы ескерілмейді?



13-сурет. Жүзушінің \vec{v}_1 суға қатысты жылдамдық бағыты және А бақылаушыға қатысты жылдамдық бағыты \vec{v} .

? Жауабы қандай?

1. Бір-біріне қатысты тұрақты жылдамдықпен қозғалатын санақ жүйелерінде неге дене үдеуінің мәні өзгермейді?
2. Нәліктен Жерге қатысты қозғалатын денені қозғалмайтын санақ жүйесі деп қабылдап, ойша осы денеге орналасып, қоршаған денелердің қозғалысын соған қатысты қарастырамыз?



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

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

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

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

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

Екі дененің салыстырмалы жылдамдығы олардың жылдамдық векторларының айырымымен анықталады.

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

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

немесе синустар теоремасы бойынша табылады:

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

Бақылау сұрақтары

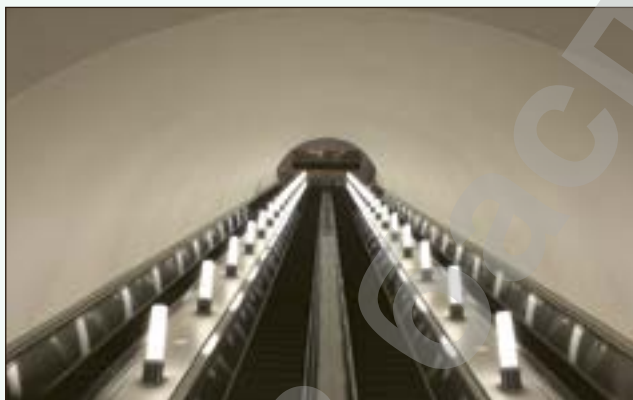
1. Дене қозғалысының салыстырмалылығының мәні неде?
2. Галилей түрлендірулерін қандай шамалар байланыстырады?
3. Сендерге Галилей түрлендірулерінің қандай салдары белгілі?
4. Екі дененің салыстырмалы жылдамдығы қалай анықталады?

★ Жаттығу

4

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

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



15-сурет. Алматы метрополитенінің «Жібек жолы» стансысы

Эксперименттік тапсырма

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

Шығармашылық тапсырма

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

§ 5. Қисықсызықты қозғалыс кинематикасы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

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

Кез келген қисықсызықты қозғалатын дене қозғалысын зерттеген кезде траекторияны түзу сызықты бөліктер мен оған сәйкес шеңбер доғалары радиустарының үйлесімі ретінде қарастыруға болады. Дененің шеңбер бойымен қозғалысын қарастырайық.

I Шеңбер бойымен дененің теңайнымалы қозғалысын сипаттайтын сызықтық шамалар

Шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалатын дененің сызықты жылдамдығы кез келген тең уақыт аралығында бірдей мәнге өзгереді. Теңүдемелі қозғалыс кезінде (16, а-сурет):

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

Теңкемімелі қозғалыс кезінде (16, ә-сурет):

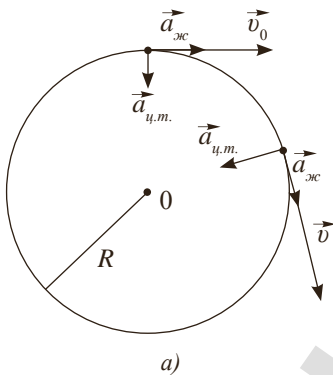
$$v = v_0 - a_{\text{ж}} t \quad (2)$$

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

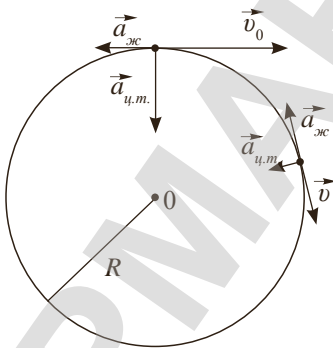
жанама немесе тангенциал үдеу деп аталады. Ол сызықтық жылдамдықтың бағыты бойынша траекторияға жанама бойымен немесе оған қарама-қарсы бағытталады. Егер шеңбер радиусы R тұрақты шама болатын болса, онда сызықтық жылдамдықтың өзгеруі нәтижесінде центрге тартқыш үдеу $a_{\text{ц.м}} = \frac{v^2}{R}$ айнымалы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

Шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалатын дененің толық үдеуін анықтайық (17-сурет):

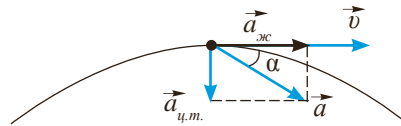
$$\vec{a} = \vec{a}_{\text{ж}} + \vec{a}_{\text{ц.м}}$$



а)



ә)



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

16-сурет. Материялық нүктенің шеңбер бойымен бірқалыпты айнымалы қозғалысы

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

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

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

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

немесе

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

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

II Дененің шеңбер бойымен қозғалысын сипаттайтын бұрыштық шамалар

Теңайнымалы қозғалыс кезінде ω бұрыштық жылдамдық пен φ бұрыштық орын ауыстырудан басқа ε бұрыштық үдеу түсінігін енгізу қажет.

Бұрыштық үдеу – бұрыштық жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

Тенүдемелі қозғалыс үшін бұрыштық үдеу:

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

Теңкемімелі қозғалыс үшін бұрыштық үдеу:

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

Бұрыштық үдеудің өлшем бірлігі $[\varepsilon]$ –1 рад/с². бұрыштық жылдамдықтың өлшем бірлігі $[\omega]$ –1 рад/с.

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

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

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

Шеңбер бойымен тенүдемелі қозғалыс үшін:

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



Жауабы қандай?

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



1-тапсырма

Сызықтық және бұрыштық шамаларды есептеу формулаларының ұқсастығы мен айырмашылығын көрсетіңдер.



Жауабы қандай?

Непіктен дененің шеңбер бойымен қозғалысын сипаттау үшін бұрыштық шамаларды қолдану ыңғайлырақ?

Шеңбер бойымен теңкемімелі қозғалыс үшін:

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

Бұрыштық жылдамдықтың орташа мәнін енгізейік:

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

онда бұрыштық орын ауыстыруды мынадай формула бойынша анықтауға болады:

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

III Сызықтық және бұрыштық шамалардың байланысы

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

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

$$a_{жк} = \varepsilon R \quad (6)$$

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

$$a = \sqrt{a_{ц.м.}^2 + a_{жк}^2} = \sqrt{\omega^4 R^2 + \varepsilon^2 R^2} = R\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}.$$

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

5-кесте. Сызықтық және бұрыштық кинематикалық шамалардың салыстырмалы кестесі

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



Естеріңізге түсіріңдер!

Сызықтық және бұрыштық шамалар арасындағы байланыс:

$$l = \varphi R$$

$$v = \omega R$$

$$a_{ц.т} = \omega^2 R$$



Есте сақтаңдар!

$$a_{жк} = \varepsilon R$$

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



Жауабы қандай?

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



2-тапсырма

Қисықтық радиусты есептейтін барлық мүмкін формулаларды жазыңдар. Сызықтық және бұрыштық шамаларды есептеу формулаларының ұқсастығы мен айырмашылығын көрсетіңдер

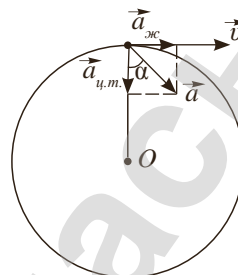


Естеріңізге түсіріңдер!

Математика курсынан шеңбердің радиусын есептеудің қандай тәсілдерін білесіңдер?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

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



Берілгені:

$$R = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

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

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

$$t = 1 \text{ с}$$

$$\omega - ? \quad v - ? \quad a_{ж} - ? \quad a_{ц.м} - ?$$

$$a - ? \quad \alpha - ?$$

Шешуі:

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

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

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

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

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

Центрге тартқыш үдеу уақыттың квадратына пропорционал өседі:

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

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

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

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

$$\alpha = 17^\circ 46'.$$

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

Бақылау сұрақтары

1. Сызықтық жылдамдық модулінің өзгеру жылдамдығын толық үдеудің қандай құраушысы сипаттайды? Жылдамдық бағытының өзгеруін ше?
2. Қисықсызықты қозғалатын дене траекториясы қандай шарттарда түзу сызықты болады?
3. Қандай шаманы бұрыштық үдеу деп атайды? Ол жанама үдеумен қалай байланысты? Толық үдеумен ше?



Жаттығу

5

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

2. Пойыз 54 км/сағ бастапқы жылдамдықпен жолдың дөңгелектенген бөлігіне кіреді және 30 с ішінде 600 м жол жүріп өтеді. Дөңгелектеу радиусы 1 км. Осы жолдың соңындағы пойыздың жылдамдығы мен толық үдеуінің модулін табыңдар. Тангенциал үдеуді модулі бойынша тұрақты деп есептеңдер.
3. Бастапқы бұрыштық жылдамдығы $\omega_0 = 2\pi$ рад/с сермер (маховик) 10 айналым жасап, үйкеліс салдарынан мойынтіректе тоқтады. Сермердің бұрыштық үдеуін тұрақты деп есептеп, оның мәнін табыңдар.
4. Нүкте шеңбер бойымен $0,04$ рад/с² тұрақты үдеумен айналады. Үдеу векторы қанша уақыттан соң жылдамдық векторымен 45° бұрыш құрайды?
5. Нұр-Сұлтан қаласының «Думан» ойын-сауық кешенінің жанында орналасқан шолу дөңгелегінің биіктігі 65 метр (18-сурет). Айналу периоды 7 минутты құрайтын болса, жұмыс кезінде дөңгелек кабиналары бекітілген нүктелердің сызықтық және бұрыштық жылдамдықтары, нормаль және бұрыштық үдеулері қандай?



18-сурет. ТМД елдеріндегі биіктігі жағынан екінші орындағы шолу дөңгелегі

Эксперименттік тапсырма

Велосипедтің асфальт пен топырақ бетінде тежелген кездегі дөңгелегінің қозғалысын сипаттайтын сызықтық және бұрыштық шамаларын анықтаңдар. Бұл жағдайда дөңгелек айналуын зерттеу үшін қандай өлшеуіш аспаптар қажет?

Шығармашылық тапсырма

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

§ 6. Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы кезіндегі кинематикалық шамаларды анықтай аласыңдар;
- көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене қозғалысының траекториясын зерттей аласыңдар;
- траектория қисықтығының радиусын анықтай аласыңдар.

I Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің лездік жылдамдығы

Лездік жылдамдық модулін оның құраушыларының модульдері немесе Ox пен Oy осьтеріне түсірілген проекциялары бойынша анықтайды (19-сурет):

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

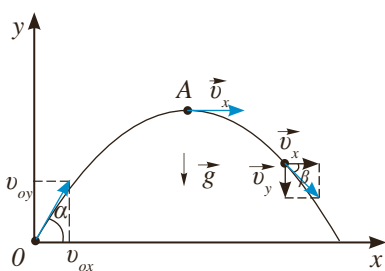
O нүктесінде лездік жылдамдық:

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

болады, мұндағы

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

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



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

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

Oy осі бойынша дене теңайнымалы қозғалады: жылдамдық векторының ось бойынша құраушысының модулі денені көтергенде нөлдік мәнге дейін кемиді, ал түсіргенде – артады. Лақтыру деңгейінде оның мәні бастапқы жылдамдық проекциясына тең

болады: $v_y = v_{0y}$. Oy осі бойынша жылдамдық құраушысының лездік мәні:

$$v_y = v_{0y} - gt \text{ болады.}$$

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

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

A максимал көтерілу нүктесінде дененің лездік жылдамдығы Ox осіне түсірілген жылдамдық проекциясына тең болады:

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

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

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

II Көкжннеке бұрыш жасай лақтырылған дененің координаталары

Дене Ox осі бойымен бiрқалыпты қозғалады, демек, қозғалыс заңы мына түрге ие болады:

$$x(t) = x_0 + s_x \cdot t$$

$x_0 = 0, s_x = v_{0x} \cdot t, v_{0x} = v_0 \cos \alpha$ екенін ескерсек, онда:

$$x(t) = (v_0 \cos \alpha) \cdot t \quad (1)$$

Oy осі бойынша дене g еркін түсу үдеуімен теңайнымалы қозғалады, бұл қозғалыс түрі үшін заң мынадай түрде болады:

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

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

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

Алынған (1) және (2) теңдеулер көкжннеке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалыс заңдары болып табылады.

III Траектория теңдеулері

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

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

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

болады.

Көкжннеке бұрыш жасай лақтырылған дене траекториясының (3) теңдеуі тармақтары төмен бағытталған парабола теңдеуін береді.



1-тапсырма

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



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



2-тапсырма

- (3) траектория теңдеуін пайдаланып, жебенің ұшу траекториясын құрастырыңдар. Жебенің бастапқы координаталарын 0-ге тең деп алыңдар.
- Егер атылған жебе деңгейімен нысана центрі сәйкес келсе, онда нысана қандай қашықтықта орналасқан? Жауаптарыңда өздерің тұрғызған графикті пайдаланыңдар.

IV Көкжннеке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысын сипаттайтын шамалар

Көкжннеке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысын сипаттайтын негізгі шамалар: биіктік, ұшу қашықтығы, көтерілу уақыты, түсу уақыты және ұшу ұзақтығы болып табылады. Денелердің еркін түсу формуласын (4-кесте, 18-бет) көкжннеке

бұрыш жасай лақтырылған дене координаталары мен Ox , Oy осьтері бойынша жылдамдық құраушыларын пайдаланып, аталған шамаларды есептеу формулаларын табамыз.

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

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

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

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

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

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

$$v_y = v_{0y} - gt = v_0 \sin \alpha - gt.$$

$v_y = 0$ болған кезде жазылған теңдеуден көтерілу уақытын есептейтін формуланы табамыз:

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

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

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

жазамыз, бұдан

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

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

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

Лақтыру деңгейіне дейінгі көтерілу мен түсу уақыты бірдей мәнге ие болады. Ұшу қашықтығы дененің Ox осі бойынша координатасымен анықталады:

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

бұдан

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



3-тапсырма

1. Жебенің ең жоғарғы көтерілу биіктігін, көтерілу уақытын, түсу уақытын, ұшу уақытын анықтаңдар.
2. Жебені жібергеннен кейін көзжиекке қатысты бұрылу бұрышы 10° болғанға дейін қанша уақыт өтетінін анықтаңдар.
3. Осы уақыт ішінде ($\sin 10^\circ \approx 0,17$) жебенің көтерілу биіктігін есептендер.



Жауабы қандай?

Ең жоғарғы биіктікке көтерілу және бастапқы деңгейге түсу уақыты нөлдіктен бірдей мәнге тек үйкеліс күші болмаған кезде ғана ие болады?

V Траекторияның қисықтық радиусы

Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалыс траекториясы құралатын шеңберлердің кіші доғаларының радиусы қисықтық радиусы деп аталады.

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

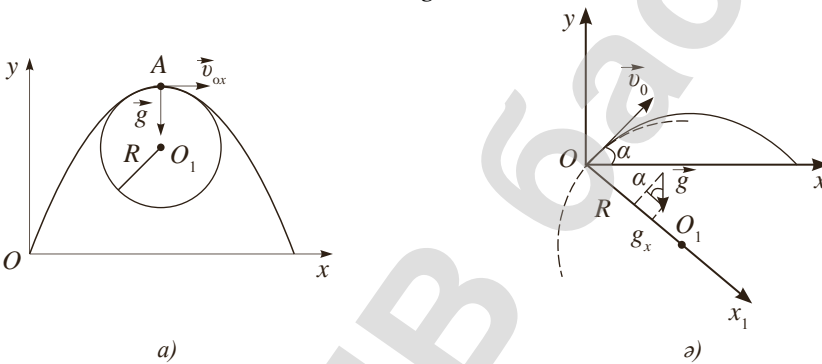
A , O және B нүктелерінің қисықтық радиусын анықтаймыз (21-сурет).

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

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

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

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



21-сурет. Парабола нүктелері үшін қисықтық радиусын салу

VI Горизонталь лақтырылған дененің қозғалысы

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

Қозғалысты сипаттау үшін жоғарыда қарастырылған барлық формулалар қолданылады. Oy осі бойынша дене g еркін түсу үдеуімен теңүдемелі қозғалады, ұшу биіктігі:

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

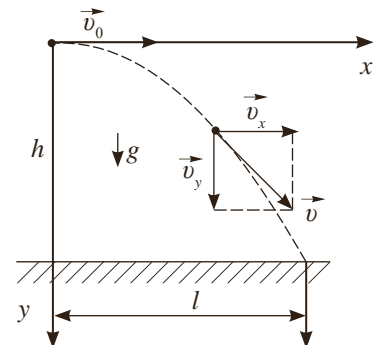
Ox осі бойынша v_0 бастапқы жылдамдықпен бір-қалыпты қозғалады, ұшу қашықтығы мына формуламен анықталады:

$$l = v_0 t$$

Лездік жылдамдық траекторияның кез келген нүктесінде

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

болады.



22-сурет. Горизонталь лақтырылған дененің жылдамдығы траектория жанамаcы бойынша бағытталған

Бақылау сұрақтары

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

★ Жаттығу

6

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

Эксперименттік тапсырма

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

1-тараудың қорытындысы

Қозғалыс түрі	Қозғалыс заңы	Траектория теңдеуі	Қисықтық радиусы
Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене қозғалысы	$x(t) = (v_0 \cos \alpha)t$ $y(t) = (v_0 \sin \alpha)t - \frac{gt^2}{2}$	$y(t) = -\frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2 + (\operatorname{tg} \alpha)x$	$R = \frac{v^2}{a_{ц.м}}$
	Үдеу	Бұрыштық үдеу	Үдеулер байланысы
	$a = \sqrt{a_{ц.м}^2 + a_{ж}^2}$	$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t} \quad \varepsilon = \frac{\omega_0 - \omega}{\Delta t}$	$a_{ж} = \varepsilon R$
Шеңбер бойымен теңайнымалы қозғалыс	Бұрыштық жылдамдық	Бұрыштық орын ауыстыру	Үдеу мен бұрыштық жылдамдық байланысы
	$\omega = \omega_0 \pm \varepsilon t$ $\omega_{opt} = \frac{\omega_0 + \omega}{2}$	$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \quad \varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon}$ $\varphi = \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{2\varepsilon}$	$a_{ц.м} = \omega^2 R$ $a = R\sqrt{\omega^4 + \varepsilon^2}$
Галилей түрлендірулері		Галилей түрлендірулерінің шығатын салдары	
$x = x_1 + ut$ $y = y_1$ $z = z_1$ $t = t_1$		$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$ $\vec{v} = \vec{v}_{caл} + \vec{v}_m$	

Глоссарий

Қозғалыс теңдеуі – дененің x координатасының t уақытқа тәуелділігі.

Жанама үдеу – сызықтық жылдамдықтың өзгеру шапшандығын сипаттайтын физикалық шама.

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

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

Бұрыштық үдеу – бұрыштық жылдамдықтың өзгеру шапшандығын сипаттайтын физикалық шама.

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

Абсолют жылдамдық – дененің қозғалмайтын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

Салыстырмалы жылдамдық – дененің қозғалатын санақ жүйесіне қатысты жылдамдығы.

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

ДИНАМИКА

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

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

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

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

§ 7. Күштер. Күштерді қосу. Ньютон заңдары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

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



1-тапсырма

1. Массасы 2500 кг жонғыш білдекке әсер еткен ауырлық күшін, оның салмағын өздерің қалаған масштабта бейнелеңдер.
2. Күш векторын графиктік бейнелеу алгоритмін құрастырыңдар.

I Табиғаттағы күштер

Бізді қоршаған денелер өзара әрекеттесу нәтижесінде кеңістіктегі орнын өзгертеді немесе деформацияланады. Денеге басқа денелердің немесе өрістердің әсер ету өлшемі – күш, бағыты бар физикалық шама. Күш әсерінің нәтижесі оның сандық мәніне, бағытына және түсу нүктесіне тәуелді. Дененің қозғалыс жылдамдығының өзгеруінің себебі күш болып табылады.

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

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

II Күштерді қосу

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

Аналитикалық тәсіл барлық күштердің екі өзара перпендикуляр Ox және Oy осьтеріне түсірілген проекцияларының қосындысын анықтауға негізделген:

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

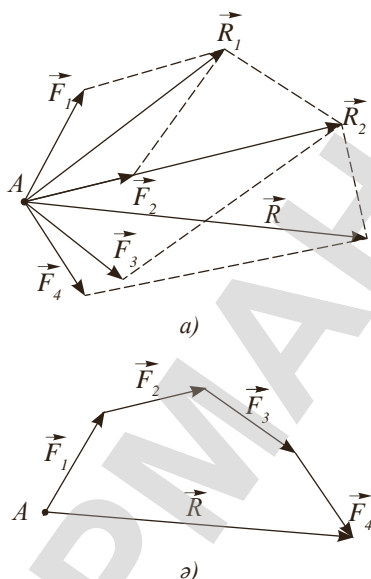
Алынған нәтижелерді Пифагор теоремасы бойынша теңәсерлі күш модулін анықтау үшін қолданады:

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

Бұл тәсіл координаталық әдіс деп аталады.

III Динамиканың негізгі заңдары

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



23-сурет. Теңәсерлі күшті анықтаудың геометриялық тәсілі

Ньютонның I заңы:

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

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

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

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

Ньютонның бірінші заңы дене түзу сызықты және бірқалыпты қозғалатын шарттарды анықтайды.

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

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

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

Ньютонның II заңы:

Дененің алатын үдеуі оған түсірілген теңәсерлі күшке тура пропорционал және оның массасына кері пропорционал.

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

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

Ньютонның екінші заңы дене теңайнымалы немесе бірқалыпты емес қозғалатын шарттарды анықтайды. Ньютонның екінші заңы инерциялық санақ жүйесінде орындалады.

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



2-тапсырма

1. Молекула текті электромагниттік күштерді есептеу формулаларын жазыңдар.
2. Аталған күштердің бағыттарын және түсу нүктелерін көрсетіп, графикалық түрде бейнелеңдер.

Күштік көпбұрыш құру алгоритмі

1. Жазықтықта A нүктесін немесе дененің массалар центрін тандаймыз.
2. Таңдалған нүктеге \vec{F}_1 бірінші вектордың басын түсіріп, пішінін немесе ұзындығын сақтай отырып, өз-өзіне параллель орналастырамыз.
3. Бірінші вектордың ұшына \vec{F}_2 екінші вектордың басын орналастырайық. Осыған ұқсас келесі вектордың ұшын одан кейінгі вектордың басымен қосып, барлық векторларды сызамыз.
4. Теңәсерлі күштің векторы алынған сынық сызықты тұйықтайды. Ол бірінші вектордың басын соңғы вектордың ұшымен жалғайды және соңғы вектордың ұшына бағытталады.



3-тапсырма

1. 23-суреттегі A нүктесіне түсірілген күштердің теңәсерлі күшін аналитикалық әдіспен анықтаңдар.
2. Теңәсерлі күшті аналитикалық әдіспен табудың алгоритмін құрастырыңдар.

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

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

Ньютонның III заңы:

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

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

Динамика есептерін шешуде стандартты есептерді шешуге мүмкіндік беретін алгоритм қолданылады.

Динамикада есептер шешу алгоритмі

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

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

3. Есептеуге ыңғайлы θx және θy осьтерін тандап, олардың бірін дененің қозғалыс бағыты бойынша бағыттау.
4. Қозғалыстың негізгі заңын таңдалған осьтерге проекциялар түрінде жазу:

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

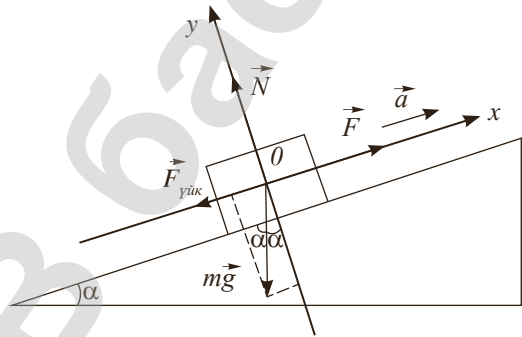
5. Векторлар проекцияларын таңбаларын ескеріп, модульдері арқылы өрнектеу:

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

6. Қажет болған жағдайда кинематикалық шамалар мен күштерді есептеу формулаларын жазу, мысалы:

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

7. Теңдеулер жүйесін белгісіз шамаға, мысалы, соңғы жылдамдыққа қатысты шешу.



24-сурет. Төрт күштің әсерінен дене көлбеу жазықтық бойынша жоғары қарай үдеумен қозғалып бара жатыр.

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

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

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

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

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

25, а-суретте денеге әсер ететін ауырлық күші мен лифт кабинасының Жерге қатысты үдеуі көрсетілген. 25, ә-суретте инерция күші енгізілген, дене лифт кабинасына қатысты дене $\vec{g} + \vec{a}$ үдеумен қозғалады.

V Байланысқан денелер қозғалысы

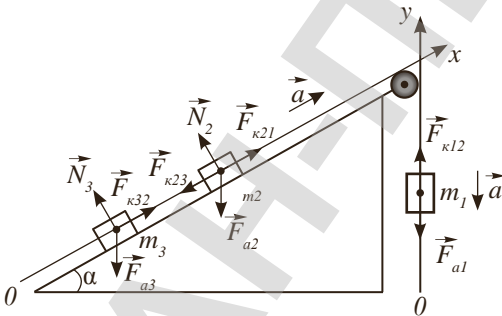
26-суретте \vec{a} үдеумен қозғалатын байланысқан денелер жүйесі бейнеленген. Денелер жүйесінің қозғалысын сипаттайтын шамаларды есептегенде денеге әсер ететін барлық күштерді көрсету қажет. Әр дене үшін Ньютонның екінші заңын жазамыз:

$$m_1\vec{a} = \vec{F}_{a1} + \vec{F}_{\kappa12}$$

$$m_2\vec{a} = \vec{F}_{\kappa21} + \vec{N}_2 + \vec{F}_{\kappa23} + \vec{F}_{a2}$$

$$m_3\vec{a} = \vec{F}_{\kappa32} + \vec{N}_3 + \vec{F}_{a3}.$$

мұндағы $F_{\kappa12}$ – бірінші денеге екінші дене тарапынан әсер ететін күш, $F_{\kappa21}$ – екінші денеге бірінші дене тарапынан әсер ететін күш, $F_{\kappa23}$ – екінші денеге үшінші дене тарапынан әсер ететін күш, $F_{\kappa32}$ – үшінші денеге екінші дене тарапынан әсер ететін күш.

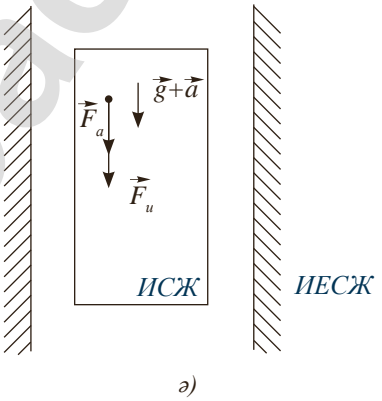
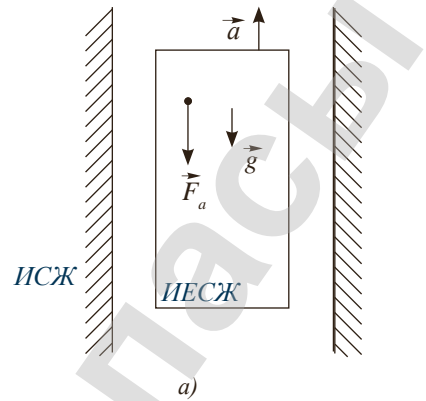


26-сурет. Көлбеу жазықтық бойымен байланысқан денелер қозғалысы

Шешу үшін ыңғайлы осьтерді таңдаймыз, теңдеулерді проекциялар арқылы, содан кейін шамалардың модульдері арқылы жазамыз, жүйені белгісіз шамаға қатысты шешеміз. Шешу кезінде Ньютонның үшінші заңы негізінде денелердің өзара әрекеттесу күштері:

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

Егер бір-бірімен байланысқан жүйе денелерінің арасындағы өзара әрекеттесу күштері Ньютонның үшінші



25-сурет. ИСЖ мен ИЕСЖ-де күштер мен үдеулерді бейнелеу

Есте сақтаңдар!

Денелер жүйесінің үдеуін анықтау үшін жүйені қозғалысқа келтіретін сыртқы күштерден қозғалысқа қарама-қарсы әсер ететін сыртқы күштерді азайтып, нәтижесін жүйенің массасына бөлу керек.

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

Жүйе денелері арасындағы өзара әрекеттесу күштерін ішкі күштер деп атайды.

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

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

Бақылау сұрақтары

1. Ньютон заңдарын тұжырымдаңдар.
2. Күштер пайда болу табиғатына қарай неше түрге бөлінеді?
3. Қандай күштерді инерция күші деп атайды?
4. Байланысқан денелер жүйесін қандай күштер қозғалысқа келтіреді?

★ Жаттығу

7

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

Шығармашылық тапсырма

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

§ 8. Бүкіләлемдік тартылыс заңы

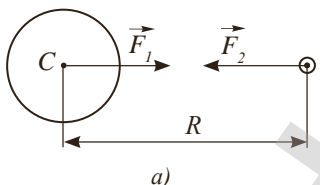
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

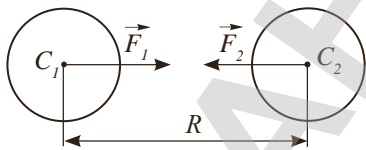
- инертті және гравитациялық массалардың физикалық мағынасын түсіндіре аласыңдар;
- материялық нүктенің кернеулігі мен гравитациялық өріс потенциалының арақашықтыққа тәуелділік графигін түсіндіре аласыңдар;
- есептер шығаруда бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдана аласыңдар.



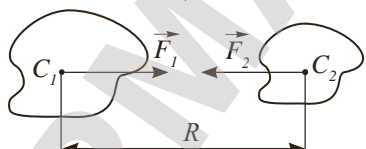
27-сурет. Бүкіләлемдік тартылыс күштері бір түзудің бойында қарама-қарсы бағытта әсер етеді



а)



ә)



б)

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

I Материялық нүктелерге бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдану

Бүкіләлемдік тартылыс заңын 1667 жылы И.Ньютон тұжырымдады.

Массалары m_1 және m_2 кез келген екі материялық бөлшек бір-біріне олардың массаларының көбейтіндісіне тура пропорционал және R арақашықтықтарының квадратына кері пропорционал күшпен тартылады:

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

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

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

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

II Масса – гравитация өлшемі

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

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

$$m_{\text{ин}} a = \frac{GMm_{\text{сп}}}{R^2}.$$

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

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

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

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

мұндағы h – өрістің потенциалы нөлге тең деңгейіне қатысты таңдап алынған нүктесінің биіктігі.

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

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

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

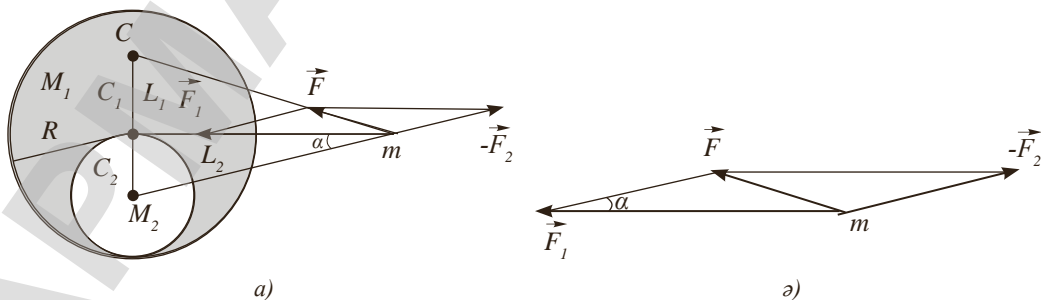
Бір-бірінен шексіз алыс қашықтыққа алыстатылған денелердің өзара әрекеттесу энергиясы нөлге тең. Аспан денесінің гравитациялық өрісінің қандай да бір нүктесінің потенциалы – оның кеңістіктің осы нүктесіне енгізілген бірлік массалы денемен өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы. Сондықтан кеңістіктің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

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

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

V Қуысы бар денелер үшін бүкіләлемдік тартылыс заңын қолдану

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



31-сурет. Қуысы бар дененің тартылыс күшін анықтаған кезде теріс массалар әдісін пайдалану

? Жауабы қандай?

1. Дененің Жерге қарай қозғалысы кезінде неліктен тартылыс күшінің жұмысы оң, ал Жерден алыстағанда теріс болады?
2. Гравитациялық өріс потенциалын есептеу формуласы неліктен теріс таңбалы болады?
3. Тартылыс күшінің жұмысын есептеудің нәтижесін неліктен нөлдік потенциалы бар нүктелерді таңдауға тәуелді емес?

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

$$F_1 = \frac{GM_1 m}{L_1^2},$$

мұндағы, M_1 – дененің оның ішіндегі қуысты есепке алмағандағы массасы:

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

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

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

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

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

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

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

Қарастырылып отырған жағдайда қорытқы күштің модулін косинустар теоремасы бойынша анықтайды (31, ә-сурет):

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

Жауабы қандай?

Теріс массалар әдісі не себепті тек біртекті денелер үшін қолданылады?

Бақылау сұрақтары

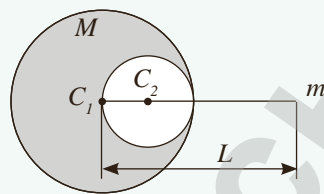
1. Бүкіләлемдік тартылыс заңын тұжырымдаңдар.
2. Тартылыс күші дененің қандай нүктесіне түсірілген?
3. Дененің инерциялық және гравитациялық массалары өзара қалай байланысқан?
4. Аспан денелерінің гравитациялық өрісін қандай шамалар сипаттайды?
5. Біртекті өрістің біртекті емес өрістен айырмашылығы қандай?

★ Жаттығу

8

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

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



32-сурет. 4-есепке арналған сурет



33-сурет. 5-есепке арналған сурет



34-сурет. KazSat-3

Шығармашылық тапсырма

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

§ 9. Абсолют қатты дененің инерция моменті

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- *материялық денелердің инерция моменттерін есептеу үшін Штейнер теоремасын пайдалануды үйренесіңдер.*



35-сурет. Өз осі бойымен айналатын абсолют қатты дене

I Абсолют қатты дене

Қандай күш әсер етсе де, дене бөліктерінің арақашықтығы өзгермей тұрақты болып қалатын денені *абсолют қатты* дене деп атаймыз.

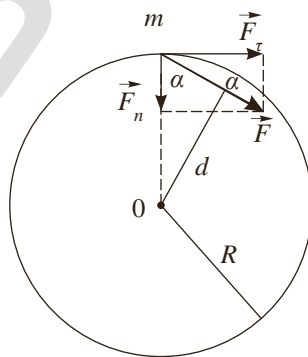
Күн жүйесі планеталарының айналмалы қозғалысын сипаттайтын шамаларды жуықтап алғанда, оларды абсолют қатты дене деп қабылдауға болады (35-сурет).

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

II Материялық нүктенің инерция моменті.

Айналмалы қозғалыс үшін Ньютонның II заңы

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



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

Осыны дәлелдейік. \vec{F} күштің әсерінен шеңбер бойымен қозғалатын массасы m нүкте үшін Ньютонның II заңын жазайық, тангенциал үдеу F_t құраушының траекториясына қарай жанама жасайды:

$$ma_t = F_t \quad (1)$$

Тангенциал үдеу ε бұрыштық үдеумен мына формула арқылы байланысқан:

$$a_t = \varepsilon R \quad (2)$$

? Жауабы қандай?

Күштің нормаль құраушысы неліктен айналу моментін тудырмайды?

🔗 Естеріңе түсіріңдер!

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

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

(2) теңдеуді ескерсек, (1) теңдеу ол мына түрге ие болады:

$$m\varepsilon R = F_{\tau} \quad (3)$$

(3) теңдеудің екі жағында қарастырылып отырған нүкте қозғалатын шеңбер радиусына көбейтеміз:

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

мұндағы M – күш моменті.

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

mR^2 – инерция моменті.

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

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

мұндағы I – инерция моментінің белгіленуі, оның өлшем бірлігі:

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

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

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



1-тапсырма

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



Жауабы қандай?

Қысқа жіптегі денеге қарағанда ұзын жіптегі денені айналдыру нәліктен қиынырақ?
Өз болжамдарыңды тәжірибе арқылы тексеріп, дұрыстығына көз жеткізіңдер.
Өртүрлі ұзындықтағы жіптерге ілінген кішкене шарды көлденең жазықтықта айналдырыңдар.

III Абсолют қатты дененің инерция моменті

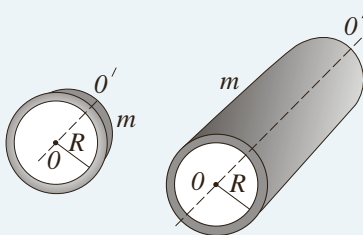
Қатты дененің инерция моменті осы денені құрайтын материялық нүктелердің инерция моменттерінің қосындысына тең:

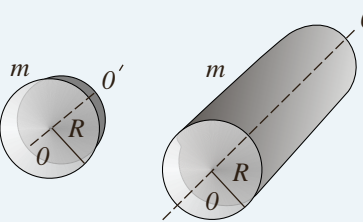
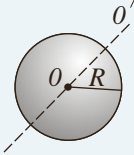
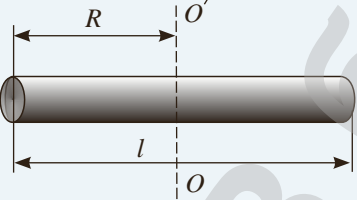
$$I = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2.$$

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

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

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



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

2-тапсырма

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

IV Штейнер теоремасы

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

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

мұндағы d – массалар центрінен айналу осіне дейінгі арақашықтық. Өзектің айналу осін бастапқы орнынан $d = \frac{1}{4}l$ қашықтыққа жылжытайық, сонда:

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

Жауабы қандай?

1. Дененің массалар центрі арқылы өтетін оське қатысты инерция моменті осы бағыттағы осьтерге қатысты дененің барлық инерция моменттерінің ішіндегі ең кішісі болады деп тұжырымдауға бола ма?
2. Айналу осі массалар центріне қатысты орнынан ығысқанда не-ліктен өзектің инерция моменті артады?

V Айналатын дененің энергиясы

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

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

Денені құрайтын барлық нүктелердің инерция моменттерінің қосындысы мынаған тең:

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

Осылайша, айналатын дененің энергиясын мына формуламен анықтаймыз:

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

Ілгерілемелі қозғалыспен қатар айналмалы қозғалыс жасайтын дененің кинетикалық энергиясы мынаған тең болады:

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

Мысалы, айналып жатқан шығыршықтың немесе дөңгелектің толық энергиясы:

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

Алынған мән массасы осындай дененің кинетикалық энергиясынан екі есе артық.



3-тапсырма

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



4-тапсырма

Абсолют қатты дененің инерциялық қасиеттерін пайдалануға мысалдар келтіріңдер.



37-сурет. «Сарыарқа» велотрегінде өткен жарыс



Жауабы қандай?

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



38-сурет. Диск лақтырушының лақтыруға дейінгі айналуы



Жауабы қандай?

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

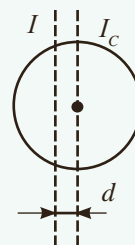
Бақылау сұрақтары

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

★ Жаттығу

9

1. Радиусы 10 см шеңбер бойымен айналатын массасы 200 г дененің жылдамдығы нөлден 1,4 м/с-қа өзгерген кезде оның инерция моменті неге тең? Бұрыштық жылдамдықтың орташа мәнін анықтаңдар.
2. Жолдың радиусы 20 м айналмалы бөлігінде массасы 2 т автокөлікті үдемелі қозғалысқа түсіретін күш моментін анықтаңдар. Автокөліктің бұрыштық үдеуі 0,05 рад/с².
3. Айдың өз осінен айналу энергиясын ескермей, оның инерция моменті мен кинетикалық энергиясын анықтаңдар. Орбитаның радиусын 384000 км, Айдың массасын $7 \cdot 10^{22}$ кг, Жерді айналу периоды 27,3 тәулік деп алыңдар.
4. Массасы 2 кг диск горизонталь жазықтық бойымен сырғанаусыз 4 м/с жылдамдықпен дөңгелеп бара жатыр. Оның кинетикалық энергиясын анықтаңдар.
5. Массасы 4,08 кг тұтас болат шардың массалар центрі арқылы өтетін ось бойымен айналу мезетіндегі инерция моментін анықтаңдар (39-сурет). Егер шар ось бойымен 2 см параллель ығысатын болса, инерция моменті неге тең болады? Болаттың тығыздығы 7800 кг/м³.



39-сурет. 5-есепке арналған сурет

Эксперименттік тапсырма

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

Шығармашылық тапсырма

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

§ 10. Импульс момента. Импульс моментаінің сақталу заңы мен оның кеңістік қасиеттерімен байланысы. Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- есептер шығаруда айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуін әртүрлі тәсілде қолдана аласыңдар;
- ілгерілемелі және айналмалы қозғалысты сипаттайтын физикалық шамаларды сәйкестендіре аласыңдар.

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

Ньютонның екінші заңын импульстік түрде жазайық:

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

Теңдеудің екі жағын шеңбер радиусына көбейтіп, мынаны жазамыз:

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

$m\vec{v}R$ өрнегін импульс моменті L деп атайды:

$$L = m v R \quad (3)$$

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

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

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

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

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

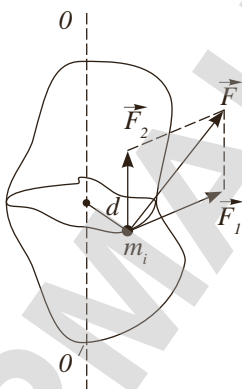
немесе

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

Импульс моменті инерция моментіне тура пропорционал.

II Айналатын абсолют қатты дене үшін Ньютонның екінші заңы немесе айналмалы қозғалыс үшін динамиканың негізгі теңдеуі

Айналатын абсолют қатты денені массасы m және OO' осі бойымен айналатын материялық нүктелердің жиыны ретінде қарастыруға болады (40-сурет).



40-сурет. OO' осі бойымен айналатын абсолют қатты дене

Тапсырма

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

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

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

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

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

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

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

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

Абсолют қатты дененің айналмалы қозғалысы үшін Ньютонның екінші заңын тұжырымдайық:

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

Жауабы қандай?

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

Бұл қызық!

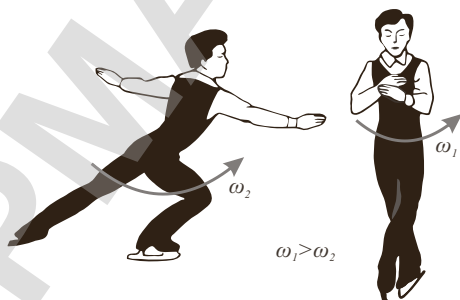
Жер бетінде су пайда болмас бұрын тәулік 5–6 сағатқа қана созылған. Айдың тартылысы нәтижесінде мұхиттарда судың көтерілуі біздің планетамыздың тәуліктік айналуын бөсеңдетеді.

Назар аударыңдар!

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

Жауабы қандай?

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



41-сурет. Айналу техникасы

III Импульс моментінің сақталу заңы және оның кеңістік қасиеттерімен байланысы

Денеге материялық нүктелер жүйесі сияқты сыртқы күштер әсер етпесе, денені тұйық жүйе деп алсақ болады, бұл жағдайда оған әсер ететін күш моменттерінің қосындысы M нөлге тең. Айналатын дене үшін Ньютонның екінші заңын импульстік түрде жазайық:

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

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

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

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

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

Тұйық жүйеде айналатын денелердің импульс моменті тұрақты шама болып қалады.

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

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

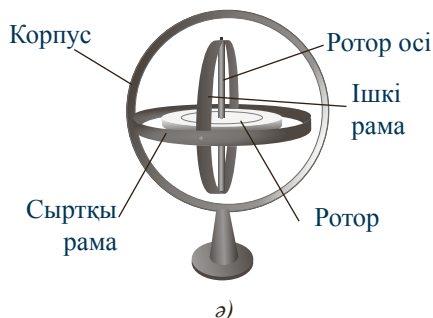


а)

IV Гироскоп

Айналатын денелердің гироскопиялық эффектінің мәнісі – кеңістікте денелердің айналу осьтерінің бағдарының сақталуында, бұл – материяның инерттілік қасиеттерінің көрінісі.

Гироскопиялық эффектіні көліктерде кеңістікте бағдар алу үшін пайдаланады. *Негізгі элементі тез айналатын ротор болып табылатын навигациялық аспап гироскоп деген атауға ие болған (42-сурет). Гироскоп (грек. gyroscopo – айналамын және skopeo – бақылаймын) роторының арнайы бекіткіштің арқасында үш еркіндік дәрежесі болады. Егер мұндай құрылғыға сыртқы күштер әсер етсе, онда ротордың өз осінен айналуы кеңістікте тұрақты бағытын сақтайды, себебі бекіткіш оның айналу осіне айтарлықтай әсер етпейді.*



ә)

42-сурет. Гироскоп құрылысы

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

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

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

Берілгені:

m, R, m_0

Шешуі:

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

$a - ?$

Векторлардың бағыттарын ескеріп, айтылған денелер үшін Ньютонның екінші заңын жазайық:

$$m_0 g - F_{\kappa} = m_0 a \quad (1)$$

$$F_{\kappa} R = I \varepsilon. \quad (2)$$

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

$$m_0 g - F_{\kappa} = m_0 a$$

$$F_{\kappa} R = I \frac{a}{R}.$$

Екінші тендеуден $F_{\kappa} = I \frac{a}{R^2}$ керілу күшін өрнектеп, бірінші тендеуге қоямыз:

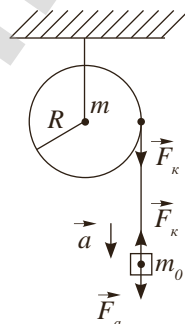
$m_0 g - I \frac{a}{R^2} = m_0 a$, сонда жүктің үдеуін есептеуге арналған формуланы аламыз:

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

Блок тұтас диск сияқты, оның инерция моменті

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

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



Бақылау сұрақтары

1. Қандай шаманы импульс моменті деп атайды?
2. Айналатын абсолют қатты дене үшін Ньютонның екінші заңын тұжырымдаңдар.
3. Импульс моментінің сақталу заңының мәнісі неде? Ол қандай шарттарда орындалады?
4. Гироскоп деген не? Ол қайда қолданылады?



1. Горизонталь жазықтықта радиусы 2 м шеңбер бойымен 2π рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналатын массасы 0,1 кг дененің импульс моментін анықтаңдар.
2. Горизонталь жазықтықта радиусы 2 м болатын шеңбер бойымен 2π рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналатын массасы 0,1 кг дененің импульс моментін бір айналымда екі есе арттыратын күш моментін анықтаңдар.
3. Дене шеңбер бойымен $\varphi = 30^\circ$ орын ауыстырғанда 3,14 Дж жұмыс жасаған күш моментін анықтаңдар.
4. Жіптің екі ұшына байланған массалары 0,2 кг және 0,1 кг екі гир тастары массасы 0,1 кг блок арқылы асырылып тасталған. Гир тастарының үдеулерін, жіптің керілуін анықтаңдар. Блокты біртұтас диск деп алыңдар. Үйкелісті ескермеңдер.
5. Массасы 9 кг барабанға бау оралған, ал оның ұшына массасы 2 кг жүк байланған. Жүктің қозғалыс үдеуін анықтаңдар. Барабанды біртұтас цилиндр деп алыңдар, үйкелісті ескермеңдер.

Эксперименттік тапсырма

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



43-сурет. Денсаулық дискісі

Шығармашылық тапсырма

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

2-тараудың қорытындысы

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

Динамика заңдары:

Ньютонның I заңы

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

Ньютонның II заңы

Дененің алатын үдеуі оған түсірілген теңәсерлі күшке тура пропорционал және оның массасына кері пропорционал.

Абсолют қатты дененің айналмалы қозғалысы үшін Ньютонның II заңы

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

Ньютонның III заңы

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

Импульс моментінің сақталу заңы

Тұйық жүйеде айналатын денелердің импульс моменті тұрақты шама болып қалады.

Глоссарий

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

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

Импульс моменті – дене импульсінің дененің қозғалып бара жатқан шеңбер радиусына көбейтіндісіне тең шама.

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

Күш моменті – күштің оның иініне көбейтіндісі.

Ішкі күштер – тұйық жүйенің денелері арасындағы өзара әрекеттесу күштері.

Инерция күші – денелерге басқа денелердің әсер етуіне тәуелсіз түрде пайда болатын күш.

Инерциялық емес санақ жүйесін таңдау инерция күшін енгізуге алып келді.

СТАТИКА

Статика (грек. *στατός* – тепе-теңдік туралы ілім сөзінен шыққан) – материялық денелердің күш әсерінен болатын тепе-теңдік шарттарын зерттейтін механика бөлімі.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- абсолют қатты дене мен материялық денелер жүйесінің массалар центрін табуды;
- әртүрлі тепе-теңдікті түсіндірген кезде себеп-салдар байланысын орнатуды;
- тәжірибелік жолмен күш шамаларын анықтауды және күштерді қосу заңын эксперименттік түрде тексеруді үйренесіңдер.

§ 11. Массалар центрі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- абсолют қатты дене мен материялық денелер жүйесінің массалар центрін таба аласыңдар.

I Дененің массалар центрі мен ауырлық центрі

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

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

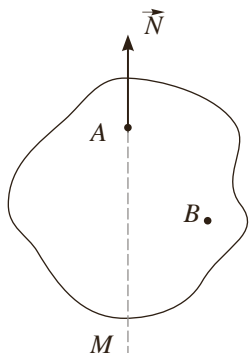
Массалар центрі – денені ілгерілемелі қозғалысқа келтіретін күштердің әсер ету сызықтарының қиылысу нүктесі.

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

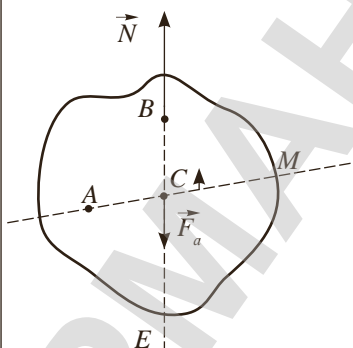
Ауырлық күшінің әсерінен дене ілгерілемелі қозғалады, дененің барлық нүктелері бірдей орын ауыстырады.

1-тапсырма

44-сурет бойынша дененің ауырлық центрін табу әдісін түсіндіріңдер.



a)

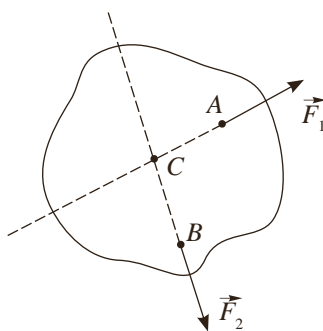


б)

44-сурет. Тіктеме сызық бойынша дененің ауырлық центрін табу

Өз тәжірибең

1. Қарастырылған әдіске сәйкес бұрыс пішінді дененің ауырлық центрін анықтаңдар.
2. Ауырлық күшінің түсу нүктесін өзгертіп (45-сурет), сол заттың массалар центрін анықтаңдар.



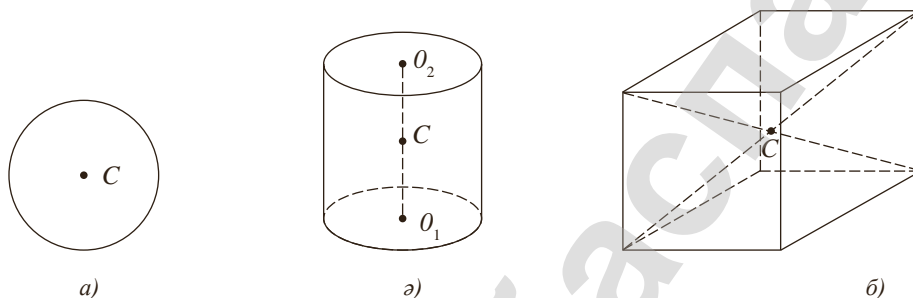
45-сурет. Дененің массалар центрін анықтау

Жауабы қандай?

1. Дененің массалар центрін табуға арналған тәжірибеде нені өзгерту қажет болды?
2. Неліктен массалар центрі ауырлық центрімен сәйкес келеді?

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

Дененің бірнеше күштің әсерінен болатын қозғалысын зерттей отырып, біз оларды дененің барлық массасы жинақталған материялық нүктеге алмастырдық, осы нүкте *массалар центрі* болып табылады.



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

II Абсолют қатты дененің айналмалы қозғалысының шарты

Бізді қоршаған денелер ілгерілемелі қозғалыспен қатар айналмалы қозғалыс жасайды. Егер денеге түсірілген күштің немесе барлық күштердің теңсерлі күшінің әсер ету сызығы дененің массалар центрі арқылы өтсе, онда дене қозғалысы ілгерілемелі болатыны белгілі.

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

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

III Абсолют қатты дененің тепе-теңдік шарттары

Дене екі шарт орындалғанда ғана тепе-теңдікте болады:

1) *Денеге түсірілген сыртқы күштердің қосындысы нөлге тең:*

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

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



Есте сақтаңдар!

Әсер ету сызығы дененің массалар центрі арқылы өтпейтін күштің әсерінен дене айналмалы қозғалыс жасайды.



Жауабы қандай?

1. *Әсер ету сызығы дененің ауырлық центрі арқылы өтпейтін күш неліктен денені айналдырады?*
2. *Неліктен ұзын өзекті бір ұшынан ұстағаннан гөрі көлденеңінен қойып, ортасынан ұстаған ыңғайлы?*

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

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

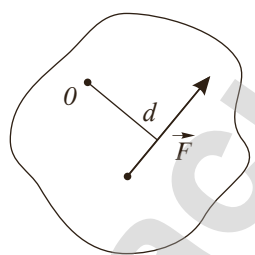
$$\sum_{i=1}^n M_i = 0 \text{ немесе } M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0, \quad (2)$$

$$M = Fd$$

мұндағы M – күш моменті, d – күш иіні (47-сурет).

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

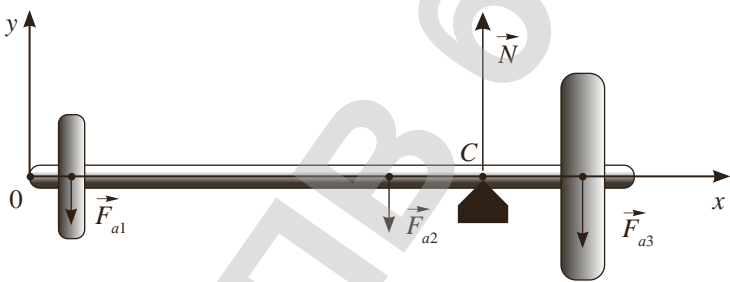
Бастапқы уақыт мезетінде дененің бұрыштық жылдамдығы нөлге тең болғанда, екінші шарт орындалатын болса, дене бірқалыпты айналмайды.



47-сурет. Иін күштің әсер ету сызығымен тік бұрыш жасайды

IV Массалар центрінің координаталары

Күрделі құрылымды денелер үшін массалар центрінің координаталарын анықтайық.



48-сурет. Зілтемірдің C массалар центрінің координаталарын анықтау

Ұштарында әртүрлі массадағы дискілер ілінген зілтемірдің тепе-теңдігін қарастырайық (48-сурет). C массалар центрінің координаталарын анықтайық, ол үшін зілтемір осінің шеткі сол жақ нүктесін O айлану нүктесі ретінде алайық. Тепе-теңдік шартын жазайық:

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

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

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

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

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

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

Өз тәжірибең

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



49-сурет. Сомындары бар қозғағыш бұранда

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

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

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

Денелер саны n болған жағдай үшін нәтижені жалпылайық:

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

немесе

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

Ox пен Oz осьтері бойынша ауырлық центрінің координатасын осыған ұқсас анықтаймыз:

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



2-тапсырма

Дененің (денелер жүйесі) массалар центрін табуға арналған есептерді шешудің алгоритмін құрастырындар.

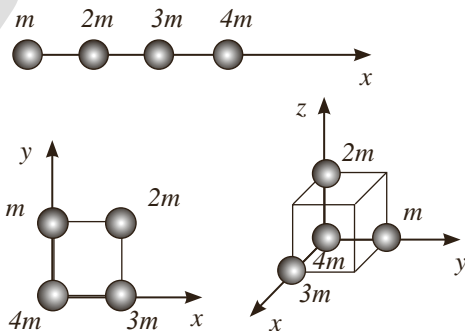


Назар аударындар!

Денелер жүйесінің кеңістіктік қозғалысын, мысалы, гравитациялық күштермен байланысқан қос жұлдызды, олардың массалар центріне қатысты қарастырады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

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



Берілгені:

m
 $2m$
 $3m$
 $4m$

$x_c = ?$
 $y_c = ?$
 $z_c = ?$

Шешуі:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Жауабы: а) $x_c = 0,3 \text{ м};$

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

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

Бақылау сұрақтары

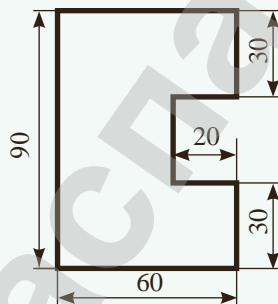
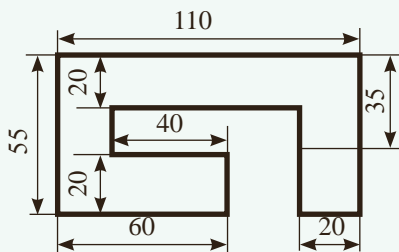
1. Қандай шарттарда дене айналмалы қозғалыс жасайды?
2. Статика нені зерттейді?
3. Қандай шарттарда дене тепе-теңдікте болады?
4. Дененің, денелер жүйесінің массалар центрінің координаталары қалай анықталады?

★ Жаттығу

11

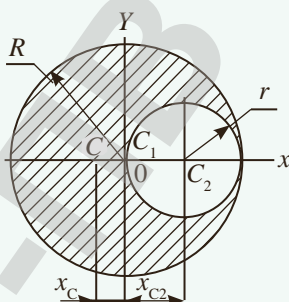
1. Ұзындығы 12 м бөренені көлденең күйде оның қалың ұшынан 3 м қашықтықта тіреуіш қойып, тепе-теңдікке келтіруге болады. Егер тіреуіш бөрененің қалың ұшынан 6 м қашықтықта орналасса және жіңішке ұшына массасы 60 кг жұмысшы отырса, онда бөрене қайта тепе-теңдікке келеді. Бөрененің массасын анықтаңдар.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

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



50-сурет. Біртекті пластиналар

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



51-сурет. 11.6-жаттығуға арналған

Эксперименттік тапсырма

50-суретте көрсетілген өлшем бойынша картон қағаздан фигуралар қиып алыңдар. Өздеріңнің есептеулеріңнің дұрыстығына көз жеткізіңдер.

Шығармашылық тапсырма

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

§12. Тепе-теңдік түрлері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- әртүрлі тепе-теңдікті түсіндірген кезде себеп-салдар байланысын орната аласыңдар.

I Тепе-теңдік түрлері

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

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

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

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

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

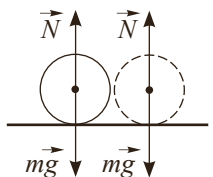
Егер тепе-теңдік күйінен шығарылған дене өзінің бастапқы күйін өзгертпесе, тепе-теңдік талғаусыз деп аталады.

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

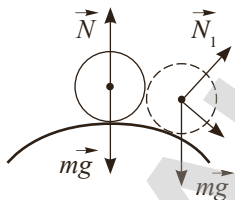


1-тапсырма

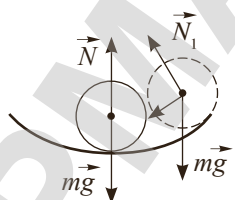
52-суретте бейнеленген тепе-теңдік түрлерін атап шығыңдар.



а)



ә)



б)

52-сурет. Тепе-теңдік түрлері

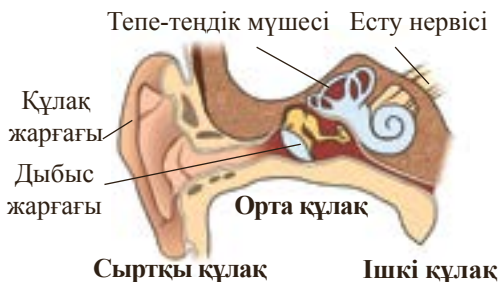


2-тапсырма

Орнықты, орнықсыз және талғаусыз тепе-теңдік күйдегі денелерге мысалдар келтіріңдер.

Бұл қызық!

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



54-сурет. Есту мүшесінің құрылысы



53-сурет. Даршы орнықсыз тепе-теңдік күйінде

II Тіректегі дененің тепе-теңдік орнықтылығы. Аударылу

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

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

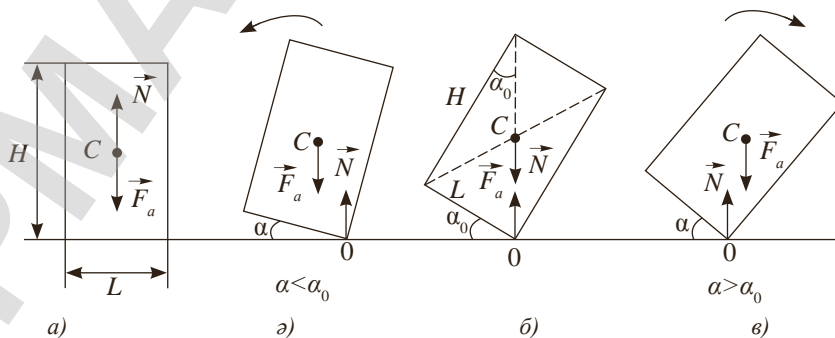
ауырлық центрі арқылы өтетін тік сызық тіректің ауданын қиып өткенше бұра беруге болатынына тәжірибе арқылы көз жеткізуге болады (55, ә-сурет). Бұл жағдайда ауырлық күшінің моменті оң мәнге ие болады, дене сағат тіліне қарама-қарсы бағытталады, ол бастапқы күйіне қайтып келеді. Тік сызық тірек ауданының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

Бұл қызық!

Майкл Грэб – америкалық суретші, ол – тастардан құрылысы ғажап мүсіндер жасаудың маманы (56-сурет). Ол бекіткіш материалдарды пайдаланбастан, тас мүсіндер тұрғызады.



56-сурет. Мүсіндегі тастар орнықсыз тепе-теңдікте орналасқан.



55-сурет. Тіректегі дененің аударылу шарты

салысымен, күш моменті теріс болады, дене аударылады (55, в-сурет). Сондықтан тіректің ауданы үлкен болған сайын ол орнықты бола түседі.

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

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

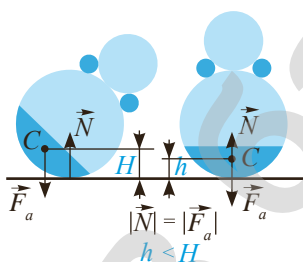
Жауабы қандай?

1. Көк тіреген ғимараттардың жоғарғы бөлігі неліктен үшкірлеу болып келеді (57-сурет)?



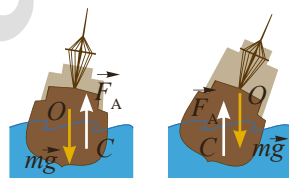
57-сурет. Дубайдағы зәулім көпқабатты үй, биіктігі 828 м, 163 қабат

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



58-сурет. Құламайтын қуыршақ орнықты тепе-теңдікке ие

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



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

III Аспадағы дененің тепе-теңдік орнықтылығы

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

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

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

3-тапсырма

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



60-сурет. Ұсақ тастар тиелген жүк көлігі тіркемесінің аударылуы

маятникті орнықты тепе-теңдік күйде болады. Тепе-теңдік күйден ауытқыту үшін маятникке күш түсіру қажет.

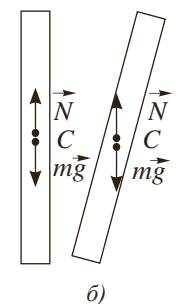
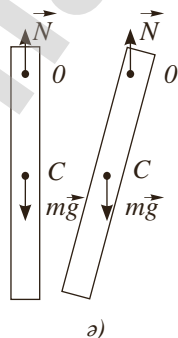
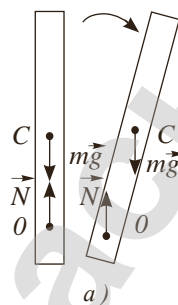
Бақылау сұрақтары

1. Тепе-теңдіктің қандай түрлері бар?
2. Қандай шарттарда дене орнықты тепе-теңдік күйде, орнықсыз тепе-теңдік күйде, талғаусыз тепе-теңдік күйде болады?
3. Қандай шарттарда тіректегі дене аударылады?
4. Неліктен бөрене тігінен жүзбейді?

★ Жаттығу

12

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



61-сурет. Айналу осіндегі дененің тепе-теңдігі

Эксперименттік тапсырма

Интернет желісінің материалдарын пайдаланып, шегелермен тәжірибе жүргізіндер (62-сурет). Шегелер неліктен тепе-теңдік күйін сақтайтынын түсіндіріңдер.

Шығармашылық тапсырма

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



62-сурет. Эксперименттік тапсырма үшін

3-тараудың қорытындысы

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

Абсолют қатты дененің тепе-теңдік шарттары

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

Глоссарий

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

Статика – күш әсерінен болатын материялық денелердің тепе-теңдік шарттарын зерттейтін механика бөлімі.

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

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

Тепе-теңдік – дене немесе денелер жүйесінің күйі, бұл кезде түсірілген күштердің әсерінен дене немесе денелер жүйесі тыныштықта болады.

САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ

Тұйық жүйедегі денелер үшін импульс пен энергияның сақталу заңдары Ньютон заңдарының салдары болып табылады.

Сақталу заңдары денелер жүйесіне әсер ететін күштерді қарастырмай-ақ, денелердің бір күйден екінші күйге өтуін бақыламай-ақ, динамика есептерін шешуге мүмкіндік береді.

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

Заңдар жүйе денелеріне теңәсерлі күші нөлге тең сыртқы күштер әсер еткен жағдайда да орындалады. Жер жағдайында мұндай күштерге Жердің тартылыс күші мен тіректің реакция күші жатады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

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

§ 13. Импульстің және механикалық энергияның сақталу заңдары, олардың кеңістік пен уақыттың қасиеттерімен байланысы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- сандық және эксперименттік есептер шығару кезінде сақталу заңдарын қолдана аласыңдар.

I Тұйық жүйе үшін импульстің сақталу заңы

Импульстің сақталу заңы Ньютонның екінші және үшінші заңдарының салдары болып табылады.

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



1-тапсырма

Импульстің сақталу заңы Ньютонның екінші және үшінші заңдарының салдарынан шығатынын дәлелдендер.

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

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

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

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

Өзара серпімсіз әрекеттесу кезінде сақталу заңы мынадай түрге келеді:

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

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



Жауабы қандай?

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

II Тұйық жүйе денелерінің импульстері қосындысының модулі

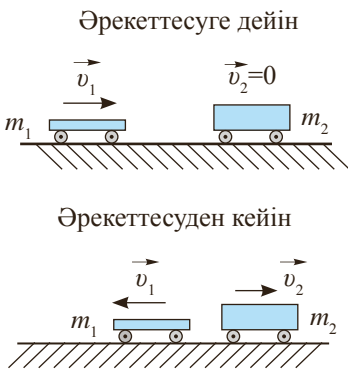
Денелер импульстерінің қосындысының модулін анықтау үшін координаталық әдісті пайдалануға болады. Бұл әдіс жүйе денелерінің импульстерінің қосындысының модулін денелердің импульстерінің Ox, Oy, Oz осьтеріне түсірілген проекцияларының қосындысы арқылы өрнектеуге мүмкіндік береді:

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

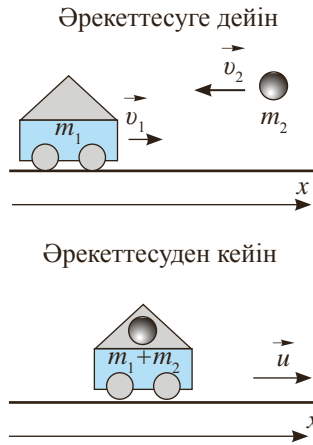


2-тапсырма

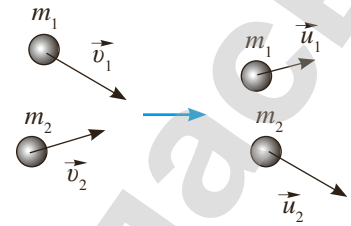
63–65-суреттерде бейнеленген денелер үшін импульстің сақталу заңын жазыңдар.



63-сурет. Қозғалмайтын арбамен серпімді соқтығысу



64-сурет. Денелердің өзара серпімсіз әрекеттесуі



65-сурет. Қозғалыстағы шарлардың серпімді соқтығысуы

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

$$\begin{aligned} p_x &= p_{1x} + p_{2x} + \dots + p_{nx}, \\ p_y &= p_{1y} + p_{2y} + \dots + p_{ny}, \\ p_z &= p_{1z} + p_{2z} + \dots + p_{nz}. \end{aligned}$$

мұндағы p_{1x} , p_{2x} , ... p_{nx} – жүйеге кіретін n денелердің импульстерінің Ox осіне проекциялары, p_{1y} , p_{2y} , ... p_{ny} – импульстердің Oy осіне проекциялары, p_{1z} , p_{2z} , ... p_{nz} – Oz осіне проекциялары.

III Энергияның сақталу заңы

Кинетикалық және потенциалдық энергиялардың қосындысына тең жүйенің толық механикалық энергиясы жүйеде денелер арасындағы арақашықтыққа тәуелді күштер әсер еткенде ғана сақталады. Оларды консервативті күштер деп атайды.

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

$$A = -(mgh_2 - mgh_1); \quad A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right) \text{ немесе} \quad A = -(W_{p2} - W_{p1}) \quad (5)$$

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

$$A = Fs = ma \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \text{ немесе} \quad A = W_{k2} - W_{k1}. \quad (6)$$

? Жауабы қандай?

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

? Жауабы қандай?

Неліктен Ньютон маятнінде массалары бірдей шарлар қолданылады?

3-тапсырма

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

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

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

бұл – толық механикалық энергияның сақталу заңының өрнегі.

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

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

екінші күй үшін:

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

мұндағы i – дененің жүйедегі реттік нөмірі.

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

IV Кеңістік пен уақыт қасиеттерінің сақталу заңдарымен байланысы

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

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

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

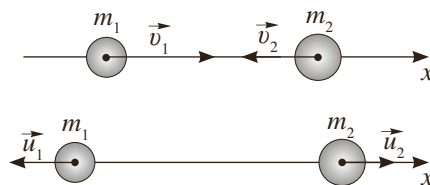
Кеңістіктік-уақыттық аралықтар тұйық жүйе денелерінің өзара әрекеттесуі қарастырылатын барлық санақ жүйелері үшін инвариантты және абсолютті.

✓ Есте сақтаңдар!

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

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

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



Берілгені:

m_1

m_2

v_1

v_2

u_1 -?

u_2 -?

Шешуі:

Ox осіне түсірілген проекцияларда импульстің сақталу заңы мына түрге келеді:

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

Екі шар үшін кинетикалық энергияның сақталу заңын жазайық:

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

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

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

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

(4) теңдеуді (3) теңдеуге бөліп, мынаны табамыз:

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

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

(3) теңдеумен қосамыз, сонда бірінші дене үшін серпімді соқтығысудан кейінгі жылдамдықты есептеу формуласын жазамыз:

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

(6) теңдеуді (5) теңдеуге апарып қойып, екінші дене үшін жылдамдық проекциясын табуға арналған өрнекті табамыз:

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

Дербес жағдайларды қарастырайық:

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

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

Қорытынды:

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

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

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

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

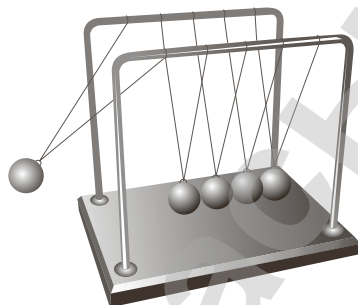
$$u_{1x} = \frac{2m v_{2x}}{2m} = v_{2x}, \quad u_{2x} = \frac{2m v_{1x}}{2m} = v_{1x}.$$

Қорытынды:

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

Бұл қызық!

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



66-сурет. Ньютон маятнигі

Бақылау сұрақтары

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

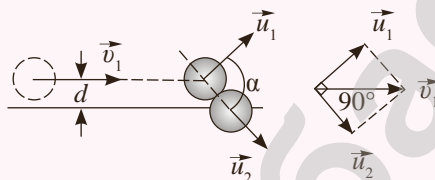
★ Жаттығу**13**

1. Массасы 10^4 кг теміржол вагоны 25 м/с жылдамдықпен қозғалып келе жатып, массасы $1,5 \cdot 10^4$ кг болатын қозғалмайтын вагонмен соқтығысады. Егер олар бір-біріне тіркелсе, қандай жылдамдықпен қозғалатын болады?
2. Жалпы массасы 600 г зымыран моделінде 350 г оқ-дәрі бар. Газ бірден 300 м/с жылдамдықпен шығарылады. Зымыранның қозғалысына қарсы ауа кедергісі көтерілу биіктігін 6 есе азайтады. $g = 10$ м/с² деп алып, зымыранның көтерілу биіктігін анықтаңдар,
3. Екі бірдей абсолют серпімді шарлар тегіс горизонталь жазықтықта бір-біріне қарама-қарсы 10 м/с және 5 м/с жылдамдықтармен қозғалып келеді. Соқтығысқаннан кейін шарлар қандай бағытта, қандай жылдамдықтармен қозғалатын болады?
4. Массасы 70 кг жүзуші 10 м биіктікте орналасқан төбеден секіріп, 3 м тереңдікке сүнгіді. Судың бетін нөлдік деңгей деп алып, жүзушінің төбеде тұрған кездегі және максимал сүңгу кезіндегі потенциалдық энергиясын анықтаңдар.
5. Массасы 1000 кг Жердің жасанды серігі Жердің айналасында оның бетінен 1000 км қашықтықта шеңберлі орбита бойымен қозғалады. Жердің жасанды серігінің потенциалдық, кинетикалық және толық энергияларын анықтаңдар.

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

Эксперименттік тапсырма

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



67-сурет. 1-эксперименттік тапсырмаға

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



68-сурет. 2-эксперименттік тапсырмаға

Шығармашылық тапсырма

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

4-тараудың қорытындысы

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

Динамика заңдары:

Импульстің сақталу заңы:

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

Энергияның сақталу заңы

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

Глоссарий

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

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

СҰЙЫҚТАР МЕН ГАЗДАРДЫҢ МЕХАНИКАСЫ

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

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

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

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

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

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- сұйық пен газдардың ламинарлық және турбуленттік ағыстарын сипаттай аласыңдар.



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

I Гидро– және аэродинамика

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

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

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

Идеал сұйық – тұтқырлығы мен сығылуын ескермеуге болатын сұйық.

Идеал сұйықтың қабаттары арасында үйкеліс болмайды.

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

II Сұйықтардың қозғалысын бақылау. Ағын сызықтары. Ағын түтігі

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

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

Ағын сызықтары – жанамаларының бағыты кеңістіктің кез келген нүктесінде сұйық ағыны жылдамдығының бағытымен сәйкес келетін сызықтар.

Сұйық қозғалысын зерттеген кезде ағын түтігін қарастыруға болады.

Ағын түтігі – сұйықтың немесе газдың ағын сызықтарымен шектелген көлемі.

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

III Ламинарлық және турбуленттік ағыс

Ламинарлық ағысы бар сұйықтар үшін гидродинамика заңдары орындалады.

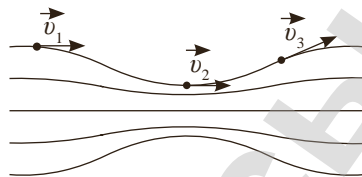
Егер сұйық қабаттары араласып кетпей, бір-біріне қатысты жылжыса, ағыс ламинарлық деп аталады.

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

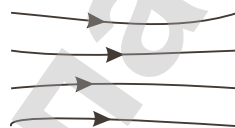
Сұйықтың ағыс жылдамдығын арттыру кезінде иірімдер пайда болады, ол кезде ағыс турбуленттік сипатқа ие болады (73-сурет).

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

Турбуленттік ағыстарда сұйықтың немесе газдың берілген нүктесінде жылдамдық пен қысымның лездік мәндері кездейсоқ түрде өзгереді. Шарттар өзгермеген кезде бүкіл көлем бойынша осы шамалардың таралуы әртүрлі болады және қайталанбайды.



69-сурет. Ағын сызықтары



70-сурет. Ламинарлық ағыс кезіндегі ағын сызықтары



71-сурет. Бұқтырма өзені, ламинарлық ағыс



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



73-сурет. Турбуленттік ағыс кезіндегі ағын сызықтары

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

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

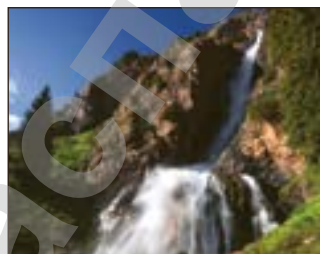
Кеңістіктің барлық нүктесіндегі сұйық элементтерінің жылдамдығы уақыт бойынша өзгермейтін болса, ағыс стационар болады.

Жылдамдығы пен қысымы кез келген нүктеде уақыт бойынша өзгертін сұйық ағысы *қалыптаспаған немесе стационар емес* деп аталады.



Жауабы қандай?

1. Неліктен өзеннің ағысы арнасы кең жерінде ламинарлық, ал арнасы тар жерінде турбуленттік болады? Неліктен сарқырамадағы судың ағысы турбуленттік болады (74-сурет)?



74-сурет. Бұрқан бұлақ сарқырамасы, Жетісу Алатауы

2. Неліктен турбуленттік ағыста ағын элементтерінің жылдамдығы мен қысымының лездік мәндерін теориялық тұрғыдан есептеу мүмкін емес?
3. Неліктен әуе және су көліктері үшін турбуленттік ағыс қауіпті?



Тапсырма

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

IV Сұйық немесе газ қозғалысының кинематикалық сипаттамасы

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

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

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

Бақылау сұрақтары

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

★ Жаттығу

14

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

Эксперименттік тапсырма

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

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

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



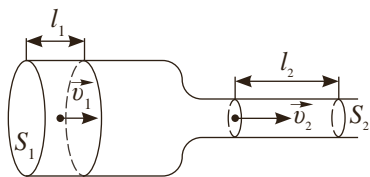
75-сурет. Ламинарлық ағысы бар бұрқақ, Нұр-Сұлтан қ.

§ 15. Үзіліссіздік теңдеуі. Бернулли теңдеуі. Көтергіш күш

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

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



76-сурет. Қималары әртүрлі ағын түтігі

I Сұйық пен сығылмайтын газ үшін үзіліссіздік теңдеуі

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

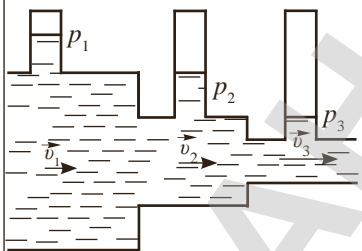
$$S_1 v_1 = S_2 v_2 \text{ немесе } \frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Алынған қатынасты *үзіліссіздік теңдеуі* деп атайды.

Сығылмайтын сұйықтың жылдамдықтарының модульдері ағын түтігінің қималарының аудандарына кері пропорционал.

Өз тәжірибең

Сумен толтырылған әртүрлі қималары түссіз түтіктегі қысымды мынадай жағдайларда өлшендер: 1) су тыныштықта тұр; 2) су түтік бойымен ағады (77-сурет).



77-сурет. Түтіктің әртүрлі қималарындағы сұйықтың қысымын өлшеу

II Қозғалыстағы сұйық пен газдағы қысым

Айнымалы қимасы бар түтіктегі сұйық қысымын сұйықтық манометрінің көмегімен анықтайық (77-сурет). Тәжірибеден түтіктің кең бөліктеріндегі қысым оның тар бөліктеріндегі қысымға қарағанда көп екені белгілі болды. Үзіліссіздік теңдеуі негізінде түтіктің қимасы үлкен бөлігінде ағыс жылдамдығы азырақ екені анықталды.

Сұйықтың стационар ағысы кезінде ағыс жылдамдығы аз болған бөлікте қысым көп болады.

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

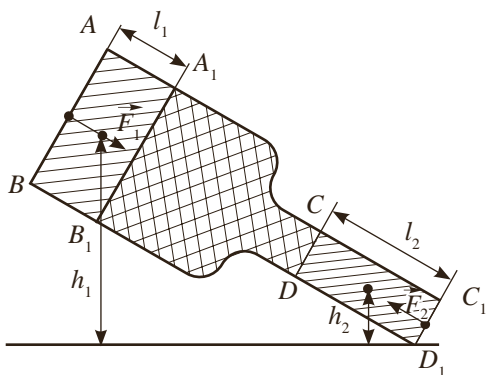
III Бернулли теңдеуі

Түтікте немесе құбырда қозғалып бара жатқан идеал сұйыққа қолданылатын энергияның сақталу заңы *Бернулли теңдеуі* деген атау алды.

1-тапсырма

Қимасы кіші түтіктегі қысымның төмендеуін Ньютонның екінші заңы мен үзіліссіздік теңдеуі негізінде түсіндіріңдер.

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



78-сурет. Идеал сұйықтың қимасы әртүрлі түтіктегі ағыны

Жауабы қандай?

1. Бернулли теңдеуін қорытқанда сыртқы күштің \vec{F}_2 жұмысы неліктен теріс таңбамен алынған?
2. Түтіктегі сұйыққа әсер ететін \vec{F}_1 және \vec{F}_2 сыртқы күштерін қандай құрылғылар тудыруы мүмкін?
3. Егер сұйықтың түтіктің немесе құбырдың тар бөлігінен кең бөлігіне қарай бағыттасақ, не болады?

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

$$A = \Delta E. \tag{1}$$

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

$$A = A_1 + A_2 = F_1 l_1 - F_2 l_2 = p_1 S_1 v_1 \Delta t - p_2 S_2 v_2 \Delta t, \tag{2}$$

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

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

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

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

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

ΔV -ға қысқартсақ, теңдік мына түрге ие болады:

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

бұдан
$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} \tag{4}$$

немесе
$$p + \rho g h + \frac{\rho v^2}{2} = const. \tag{5}$$

2-тапсырма

- 1) Қималары әртүрлі көлденең құбырда;
- 2) ұштары ашық көлбеу құбырларда ағатын сұйықтар үшін Бернулли теңдеуін жазыңдар.

Алынған (4) және (5) өрнектерді идеал сұйық үшін Бернулли теңдеуі немесе қозғалатын сұйық пен газ үшін энергия тығыздығының сақталу заңы деп атайды.

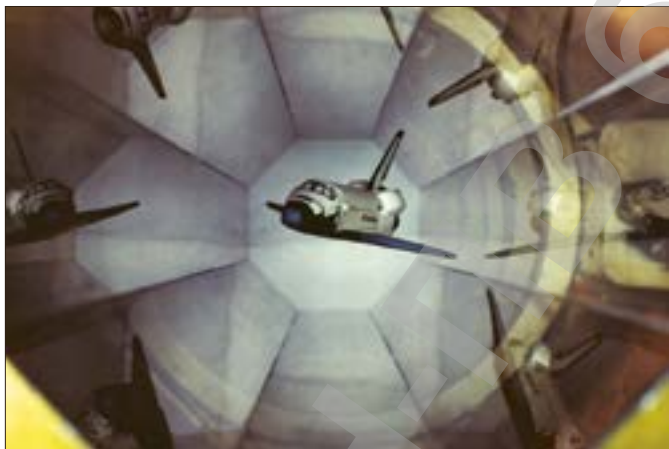
Бернулли теңдеуіне сәйкес:

Сұйықтың қалыптасқан ағынындағы толық қысым осы ағынның бойында тұрақты болып қалады.

Толық қысым ρgh салмақтық, ρ статикалық және $\frac{\rho v^2}{2}$ динамикалық қысымдардан тұрады.

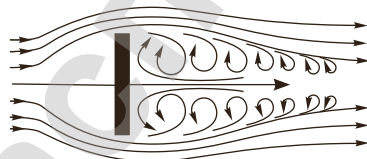
IV Қанаттың көтергіш күші

Ауадағы денелердің қозғалыс заңдылығын зерттеуге арналған негізгі жабдық аэродинамикалық құбыр болып табылады. Құбырдың бір ұшына қуатты желдеткіш орнатылады, оны электрқозғалтқыш арқылы айналдырамыз (79-сурет). Оларда тек үлгілер ғана емес, сонымен қатар шын ұшақтар да зерттеледі, аэродинамикалық құбырлар әртүрлі өлшемде болуы мүмкін.

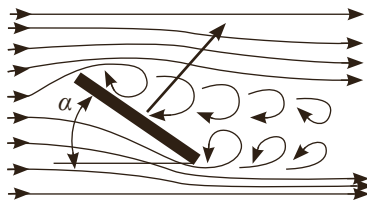


79-сурет. Аэродинамикалық құбырда ұшақ үлгісін сынау

80-суретте жазықтығы аэродинамикалық құбырдағы ағынға перпендикуляр бағытталған пластинаның қапталдай ағу көрінісі берілген. Ауа тығыздығы пластинаның алдында артады, ал артында кемиді. Ауа сиретілген кеңістікке қарай бағытталады және құйын тудырады. Алайда осы уақытта пластина тігінен орын ауыстырмайды. Егер пластина мен ауа ағыны арасында сүйір бұрыш түзілсе, онда қысымдар айырымы аэродинамикалық күш тудырады, пластина көтеріледі (81-сурет) немесе төмен түседі. Бұрылу бұрышы шабуыл бұрышы деп аталады, оны гректің α әрпімен белгіленеді.



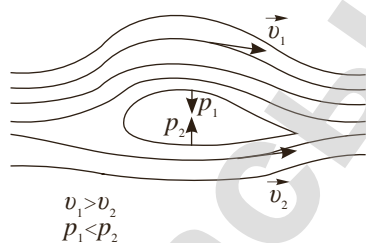
80-сурет. Ауа ағынының ағын бағытына перпендикуляр жазық пластинаның қапталдай ағуы



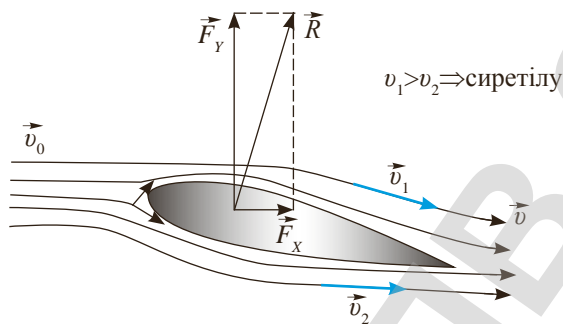
81-сурет. Аэродинамикалық күш шабуыл бұрышына тәуелді

Аэродинамикалық күш шабуыл бұрышынан ғана емес, ол қанаттың симметриялық емес профилінен де туындайды. Қанат үстіндегі ауа ағынының жылдамдығы қанат астындағыға қарағанда көп болады, себебі үстіңгі бөлік көбінесе дөңестеу болып келеді (82-сурет). Бернулли теңдеуіне сәйкес қанаттың төменгі бөлігінің қысымы үстіңгі бөлігіне қарағанда көбірек болады. Қанатқа келетін ағынның жылдамдығы артқан сайын F_y көтергіш күш мен F_x маңдайлық кедергі күшіне жіктелетін R аэродинамикалық күште, қысымдар айырымы да көбірек болады (83-сурет).

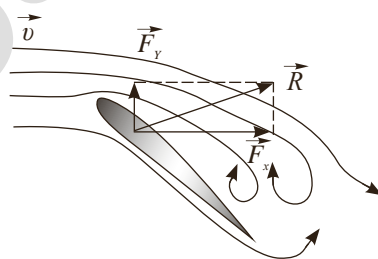
Көлбеу бұрыш артқан сайын, көтергіш күш өседі, маңдайлық кедергі азаяды. Шабуыл бұрышының мәні кезінде ағын қанаттың бетінен ажырайды, көтергіш күш жоғалады, кедергі күші бірден өседі. Ұшақ «штопорға» кіреді (84-сурет).



82-сурет. Аэродинамикалық күш қанат қимасының пішініне тәуелді



83-сурет. F_y көтергіш күш пен F_x маңдайлық кедергі күші – аэродинамикалық R күшінің құраушылары



84-сурет. Шабуылдың сындық бұрышы ұшақты «штопорға» кіргізеді



Бұл қызық!

Аэродинамиканы дамытуда «орыс авиациясының атасы» Николай Егорович Жуковский (1847–1921) алатын орны ерекше. Жуковский ең алғаш қанаттың көтергіш күшінің пайда болуын түсіндірді және осы күшті есептеу теоремасын тұжырымдады.

Бақылау сұрақтары

1. Үзіліссіздік теңдеуін тұжырымдаңдар. Ол қандай сұйықтар мен газдар үшін орындалады?
2. Түтіктегі сұйықтың қысымы сұйық ағынының жылдамдығына қалай тәуелді?
3. Бернулли теңдеуі қандай шамалардың қатынасын орнатады?
4. Қандай күшті маңдайлық кедергі күші деп атайды? Қандай күшті көтергіш күш деп атайды?

★ Жаттығу

15

1. Көлденең құбырдың кең бөлігіндегі су $1,5 \cdot 10^5$ Па қысымда 8 см/с жылдамдықпен ағады. Құбырдың тар бөлігінде қысым $1,4 \cdot 10^5$ Па. Үйкеліс күшін ескермей, құбырдың тар бөлігіндегі ағыс жылдамдығын анықтандар.
2. Құбырдың кең бөлігінде мұнай 2 м/с жылдамдықпен ағады. Егер құбырдың кең және тар бөліктеріндегі қысымдардың айырымы 50 мм сын. бағ. болса, онда оның тар бөлігіндегі мұнай ағысының жылдамдығы қандай?
3. Қимасы айнымалы көлденең құбыр бойымен су ағып жатыр. Құбырдың тар және кең бөліктеріндегі көлденең қималарының аудандары сәйкесінше 10 см^2 және 20 см^2 . Көрсетілген қималардағы су бағандарының қысымдарының айырымы 200 мм сын. бағ. Құбырдың еркін қимасы арқылы 1 с ішінде өтетін су көлемін анықтандар.
4. Құбыр көлденең орналасқан. Құбырдың диаметрі D кең бөлігінде поршень орналасқан, оған F тұрақты күші әсер етеді. Құбырдың тар бөлігінің диаметрі d , одан су ағыны ағады. Поршеньнің орын ауыстыру жылдамдығын анықтандар. Үйкелісті ескермендер.

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. Батпырауықты дайындау мен ұшыру технологиясы.
2. Ұшақтың ұшу режимдері.
3. Суағынды сорғының, карбюратордың құрылымы мен жұмыс істеу принципі.

§ 16. Тұтқыр сұйық ағыны. Стокс формуласы. Денелерді қапталдай ағу

Күтілетін нәтиже:

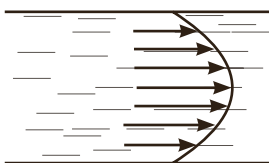
Осы параграфты игергенде:

- эксперименттік, сандық және сапалық есептерді шығаруда Торричелли мен Стокс формулаларын пайдалана аласыңдар.

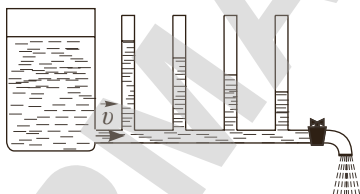


Жауабы қандай?

1. Неліктен сұйық желім төменгі температурада созылмалы болып қалады?
2. Неліктен май тамшысы шыны бетімен су тамшысына қарағанда ақырын ағады?



85-сурет. Құбыр ортасында судың ағыс жылдамдығы максимал мәнге ие болады



86-сурет. Сұйық қысымының ағыс бағыты бойынша төмендеуі

I Тұтқыр сұйық ағыны

Құбырдағы немесе өзендегі сұйық қабаттарының ағыс жылдамдығы бірдей емес. Құбырдың шетіндегі немесе өзен жағасы мен түбіндегі жылдамдық су ортасындағы жылдамдыққа қарағанда аз болады. 85-суретте сұйық жылдамдығының құбырдың қимасындағы өзгерісі бейнеленген: жылдамдық қабырға жанында нөлден басталып, ортасында максимал мәнге дейін жетеді. Жылдамдықтардың әртүрлі болуы сұйықтың тұтқырлығына байланысты немесе оның қабаттары арасындағы ішкі үйкеліс күшінің әсерімен түсіндіріледі.

Тұтқырлық – реал сұйықтардың бір бөлігінің екіншісіне қатысты орын ауыстыруына кедергі келтіру қасиеті.

Температура төмендеген сайын сұйықтың тұтқырлығы арта түседі. Өзендегі судың жылдамдығы күз мезгілінде азаяды, ал қыс мезгілінде мүлдем тоқтауы мүмкін.

Ішкі үйкеліс күшінің болуы қысымның сұйық ағысының құбыр бойымен бағыты бойынша төмендеуіне алып келеді: құбырдың басынан алыстаған сайын, сұйық ағынының қысымы да азая береді. Бұған 86-суретте бейнеленген аспапты қолданып, тәжірибе жасау арқылы көз жеткізуге болады.

Егер аспаптың шүмегі жабық болса, онда барлық манометрлік түтіктерде сұйық деңгейі бірдей болады, себебі тыныштықта тұрған сұйықтарда үйкеліс күші болмайды. Су құбырларында құбырдағы қысымның түсуін ескеру қажет, ашық тұрған шүмектер саны көп болған сайын су тез ағады және судың қысымы тез түсетін болады. Құбырда сұйықтың ста-



Есте сақтаңдар!

Қималары әртүрлі су құбырларындағы қысымның кемуіне әсер ететін факторлар: құбыр қимасы ауданының кішіреюі, сұйықтың тұтқырлығы.

ционар ағысын ұстап тұру үшін оның кірісі мен шығысындағы қысымдардың айырымы қажет.

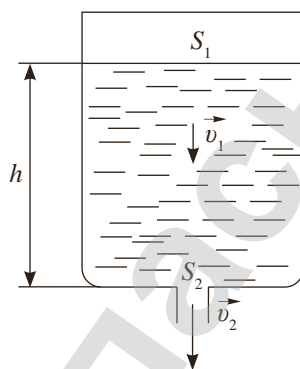
1-тапсырма

Бернулли теңдеуін пайдаланып, ыдыстың тесігінен ағатын судың жылдамдығын есептеу формуласын қорытып шығарыңдар (87-сурет). Э.Торричелли алған формуламен салыстырыңдар:

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Жауабы қандай?

Неліктен тесігі бар ыдыстағы идеал сұйықтың баған биіктігінің азаюы тесік арқылы өтетін сұйықтың ағу жылдамдығының мәніне әсер етпейді?



87-сурет. 1-тапсырмаға

II Сұйықтар мен газдардағы денелердің қозғалысы. Стокс формуласы

Денелердің сұйықтар мен газдардағы қозғалысы кезінде кедергі күші пайда болады. Олардың пайда болуының екі себебі бар:

- 1) ортаның дене бетіне үйкелуі;
- 2) денені қапталдай ағу кезінде сұйық немесе газ ағынының өзгеруі.

Ортаның маңдайлық кедергі күші ортаның тұтқырлығына және дененің қозғалыс жылдамдығына, оның өлшемдері мен пішініне тәуелді.



88-сурет. Вискозиметр

Тұтқыр сұйыққа немесе газға құлаған шарға әсер ететін маңдайлық кедергі күші гидродинамикаға зор үлес қосқан ағылшын физигі Джордж Габриел Стокстың құрметіне аталған Стокс формуласымен анықталады:

$$F = 6\pi\eta rv,$$

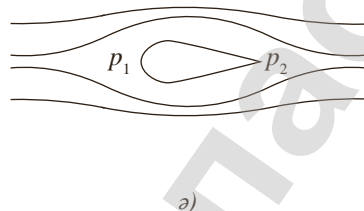
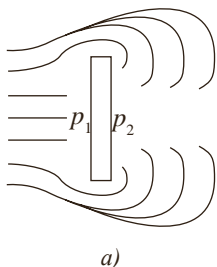
мұндағы: η – сұйықтың немесе газдың ішкі үйкеліс коэффициенті немесе динамикалық тұтқырлық, өлшем бірлігі $[\eta] = 1 \text{ Па} \cdot \text{с}$; r – шар радиусы; v – шардың жылдамдығы.

Стокс формуласы сұйықтардың тұтқырлығын анықтауға мүмкіндік береді. Сұйық тұтқырлығын анықтауға арналған құралды *вискозиметр* деп атайды. Геплер вискозиметрінің әрекеті Стокс заңына негізделген, ол тұтқыр орта орналасатын түтік түрінде жасалған (88-сурет). Тұтқырлық құлап бара жатқан шарлардың вискозиметр түтігіндегі белгілер арасынан өту жылдамдықтары бойынша анықталады, ал өлшеу қателігі 1–3 % аралығында болатын өлшеулер жүргізуге мүмкіндік береді.

III Денелерді қапталдай ағу

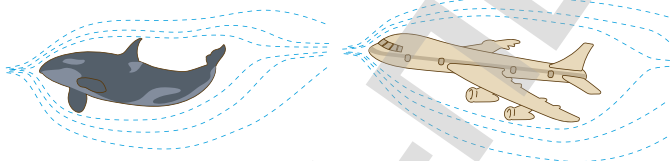
Сұйық немесе газ ағысының өзгерісінен туындаған кедергі күшін азайту үшін қатты денелерге қапталдай ағуға ыңғайлы пішін беріледі. 89-суретте пластина айналасындағы және сүйір пішіндегі денелер айналасындағы ағын сызықтары

көрсетілген. Пластинаның артындағы бөлікте ретсіз құйынды қозғалыс аймағы түзіледі, мұнда қысым өте төмен болады (89, а-сурет), ал қапталдай сүйір пішінді дене ағын сызықтарын сәл ғана бұзады (89, ә-сурет).



89-сурет. Ортаның кедергі күші дененің пішініне тәуелді

Жылдамдықтың аз мәнінде дененің алдыңғы бөлігінде қысымның артуы артқы бөлікте қысымды кемітуден маңызды емес, сондықтан артқы бөліктің сүйір пішінді болуы бұл жағдайда өте маңызды (90-сурет). Ұшақтардың, дирижабльдердің, суасты қайықтарының, тез жүзетін теңіз жануарлары – дельфиндердің, акулалардың, киттердің пішіндері осындай болады.



90-сурет. Жылдамдықтар аз болған кезде қапталдай ауға ыңғайлы сүйір пішін құрылғының артқы бөлігіне беріледі

Асқындыбысты жылдамдықпен қозғалғанда ауа кедергісі дененің алдыңғы бөлігінде қатты өседі. Асқындыбысты жылдамдықпен қозғалатын ұшақтардың, зымыран мен снарядтардың тұмсық бөліктеріндегі сығылған ауа дененің қозғалыс бағыты бойымен тарамайтын болғандықтан, өте қуатты дыбыстық тосқауыл пайда болады. Ауа тартылған садақ адырнасы сияқты, ауа кедергісін азайту үшін қозғалып бара жатқан дененің алдыңғы бөлігін сүйір ету керек (91-сурет). Осы мақсатпен асқындыбысты жылдамдықтағы ұшақтар ауа тығыздығы едәуір азаятындай биіктікке көтеріледі.

? Жауабы қандай?

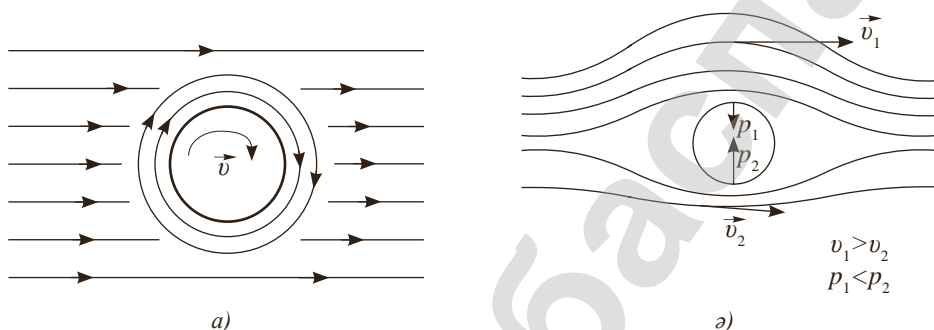
1. Жылдамдығы аз болған кезде неліктен ұшақтың құйрық бөлігі, ал асқындыбысты жылдамдық кезінде тұмсық бөлігі қапталдай ауға ыңғайлы сүйір пішінде болуы керек?
2. Асқындыбысты жылдамдықпен қозғалатын ұшақтарда реактивті тарту күшін туындату үшін неліктен зырылдауық (пропеллер) емес реактивті қозғалтқыш пайдаланылады?
3. Барлық денелер үшін ауа немесе сұйық кедергісін есептейтін бірыңғай формула неге жоқ?



91-сурет. Асқындыбысты жылдамдық кезінде ұшақтың алдыңғы бөлігіне қапталдай ауға ыңғайлы пішін берілген

IV Магнус эффектісі. Ауа циркуляциясы

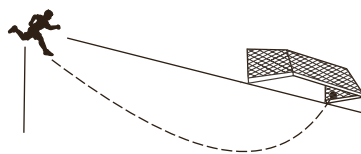
Бірқалыпты ауа ағынының айналатын цилиндрді қапталдай ағуын қарастырайық. Айналу кезінде цилиндр әсерінен ауаның оған жанасатын қабаттары (92, *a-сурет*) айналымы қозғалыс жасайды. Ілгерілемелі және айналымы қозғалыс жылдамдықтарының қосылуы цилиндр айналасындағы ауа ағыны жылдамдығының өзгерісіне алып келеді: $v_1 > v_2$ (92, *ә-сурет*). Нәтижесінде цилиндрге түрлі жақтардан әсер ететін қысым әртүрлі болады. Бернулли заңының негізінде қысым: $p_1 < p_2$. Цилиндрге түсірілген күштердің теңәсері ағын бағытына перпендикуляр бағытталады, цилиндр көтеріледі.



92-сурет. Ауа қабатының циркуляциясы нәтижесінде көтергіш күштің пайда болуы

Айналып жатқан доптың маңайындағы ауа циркуляциясы оның қозғалыс бағытының өзгеруімен түсіндіріледі, соның арқасында футбол алаңының бұрышынан гол соғуға мүмкіндік туады (93-сурет).

Ауа айналып жатқан денені қапталдай аққанда ағынға перпендикуляр күштің пайда болуы осы құбылысты зерттеген неміс ғалымының құрметіне Магнус эффектісі деп аталған.



93-сурет. Магнус эффектісінің нәтижесінде доптың ұшу траекториясының өзгеруі

? Жауабы қандай?

Жеңіл мәшинелерде неліктен спойлер орнатылады (94-сурет)?



94-сурет. Спойлері бар автокөлік

2-тапсырма

Магнус эффектісі байқалатын құбылыстар тізімін жалғастырындар: бумерангтың ұшуы, дауылдың үй шатырын жұлып алуы, қатты желдің қолшатырды ұшыруы.

Бақылау сұрақтары

1. Сұйықтың тұтқырлығы дегеніміз не?
2. Ішкі үйкеліс күші құбырлардағы сұйықтың ағыс жылдамдығына қалай әсер етеді?
3. Сұйықтар мен газдарда қозғалысқа кедергі күштердің пайда болу себептерін атаңдар.
4. Сұйық тұтқырлығын қалай анықтайды? Ол қандай өлшем бірлігімен өлшенеді?
5. Магнус эффектісінің мәні неде?
6. Айналып жатқан дене мен ұшақ қанатындағы көтергіш күштің пайда болу себептерінің айырмашылығы қандай?
7. Қандай күшті маңдайлық кедергі күші деп атайды? Қандай күшті көтергіш күш деп атайды?



Жаттығу

16

1. Су толтырылған биіктігі 50 см болатын бактың түбінде ауданы 1 см^2 тесік бар, ол бак қимасының ауданынан едәуір кіші. Егер тесікті ашсақ, онда одан су ағатын болады. Бак түбінен 20 см төмен биіктіктегі ағын қимасының ауданы неге тең?
2. Бұрқақтың тік ағынының көлденең қимасының ауданы қандай биіктікте түтік шығу тесігінен 3 есе үлкен болады? Шығу тесігіндегі судың жылдамдығы 9 км/сағ . Ауа кедергісін ескермендер.
3. Су құбырында қимасының ауданы 4 мм^2 тесік пайда болды, одан тік жоғары қарай 80 см биіктікке су атқылап ағып жатыр. Тәулік ішінде құбырдан судың қандай мөлшері ағып шығады?
4. Шар тұрақты жылдамдықпен сұйықта жүзіп бара жатыр, сұйықтың тығыздығы шар жасалған материалдың тығыздығынан 4 есе артық. Шарға әсер ететін үйкеліс күші осы шардың салмағынан неше есе артық?
5. Егер ауаның динамикалық тұтқырлығы $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$ болса, диаметрі $d = 0,3 \text{ мм}$ жаңбыр тамшысының ең үлкен жылдамдығы қандай болады?
6. Диаметрі 1 мм болат шар майсана (кастор) майымен толтырылған үлкен түтікке $0,185 \text{ см/с}$ тұрақты жылдамдықпен құлайды. Майсана майының динамикалық тұтқырлығын анықтаңдар. Майсана майының тығыздығы – 900 кг/м^3 .

Эксперименттік тапсырма

Магнус эффектісін көрсететін тәжірибені түсіндіретін бейнежазба дайындаңдар.

5-тараудың қорытындысы

Үзіліссіздік теңдеуі	$S_1 v_1 = S_2 v_2$
Бернулли теңдеуі	$p_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$ $p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const$
Торричелли формуласы	$v_2 = \sqrt{2gh}$
Стокс формуласы	$F = 6\pi\eta r v$

Гидро- және аэродинамиканың негізгі теңдеулері

Үзіліссіздік теңдеуі: *Сығылмайтын сұйықтың жылдамдықтарының модульдері ағын түтігінің қималарының аудандарына кері пропорционал.*

Бернулли теңдеуі: *Сұйықтың қалыптасқан ағынындағы толық қысым осы ағынның бойында тұрақты болып қалады.*

Глоссарий

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

Идеал сұйық – тұтқырлығы мен сығылуын ескермеуге болатын сұйық.

Ағын сызығы – жанамаларының бағыты кеңістіктің кез келген нүктесінде сұйық ағыны жылдамдығының бағытымен сәйкес келетін сызықтар.

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

Ламинарлық ағыс – сұйық қабаттарының араласып кетпей, бір-біріне қатысты жылжуы.

Турбуленттік ағыс – сұйық қабаттары араласып, иірімдердің пайда болуы.

Стационар ағыс – кеңістіктің барлық нүктесіндегі сұйық элементтері жылдамдығы уақыт бойынша өзгермейтін ағыс.

Тұтқырлық – реал сұйықтардың бір бөлігінің екіншісіне қатысты орын ауыстыруына кедергі келтіру қасиеті.

Вискозиметр – сұйық тұтқырлығын анықтауға арналған құрал.

Ортаның маңдайлық кедергі күші ортаның тұтқырлығына, сонымен қатар дененің қозғалыс жылдамдығына, оның өлшемдеріне және пішініне тәуелді.

Молекулалық физикада жылу процестерін зерттеу үшін екі әдіс пайдаланылады: статистикалық және термодинамикалық.

Статистикалық әдістің негізінде молекулалық-кинетикалық теория жатыр. Аталған теорияда физикалық процестерді заттың ішкі құрылымы туралы білім негізінде қарастырады.

Заттың ішкі құрылымы туралы түсініктерді қолданбай-ақ, термодинамика заңдарының негізі мен жүйені тұтастай сипаттайтын параметрлер температура, қысым және көлемді пайдаланып, жылу құбылыстарын зерттеуге арналған әдісті – термодинамикалық әдіс деп атайды.

6-ТАРАУ

МОЛЕКУЛАЛЫҚ-КИНЕТИКАЛЫҚ ТЕОРИЯ НЕГІЗДЕРІ

Заттың атомдық құрылысы туралы гипотезаны ең алғаш Демокрит ұсынды. Молекулалық-кинетикалық теорияны жасауға орыс ғалымы М. Ломоносов, неміс физигі Р.Клаузиус, ағылшын физиктері Дж.Джоуль, Дж.Максвелл, аустрия физигі Л.Больцман зор үлес қосты. XX ғасырға таман әртүрлі заттардың молекулаларының өлшемі, олардың массалары мен жылдамдықтары өлшеніп, молекулаларда атомдардың орналасуы анықталды, яғни заттар құрылысының молекулалық-кинетикалық теориясы түбегейлі аяқталған болатын.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы мен температураның байланысын сипаттауды;
- идеал газ моделін сипаттауды;
- есептер шығаруда молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеулерін қолдануды үйренесіңдер.

§ 17. Газдардың молекулалық-кинематикалық теориясының негізгі қағидалары және олардың тәжірибелік дәлелдемелері

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- МКТ негізгі қағидаларына дәлелдер келтіруді;
- жылулық құбылыстарды МКТ негізінде түсіндіруді; молекуланың массасы мен өлшемін, молекулалар саны мен зат мөлшерін есептеуді үйренесіңдер.



Джон Уильям Стретт лорд Рэлей (1842–1919) – ағылшын физигі, механик, 1904 жылы «Газ тәріздес элементтердің тығыздығын зерттегені және осыған байланысты аргонды ашқаны үшін» Нобель сыйлығын алған. 1879 жылы Кембридж университетінің профессоры және Кавендиш зертханасының директоры, 1908–1919 жылдары Кембридж университетінің президенті болды.



95-сурет. Мұнайдың төгілуі

I Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидалары

Диффузия және броундық қозғалыс, сұйықтың жұғуы және капилляр бойынша көтерілуі, кебу мен қайнау, балку мен кристалдану сияқты құбылыстарды МКТ – молекулалық-кинетикалық теория және оның үш қағидасы негізінде оңай түсіндіруге болады:

1. Барлық заттар бөлшектерден – араларында бос аралықтары бар молекулалар мен атомдардан тұрады.
2. Заттың бөлшектері үздіксіз және бейберекет қозғалыста болады.
3. Зат бөлшектері бір-бірімен өзара әрекеттеседі.

II МКТ I қағидасының тәжірибелік дәлелдемесі

МКТ I қағидасының сенімді дәлелі – ағылшын физигі Дж. Рэлейдің молекулалардың массалары мен өлшемдерін анықтауы болып табылады.

Ол олеин майының тамшылары су бетінде қалыңдығы бір молекуланың қалыңдығындай қабатпен жайылады деп болжап, оның өлшемін анықтады:

$$d = \frac{V}{S},$$

мұндағы d – молекула диаметрі, V – тамшы көлемі, жайылған тамшының көлемі, S – тамшы ауданы.

Молекуланың көлемін $V_0 = d^3$ деп алып, заттың барлық көлеміндегі молекулалар санын анықтады:

$$N = \frac{V}{V_0}.$$



Назар аударыңдар!

Мұхит бетінде қалыңдығы 1/16 мкм жұқа қабат түрінде жайылған 1 тонна мұнай 12 км² ауданды алады.



Өз тәжірибең

1. Молекуланың өлшемі шамамен, 10⁻⁹ м деп алып, оқулықтың бір бетіндегі молекулалар санын анықтаңдар.
2. Қолдан жасалған палетка көмегімен мұнай дағының ауданын анықтаңдар. Түсірілім масштабын М 1:100000 деп алыңдар (95-сурет).

Тамшы массасы мен ондағы молекулалар саны белгілі болғанда, Дж.Рэлей бір молекуланың массасын есептеп шығарды:

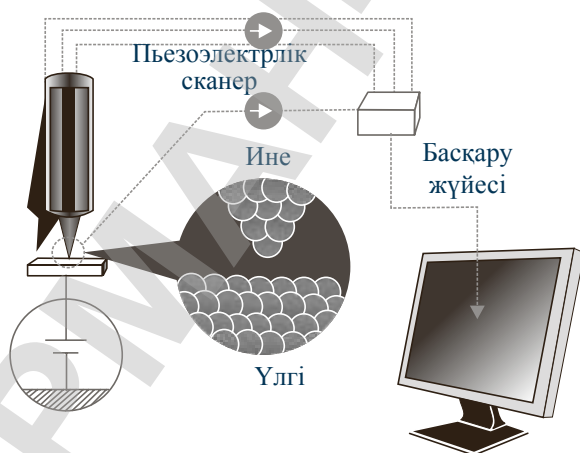
$$m_0 = \frac{m}{N}.$$

Рэлей әдісі бойынша жүргізілген тәжірибе молекула өлшемі шамамен 10^{-9} м, ал оның массасы жуық шамамен 10^{-26} кг болатынын көрсетті.

Ғалымдар электронды, одан кейін туннельдік микроскоптарды ойлап тапқанда, МКТ I қағидасының дұрыстығына еш күмән қалмады.

Жұмыс істеу принципі заттардың беттерін сканерлеуге негізделген туннельдік микроскоптың арқасында, молекулалар мен атомдардың орналасуының суреттері алынған (97-сурет).

Сканерлеуші туннельдік микроскоптың металл инесі нысанның үстінде одан нанометрден де кіші арақашықтықта сырғанайды (98-сурет). Қозғалыс кезінде инеге аз ғана потенциал беріледі, нәтижесінде ине мен үлгі арасында туннельдік ток түзіледі, үлгідегі электрондар инеге дейінгі арақашықтықты жүріп өтіп, инеге өтеді. Электрондар саны ине ұшына дейінгі қашықтыққа тәуелді, сондықтан туннельдік токтың шамасын анықтай отырып, ғалымдар үлгі бетіндегі рельефтің қандай болатынын түсіне алады. 1986 жылы Цюрихтегі IBM компаниясының зерттеу орталығының қызметкерлері Г.Бинниг пен Г.Рорерге осы жетістіктері үшін Нобель сыйлығы берілді.



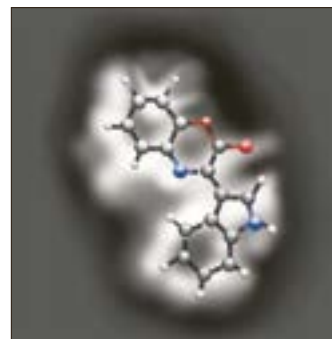
98-сурет. Туннельдік микроскоптың жұмыс істеу принципі

? Жауабы қандай?

1. Жүк көтергіштігі 550 мың тонна танкерден төгілген мұнайдың ауданын анықтаңдар. Оны Каспий теңізінің ауданымен салыстырыңдар (371000 км^2).
2. Мұнайдың төгілуі қандай экологиялық мәселелерді тудырады (96-сурет)?



96-сурет. Мұнай төгілген аймақта құстар мен жануарлардың қырылуы



97-сурет. Заттағы молекулалардың орналасуының суреті

III Салыстырмалы молекулалық және мольдік масса. Зат мөлшері. Авогадро саны

Салыстырмалы молекулалық масса, мольдік масса, зат мөлшері және олардың өлшем бірліктері Халықаралық өлшемдер мен салмақтардың Бас конференциясында енгізілген. Бұл шамалар сендерге химия курсынан белгілі. Оларды еске түсірейік:

7-кесте. МКТ негізгі шамалары

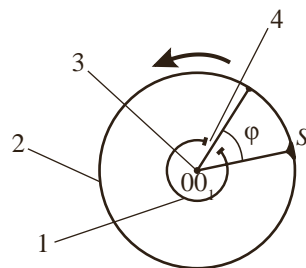
Анықтама	формула	Өлшем бірлік
Заттың салыстырмалы молекулалық массасы M_r – осы зат молекуласы массасының көміртегі атомы массасының 1/12 бөлігіне қатынасына тең шама.	$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{oc}}$	Өлшем бірлігі болмайды
Зат мөлшері – берілген денедегі молекулалар санының 0,012 кг көміртектегі атомдар санына қатынасына тең шама. Моль – 12 г көміртекте қанша атом болса, сонша молекуладан тұратын зат мөлшері.	$v = \frac{N}{N_A}$ $v = \frac{m}{M}$	$[v] = 1 \text{ моль}$
Мольдік масса – бір моль мөлшерінде алынған заттың массасы.	$M = m_0 N_A$ $M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$[M] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$

IV Штерн тәжірибесі МКТ II қағидасының дәлелдемесі ретінде

1920 жылы неміс физигі Отто Штерн молекулалардың орташа жылдамдықтарын анықтау үшін тәжірибе жүргізді. Ол көлденең жазыққа OO_1 осін айнала қозғалатын (1) және (2) екі коаксиалді цилиндрлік беттерді бекітті (99-сурет). Ішкі цилиндрдің тар тесігі (4) болды. Барлық жүйе вакуумда орналасқан. Ол OO_1 осі бойына күміспен қапталған және жоғары температураға дейін қыздырылған платина сым (3) орналас-тырды. Күміс атомдары буланып, ішкі цилиндрдің (1) қабырғасындағы тар тесік арқылы өтіп, сыртқы цилиндрдің ішкі бетіне дейін ұшып жетіп, онда тесікке қарама-қарсы жіңішке жолақ ретінде тұнатын болған. Цилиндрлер ω бұрыштық жылдамдықпен айналған кезде, сыртқы цилиндр атомдарға екінші цилиндрдің қабырғасына жету үшін қажетті t уақыт аралығында φ бұрышқа бұрылатын. Нәтижесінде атомдар алдыңғы жолақтан S қашықтықта бұлыңғыр жолақтар сияқты тұнатын болған. Екі цилиндр арасындағы күміс атомдары қозғалысының орташа жылдамдығын Штерн мына түрде анықтады:

Есте сақтаңдар!

Кез келген заттың бір мөліндегі молекула мөлшері бірдей болады, бұл сан италиялық ғалым, физик және химик А.Авогадроның құрметіне Авогадро саны деп аталған, ол $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ -ге тең.



99-сурет. Штерн тәжірибесі үшін құрылғының сызбасы

$$v = \frac{R-r}{t} \quad (1)$$

мұндағы R – сыртқы цилиндр радиусы, r – ішкі цилиндрдің радиусы.

Күміс жолақтың ығысуын цилиндрдің айналу жылдамдығы арқылы өрнектейміз:

$$S = v_{\text{ц}} t = \omega R t \quad (2)$$

мұндағы $v_{\text{ц}}$ – сыртқы цилиндрдің айналуының сызықтық жылдамдығы, Штерн атомдардың цилиндрлер арасында ұшу уақытын анықтаған:

$$t = \frac{S}{\omega R}$$

Осы өрнекті (1) формулаға қойып, мына формуланы аламыз:

$$v = \frac{\omega R(R-r)}{s} \quad (3)$$

R , r , ω және S мәндері белгілі болған кезде, тәжірибе жүзінде күміс атомдары қозғалысының орташа жылдамдығы анықталды, ол 650 м/с-қа тең болды.

V Молекулалар арасындағы өзара әрекеттесу күштері MKT III қағидасының дәлелдемесі ретінде

100-суретте графиктер берілген: 1-график – атомдар арасында тебілу күшінің, 2-график – атомдардың тартылыс күшінің олардың арасындағы арақашықтыққа тәуелділігіне сәйкес келеді, 3-график – молекулалық өзара әрекеттесудің қорытқы күші. Графиктен $r \leq r_0$ болғанда, тебілу күштерінің, ал $r \geq r_0$ болғанда тартылыс күштерінің болатыны көрінеді. $r = r_0$ арақашықтықта тартылыс және тебілу күштері тең болады, сондықтан теңәсерлі күш нөлге тең: $F = 0$.

Күштің арақашықтыққа тәуелділік графигі молекулааралық күш молекулалардың өлшемдеріне сай келетін қашықтықтарда пайда болатынын дәлелдейді. 2–3 молекуланың өлшеміне тең қашықтықтарда молекулалар арасында өзара әрекеттесу күші жоғалып кетеді.

? Жауабы қандай?

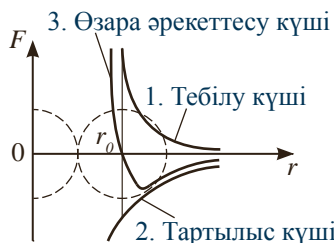
1. Штерн тәжірибесінде құрылғы неліктен вакуумдық камераға орналастырылады?
2. Штерн тәжірибесінде айналатын цилиндрдің бетіне тұнған күміс қабатының қалыңдығы неліктен барлық жерде бірдей емес?



Отто Штерн (1888–1969) – неміс физигі. 1923 жылдан бастап Гамбургтегі университеттің физика-химия зертханасының профессоры және директоры болған. 1933 жылдан бастап Питсбургтегі (АҚШ) Карнеги Технологиялық институтының профессоры. 1943 жылы Штерн физика бойынша Нобель сыйлығын иеленген.

Маңызды ақпарат

Күрделі молекулалардың молекулалық массаларын Менделеев кестесін пайдаланып, ондағы элементтердің салыстырмалы атомдық массаларын A_r қосу арқылы анықтаймыз. Мысалы, судың молекулалық массасы (H_2O): $M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) \approx 2 \cdot 1 + 16 = 18$



100-сурет. Атомдардың өзара әрекеттесу күшінің олардың арасындағы арақашықтыққа тәуелділік графигі

Бақылау сұрақтары

1. Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі қағидаларын тұжырымдаңдар.
2. Қандай массаны салыстырмалы молекулалық деп атайды? Қандай массаны мольдік деп атайды?
3. Молекула саны деп қандай шаманы айтады, оны немен өлшейді?
4. Штерн тәжірибесінің мәні неде?
5. Молекулалық өзара әрекеттесу күштерінің қандай қасиеттері бар?

★ Жаттығу

17

1. Инертті газдың $14,92 \cdot 10^{25}$ молекуласының массасы 5 кг. Бұл қандай газ?
2. Амазонка сағасында массасы 62,3 кг ірі таза алтын табылған. Оның зат мөлшерін анықтаңдар.
3. Су бетіне тамызылған тығыздығы $\rho = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, массасы 0,023 мг минералды май тамшысы құраған ауданы 60 см^2 болатын қабықшадағы молекулалар бір қатарда орналасқан деп, олардың диаметрлерін анықтаңдар.
4. Алюминийдің тығыздығы $2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 1 м^3 алюминийде қанша зат мөлшері бар?
5. Аспаптың айналу жиілігі 150 с^{-1} болғанда, Штерн тәжірибесінде күміс жұбы молекулаларының бұрыштық ығысуы $5,4^\circ$ құраса, олардың жылдамдықтары қандай болуы мүмкін? Ішкі және сыртқы цилиндрлер арасындағы қашықтық 2 см.

Шығармашылық тапсырма (таңдау бойынша).

1. Мұнай танкерлері мен мұнайды тасымалдайтын құбырларда болған апаттардың статистикасын зерттеңдер. Елдер мен фирмалар бойынша салыстырмалы кесте (диаграмма, графиктер) құрыңдар.
2. «Диффузияның табиғат пен техникадағы рөлі» тақырыбында хабарлама дайындаңдар.

§ 18. Термодинамикалық жүйелер мен термодинамикалық параметрлер. Термодинамикалық жүйелердің тепе-теңдік және тепе-теңдік емес күйлері. Температура – зат бөлшектерінің жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі ретінде

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеулерін есептер шығаруда қолдана аласыңдар.



Жауабы қандай?

1. Ыстық судың суық судан айырмашылығы қандай?
2. Егер ыстық суды суық суға құятын болсақ, не болады?
3. Егер суық суды ыстық суға құятын болсақ, не болады?
Өз жауаптарыңды тәжірибе жүзінде тексеріңдер.

I Термодинамикалық жүйелер мен термодинамикалық параметрлер

Өзара және қоршаған ортамен жылулық әрекеттесу жүріп тұратын денелердің жиынтығын *термодинамикалық жүйе* деп атайды. Қарастырылып отырған жүйенің шекарасынан тыс орналасқан барлық денелерді *қоршаған орта* деп атайды. Бізді қоршаған денелердің қасиеттері мен күйін сипаттау үшін микроскопиялық және макроскопиялық параметрлерге бөлуге болатын физикалық шамалар қолданылады.

Молекулалық дүниені сипаттайтын шамаларды, мысалы, молекулалар жылдамдығын, оның массасын, энергиясын *микроскопиялық* (грек. «микрос» – кішкене) *шамалар* деп атайды.

Макроскопиялық (грек. «макрос» – үлкен) параметрлер деп, тұтастай термодинамикалық жүйелердің немесе денелердің қасиеттерін олардың ішкі құрылыстарын ескермей сипаттайтын шамаларды айтады.

Дененің күйін сипаттайтын макроскопиялық шамаларды *термодинамикалық параметрлер* деп атайды. Термодинамикалық параметрлерге V көлем, p қысым, T температура жатады.



1-тапсырма

1. Термодинамикалық жүйеге мысал келтіріңдер.
2. Термодинамикалық жүйе үшін қоршаған орта болып табылатын денелерді атаңдар.
3. Аталған шамалардан макроскопиялық параметрлерді таңдаңдар: дене көлемі, молекула жылдамдығы, молекула массасы, қысым, молекуланың қозғалыс энергиясы, молекулалар саны, температура, молекула өлшемі, концентрация.

II Термодинамикалық тепе-теңдік. Температура – молекулалардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі

Егер температуралары әртүрлі екі немесе бірнеше денелерді байланыстырсақ, біршама уақыттан соң *термодинамикалық тепе-теңдік* орындалады: денелердің температуралары бірдей болады.

Денелер арасында байланыс орнағанда энергия алмасу жүреді: ішкі энергиясы жоғары денелер оны энергиясы аз денелерге береді.

Дене температурасы молекулалардың жылулық қозғалысының энергиясымен анықталады, *ол молекулалардың орташа кинетикалық энергиясының өлшемі болып табылады: молекулалардың кинетикалық энергиясы көп болған сайын, дененің*

температурасы да жоғары болады. Демек, энергия қатты қыздырылған денелерден аз қыздырылған денелерге беріледі.

Термодинамикалық тепе-теңдік – тұйық денелер жүйесінің барлық макроскопиялық параметрлері ұзақ уақыт бойы өзгермей тұратын кездегі күйі.

Сыртқы шарттар өзгермейтін кезде кез келген тұйық денелер жүйесі өздігінен термодинамикалық тепе-теңдік күйіне өтеді. Жылулық тепе-теңдік күйінде дененің барлық бөліктеріндегі температура бірдей болады.

Температура – макроскопиялық жүйенің термодинамикалық тепе-теңдік күйін сипаттайтын физикалық шама.

III Температураны өлшеу. Термометрлердің түрлері

Денелердің температураларын өлшеу үшін термометрлерді пайдаланады. Денемен жылулық байланыс, жылулық тепе-теңдік орнаған сәтте термометр дене температурасын көрсетеді.

Термометр – зерттеліп отырған ортамен байланысу арқылы температураны өлшеуге арналған құрал.

Олардың әрекеті негізделген физикалық құбылыстарға сәйкес термометрдің мынадай түрлері болады: *сұйықтық, механикалық, газдық, электрлік, оптикалық және инфрақызыл.*

Сұйықтық термометрлерінің әрекеті сұйықтың жылулық ұлғаюына негізделген.

Сұйықтық термометр капилляр жапсырылған мөлдір шыны резервуардан тұрады. Шкала капиллярға бекітілген пластинаға белгіленеді. *Термометрлік сұйық – денелердің температурасын өлшеу үшін пайдаланылады, онымен резервуар және капиллярдың бір бөлігі толтырылады. $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ және $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ аралығындағы температураны өлшеу үшін сұйықтық термометрін этил спиртімен, $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ және $750\text{ }^{\circ}\text{C}$ аралығындағы температураны өлшеу үшін оны сынаппен толтырады. Сұйықтық термометрінің өлшеу*



Есте сақтаңдар!

Егер термодинамикалық жүйеде оған енетін кез келген дененің бір параметрі өзгеретін болса, онда жүйеде термодинамикалық процесс жүре бастайды. Жүйе тепе-теңдік емес күйде болады.

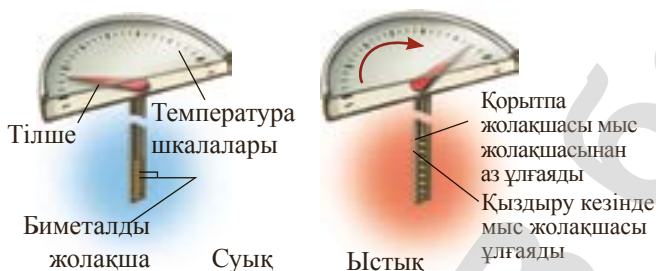


Жауабы қандай?

1. Медициналық термометрлерде неліктен спирт емес сынапты пайдаланады?
2. Сұйықтық термометрі түтігінің диаметрі неліктен бірдей болуы керек?
3. Сұйықтық термометрінің өлшеу дәлдігі неліктен оның бату тереңдігіне тәуелді?
4. Сұйық тамшысының температурасын сұйықтық термометрмен дәл анықтау неліктен мүмкін емес?
5. Термометрдің капилляры мен шкаласы бар пластинасы жасалған заттардың жылулық ұлғаю коэффициенті неліктен бірдей болуы керек?

дәлдігі аспаптың бөлік құнына, жылулық тепе-теңдіктің орнау мезетін дұрыс анықтауға, капилляр шынысы мен шкаласы бар пластинаның жылулық ұлғаю коэффициентіне, өлшеніп отырған ортаға термометрдің бату тереңдігіне тәуелді.

Механикалық термометрлер жылулық ұлғаю коэффициенттері әртүрлі, бір-біріне жалғанған екі металл жолақты пластинадан тұрады. Пластиналардың ұзындықтары әртүрлі болғандықтан, оларды қыздырғанда биметалдық жолақша одан әрі бұрала түседі (101-сурет). Температура қаншалықты жоғары болса, аспаптың шкаласындағы тілше соншалықты температураның үлкен мәнін көрсетеді (102-сурет).



101-сурет. Механикалық термометрдің құрылысы

Газдық термометр – жіңішке түтік арқылы манометрмен байланысқан газ толтырылған баллон (103-сурет). Баллонды температурасын өлшеу қажет денемен жылулық байланысқа келтіреді, біраз уақыт өткен соң газ бен дененің арасында жылулық тепе-теңдік орнайды. Температура баллондағы газдың қысымымен анықталады. Манометрдегі қысым шкаласын оларға сәйкес келетін температуралар шкаласымен алмастыруға болады. Барлық термометр түрлерінің ішінде газдық термометрлер көрсеткішінің дәлдігі жоғары болып табылады.

Электрлік термометрлер немесе кедергі термометрлері металдардың, қоспалардың және жартылай өткізгіш материалдардың электр кедергілерінің температураға тәуелділігі негізінде әрекет етеді (104, а-сурет). Олар металл сымнан дайындалған, ұшына платинадан, күмістен немесе алтыннан жасалған ток өткізгіш сымдар жапсырылған спираль тәріздес болып келеді (104, ә-сурет). Механикалық зақымданудан және зиянды заттардың әсерінен қорғау үшін термометрді түтікке

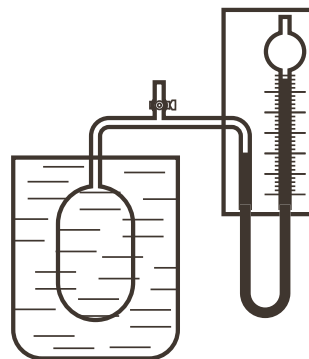


2-тапсырма

Дәптерлеріңде бөлмелік, зертханалық және медициналық сұйықтық термометрлерді бейнелендер, олардың негізгі айырмашылықтарын көрсетіңдер.



102-сурет. Механикалық термометрдің шкаласы



103-сурет. Газдық термометрдің құрылысы

орналастырады. Платина термометрлермен өлшенетін температура диапазоны $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ және $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ аралығында, ал мыс термометрлердің диапазоны $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ және $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ аралығында болады. Қорғасын термометрлер төменгі температураларды, ал фосфорлы қола аса төмен температураларды өлшеу үшін қолданылады.

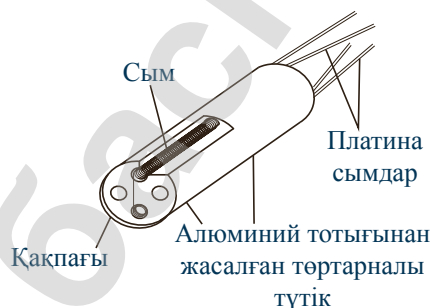


3-тапсырма

Оқулықта келтірілген термометрлерге салыстырмалы талдау жасаңдар. Термометрдің әр түрінің қолданылу саласын көрсетіп, кесте дайындаңдар.



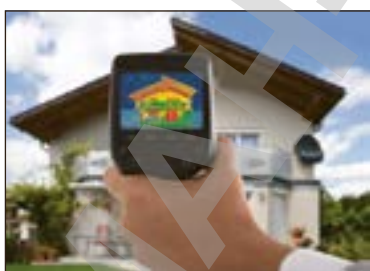
а)



ә)

104-сурет. Электрлік термометр

Оптикалық және инфрақызыл термометрлерге тепловизор және пирометрлер жатады, олар денелердің температураларын байланыс жасамай-ақ өлшеу үшін пайдаланылады (105, 106-суреттер).



105-сурет. Тепловизор



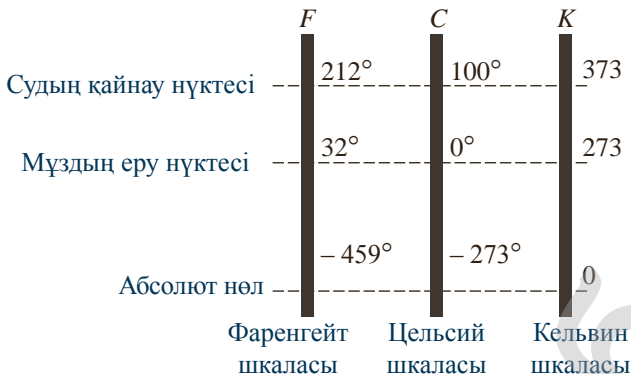
106-сурет. Пирометр

IV Температура шкалалары

Практикада Цельсий және Фаренгейт температура шкалалары кең қолданысқа ие болды. Жылулық құбылыстарды зерттеу мен сипаттау үшін Кельвин шкаласы пайдаланылады (107-сурет).

1742 жылы швед ғалымы А.Цельсий қалыпты атмосфералық қысымда мұздың еру және судың қайнау температуралары *реперлік нүктелер* болып табылатын

температура шкаласын ұсынды. *Реперлік нүктелер дегеніміз – өлшеуіш аспаптың шкаласын шектейтін нүктелер.* Қалыпты атмосфералық қысымда мұздың еру температурасы $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ деп, судың қайнауы $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ деп қабылданған. Реперлік нүктелер температурасының интервалдары теңдей 100 бөлікке бөлінген.



107-сурет. Термометрлер шкаласы

Фаренгейт шкаласы – мұздың еру температурасы $32\text{ }^{\circ}\text{F}$, судың қайнау температурасы $212\text{ }^{\circ}\text{F}$ болып табылатын, температуралар интервалы 180 бөлікке бөлінген температура шкаласы.

Шкаланы 1724 жылы неміс физигі Г.Фаренгейт ұсынған және қазіргі уақытта бірқатар елдерде қолданылады. Фаренгейт шкаласы бойынша бөлік құнының Цельсий шкаласы бойынша бөлік құнынан айырмашылығы бар:

$$1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1,8\text{ }^{\circ}\text{F}.$$

Кельвин немесе абсолют температура шкаласын 1848 жылы ағылшын физигі лорд Кельвин У.Томсон ұсынған. Ол реперлік нүкте ретінде суықтың шектік дәрежесі бар дененің молекулалардың ілгерілемелі қозғалысы толығымен тоқтайтын күйіне сәйкес келетін температураны тапқан. Осы күйге сәйкес келетін температураны ол *абсолют нөл* деп атаған.

Температураның абсолют нөлі – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысы толығымен тоқтайтын, Әлемдегі барлық физикалық денеде болатын температураның ең төменгі шегі.

Кельвин шкаласында теріс температура жоқ, 0 K – табиғаттағы ең төменгі температура. Қазіргі уақытта абсолют нөлден градустың тек бірнеше миллиондық



Маңызды ақпарат

$20\text{ }^{\circ}\text{C}$ температураны Фаренгейт градусында өрнектейік:

$$20\text{ }^{\circ}\text{C} = 32 + 1,8 \cdot 20 = 68\text{ }^{\circ}\text{F}.$$

Кері ауыстырсак:

$$68\text{ }^{\circ}\text{F} = \frac{68 - 32}{1,8} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}.$$



Есте сақтаңдар!

Фаренгейт шкаласы бойынша температура-ларды Цельсий шкаласына ауыстыру мына формула бойынша орындалады:

$$t\text{ }^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9}(t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$$

және керісінше

$$t\text{ }^{\circ}\text{F} = 32 + \frac{9}{5}t\text{ }^{\circ}\text{C}$$



Жауабы қандай?

Неліктен абсолют нөлге тең температураға жету мүмкін емес?

үлесіне ғана жоғары температуралар алынды. Кельвин шкаланың бөлік құнын Цельсий шкаласындағы градусқа тең етіп алған.

Кельвин мен Цельсий шкалалары бойынша температуралар мына қатынаспен байланысқан:

$$T = (273,16 + t)\text{К немесе } t = (T - 273,16)^\circ\text{C}$$

Жуық есептеулерде мына қатынасты қолдануға болады:

$$T = (273 + t)\text{К немесе } t = (T - 273)^\circ\text{C}.$$



Есте сақтаңдар!

1954 жылы халықаралық өлшемдер мен салмақтардың X Бас конференциясында Кельвин шкаласына екінші реперлік нүкте енгізілді, ол – судың үштік нүктесінің температурасы, оның мәні 273,16 К деп алынған. Үштік нүкте температурасы кезінде су қатты, сұйық және газ тәрізді күйлерде болуы мүмкін.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай параметрлерді микроскопиялық деп атайды? Макроскопиялық ше?
2. Қандай параметрлерді термодинамикалық деп атайды?
3. Температураның физикалық мәні неде?
4. Термометрлер құрылысы денелердің қандай қасиеттеріне негізделген?
5. Термометр түрлерін атаңдар.
6. Температураның абсолют нөлі деген ұғым қалай түсіндіріледі?

★ Жаттығу

18

1. Мына температура мәндерін Кельвинмен өрнектеңдер: 20 °C, 27 °C, -73 °C, 100 °C.
2. Мына температураларды Цельсиймен өрнектеңдер: 4 К, 200 К, 440 К, 300 К.
3. Фаренгейт шкаласы бойынша температура 84,2 °F, 80,6 °F, 71,6 °F-қа тең оны, Цельсий шкаласы бойынша анықтаңдар.
4. 30 °C; 25 °C; 20 °C температураларын Фаренгейт шкаласына ауыстырыңдар.

§ 19. Идеал газ. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- идеал газ моделін сипаттап; есептер шығаруда молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуін қолдана аласыңдар.

I Идеал газ

Газдарда болатын жылулық процестерді математикалық түрде сипаттау үшін *идеал газ* ұғымы енгізіледі.

Идеал газ – молекулалар арасындағы өзара әрекеттесудің потенциалдық энергиясын ескермеуге болатын, молекулалары арасындағы арақашықтық молекулалардың өлшемдерінен біршама үлкен болатын газдың физикалық моделі.

Естеріңе түсіріңдер!

Газдардағы қысым молекулалардың соқтығысуынан туындайды. ХБЖ-да қысым паскальмен өлшенеді. Ауданы 1 м^2 дененің бетіне 1 Н қысым күші әсер еткенде қысым 1 Па -ға тең.

Нақты сиретілген газдар идеал газ сияқты болады. Барлық газдар төменгі қысым мен жоғары температурада қасиеттері бойынша идеал газдарға жақын болады. Жоғары қысымдарда газ молекулалары өзара жақындайды, бұл жағдайда олардың өлшемдерін ескермеуге болмайды. Температура төмендеген кезде молекулалардың кинетикалық энергиясы азаяды, потенциалдық энергиямен салыстырмалы болады. Демек, жоғары қысым мен төменгі температурада газды идеал деп санауға болмайды.

Есте сақтаңдар!

Техникалық өлшеулер үшін 1 см^2 ауданда $9,80665 \text{ Н}$ күш туғызатын $1 \text{ ат} = 98066,5 \text{ Па}$ қысымға тең техникалық атмосфера 1 (ат) қабылданған.

II МКТ негізгі теңдеуі

Идеал газ қысымының молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясына тәуелділігін идеал газдың *МКТ негізгі теңдеуі* деп атайды.

Көлемі V ыдыста m_0 массалы N молекуладан тұратын идеал газ бар болсын делік (*108-сурет*).

Δt уақытқа созылатын бір молекуланың вертикаль қабырғаға соқтығысуы кезінде молекула жағынан Ньютон заңының негізінде дене импульсінің өзгерісіне тең $F_{к1} \Delta t$ күш импульсі әсер етеді. Импульстің перпендикуляр құраушысы қабырғаға қысым түсіреді, демек:

$$F_{к1} \Delta t = m_0 v_x - (-m_0 v_x) = 2m_0 v_x \quad (1)$$

Қысым күшінің орташа мәні молекула санына тәуелді. Қандай да бір t уақытта қабырғаға одан

$$I = \bar{v}_x t \quad (2)$$

қашықтықтағы молекулалар соғылады.

Ox осі бағытымен және оған қарама-қарсы қозғалатын бөлшектер саны тең, демек, қабырғадағы t уақытта N соққы тиеді, ол мынаған тең:

$$N = \frac{1}{2} n V = \frac{1}{2} n S l = \frac{1}{2} n S \bar{v}_x t, \quad (3)$$

Есте сақтаңдар!

Қысымды өлшеу үшін жүйелік емес бірліктер де қолданылады: сынап бағанының миллиметрі (торр), атмосфера: $1 \text{ мм сын. бағ.} \approx 133,3 \text{ Па}$, $1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$

мұндағы n – бірлік көлемдегі молекулалар саны; $Sl = V$ дегеніміз N молекуладан тұратын газдың көлемі.

t уақыт ішінде қабырғаға соғылатын молекулалардың күш импульсі:

$$Ft = N \cdot 2m_0\bar{v}_x = \frac{1}{2}nS\bar{v}_x t \cdot 2m_0\bar{v}_x = nm_0S\bar{v}_x^2 t, \quad (4)$$

мұндағы \bar{v}_x^2 – молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы.

Молекулалар қозғалысының барлық бағыттары өзара тең болғандықтан, теңдікті былай жазуға болады:

$$\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2.$$

$$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 \text{ өрнегін, жылдамдық модулінің}$$

оның координата осьтеріне проекцияларымен қатынасын ескерсек:

$$\bar{v}_x^2 = \frac{1}{3}\bar{v}^2. \quad (5)$$

(4) және (5) өрнектердің негізінде күш импульсі үшін қысым мынадай түрге келеді:

$$Ft = \frac{1}{3}nm_0S\bar{v}^2 t. \quad (6)$$

(6) теңдеудің екі жағын да St -ға бөлсек:

$$\frac{F}{S} = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2. \quad (7)$$

$p = \frac{F}{S}$ теңдігін ескеріп, (7) теңдеуді мына түрде жазамыз:

$$p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2. \quad (8)$$

Молекулалар концентрациясы газдың тығыздығымен $nm_0 = \rho$ қатынасымен байланысады, оны (8) формулаға қойсақ:

$$p = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2. \quad (9)$$

Егер молекулалардың орташа кинетикалық энергиясы $\bar{E} = \frac{m_0\bar{v}^2}{2}$ екенін ескерсек, онда (8) өрнек мына түрге келеді:

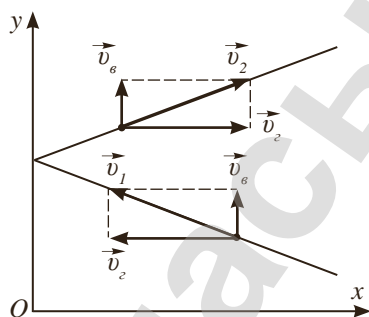
$$p = \frac{1}{3}nm_0\bar{v}^2 \cdot \frac{2}{2} = \frac{2}{3}n \frac{m_0\bar{v}^2}{2}$$

немесе

$$p = \frac{2}{3}n\bar{E}. \quad (10)$$

(8), (9) және (10) қатынастарды молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі деп атайды.

Молекулалық-кинетикалық теорияның негізгі теңдеуі макрокопиялық параметрлерді микроскопиялық параметрлермен байланыстырады.



108-сурет. Қабырғаға серпімді соғылу кезінде молекула импульсінің өзгеруі



Жауабы қандай?

1. МКТ негізгі теңдеуі неліктен тек идеал газ үшін ғана орындалады?
2. МКТ негізгі теңдеуін қорытқанда неліктен $1/3$, $1/2$ көбейткіштері пайда болады?
3. Неліктен МКТ негізгі теңдеуін микродүние мен макродүние арасындағы «көпір» деп атайды?



1-тапсырма

МКТ негізгі теңдеуіндегі шамалардың өлшем бірліктерімен жұмыс жасаңдар. Орындалған әрекеттер нәтижесінде барлық жағдайда Па алынатынын дәлелдендер.

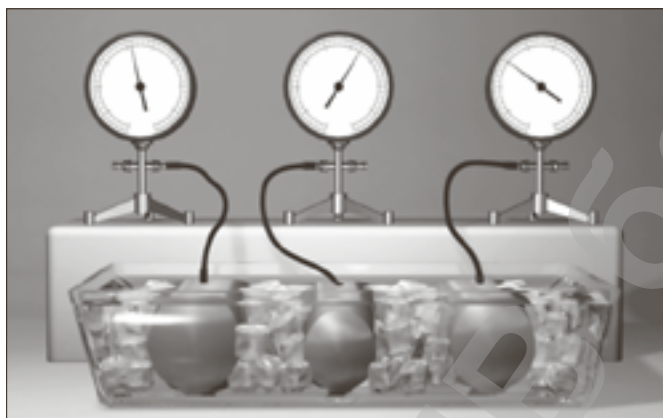
III Энергетикалық температура.

Больцман тұрақтысы

Тәжірибе барысында сутек, оттегі және гелиймен толтырылған көлемдері бірдей ыдыстар қалыпты атмосфералық қысымда еріп бара жатқан мұзға салынды (109-сурет). Ыдыстардағы молекулалар саны белгілі болатын. Жылулық тепе-теңдік орнаған соң,

$$\frac{pV}{N} \text{ қатынасы барлық газдар үшін тұрақты болды:}$$

$$\frac{pV}{N} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$



109-сурет. Баллондардағы газдардың күйін зерттеу

Ыдыстарды қайнаған суға салып, қайтадан осы шамалардың қатынасын анықтағанда, барлық газ үшін бұл қатынастың тағы да тұрақты екені белгілі болды:

$$\frac{pV}{N} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

$\frac{pV}{N}$ қатынасы θ деп белгіленді және θ шамасы энергетикалық температура деп аталды:

$$\frac{pV}{N} = \theta \quad (11)$$

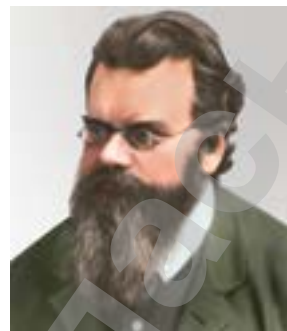
Энергетикалық температура және Кельвин шкаласы бойынша температура

$$\theta = kT \quad (12)$$

қатынасымен байланысқан, мұндағы k – *Больцман тұрақтысы* деп аталатын пропорционалдық коэффициенті. k мәнін есептейік:

$$\theta_{100} - \theta_0 = k(T_2 - T_1) \quad (13)$$

$$k = \frac{\theta_{100} - \theta_0}{T_2 - T_1} = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$



Людвиг Больцман (1844–1906) – аустриялық физик-теоретик, статистикалық механика мен МКТ негізін салушы. Аустриялық ғылым академиясының мүшесі.



Жауабы қандай?

Неліктен энергетикалық температура практикалық қолданысқа ие болмады?



Есте сақтаңдар!

Больцман тұрақтысы джоульмен өрнектелген энергетикалық температураны Кельвинмен өлшенетін температурамен байланыстырады: $\theta = kT$.

IV Температура – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі

Дене температурасы молекулалар қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы мен қозғалыс жылдамдығына тәуелді.

МКТ негізгі теңдеуін пайдаланып, мына шамалардың қатынасын аламыз:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}. \quad (14)$$

Анықтама бойынша зат молекуласының концентрациясы мынаған тең:

$$n = \frac{N}{V}. \quad (15)$$

(14) пен (15) формулалардан:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E} = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E} \quad (16)$$

екенін аламыз. (16) өрнекті түрлендірсек:

$$\frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}. \quad (17)$$

(11) мен (12)-ден мынадай өрнек аламыз:

$$\frac{pV}{N} = kT. \quad (18)$$

(17) мен (18) теңдеулердің оң жақтарын теңестіріп, мынадай өрнек аламыз:

$$\frac{2}{3} \bar{E} = kT$$

немесе
$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT. \quad (19)$$

(19) формуладан молекулалардың бейберекет қозғалысының орташа кинетикалық энергиясы мен абсолют температура арасындағы тәуелділік тура пропорционал екені шығады.

Температура – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі.



2-тапсырма

- 300 К температурадағы азот, сутек, су буы молекулаларының қозғалыс жылдамдығын анықтаңдар.



Жауабы қандай?

- Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы мен дене температурасы арасында қандай тәуелділік бар?
- Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы 1,2 есе артқанда дене температурасы неше есе артады?
- Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы 20 % артқанда дене температурасы неше процентке көтеріледі?

VI Молекулалар қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығы және дене температурасы

$\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$ және $\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ теңдеулерінің оң жақтарын теңестіріп, молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығын есептеу формуласын аламыз:

$$\frac{m_0 \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} kT,$$

бұдан шығатыны:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}. \quad (20)$$

Алынған формуладағы түбір астындағы өрнекті Авогадро санына көбейтеміз және бөлеміз:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kTN_A}{m_0 N_A}},$$

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}. \quad (21)$$

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

? Жауабы қандай?

Негізінен бірдей қысымда және температурада барлық газдардың молекулаларының концентрациясы бірдей болады?

Бақылау сұрақтары

1. Идеал газ қандай қасиеттерге ие?
2. Қысымның өлшем бірлігін атаңдар.
3. МКТ негізгі теңдеуі қандай параметрлерді байланыстырады?
4. Больцман тұрақтысының физикалық мәні неде?

★ Жаттығу

19

1. Көлемі $V = 1$ л ыдыста массасы 2 г сутек бар. Сутек молекулаларының орташа квадраттық жылдамдығы $v = 400 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Сутек қысымын анықтаңдар.
2. Белгілі бір шарттарда сутек тығыздығы $\rho_1 = 0,09 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Осы шарт бойынша тығыздығы $\rho_2 = 0,72 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ болатын метанның мольдік массасын анықтаңдар.

3. Тығыздығы $\rho = 3,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ газдың температурасы $t = 17^\circ\text{C}$. Молекулалар массасы $m_0 = 6,6 \cdot 10^{-27}$ кг деп алып, газ қысымын анықтаңдар. Бұл қандай газ?
4. Көлемі $V = 13,8$ л ыдыста орналасқан қысымы $p = 100$ кПа идеал газдың $N = 2 \cdot 10^{22}$ молекуласының температурасын анықтаңдар.
5. $T = 300$ К температурадағы газдың тығыздығы $\rho = 1,2 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы $v = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Идеал газ молекуласының концентрациясын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

1. Таңдау бойынша А.Цельский, Г.Фаренгейт, У.Томсон, Л.Больцман ғалымдар туралы хабарлама дайындаңдар.
2. Сұйық және оған сәйкес реперлік нүктелерді таңдап алып, өздерің термометр шкаласын ойлап табыңдар. Оның температурасының мәнін Цельсийге ауыстыру формуласын анықтаңдар. Қай шкаласының көрсеткіші дәлірек болады деп ойлайсыңдар.

6-тараудың қорытындысы

Салыстырмалы молекулалық және мольдік масса	МКТ негізгі теңдеуі	Тұрақты шамалар
<p>Салыстырмалы молекулалық масса</p> $M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}}$ <p>Мольдік масса</p> $M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ $M = m_0 N_A$ $M = \frac{m}{\nu}$ <p>Газдар қоспасы үшін</p> $M = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n}$ <p>Молекула массасы</p> $m_0 = \frac{m}{N}$	$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$ $p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$ $p = \frac{2}{3} n \bar{E}$ $p = nkT$	<p>Больцман тұрақтысы</p> $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ <p>Авогадро саны</p> $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ <p>Универсал газ тұрақтысы</p> $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Зат мөлшері	Молекулалар қозғалысының кинетикалық энергиясы	Қалыпты жағдайлар
$\nu = \frac{N}{N_A}$ $\nu = \frac{m}{M}$	$\bar{E} = \frac{3}{2} kT$ $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$	$T = 273 \text{ К}, t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ $p = 101300 \text{ Па} = 760 \text{ мм сын. бағ.}$
Молекулалар саны	Молекулалардың орташа квадраттық жылдамдығы	Температура шкалалары арасындағы байланыс
$N = \frac{m}{M} N_A$ $N = \nu N_A$ $N = \frac{m}{m_0}$ $N = \frac{V}{V_0}$	$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$ $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$	<p>Кельвин және Цельсий</p> $T = (273 + t) \text{ К},$ $t = (T - 273) \text{ }^\circ\text{C}$ <p>Цельсий және Фаренгейт</p> $t^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (t^\circ\text{F} - 32)$ $t^\circ\text{F} = 32 + \frac{9}{5} t^\circ\text{C}$

МКТ негізгі қағидалары мен заңдары

МКТ үш қағидасы:

1. Барлық заттар бөлшектерден – араларында бос аралықтары бар молекулалар мен атомдардан тұрады.
2. Заттың бөлшектері үздіксіз және бейберекет қозғалыста болады.
3. Зат бөлшектері бір-бірімен өзара әрекеттеседі.

Глоссарий

Температураның абсолют нөлі – молекулалардың ілгерілемелі қозғалысы толығымен тоқтайтын, Әлемдегі барлық физикалық денеде болатын температураның ең төменгі шегі.

Идеал газ – молекулалар арасындағы өзара әрекеттесудің потенциалдық энергиясын ескермеуге болатын, молекулалары арасындағы арақашықтық молекулалардың өлшемдерінің біршама үлкен болатын газдың физикалық моделі.

Зат мөлшері – берілген денедегі молекулалар санының 0,012 кг көміртектегі атомдар санына қатынасына тең шама.

Макроскопиялық параметрлер – тұтастай термодинамикалық жүйелердің немесе денелердің қасиеттерін олардың ішкі құрылыстарын ескермей, тұтастай сипаттайтын шамалар.

Микроскопиялық параметрлер – молекулалық әлемді мысалы, молекулалардың жылдамдығын, оның массасын, энергиясын сипаттайтын шамалар.

Моль – 12 г көміртекте қанша атом болса, сонша молекуладан тұратын зат мөлшері.

Мольдік масса – бір моль мөлшерінде алынған заттың массасы.

Заттың салыстырмалы молекулалық массасы M_r – берілген зат молекуласы массасының көміртек атомы массасының 1/12 бөлігіне қатынасына тең шама.

Термодинамикалық параметрлер – дененің күйін сипаттайтын макроскопиялық шамалар: қысым, көлем, температура.

Термодинамикалық тепе-теңдік – тұйық денелер жүйесінің барлық макроскопиялық параметрлерінің ұзақ уақыт бойы өзгермей тұратын кездегі күйі.

Температура – макроскопиялық жүйенің термодинамикалық тепе-теңдік күйін сипаттайтын физикалық шама.

Термометр – зерттеліп отырған ортамен байланысу арқылы температураны өлшеуге арналған құрал.

ГАЗ ЗАҢДАРЫ

Газ заңдары тәжірибелік жолмен молекулалық-кинетикалық теория пайда болмастан бұрын анықталған. Бұл заңдар реал газдарды идеал газға жақындататын жағдайда – жоғары температура мен төменгі қысым кезінде жасалған тәжірибелер нәтижесінде ашылған. Жер атмосферасын құрайтын азот пен оттегі сияқты газдар қалыпты жағдайда идеал газдар ретінде қарастырылуы мүмкін.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- есептер шығаруда идеал газ күйінің теңдеуін қолдануды;
- тұрақты температура кезінде қысымның көлеміне тәуелділігін зерттеуді (Бойл–Мариотт заңы);
- тұрақты қысым кезінде газ көлемінің температураға тәуелділігін зерттеуді (Гей-Люссак заңы);
- тұрақты көлем кезінде қысымның температураға тәуелділігін зерттеуді (Шарль заңы);
- сандық және графиктік есептерді шығаруда газ заңдарын пайдалануды үйренесіңдер.

§ 20. Идеал газ күйінің теңдеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- есептер шығаруда идеал газ күйінің теңдеуін қолдана аласыңдар.



Есте сақтаңдар!

Универсал газ тұрақтысының мәні:

$$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}.$$



Бенуа Поль Эмиль Клапейрон (1799–1864) – француз физигі және инженер. 1834 жылы Бойль – Мариотт, Гей-Люссак және Авогадро заңдарын біріктіретін идеал газ күйі теңдеуін қорытып шығарған, оны 1874 жылы Д.И.Менделеев жалпылаған. Заттың балку және қайнау температураларымен қысым арасында байланыс орнататын теңдеуді қорытып шығарған. Ең алғаш термодинамикалық процесті pV -диаграммаға бейнелеп, термодинамикаға графикалық әдісті енгізді.

I Идеал газ күйінің теңдеуі

Газдың қандай да бір массасының күйі үш параметрдің мәнімен анықталады: қысым p , көлем V және температура T . Осы параметрлердің бірінің өзгеруі басқаларының да өзгеруіне алып келеді.

Термодинамикалық параметрлерді байланыстыратын теңдеуді газ күйінің теңдеуі деп атайды.

Газ күйі параметрлерінің қатынасын МКТ-нің негізгі теңдеуінен аламыз:

$$p = nkT. \quad (1)$$

(1) теңдеуге концентрацияны есептеу формуласын:

$$n = \frac{N}{V} \quad (2)$$

және зат мөлшері арқылы өрнектелген заттағы молекулалар санын:

$$N = \nu N_A, \quad (3)$$

қойып, мына өрнекті аламыз:

$$pV = \frac{m}{M} kN_A T. \quad (4)$$

Больцман тұрақтысының Авогадро санына көбейтіндісін универсал газ тұрақтысымен алмастырамыз:

$$R = kN_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{К} \cdot \text{моль}}. \quad (5)$$

(5)-ті ескеріп, (4) теңдеуді мына түрде жазамыз:

$$pV = \frac{m}{M} RT. \quad (6)$$

(6) теңдеу газ күйінің теңдеуі болып табылады, оны *Менделеев – Клапейрон теңдеуі* деп атайды.

II Газ күйінің теңдеуі мен біріккен газ заңы

Газ күйінің теңдеуі бір күйдің параметрлері арасындағы байланысты сипаттайды. Газ заңдары газ күйінің өзгерісін сипаттайды және газдың бастапқы және соңғы күйлерінің параметрлері арасында байланыс орнатады.

Қандай да бір газдың екі түрлі күйін қарастырайық. Бастапқы күй параметрлері: p_1, V_1, T_1, m_1 , соңғы күй параметрлері: p_2, V_2, T_2, m_2 . Бастапқы күй үшін газ күйінің теңдеуі мына түрде болады: $p_1 V_1 = \frac{m_1}{M} RT_1$.

Айнымалы шамаларды теңдеудің сол жағына ауыстырамыз. Сонда:

$$\frac{p_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{R}{M}. \quad (7)$$

Газдың соңғы күйі үшін шамалардың дәл осындай қатынасын жазамыз:

$$\frac{p_2 V_2}{m_2 T_2} = \frac{R}{M}. \quad (8)$$

(7) және (8) теңдеулердің сол жақ бөліктерін теңестіреміз:

$$\frac{p_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{p_2 V_2}{m_2 T_2} \quad (9)$$

немесе
$$\frac{pV}{mT} = const. \quad (10)$$

Алынған теңдеу біріккен газ заңының өрнегі болып табылады, онда термодинамикалық жүйеде болатын процестерді сипаттайтын барлық параметрлер біріктірілген.

Егер газдың бастапқы күйден соңғы күйге өтуі кезінде оның массасы өзгермесе: $m = const$, онда біріккен газ заңы мына түрге келеді:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (11)$$

немесе
$$\frac{pV}{T} = const. \quad (12)$$

Алынған (11) және (12) өрнектер біріккен газ заңы немесе француз физигі Бенуа Клапейронның құрметіне *Клапейрон теңдеуі* деп аталады. Ол 1834 жылы термодинамикалық параметрлердің бұл қатынасын эксперимент түрінде анықтады.

Берілген газ массасы үшін көлем мен қысым көбейтіндісінің абсолют температураға қатынасы – газ күйіне тәуелсіз тұрақты шама.

III Есептер шығаруда газ күйінің теңдеуі мен біріккен газ заңын қолдану

Термодинамикалық жүйенің күйін сипаттайтын белгісіз параметрді анықтау үшін тұрақтылардың мәні белгілі болған кезде Менделеев – Клапейронның күй теңдеуін (6) немесе Клапейрон теңдеуін (12) қолданады.

Егер зат мөлшері өзгермейтін жүйеде термодинамикалық процесс жүрсе, онда белгісіз параметрді



Жауабы қандай?

1. Клапейрон теңдеуін неге тек зат мөлшері өзгермейтін газдар үшін қолдануға болады?
2. Нөлiктен күй теңдеуі қысымының мәні аз және температурасы өте төмен емес газдар үшін қолданылады?
3. Күй теңдеуінің газ заңдарынан принциптік айырмашылығы неде?



1-тапсырма

- 6, 9, 11-формулалардан оларға кіретін барлық шамаларды өрнектеңдер. Математика курсынан қандай ережелерді қолдануларың қажет?



2-тапсырма

1. Параграфтың III бөлігін зерттеңдер. Есептер шығаруда газ күйінің теңдеуі мен біріккен газ заңдарын пайдалану бойынша жадынама құрастырып, оны дәптерлеріңе жазыңдар.
2. 1 моль сутек пен 1 моль оттектен тұратын қоспаның мольдік массасының осы газдың 0,5 моль сутек пен 1,5 моль оттектен тұратын қоспасының мольдік массасынан айырмашылығы болатынын дәлелдендер.

Клапейронның біріккен газ заңын (11) қолдану арқылы есептейді.

Егер жүйедегі газ кемісе немесе керісінше, газ артса, онда Менделеев – Клапейронның біріккен газ заңы теңдеуін (9) қолдану қажет.

Егер қандай да бір көлемде газдардың қоспасын жасаса, онда мольдік масса айнымалы шама болады. Бұл жағдайда есептер шығаруда мына теңдеу қолданылады:

$$\frac{p_1 V_1 M_1}{T_1 m_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{T_2 m_2}.$$

Бұл теңдеу Менделеев – Клапейронның газ күйі теңдеуінен алынады. Қоспалардың мольдік массасы мына формула бойынша анықталады:

$$M_{\text{қоспа}} = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n},$$

мұнда m_1, \dots, m_n – қоспаны құрайтын газдардың массасы ν_1, \dots, ν_n – қоспадағы газдың әр түрінің зат мөлшері, n – қоспа құрамына кіретін газ саны.

Жауабы қандай?

1. Газ қоспасының мольдік массасын неліктен қоспаны құрайтын газдардың мольдік массаларының арифметикалық ортасы ретінде анықтауға болмайды?
2. Неліктен күй теңдеуін пайдаланған кезде барлық шамаларды ХБЖ-да өрнектеу қажет, ал газ заңдарын пайдаланып есептеу кезінде физикалық шамалардың өлшем бірліктері, мысалы, көлем – литр, сәйкес келсе болғаны?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Поршень астындағы ыдыстағы массасы 10 г оттектің 10 °С температурадағы қысымы $p = 0,303$ МПа. Тұрақты қысымда қыздырылған оттектің көлемі 10 л-ге жетті. Оның V_1 бастапқы көлемі мен T_2 соңғы температурасын анықтаңдар.

<p>Берілгені: $m = 10$ г $p = 0,303$ МПа $t_1 = 10$ °С $V_2 = 10$ л</p>	<p>ХБЖ $10 \cdot 10^{-3}$ кг $0,303 \cdot 10^6$ Па 283 К $10 \cdot 10^{-3}$ м³</p>	<p>Шешуі: Менделеев – Клапейрон теңдеуінен $pV_1 = \frac{m}{M} RT_1$ бірінші күйдегі газ көлемін анықтайық: $V_1 = \frac{mRT_1}{Mp}$;</p> $V_1 = \frac{10 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 283 \text{ К}}{0,032 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot 0,303 \cdot 10^6 \text{ Па}} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$ <p>Менделеев – Клапейрон теңдеуінен газдың екінші күйі үшін соңғы температураны анықтайық:</p> $pV_2 = \frac{m}{M} RT_2, T_2 = \frac{pV_2 M}{Rm};$ $T_2 = \frac{0,303 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 0,032 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ кг}} \approx 1167 \text{ К}.$ <p>Жауабы: $V_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3; T_2 \approx 1167 \text{ К}.$</p>
<p>$V_1 = ?$ $T_2 = ?$</p>		

Бақылау сұрақтары

1. Қандай теңдеуді газ күйінің теңдеуі деп атайды?
2. Клапейрон алған термодинамикалық параметрлердің қатынасы қандай жағдайда орындалады?
3. Клапейрон біріккен газ заңы мен Менделеев – Клапейрон заңының айырмашылығы неде?
4. Газ күйі теңдеуінің газ заңынан негізгі айырмашылығы неде?
5. Клапейрон теңдеуінің орындалуын қандай тәжірибелік жолмен тексеруге болады?

**Жаттығу****20**

1. Қысымы $2,3 \cdot 10^5$ Па, көлемі $0,02$ м³, массасы 30 г аммиактың NH₃ температурасын анықтаңдар.
2. Қысымы $0,29$ МПа, сыйымдылығы 10 л баллонның температурасы 17 °С. Осы баллонда қанша зат мөлшері бар екенін анықтаңдар.
3. Температура 47 °С, атмосфералық қысым 10^5 Па болған кездегі оттек тығыздығын анықтаңдар.
4. Егер газ температурасы 300 К, қысымы $7,48 \cdot 10^5$ Па болса, оның $0,5$ м³ көлеміндегі молекулалар санын анықтаңдар.
5. Газдың көлемін 2 есе азайтқанда оның қысымы 120 кПа-ға артты, ал абсолют температурасы 10 %-ке өсті. Оның бастапқы қысымын анықтаңдар.
6. Баллондағы газ температурасы 15 °С. Егер газдың 40 %-і баллоннан шығып, температура осы кезде 8 °С-ге төмендесе, онда газ қысымы неше есе кемиді?

Шығармашылық тапсырма

«Сығылған және сиретілген газдарды техникада пайдалану» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 21. Изопроцестер. Изопроцестердің графиктері. Дальтон заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- тұрақты температура кезінде қысымның көлемге тәуелділігін (Бойль – Мариотт заңы) зерттей аласыңдар;
- тұрақты қысым кезінде газ көлемінің температураға тәуелділігін (Гей-Люссак заңы) зерттей аласыңдар;
- тұрақты көлем кезінде қысымның температураға тәуелділігін (Шарль заңы) зерттей аласыңдар;
- сандық және графиктік есептер шығаруда газ заңдарын пайдалана аласыңдар.

I Изопроцестер

Физика мен техникада изопроцестер кең қолданысқа ие болған.

Изопроцесс (грек. *isos* – бірдей, тең) – массасы өзгермейтін жүйе параметрлерінің бірінің мәні тұрақты болған кезде өтетін процесс.

Изопроцестердегі өзгеретін екі термодинамикалық параметр арасындағы тәуелділік теңдеуін *газ заңдары* деп аталады. Газ заңдарын Клапейронның біріккен газ заңының дербес жағдайлары ретінде қарастыруға болады:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}. \quad (1)$$

II Бойль – Мариотт заңы

Тұрақты температура кезінде газ қысымының оның көлеміне тәуелділігін анықтайтын газ заңы Бойль – Мариотт заңы деп аталады. Газ заңының теңдеуін тәжірибе жүзінде 1662 жылы ағылшын физигі Роберт Бойль және оған тәуелсіз 1676 жылы француз физигі Эдмон Мариотт ашты.

Бойль – Мариотт заңы изотермалық процесті сипаттайды. *Изотермалық процесс – тұрақты температурада термодинамикалық жүйе күйінің өзгеруі.*

Клапейрон теңдеуінен (1) $T = \text{const}$ газ үшін:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (2)$$

немесе

$$pV = \text{const}. \quad (3)$$



1-тапсырма

1. Клапейрон теңдеуін (1) мына үш жағдай үшін түрлендіріңдер:
 - 1) $T = \text{const}$;
 - 2) $p = \text{const}$;
 - 3) $V = \text{const}$.
2. Алынған нәтижелерді (2), (5), (7) формулалармен салыстырыңдар.
3. Өздерің жазған заңдар қалай аталатынын анықтаңдар.



Жауабы қандай?

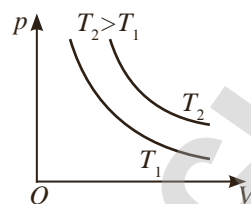
1. Шамалардың тура және кері тәуелділіктерін қандай белгілері арқылы ажыратасыздар?
2. Өздерің жазған заңдардың қайсысында шамалардың тәуелділігі тура, ал қайсысында – кері?
3. Математикада тура тәуелділік графигін қалай атайды?
4. Кері тәуелділік графигін қалай атайды?

Температураның тұрақты мәнінде берілген газ қысымы мен көлемінің көбейтіндісі тұрақты шама болып қалады.

(2) теңдеуден идеал газ қысымы оның көлеміне кері пропорционал екенін көреміз:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (4)$$

Мұндай тәуелділіктің графигі гиперболоа болады, оны *изотерма* деп атайды. 110-суретте әртүрлі температура мәндерінде болатын екі процестің изотермасы көрсетілген.



110-сурет. Изотермалар

III Гей-Люссак заңы

Изобаралық процесті сипаттайтын газ заңын *Гей-Люссак заңы* деп атайды. Француз физигі Жозеф Гей-Люссак 1802 жылы газ көлемінің температураға тәуелділігін эксперименттік түрде зерттеген.

Изобаралық процесс – тұрақты қысым кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

$p = \text{const}$ болғанда Клапейрон теңдеуінен шыға- тыны:

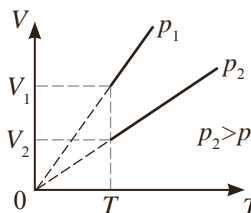
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (5) \quad \text{немесе} \quad \frac{V}{T} = \text{const}. \quad (6)$$

Газ массасы тұрақты және қысым өзгермейтін болса, оның көлемінің температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

(5) теңдеуден көлем температураға тура пропор-

ционал тәуелді екені шығады: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$. VT-диаграм-

масында тәуелділік графигі координаталар басы арқылы өтетін түзу сызық болып табылады (111-сурет). *Изобаралық процестің графигін изобара деп атайды. Идеал газдар үшін қолданылатын газ заңдары төменгі температураларда орындалмайды. Сондықтан VT-диаграммасында төменгі температурада кезінде график үзік сызықтармен бейнеленген.*



111-сурет. Изобаралар



2-тапсырма

110–112-суреттерде көрсетілген диаграммалар үшін мына шарттар орындалатынын дәлелдендер:

$$\begin{aligned} T_2 &> T_1; \\ p_2 &> p_1; \\ V_2 &> V_1. \end{aligned}$$

IV Шарль заңы

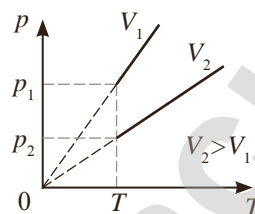
Тұрақты көлемде газ қысымының температураға тәуелділігін 1787 жылы француз ғалымы Жан Шарль эксперименттік түрде анықтады, бұл заң Шарль заңы деп аталды.

Изохоралық процесс дегеніміз – тұрақты көлем кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

$V = \text{const}$ болғанда Клапейрон теңдеуінен шығатыны:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad (7)$$

немесе
$$\frac{p}{T} = \text{const} . \quad (8)$$



112-сурет. Изохоралар

Газдың массасы тұрақты және көлемі өзгермейтін болса, оның қысымының температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

Қысым абсолют температураға тура пропорционал тәуелді: $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$. p қысымның T температураға тәуелділік графигі 112-суретте көрсетілген, ол *изохора* деп аталады.

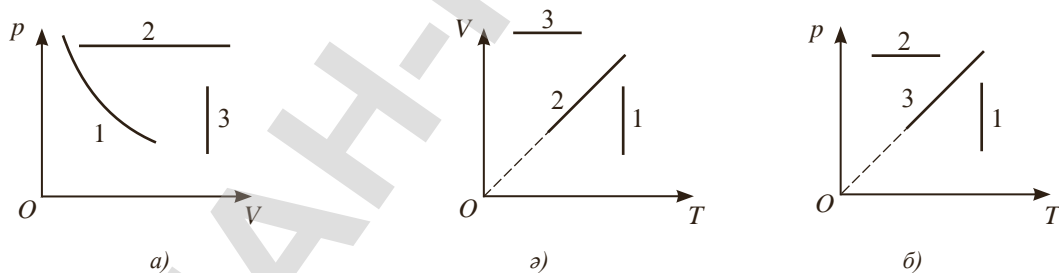


3-тапсырма

113, а, ә, б-суреттерде бейнеленген диаграммаларды қарастырыңдар. Әр диаграммада қандай процестердің графигі бейнеленген? Өз жауаптарыңды негіздендер.

V Изопроецестерді әртүрлі диаграммаларда графикалық түрде бейнелеу

113-суретте pV , VT және pT -диаграммаларында изотерма – 1, изобара – 2, изохора – 3 бейнеленген.

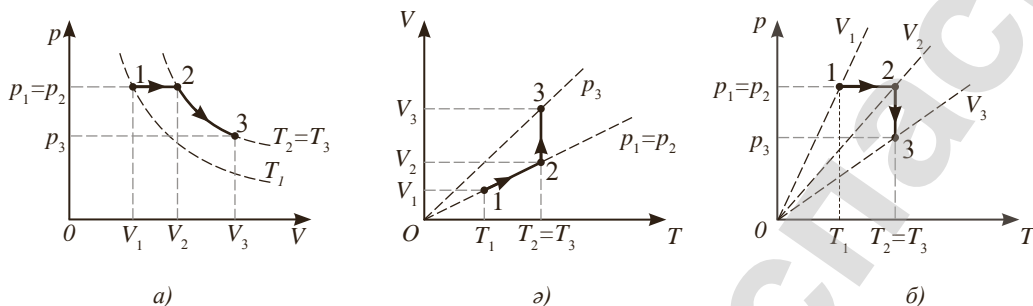


113-сурет. Изопроецестер диаграммасы

Диаграммадағы кез келген нүкте газ күйіне, ал сызық термодинамикалық процеске сәйкес келеді. pV -диаграммасында газдың үш күйін оларға сәйкес келетін $p_1 T_1 V_1, p_2 T_2 V_2, p_3 T_3 V_3$ параметрлерімен белгілейік (114, а-сурет). Бір күйден екіншісіне өту бағытын нұсқармен белгілейік. Диаграмманы қолдану ыңғайлы болу үшін қосымша сызық ретінде бірінші күйдегі газ температурасына T_1 тең температурада изотерма жүргізейік. Диаграммадан 1-күйден 2-күйге өту изобаралық түрде жүретіні көрініп тұр: $p_1 = p_2$, бұл кезде газ температурасы артады: $T_2 > T_1$, көлем артады, демек,

1-күйден 2-күйге өткенде, газ изобаралық түрде ұлғаяды. 2-күйден 3-күйге өткенде газ қысымы азаяды: $p_3 < p_2$, көлем артады, газ изотермалық түрде ұлғаяды.

Газдың 1-күйден 2-күйге өтуін, содан кейін 3-күйге өтуін VT -диаграммасында (114, а-сурет) және pT -диаграммасында (114, б-сурет) бейнелеуге болады.



114-сурет. Термодинамикалық процестердің әртүрлі диаграммада бейнеленуі: 1–2 изобаралық ұлғаю, 2–3 изотермалық ұлғаю

VI Дальтон заңы. Парциалдық қысым

Химиялық реакцияға түспейтін газдар қоспасы үшін ыдыстағы молекулалардың жалпы саны қоспа құрамына кіретін газ молекулаларының қосындысына тең:

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_n.$$

Мұндай газдарға мысал ретінде азот, оттегі, сутек және инертті газдарды келтіруге болады.

Теңдеуді ыдыстың көлеміне бөлейік:

$$n = n_1 + n_2 + \dots + n_n.$$

Газдардың концентрациясы үшін алынған теңдеуді $p = nkT$ газ күйінің теңдеуіне қоямыз:

$$p = (n_1 + n_2 + \dots + n_n)kT.$$

Жақшаларды ашсақ: $p = n_1kT + n_2kT + \dots + n_nkT$.

Бұл өрнектегі қосылғыштар қоспа құрамына кіретін газдардың қысымын береді, оларды *парциалдық қысым* деп атайды.



Есте сақтаңдар!

Атмосфералық қысым азоттың, оттектің, су буларының және ауадағы барлық қоспалардың қысымдарынан құралады.

Парциалдық қысым (лат. – *partialis* – бөлшектік) – қоспа температурасының мәнінде қоспа алып тұрған көлемге қоспа құрамына енетін бір газдың ие болған жағдайда алатын қысым.

Қоспаның қысымы парциалдық қысымдардың қосындысымен анықталады.

Парциалдық қысым берілген газдың қоспадағы үлесіне сәйкес келетін жалпы қысымның бөлігін құрайды.

Химиялық реакцияға түспейтін идеал газдардың қоспасының қысымы жекелеген әр газдың парциалдық қысымының қосындысына тең болады.

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n.$$

Бұл заңды 1809 жылы ағылшын ғалымы Джон Дальтон ашты, сондықтан оның құрметіне *Дальтон заңы* деп аталады.

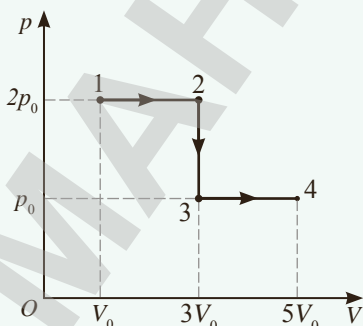
Бақылау сұрақтары

1. Изопроцесс дегеніміз не?
2. Қандай процесс изотермалық процесс деп атайды? Изобаралық процесс, изохоралық процесс дегеніміз не ?
3. Қандай заңдарды газ заңдары деп атайды?
4. Газ заңдарын тұжырымдаңдар.
5. Қандай қысым парциалдық қысым деп аталады?
6. Дальтон, Авогадро заңдарын тұжырымдаңдар.

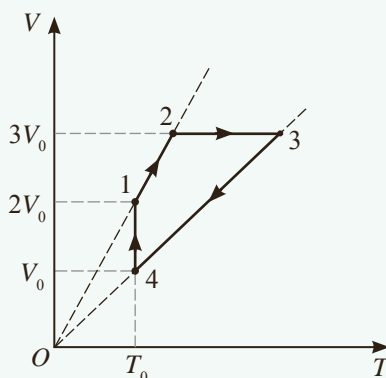
★ Жаттығу

21

1. 1 МПа қысымда 10 л ауасы бар ыдысты сыйымдылығы 4 л бос ыдыспен жалғайды. Ыдыстарда орнаған қысымды анықтаңдар. Процесс изотермалық болады.
2. 27 °С температурада газдың алатын көлемі 10 л. Оның көлемі бастапқы көлемінен 25 % кішіреу үшін оны қандай температураға дейін изобаралық түрде суыту керек?
3. $T = 280$ К температурада тығыз тығындалған бөтелкенің ішіндегі ауа қысымы $p = 100$ кПа. Егер суық бөтелкеден тығынды $F = 10$ Н күшпен жұлып алуға болатын болса, тығын ұшып шығуы үшін бөтелкені қандай температураға дейін қыздыру керек? Тығын қимасының ауданы $S = 4$ см².
4. pT және VT -диаграммаларында идеал газбен жүргізілетін процестерді (115-сурет) бейнелеңдер. Газдың температурасы 4-күйдегі 1-күйдегі температурасынан неше есе артық?
5. 116-суретте VT -координаталарында идеал газбен жүргізілетін циклдің диаграммасы берілген. Осы циклдің диаграммасын pV -координатасында бейнелеңдер. Осы циклдегі ең үлкен газ көлемінің ең кішісіне қатынасын анықтаңдар.



115-сурет. 4-есепке



116-сурет. 5-есепке

7-тараудың қорытындысы

Менделеев – Клапейронның күй теңдеуі	Клапейронның	Менделеев – Клапейронның
$pV = \frac{m}{M} RT$	Біріккен газ заңы	
Дальтон заңы	$m = \text{const}$ $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$	$\frac{p_1 V_1 M_1}{T_1 m_1} = \frac{p_2 V_2 M_2}{T_2 m_2}$
$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n$	$\frac{pV}{T} = \text{const}$	$\frac{pVM}{mT} = \text{const}$
Бойль – Мариоттың	Гей-Люссақтың	Шарльдің
Газ заңдары		
$m = \text{const}, T = \text{const}$	$m = \text{const}, p = \text{const}$	$m = \text{const}, V = \text{const}$
$p_1 V_1 = p_2 V_2$	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$	$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
$pV = \text{const}$	$\frac{V}{T} = \text{const}$	$\frac{p}{T} = \text{const}$

Заңдар

Бойль – Мариотт заңы: Температураның тұрақты мәнінде берілген газ қысымы мен көлемінің көбейтіндісі тұрақты шама болып қалады.

Гей-Люссак заңы: Газ массасы тұрақты және қысым өзгермейтін болса, оның көлемінің температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

Шарль заңы: Газдың массасы тұрақты және көлемі өзгермейтін болса, оның қысымының температураға қатынасы тұрақты шама болып қалады.

Клапейронның біріккен газ заңы: Берілген газ массасы үшін көлем мен қысым көбейтіндісінің абсолют температураға қатынасы – газ күйіне тәуелсіз тұрақты шама болады.

Дальтон заңы: Химиялық реакцияға түспейтін идеал газдардың қоспасының қысымы жеке-леген әр газдың парциалдық қысымының қосындысына тең болады.

Глоссарий

Газ заңы – изопроцестердегі өзгертін екі термодинамикалық параметр арасындағы тәуелділік теңдеуі.

Изопроцесс – массасы өзгермейтін жүйе параметрлерінің бірінің мәні тұрақты болған кезде өтетін процесс.

Изотермалық процесс – тұрақты температурада термодинамикалық жүйе күйінің өзгеруі.

Изобаралық процесс – тұрақты қысым кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

Изохоралық процесс – тұрақты көлем кезінде термодинамикалық жүйе күйінің өзгеру процесі.

Газ күйінің теңдеуі – термодинамикалық параметрлерді байланыстыратын теңдеу.

Парциалдық қысым – қоспа температурасының мәнінде қоспа алып тұрған көлемге қоспа құрамына енетін бір газдың ие болған жағдайда алатын қысым.

ТЕРМОДИНАМИКА НЕГІЗДЕРІ

Термодинамика денелердің жылу энергиясын машиненің механикалық энергиясына түрлендіру тәсілдері туралы эксперименттік ғылым ретінде пайда болған. Жылу мәшинелері қол еңбегін механикаландыруда негізгі рөл атқарып келеді.

Жылу алмасу адам өміріндегі негізгі процестердің бірі болғандықтан, термодинамика негіздері физиканың көптеген бөлімдерінде қарастырылады.

Термодинамика – механикалық және ішкі энергиялардың өзара түрленуін, ішкі энергияның бір денеден басқа денеге берілуін зерттейтін физика бөлімі.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- есептер шығаруда біратомды және екіатомды идеал газдың ішкі энергиясын есептеу формулаларын қолдануды;
- термодинамиканың бірінші заңын изопроцестер мен адиабаталық процестерге қолдануды;
- идеал жылулық қозғалтқыш үшін Карно циклін сипаттауды;
- есептер шығаруда жылулық қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентінің формуласын қолдануды үйренесіңдер.

§ 22. Идеал газдың ішкі энергиясы. Термодинамикалық жұмыс. Жылу мөлшері, жылусыйымдылық

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- есептер шығаруда біратомды және екіатомды идеал газдың ішкі энергиясының формулаларын пайдалана аласыңдар.

Естеріңе түсіріңдер!

Дененің ішкі энергиясын өзгертудің екі тәсілі (8-сыныптың физика курсынан): 1) механикалық жұмыс жасау; 2) жылу берілу. Жылу берілудің үш түрі: 1) жылуөткізгіштік; 2) конвекция; 3) сәулелену.

Жауабы қандай?

Осы параграфта берілген ішкі энергияны есептеу формуласы неліктен тек идеал газдар үшін қолданылады?

1-тапсырма

1. Ішкі энергияның екі түрлі тәсілмен өзгеруіне мысал келтіріңдер.
2. Жылу берілуінің әр түріне анықтама беріңдер, мысал келтіріңдер.

Ішкі энергия газ бір күйден басқа күйге өткен кездегі өту процесіне тәуелді емес, ол тек p , V , T күй параметрлеріне тәуелді.

Температура өзгерген кезде газдың ішкі энергиясы өзгереді, ішкі энергияның өзгерісі мынаған тең:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} (T_2 - T_1)$$

немесе

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T. \quad (6)$$

Ішкі энергия

МКТ бойынша дененің ішкі энергиясы – денені құрайтын бөлшектердің өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы мен олардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының қосындысы.

Ішкі энергия температура мен көлемнің функциясы $U(T, V)$ болып табылады, себебі бөлшек қозғалысының энергиясы дене температурасына тура пропорционал:

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT, \quad (1)$$

ал өзара әрекеттесудің потенциалдық энергиясы олардың арасындағы арақашықтыққа, демек, дене көлеміне тәуелді.

Қандай да бір көлемдегі идеал газдың ішкі энергиясын анықтайық. Идеал газдардың өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы ескермеуге болатындай өте аз, сондықтан дененің ішкі энергиясы оның барлық молекулаларының орташа кинетикалық энергиясының қосындысына тең:

$$U = N\bar{E} = \nu N_A \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \nu RT. \quad (2)$$

Зат мөлшерін массаның мольдік массаға қатынасымен алмастырсак:

$$\nu = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

біратомды идеал газдың ішкі энергиясын есептеу формуласын аламыз:

$$U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M} RT. \quad (4)$$

Менделеев – Клапейронның күй теңдеуін пайдалана отырып, біратомды газдың ішкі энергиясын қысым мен көлем арқылы өрнектейік:

$$U = \frac{3}{2} pV \quad (5)$$

Газдың ішкі энергиясының өзгерісі дене температурасының өзгерісіне тура пропорционал. Егер температура тұрақты болса, онда газдың ішкі энергиясы өзгермейді.

II Көпатомды газдардың ішкі энергиясы

Біратомды газдардың ішкі энергиясы $i = 3$ үш еркіндік дәрежесімен сипатталатын атомдардың жылулық қозғалысының кинетикалық энергиясымен анықталады, себебі кеңістік – үшөлшемді. (4) және (5) формулаларға еркіндік дәрежесінің белгілеуін енгіземіз:

$$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT \quad (7)$$

немесе
$$U = \frac{i}{2} pV, \quad (8)$$

мұндағы i – еркіндік дәрежесінің саны.

Екіатомды молекулалар өздерінің екі осінің бойымен айналады, сондықтан олар үшін еркіндік дәрежесінің саны 2-ге артады да, $i = 5$ болады. Үш және одан да көпатомды газдар үшін молекулалар ішіндегі атомдар тербелмелі қозғалыс жасайды. Мұндай атомдардың еркіндік дәрежесі $i = 6$.

III Ұлғаю кезіндегі газдың немесе будың жұмысы

Ұлғаю кезіндегі газ жұмысын анықтайық. Газ салмақсыз поршень астындағы ыдыста орналасқан делік. Қыздыру кезінде газ қысымы артады, поршень қысым сыртқы ортаның қысымына тең $p_1 = p_2$ (117-сурет) немесе $F = F'$ болғанға дейін орын ауыстырады. Әрі осы кезде қозғалатын молекулалардың ішкі энергиясы поршень қозғалысының механикалық энергиясына айналады.

Жұмыс – энергияның бір түрден басқа түрге түрленуінің өлшемі. Ұлғаю кезінде газдың атқаратын жұмысы:

$$A = F(h_2 - h_1) = pS(h_2 - h_1) \quad (9)$$

немесе:

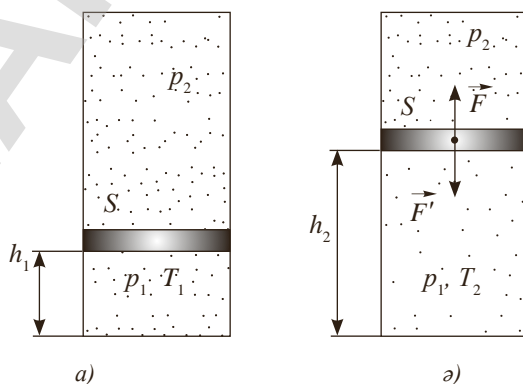
$$A = p\Delta V,$$

мұндағы p – газ қысымы, S – поршень ауданы, ΔV – поршень астындағы газ көлемінің өзгерісі.

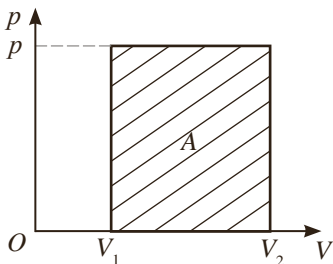
Сыртқы күштің жұмысы: $A' = -F'(h_2 - h_1) = -A$. Ұлғаю кезінде газдың жұмысы оң шама $A > 0$, сыртқы қысым күшінің жұмысы теріс шама болады $A' < 0$. Сығылған кезде газ жұмысы теріс шама, сыртқы күштердің жұмысы оң шама болады, осылайша:

$$A' = -A. \quad (10)$$

pV -диаграммасында (118-сурет) процесс графигімен, абцисса осімен және V_1 және V_2 нүктелерінде тұрғызылған перпендикулярлармен шектелген ауданның сандық мәні газ жұмысына тең.



117-сурет. Газ ұлғаю кезінде жұмыс атқарады



118-сурет. Диаграммадағы фигура ауданының сандық мәні газдың атқаратын жұмысына тең

IV Жылу мөлшері. Жылусыйымдылық

Жылу мөлшері Q – жылуберілу кезіндегі ішкі энергияның өзгеруінің сандық өлшемі. Ол джоульмен өлшенеді.

$$[Q] = 1 \text{ Дж.}$$

Қыздыру мен салқындау және заттың фазалық ауысуы кезіндегі жылу мөлшерін есептеу формулалары 8-сыныптағы физика курсынан таныс (8-кесте).

8-кесте. Жылу мөлшерін есептеу формулалары

Процесс	Формула
Қыздыру мен салқындау	$Q = cm(t_2 - t_1)$
Балқу	$Q = \lambda m$
Қатаю	$Q = -\lambda m$
Қайнау	$Q = r \cdot m$
Конденсация	$Q = -r \cdot m$
Отынның жануы	$Q = qm$

Қыздыру мен салқындау кезіндегі жылу мөлшерін есептеу үшін *заттың меншікті жылусыйымдылығы* енгізілген. Фазалық ауысу кезіндегі жылу мөлшерін анықтау үшін *заттың меншікті жылуы* қолданылады (9-кесте).

Дененің жылусыйымдылығын C_D қолдану қыздыру мен салқындау кезіндегі жылу мөлшерін есептеуді жеңілдетеді.

Дененің жылусыйымдылығы – массасы m дененің температурасы 1 К-ға өзгерген кезде алатын немесе беретін жылу мөлшері.

Дененің жылусыйымдылығы мен заттың меншікті жылусыйымдылығы мына қатынаспен байланысады:

$$C_D = cm. \quad (11)$$

Дененің жылусыйымдылығын қолданып, жылу мөлшерін есептеу формуласы мынадай түрде болады:

$$Q = C_D (t_2 - t_1). \quad (12)$$

Жауабы қандай?

1. Жылу мөлшері мен жұмыстың өлшем бірлігі ретінде неліктен джоуль алынған?
2. Сендерге энергияның жүйелік емес қандай өлшем бірлігі белгілі? Осы өлшем бірліктерінің джоульмен қатынасын көрсетіңдер.

Есте сақтаңдар!

1 кал \approx 4,19 Дж

Назар аударыңдар!

Формулалардағы теріс таңбасы энергия денеден басқа денелерге немесе қоршаған ортаға берілетінін білдіреді.

2-тапсырма

9-кестеде берілген шамаларға анықтама беріңдер.

Есте сақтаңдар!

Дененің жылусыйымдылығының өлшем бірлігі:

$$[C_D] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

9-кесте. Физикалық шамалар және олардың өлшем бірліктері

Физикалық шама	Белгіленуі	Өлшем бірлігі
Заттың меншікті жылу сыйымдылығы	c	$[c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$
Меншікті балқу жылуы	λ	$[\lambda] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Меншікті булану жылуы	r	$[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Отынның меншікті жану жылуы	q	$[q] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

V Жылулық баланс теңдеуі

Температураларының мәндері әртүрлі жылуокшауланған денелер жүйесінде жылу алмасу процесі жүреді. Процесс жүйеде жылулық тепе-теңдік орнағанға дейін жалғасады. Бұл жағдайда денелер жүйесі үшін жылулық баланс теңдеуі орындалады:

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0, \quad (13)$$

мұндағы n – жүйедегі денелер саны.

Жылу алмасу нәтижесінде дене энергия жұтатын болса, онда (9) теңдеудегі денеге берілетін жылу мөлшері оң, ал дене энергия бөлетін болса – жылу мөлшері теріс мәнде болады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Температурасы -20°C мұзға толығымен батырылған қыздырылған алюминий текшенің бастапқы температурасын анықтаңдар. Текшенің салқындауы кезіндегі көлемінің өзгерісін ескермеуге болады.

Берілгені:

$$t_1 = -20^\circ\text{C}$$

$$c_1 = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

$$\rho_1 = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho_2 = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$T_2 = ?$$

ХБЖ

$$T_1 = 253 \text{ К}$$

Шешуі:

Текше толығымен мұзға батуы үшін көлемі текше көлеміндей мұзды еріту қажет. Екі дене үшін жылулық баланс теңдеуін жазайық: $Q_1 + Q_2 = 0$, мұндағы Q_1 – мұздың 0°C -ге дейін қыздырылуы және балқуы кезінде алған жылу мөлшері, Q_2 – текшені 0°C -ге дейін салқындатқан кезде одан бөлінетін жылу мөлшері.

$$Q_1 = c_1 m_1 (T_{\text{балқ}} - T_1) + \lambda m;$$

$$Q_2 = c_2 m_2 (T_{\text{балқ}} - T_2), \quad m_1 = \rho_1 V, \quad m_2 = \rho_2 V$$

болғандықтан, мына өрнекті жазамыз:

$$c_1 \rho_1 V (T_{\text{балқ}} - T_1) + \lambda \rho_1 V + c_2 \rho_2 V (T_{\text{балқ}} - T_2) = 0.$$

Соңғы теңдеуден жақшаларды ашып, мынаны табамыз:

$$T_2 = \frac{c_1 \rho_1 (T_{\text{балқ}} - T_1) + \lambda \rho_1}{c_2 \rho_2} + T_{\text{балқ}}.$$

Есептеулер жүргізейік:

$$T_2 = \frac{2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} (273 - 253) \text{ К} + 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} + 273 \text{ К} = 303 \text{ К}.$$

Жауабы: 303 К.

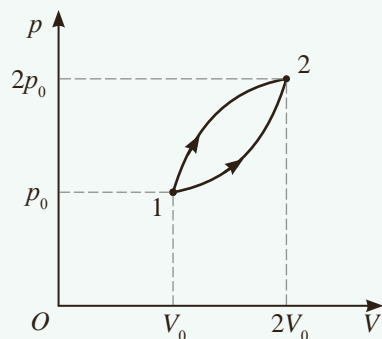
Бақылау сұрақтары

1. Ішкі энергия дегеніміз не? Ол қандай параметрлерге тәуелді?
2. Дененің немесе денелер жүйесінің ішкі энергиясын қандай тәсілдермен өзгертуге болады?
3. Жылуберілу түрлерін атаңдар. Оларға анықтама беріңдер.
4. Жылу мөлшері дегеніміз не? Сендерге жылу мөлшерін есептеудің қандай формулалары белгілі?
5. Дене жылусыйымдылығының заттың меншікті жылусыйымдылығынан айырмашылығы неде?
6. Атқарылған жұмыстың физикалық мағынасы қандай?

★ Жаттығу

22

1. 240 г оттекті 100 К-ге дейін суытқанда оның ішкі энергиясы қалай өзгереді?
2. Температурасы 27°C , мөлшері 5 моль біратомды идеал газдың ішкі энергиясын анықтаңдар.
3. Газдың ішкі энергиясының өзгерісі оның 1-күйден 2-күйге өту тәсіліне тәуелді ме (*119-сурет*)? Газ біратомды болса, 1 күйден 2-күйге өту кезіндегі ішкі энергияның өзгерісін анықтаңдар. $p_0 = 10^5$ Па, $V_0 = 2$ л.
4. Бастапқы температурасы $T = 300$ К, мөлшері 1 моль газ $A = 12,5 \cdot 10^3$ Дж жұмыс атқарып, изобаралық түрде ұлғаяды. Осы кезде газдың көлемі неше есе артады?
5. Массасы $m = 220$ г заттың қандай да бір мөлшерін $t_1 = 330^\circ\text{C}$ температураға дейін қыздырады және одан соң оны калориметрдің массасы $m = 90$ г алюминий ыдысына батырады. Ыдыста температурасы $t_2 = 11,5^\circ\text{C}$, массасы $m_3 = 150$ г су бар. Массасы $m_4 = 17$ г шыны термометрмен өлшенген соңғы температура $t_3 = 33,8^\circ\text{C}$. Бұл заттың меншікті жылусыйымдылығы қандай? Термометрдің бастапқы температурасы $t_4 = 20^\circ\text{C}$.



119-сурет. 3-есепке

§ 23. Термодинамиканың бірінші заңы. Термодинамиканың бірінші заңын изопроцестерге қолдану. Адиабаталық процесс, Пуассон теңдеуі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- термодинамиканың бірінші заңын изопроцестер мен адиабаталық процеске қолдана аласыңдар.

I Термодинамиканың бірінші заңы

Энергияның берілуінің екі тәсілін ескеріп, термодинамиканың бірінші заңын тұжырымдайық.

Бір күйден екінші күйге өткен кездегі дененің ішкі энергиясының өзгерісі ΔU сыртқы күштердің атқаратын жұмысы A' мен денеге берілген жылу мөлшерінің Q қосындысына тең.

$$\Delta U = A' + Q. \quad (1)$$

Термодинамиканың бірінші заңы жылулық процестер үшін энергияның сақталу және түрлену заңы болып табылады. Дененің ішкі энергиясының өзгеруін оның күйіне қарап байқауға болады. Дене температурасының артуы, оның майдалануы немесе шашырауы, балқуы, қайнауы, булануы, көлемінің ұлғаюы дененің ішкі энергияның артуын көрсетеді.

Егер бір немесе бірнеше дененің күйін өзгерту үшін энергия жұмсалса, онда олардың ішкі энергиясы артады.

Газдың жұмысы мен денемен атқарылған жұмыстың таңбалары қарама-қарсы:

$$A = -A'.$$

Соңғы арақатынасты пайдаланып, газдар үшін термодинамиканың бірінші заңын жазайық:

$$Q = A + \Delta U. \quad (2)$$

Газға берілген жылу мөлшері ішкі энергияның өзгерісіне және газдың жұмыс атқаруына жұмсалады.

Ұлғаю кезінде қатты денелердің көлемі аз ғана өзгертіндіктен, денеге берілген жылу мөлшері оның ішкі энергиясының өзгерісін анықтайды:

$$Q = \Delta U.$$

II Изохоралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы

Изохоралық процесс кезінде газ көлемі өзгермейді, демек, газ жұмыс атқармайды. Термодинамиканың бірінші заңы мынадай түрге келеді:

$$V = \text{const} \text{ болғанда } Q_V = \Delta U. \quad (3)$$

Табылған (3) өрнекке жылу мөлшерін және ішкі энергия өзгерісін есептеу формулаларын қоямыз:

$$Q_V = c_v m \Delta T,$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T,$$

онда $c_V m \Delta T = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T.$

Теңдеудің екі жағын $m \Delta T$ өрнегіне бөлеміз, сонда тұрақты көлем кезіндегі газдың меншікті жылу-сыйымдылығын есептеу формуласын аламыз:

$$c_V = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}. \quad (4)$$

Тұрақты көлем кезінде идеал газдың меншікті жылу-сыйымдылығы: біратомды газ үшін: $c_V = \frac{3}{2} \cdot \frac{R}{M}$, екіатомды газ үшін $c_V = \frac{5}{2} \cdot \frac{R}{M}$.

Термодинамиканың бірқатар есептерін шешу кезінде *заттың мольдік жылу-сыйымдылығын* пайдаланады, ол заттың меншікті жылу-сыйымдылығының мольдік массасына көбейтіндісіне тең. Тұрақты көлем кезіндегі газдың мольдік жылу-сыйымдылығы:

$$C_{MV} = c_V M = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M} \cdot M$$

$$C_M = \frac{i}{2} R. \quad (5)$$



Жауабы қандай?

1. Неліктен газдар үшін меншікті жылу-сыйымдылықтың бірнеше мәні енгізілген?
2. Газдың меншікті жылу-сыйымдылығы неліктен изохоралық процеске қарағанда изобаралық процесс кезінде көбірек болады?

Мольдік жылу-сыйымдылық – заттың бір молінің жылу-сыйымдылығы.

Өлшем бірлігі: $[C_M] = 1 \frac{Дж}{кг \cdot К} \cdot \frac{кг}{моль} = 1 \frac{Дж}{моль \cdot К}.$

III Изобаралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы

Изобаралық процесс кезінде алынған жылу мөлшері газдың ішкі энергиясының өзгерісіне және газдың жұмыс атқаруына жұмсалады:

$$Q = \Delta U + A. \quad (6)$$

Изобаралық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңына (6) жылу мөлшерін Q , ішкі энергияның өзгерісін ΔU және $A = p \Delta V = \frac{m}{M} R \Delta T$ жұмысты есептеу формулаларын қоямыз:

$$c_p m \Delta T = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} R \Delta T + \frac{m}{M} R \Delta T. \quad (7)$$

(7) теңдеуді $m \Delta T$ өрнегіне бөлеміз, сонда изобаралық процесс үшін газдың меншікті жылу-сыйымдылығын есептеу формуласын табамыз:

$$c_p = \frac{i}{2} \frac{R}{M} + \frac{R}{M} = c_V + \frac{R}{M} \text{ немесе } c_p = \frac{R}{M} \left(\frac{i}{2} + 1 \right).$$

Тұрақты қысым кезінде газдың мольдік жылу-сыйымдылығы:

$$C_{Mp} = R \left(\frac{i}{2} + 1 \right) \quad (8)$$

Изохоралық және изобаралық процестер кезіндегі газдың мольдік жылу сыйымдылықтары арасындағы байланысты неміс ғалымы Р.Майер тағайындады:

$$C_{Mp} = C_{MV} + R. \quad (9)$$

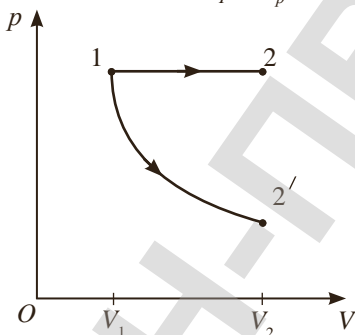
IV Изотермалық процесс үшін термодинамиканың бірінші заңы

Егер газ температурасы өзгермесе, оның ішкі энергиясы тұрақты шама болып қалады, онда термодинамиканың бірінші заңы мына түрге келеді:

$$Q_T = A. \quad (10)$$

Изотермалық процесс кезінде газдың қысымы мен көлемі өзгереді. Бұл газ жұмысын анықтауды қиындатады. Сапалық есептерде газ жұмысын pV -диаграммасындағы фигура ауданы бойынша анықтауға болады.

120-суретте екі процесс бейнеленген: $1 \rightarrow 2$ изобаралық ұлғаю және $1 \rightarrow 2'$ изотермалық ұлғаю. Қарастырылып отырған процестерде газ көлемі бірдей мәнге өзгерді: $\Delta V = V_2 - V_1$. Графиктерден көрініп тұрғандай, изотермалық процесс кезінде атқарылатын жұмыс изобаралық процесс кезінде атқарылатын жұмысқа қарағанда азырақ: $A_T < A_p$.



120-сурет. Изобаралық ұлғаю кезінде газдың жұмысы изотермалыққа қарағанда көп болады

V Адиабаталық процесс, Пуассон теңдеуі

Адиабаталық процесс жылуоқшауланған газдарда ғана орындалады.

Адиабаталық процес – термодинамикалық жүйеде қоршаған денелермен жылу алмасу болмаған жағдайда орындалатын процесс.

Температура артатын адиабаталық процеске ауа оттығында жанғыш заттың буымен бірге ауаның сығылуы немесе ДЖҚ цилиндрінде бензиндік

Бұл қызық!

Неміс дәрігері және табиғат зерттеушісі Р. Майер 1841 жылы голландиялық кемеде Ява аралына кеме дәрігері ретіндегі сапары кезінде жылу процестеріндегі энергияның сақталу заңын ашты.

Оның солтүстік және оңтүстік ендіктердегі емделушілердің күретамыр мен көктамырдағы қандарының түсін салыстыруы осы жаңалықты ашуға негіз болған.

Р.Майер тірі ағзаларда болатын процестерге энергияның сақталу заңын қолдануды қарастырған. Ол Жердегі күн энергиясының аккумуляторы өсімдіктер болып табылатынын, ал басқа ағзаларда оның түрленуі ғана орындалатынын айтқан.

Назар аударындар!

Универсал газ тұрақтысы тұрақты қысымда 1 моль газдың температурасын 1 К-ға арттыру үшін оның қандай жұмыс атқаруы керектігін көрсетеді.

Осыны дәлелдейік. Газ жұмысын есептеу формуласынан универсал газ тұрақтысын өрнектейік: $A = \nu R \Delta T$

$$\text{сонда: } R = \frac{A}{\nu \Delta T}.$$

$\nu = 1$ моль, $\Delta T = 1$ К болғанда, $R = A$.

Тапсырма

1. Табиғаттағы, техника мен тұрмыстағы изопрцестерге мысал келтіріңдер.
2. Барлық біратомды газдардың мольдік жылу сыйымдылығы бірдей және изохоралық процесс кезінде ең кіші мәнге ие болатынын дәлелдендер.

қоспаның сығылуы мысал бола алады. Су буынан тұратын ауаның адиабаталық ұлғаюы нәтижесінде бұлттар түзіледі.

Адиабаталық процесс үшін $Q = 0$, демек, термодинамиканың бірінші заңы мына түрге келеді:

$$\Delta U = A' \quad (11)$$

немесе $A = -\Delta U. \quad (12)$

Адиабаталық процесс кезінде сыртқы күштердің жұмысы газдың ішкі энергиясының артуына тең (11). Адиабаталық процесс кезінде газ жұмысы тек ішкі энергияның кемуі есебінен орындалады (12). Әрі осы кезде газ салқиндайды.

Бірдей мәнге ұлғайған кезде адиабаталық процес-тегі газдың жұмысы изотермалық процеспен салыстырғанда аз болады. Бұл қорытындыға 121-суреттегі pV -диаграммасынан көз жеткізуге болады.

Адиабаталық процесс үшін Пуассон тендеуі орындалады:

$$p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$$

немесе $pV^\gamma = const$

мұндағы $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$.

VI Мәңгі қозғалтқышты жасаудың мүмкін еместігі

Көптеген өнертапқыштар мәңгі қозғалтқыш жасап шығуға талпынды. Барлық талпыныстардың сәтсіз аяқталуы – термодинамиканың бірінші заңының орындалуының тәжірибе жүзіндегі дәлелдемесі. Термодинамиканың бірінші заңынан $A = Q - \Delta U$ екені шығады, демек, кез келген қозғалтқыш тек сырттан алынған Q энергияның немесе $Q = 0$ болғанда өзінің ішкі энергиясының кемуі $A = -\Delta U$ есебінен жұмыс атқарады.

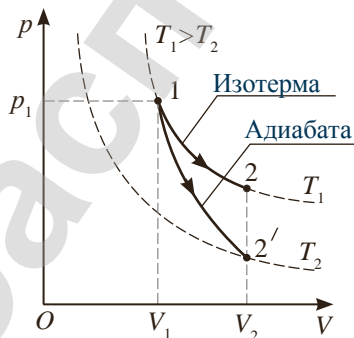
Бірінші ретті мәңгі қозғалтқыш – сырттан энергия алмай, шексіз ұзақ уақыт бойы жұмыс жасай алатын қиялдағы мәшине.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Поршень астында орналасқан цилиндрдегі біратомды идеал газды қыздырғанда газ 600 Дж жұмыс атқарады. Газға қанша жылу мөлшері берілді?

Есте сақтаңдар!

Егер процесс қоршаған орта газбен жылу алмасып үлгермейтін қысқа уақыт аралығында өтетін болса, онда оны адиабаталық деп санауға болады.



121-сурет. Адиабаталық процесс кезінде газдың жұмысы изотермалық процеске қарағанда аз болады

Жауабы қандай?

Неліктен мәңгі қозғалтқыш жасау мүмкін емес?

Берілгені:

$$i = 3$$

$$A = 600 \text{ Дж}$$

$$Q = ?$$

Шешуі:

Термодинамиканың I заңы формуласын жазайық: $Q = A + \Delta U$. (1)

Біратомды газдың ішкі энергиясы: $\Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} p \Delta V$. (2)

Газ жұмысы:

$$A = p \Delta V. \quad (3)$$

(1), (2) және (3) теңдеулерді қатар шешіп, мына өрнекті аламыз: $Q = \frac{3}{2} A + A = \frac{5}{2} A$.

Жұмыстың сандық мәнін қойып, есептеулер жүргіземіз: $Q = \frac{5}{2} \cdot 600 \text{ Дж} = 1500 \text{ Дж}$.

Жауабы: $Q = 1500 \text{ Дж}$.

Бақылау сұрақтары

1. Термодинамиканың бірінші заңын тұжырымдаңдар.
2. Изопроцестер үшін термодинамиканың бірінші заңын тұжырымдаңдар.
3. Қандай процесс кезінде газдың жылусыйымдылығы көбірек?
4. Газдың изохоралық және изобаралық процестер кезіндегі жылусыйымдылықтары арасында қандай байланыс бар? Олардың байланысын кім анықтады?
5. Мольдік жылусыйымдылық деген не? Ол қандай өлшем бірлігімен өлшенеді?
6. Универсал газ тұрақтысының физикалық мағынасы қандай?
7. Адиабаталық процесс қандай жағдайда орындалады?



Жаттығу

23

1. 800 моль газды 500 К-ге изобаралық қыздыру үшін 9,4 МДж жылу берілді. Газдың жұмысын және ішкі энергияның өзгерісін анықтаңдар.
2. Жабьқ ыдыста $T = 300 \text{ К}$ температурада 4 моль аргон бар. Егер газға $Q = 900 \text{ Дж}$ жылу мөлшері берілсе, ыдыстағы қысым неше процентке артады?
3. 1 кмоль гелий изобаралық ұлғаяды. Газ температурасы $\Delta T = 30 \text{ К}$ -ге артады. Газдың ішкі энергиясының өзгерісін, оның атқарған жұмысын және газға берілген жылу мөлшерін анықтаңдар.
4. Газды $T_1 = 280 \text{ К}$ температурадан $T_2 = 340 \text{ К}$ температураға дейін изобаралық қыздыру кезінде $Q = 5 \text{ кДж}$ жылу мөлшері, изохоралық қыздыру кезінде $Q = 3,56 \text{ кДж}$ жылу мөлшері қажет болды. Температурасы 288 К, қысымы $p = 19,6 \text{ кПа}$ газ көлемін анықтаңдар.
5. Адиабаталық ұлғаю кезінде газ $A = 400 \text{ Дж}$ жұмыс жасады. Оның ішкі энергиясы қалай және қаншаға өзгерді?

Шығармашылық тапсырма

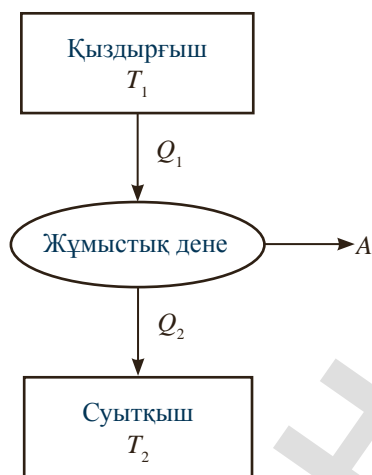
Ғалымдар туралы хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):
Р.Майер, Д.Джоуль, Г.Гельмгольц.

§ 24. Қайтымды және қайтымсыз процестер. Энтропия. Термодинамиканың екінші заңы. Айналмалы процесс және оның пайдалы әсер коэффициенті, Карно циклі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- идеал жылулық қозғалтқыш үшін Карно циклін сипаттай аласыңдар;
- есептер шығаруда жылулық қозғалтқыштың пайдалы әсер коэффициентін есептеу формуласын пайдалана аласыңдар.



122-сурет. Жылу машинесінің принциптік сұлбасы

I Жылулық қозғалтқыштардың әрекет ету принципі

Кез келген жылулық қозғалтқыш үш бөліктен: қыздырғыштан, суытқыштан, ұлғаятын және сығылатын жұмыстық денеден (122-сурет) тұрады. Әдетте поршені бар ыдыстың ішіне толтырылған газ немесе бу жұмыстық дененің ролін атқарады. Техникалық міндет – жұмыстық дененің қыздырғышпен және суытқышпен жанасуына мүмкіндік беру. Қыздырғышпен жанасқан кезде жұмыстық дене ұлғаяды және жұмыс атқарады. Суытқышпен жанасқан кезде жұмыстық дене сығылады, поршень бастапқы орнына қайтып келеді, цикл қайта басталады: қыздырғыштан энергия алған жұмыстық дене ұлғаяды.

II Циклдік процесс.

Бір цикл кезіндегі газдың жұмысы

Екі изобара мен екі изохорадан тұратын айналмалы процесті қарастырайық (123-сурет).

Диаграммадан газ ұлғая отырып, сандық мәні $ABCD$ фигурасының ауданына тең болатын оң жұмыс атқаратынын $A_1 > 0$ көреміз. Сығылу кезінде газ жұмысы $A_2 < 0$ теріс мәнге ие, сандық мәні $AFKD$ фигурасының ауданына тең жұмыс атқарады. Демек, цикл ішінде газдың атқарған жұмысы циклдің барлық күйлерінің графиктерімен шектелген $BCKF$ фигурасының ауданына тең:

$$A = A_1 - A_2. \quad (1)$$

Айналмалы процесс немесе цикл – жүйе бірнеше аралық күйден өткен соң бастапқы күйіне қайтып келетін процесс.

III Жылу машиналары. Мәшиненің пайдалы әсер коэффициенті

Егер айналмалы процесс тура цикл бойынша жүретін болса: 1-күйден 3-күйге өтіп, одан соң сағат тілінің бағытымен бастапқы 1-күйіне қайтып келсе, онда мәшинені жылу машинесі деп атайды. Онда қыздырғыштан жұмыстық денеге берілген энергия механикалық энергияға айналады, жұмыс атқарылады.



1-тапсырма

Қосымша ақпарат көздерін пайдаланып, дизель мен ІЖҚ жұмыс циклдері қандай термодинамикалық процестерден тұратынын анықтаңдар.

Жылу мәшинесі – газдың немесе будың ішкі энергиясын механикалық энергияға айналдыруға арналған құрылғы.

Жылулық қозғалтқыштағы газ жұмысын анықтайық. Газ 1-күйден 3-күйге өткен кездегі ұлғаю процесі үшін термодинамиканың бірінші заңын жазайық:

$$Q_1 = (U_3 - U_1) + A_1, \quad (2)$$

және сығылу процесі үшін:

$$-Q_2 = (U_1 - U_3) - A_2. \quad (3)$$

(2) және (3) теңдеулерді қосып, мына өрнекті аламыз:

$$Q_1 - Q_2 = A_1 - A_2.$$

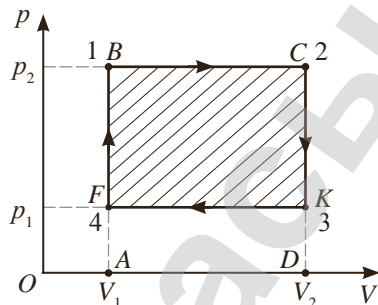
(1) арақатынасты ескерсек:

$$Q_1 - Q_2 = A \quad (4)$$

мұндағы Q_1 – қыздырғыштан газға берілген жылу мөлшері; Q_2 – газдан суытқышқа берілген жылу мөлшері.

Жылулық қозғалтқыштың ПӘК-і газ жұмысының қыздырғыштан берілген жылу мөлшеріне қатынасына тең:

$$\eta_{жс} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (5)$$



123-сурет. Екі изобара мен екі изохорадан тұратын циклдік процесің диаграммасы

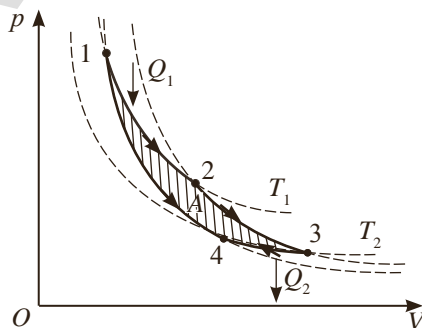
IV Карно циклі. Идеал жылу мәшинесі

Француз инженері Сади Карно 1824 жылы жылулық қозғалтқыштардың негізгі жұмыс істеу заңдылықтарын бекітті және ПӘК мәні максимал болатын циклді ұсынды. Карно циклі бойынша жұмыс істейтін мәшинені *идеал мәшине* деп атайды.

Карноның айналмалы процесі екі изотермадан және екі адиабатадан тұрады (124-сурет). 1→2 изотермалық ұлғаю кезінде қозғалтқыштың жұмыстық денесі T_1 температурасы тұрақты қыздырғыштан Q_1 жылу мөлшерін алады. 3→4 изотермалық сығылу кезінде жұмыстық дене T_2 температурасы тұрақты суытқышқа Q_2 жылу мөлшерін береді.

2→3 адиабаталық ұлғаю кезінде жұмыстық денеге энергия берілмейді. Жұмыстық дененің ішкі энергиясы есебінен жұмыс атқарылады, оның температурасы азаяды. 4→1 адиабаталық сығылу кезінде жұмыстық дененің ішкі энергиясы мен температурасы артады.

Өз есептеулерінде С.Карно идеал қозғалтқыштың ПӘК мәні 1 немесе 100 % болмайды деген қорытындыға келді, оның қыздырғыш пен суытқыштың температура-сымен анықталатын шегі бар:



124-сурет. Идеал мәшиненің циклдік процесің диаграммасы

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{немесе} \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}. \quad (6)$$

Алынған (6) теңдеуден жылулық қозғалтқыштардың пайдалы әсер коэффициентін арттырудың екі жолы бар екені шығады: қыздырғыштың T_1 температурасын арттыру немесе суытқыштың T_2 температурасын абсолют нөлге дейін төмендету. Жылулық қозғалтқыштар үшін ең ыңғайлы суытқыш атмосфералық ауа немесе су болып табылады. Жаз мезгілінде олардың температурасы шамамен 300 К болады. Қыздырғыш температурасын арттыру қозғалтқыш дайындалған заттың балқу температурасымен шектеледі. Көрсетілген температура шектеулерін ескеріп, идеал жылулық мәшиненің ПӘК есептеу қиын емес, ол шамамен, 70 %.

V Термодинамиканың екінші заңы. Қайтымды және қайтымсыз процесстер

$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$ формуласынан $\eta = 1$ болғанда $Q_2 = 0$ екендігі шығады. Бірақ мұндай шарттарда қозғалтқыш циклді қайталай алмайды. Идеал мәшинеден жұмыстық дене салқындап, бастапқы күйіне қайтып келуі үшін энергиясының бір бөлігін суытқышқа беруі керек. $Q_2 = 0$ болғанда қозғалтқыштар жұмысында термодинамиканың екінші заңы орындалмайды.

Циклдік әрекет ететін жылу мәшинесінде нәтижесі қыздырғыштан алынған барлық жылу мөлшерін механикалық жұмысқа айналдыру болатын процесс мүмкін емес.

Термодинамиканың екінші заңының мұндай тұжырымын Кельвин жасаған. Барлық жылу мөлшерін жұмысқа айналдыратын қиялдағы механизмді екінші ретті мәңгі қозғалтқыш деп атайды. Мұндай механизмнің болуы мүмкін емес.

Жылу температурасы жоғары денелерден температурасы төмен денелерге өздігінен беріледі.



Назар аударыңдар!

Кез келген энергия түрі: механикалық, химиялық, электр энергиясы кез келген басқа энергия түріне түрлене алады. Ішкі энергия ішінара ғана басқа энергияға түрленуі мүмкін. Дене молекулалары энергияны толығымен беріп, қозғалысты тоқтата алмайды.



Жауабы қандай?

1. Екінші ретті мәңгі қозғалтқыш жасау нәліктен мүмкін емес?
2. Өртүрлі энергия түрлерінің жылулық энергияға түрлену процесстері нәліктен қайтымсыз болып табылады?



2-тапсырма

Қайтымды және қайтымсыз термодинамикалық процесстерге мысал келтіріңдер.



Бұл қызық!

Барлық ыстық денелер энергияларын суық денелерге береді. Бүкіл әлемде энтропия артуда. Барлық температуралар теңескенде және энтропия максимумға жеткенде, әлемде тек молекулалардың ретсіз қозғалысының энергиясы қалады. Барлық процесстер тоқтайды. Ғаламның жылулық өлімі орнайды. Бұл мәселе XIX ғ. аяғында ғалымдарды қатты толғандырды.

Термодинамиканың екінші заңының физикалық мағынасы мынадай: молекулалардың жылулық қозғалысының энергиясы – механикалық және ядролық энергия, электр энергиясы сияқты басқа энергия түрлеріне карағанда толығымен басқа энергия түріне айнала алмайды.

Әртүрлі энергия түрлерінің жылулық энергияға түрленуі жүретін кез келген физикалық процесс қайтымсыз процесс болып табылады. Ол толығымен кері бағытта жүре алмайды. Термодинамикалық жүйе бастапқы күйіне қайтып келуі үшін энергетикалық шығындар, яғни, қоршаған ортада өзгеріс болуы қажет.

VI Энтропия

Термодинамикадағы процестердің мүмкін бағыттарын S энтропия арқылы анықтауға болады.

Энтропия – энергияның қайтымсыз шашырауының өлшемі болып табылатын физикалық шама.

Энтропияның өзгерісі жүйенің берген немесе алған жылу мөлшерінің процесс жүретін температураға қатынасымен анықталады:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

мұндағы ΔS – энтропияның өзгерісі; ΔQ – жылу мөлшері; T – процестің кельвинде берілген температурасы.

Энтропияның ХБЖ-дағы өлшем бірлігі: $1 \frac{Дж}{К}$.

Зерттеулер қайтымды процестер үшін энтропия тұрақты болатынын көрсетті, энтропияның өзгерісі нөлге тең. Қайтымсыз процестер үшін энтропияның өзгерісі нөлден жоғары, ол артады. Бұл табиғатта, нақты қайтымсыз процестерде барлық энергия түрлерінің ішкі энергияға түрленуі басым болатынын айқындайды. Оқшауланған термодинамикалық жүйелер абсолют орнықты тепе-теңдікке жету үшін энтропияның ең жоғарғы мәніне ұмтылады.

Бұл қызық!

Жер планетасы мен ондағы тірі және өлі табиғат ең күрделі өзіндік экожүйе болып табылады. Жер бетінде өмір сүруді қамтамасыз ету үшін энтропия мәні төмен болатын энергия көзі – күн сәулелері қажет. Ол биосфераның өмір сүру қарекетін, фотосинтез және басқа да биохимиялық және биофизикалық реакцияларды қоса алғандағы әртүрлі процестердің өтуін қамтамасыз етеді.

VII Суытқыш мәшинелер. Суытқыш мәшиненің пайдалы әсер коэффициенті

Кері, сағат тілінің бағытына қарама-қарсы бағытта тұйық цикл жасайтын құрылғыны *суытқыш мәшине* деп атайды. Суытқыш мәшинелерде сыртқы күштердің жұмысы есебінен жұмыстық дене суытқыштан Q_2 жылу мөлшерін алады және сыртқы күштер жасаған жұмыс шамасынан A' үлкен болатын Q_1 жылу мөлшерін қыздырғышқа береді: $Q_1 = Q_2 + A'$.

Суытқыш мәшиненің ПӘК-і:

$$\eta_c = \frac{Q_2}{A'}$$

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

немесе

мұндағы Q_2 – суытқыштан алынған жылу мөлшері, Q_1 – қыздырғышқа берілген жылу мөлшері, A' – сыртқы күштердің жұмысы.

$$\text{Идеал суытқыш мәшиненің ПӘК-і: } \eta_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2}.$$

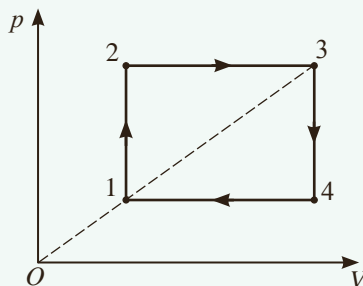
Бақылау сұрақтары

1. Қандай процесті айналмалы деп атайды?
2. Кез келген жылу мәшинесінің негізгі бөліктерін атаңдар.
3. Қандай мәшинелер тура цикл бойынша жұмыс жасайды? Қандай мәшинелер кері цикл бойынша жұмыс жасайды?
4. Қандай процесс Карно циклі деп аталған?
5. Термодинамиканың екінші заңын тұжырымдаңдар.
6. Энтропия қандай процестің өлшемі болып табылады?

★ Жаттығу

24

1. Жылу мәшинесі тұйық цикл бойынша жұмыс жасайды. Циклге берілген жылу мөлшері $Q_1 = 0,1$ МДж, суытқышқа берілгені $Q_2 = 80$ кДж. Цикл үшін пайдалы жұмыс пен жылу мәшинесінің ПӘК-ін анықтаңдар.
2. Автокөліктің ПӘК-і $\eta = 22\%$. Егер автокөлік қуаты $N = 22,5$ кВт болса, онда автокөлік қозғалтқышының жану камерасында секунд сайын қанша жылу мөлшері бөлінеді?
3. Егер циклдағы ең төменгі және ең жоғарғы температуралар бір-бірінен 3 есе өзгеше болса (*125-сурет*), циклдің ПӘК-ін анықтаңдар. Жұмыстық дене – біратомды идеал газ.
4. Егер қыздырғыш пен суытқыштың температуралары сәйкесінше $t_1 = 200$ °С және $t_2 = 17$ °С болса, жылу мәшинесінің ПӘК-ін анықтаңдар. Циклдің ПӘК-ін $n = 2$ есе арттыру үшін қыздырғыш температурасын неше есе арттыру қажет?
5. Идеал жылу мәшинесі бір циклде $A = 73,5$ кДж жұмыс жасайды. Қыздырғыштың температурасы $t_1 = 100$ °С, суытқыштың температурасы $t_2 = 0$ °С. Циклдің ПӘК-ін және бір циклде суытқышқа берілген жылу мөлшерін анықтаңдар.



125-сурет. 3-есепке

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. Жердің және Әлемнің энтропиясы.
2. Жылулық қозғалтқыштар және қоршаған ортаны қорғау.

8-тараудың қорытындысы

Ішкі энергия, ішкі энергияның өзгерісі	Газдың жұмысы	Жылу мөлшері
$U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{M} RT$ $U = \frac{i}{2} pV$ <p>$i = 3$ біратомды газ үшін $i = 5$ екіатомды газ үшін $i = 6$ көпатомды газ үшін</p> $\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T$	$A = p \Delta V$ $A = \frac{m}{M} R \Delta T$ <p>Сыртқы күштердің жұмысы мен газ жұмысының байланысы</p> $A' = -A$	<p>Қыздыру (салқындау) кезінде</p> $Q = cm(t_2 - t_1)$ $Q = C_D(t_2 - t_1)$ <p>Балқу (қатаю) кезінде</p> $Q = \pm \lambda m$ <p>Қайнау (конденсация) кезінде</p> $Q = \pm r m$ <p>Отын жанған кезде</p> $Q = qm$
Термодинамиканың I заңы	Мәшинелердің ПӘК-і	Жылусыйымдылығы, жылусыйымдылықтарының байланысы
$\Delta U = A' + Q$ $Q = A + \Delta U$ <p>Изохоралық процесс үшін</p> $Q_V = \Delta U$ <p>Изобаралық процесс үшін</p> $Q_p = A + \Delta U$ <p>Изотермалық процесс үшін</p> $Q_T = A$ <p>Адиабаталық процесс үшін</p> $Q = 0$ $\Delta U = A'$ $A = -\Delta U$	<p>Жылу мәшинесі</p> $\eta_{ж} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ <p>Идеал жылу мәшинесі</p> $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}; \quad \eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ <p>Суытқыш мәшине</p> $\eta_c = \frac{Q_2}{A'}; \quad \eta_c = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$ <p>Идеал суытқыш мәшине</p> $\eta_c = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$	<p>Дененің жылусыйымдылығы</p> $C_D = cm$ <p>Газдардың меншікті жылусыйымдылығы</p> $c_V = \frac{i}{2} \cdot \frac{R}{M}$ $c_p = \frac{R}{M} \left(\frac{i}{2} + 1 \right)$ $c_p = c_V + \frac{R}{M}$ <p>Газдардың мольдік жылусыйымдылығы</p> $C_{MV} = \frac{i}{2} R$ $C_{Mp} = R \left(\frac{i}{2} + 1 \right)$ $C_{Mp} = C_{MV} + R$
Жылуоқшауланған жүйелер үшін жылулық баланс теңдеуі		
$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$		

Термодинамика заңдары

Термодинамиканың бірінші заңы: Бір күйден екінші күйге өткен кездегі дененің ішкі энергиясының өзгерісі ΔU сыртқы күштердің атқаратын жұмысы A' мен денеге берілген жылу мөлшерінің Q қосындысына тең.

Термодинамиканың екінші заңы:

Кельвин тұжырымдамасы: Циклдік әрекет ететін жылу мәшинесінде нәтижесі қыздырғыштан алынған барлық жылу мөлшерін механикалық жұмысқа айналдыру болатын процесс мүмкін емес.

Клаузиус тұжырымдамасы: Жылу температурасы жоғары денелерден температурасы төмен денелерге жылу өздігінен беріледі.

Глоссарий

Адиабаталық процесс – термодинамикалық жүйеде қоршаған денелермен жылу алмасу болмаған жағдайда орындалатын процесс.

Бірінші ретті мәңгі қозғалтқыш – сырттан энергия алмай, шексіз ұзақ уақыт бойы жұмыс жасай алатын қиялдағы мәшине.

Екінші ретті мәңгі қозғалтқыш – барлық жылу мөлшерін жұмысқа айналдыратын қиялдағы мәшине.

Дененің ішкі энергиясы – денені құрайтын бөлшектердің өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы мен олардың жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының қосындысы.

Жылу мөлшері – жылуберілу кезіндегі ішкі энергияның өзгеруінің сандық өлшемі.

Айналмалы процесс немесе цикл – жүйе бірнеше аралық күйден өткен соң бастапқы күйіне қайтып келетін процесс.

Мольдік жылусыйымдылық – заттың бір молінің жылусыйымдылығы.

Дененің жылусыйымдылығы – массасы m дененің температурасы 1 К-ға өзгерген кезде оның алатын немесе беретін жылу мөлшері.

Жылу мәшинесі – газдың немесе будың ішкі энергиясын механикалық энергияға айналдыруға арналған құрылғы.

Термодинамика – механикалық және ішкі энергиялардың өзара түрленуімен, ішкі энергияның бір денеден басқа денеге берілуімен байланысты құбылыстарды зерттейтін физика бөлімі.

Универсал газ тұрақтысы – тұрақты қысымда 1 моль газ температурасын 1 К-ға арттыру үшін оның қандай жұмыс атқаруы керектігін көрсететін шама.

Энтропия – энергияның қайтымсыз шашырауының өлшемі болып табылатын физикалық шама.

СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ҚАТТЫ ДЕНЕЛЕР

Сұйық және қатты денелердің қасиеттері заттың ішкі құрылысына, бөлшектер арасындағы қашықтық пен олардың орналасу ретіне тәуелді.

Сұйық молекулаларының қатты дене молекулаларымен өзара әрекеттесу ерекшеліктеріне байланысты біз капиллярлық құбылыстарды, қатты денелерге сұйықтың жұғуын бақылаймыз. Құрылымындағы айырмашылық қатты денелердің серпімділік, иілгіштік, морттық, беріктік, қаттылық, аққыштық сияқты қасиеттерін түсіндіруге мүмкіндік береді.

Кебу нәтижесінде сұйықтар пен қатты денелердің бетінде қасиеттері сыртқы жағдайларға тәуелді булар түзіледі.

Осы тарауда біз сұйықтардың, қатты денелердің және олардың буларының кейбір қасиеттерін қарастырамыз.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- гигрометр мен психрометрдің көмегімен ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтауды;
- сұйықтың беттік керілу коэффициентін әртүрлі әдістермен анықтауды;
- әртүрлі қатты денелердің мысалдарында кристалл және аморфты денелердің құрылысын ажыратуды;
- серпімді деформация кезінде Юнг модулін анықтауды үйренесіңдер.

§ 25. Қаныққан және қанықпаған булар, ауаның ылғалдылығы. Фазалық диаграммалар. Үштік нүкте. Заттың кризистік күйі

Күтілетін нәтиже:

Параграфты оқып сендер:

- *гигрометр мен психрометрдің көмегімен ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтамай аласыңдар.*



Естеріңе түсіріңдер!

Заттың сұйық күйден газ тәріздес күйге өту процесін *булану* деп атайды. Конденсация – бұдың сұйыққа айналу процесі.



Жауабы қандай?

1. *Буландудың қандай екі әдісі бар? Оларға анықтама беріңдер.*
2. *Булану жылдамдығы қандай факторларға тәуелді?*
3. *Сұйық қандай жағдайда қайнайды?*

I Қаныққан және қанықпаған булар

Егер булану процесі тұрақты температурада жабық ыдыста өтетін болса, онда біршама уақыттан соң сұйық буының концентрациясының артуы тоқтайды. Кебу мен конденсация процестері арасында динамикалық тепе-теңдік орнайды.

Динамикалық тепе-теңдік – бірдей уақыт аралығында сұйықты тастап, молекулалар саны мен сұйыққа қайта оралатын молекулалар саны тең болатын термодинамикалық жүйенің күйі.

Өзінің сұйығымен динамикалық тепе-теңдікте болатын бұды қаныққан бу деп атайды.

Бу қысымы молекулалардың температурасы мен концентрациясына тәуелді:

$$p = nkT. \quad (1)$$

$T = \text{const}$ болғанда (1) теңдеуден бұдың қысымы тек молекулалар концентрациясына тәуелді болатынын көреміз.

Температура өзгерген жағдайда кезінде қысым екі параметр бойынша – молекулалардың температурасы және концентрациясымен анықталады.

Өзінің сұйығымен динамикалық тепе-теңдікте болмайтын бұды қанықпаған бу деп атайды.

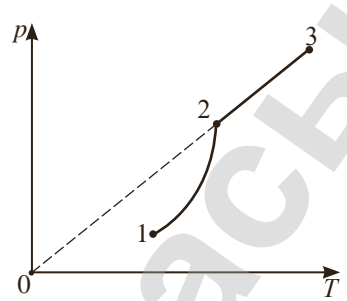
Егер сұйық бетіндегі бу қанықпаған болса, онда булану конденсациядан басым болады.

II Қаныққан булар үшін p , V , T термодинамикалық параметрлердің байланысы

Қаныққан бу сығылған кезде молекулалар концентрациясы артады, кебу және конденсация процестері арасындағы тепе-теңдік бұзылады: бұдың бір бөлігі сұйыққа айналады. Қаныққан бу қысымы оның температурасына сәйкес мәнді қабылдайды. Сұйық бетіндегі бу көлемі артқан кезде молекулалардың концентрациясы азаяды. Нәтижесінде берілген температурада қысым қаныққан бу қысымына теңескенше кебу конденсациядан басым болады.

Осылайша, қаныққан бу қысымы оның көлеміне тәуелді емес. Әртүрлі температура мәндеріндегі қаныққан бу қысымының мәні қосымшадағы 7-кестеде берілген.

Тәжірибелер тұрақты көлемде сұйық бетіндегі қаныққан бу қысымының температураға тәуелділігі сызықты емес екендігін көрсетеді. Тәуелділік графигі ыдыста сұйық біткенше квадраттық функция түрінде болады. 126-суретте бейнеленген графикте 1→2 ауысуы қаныққан бу қысымының температура мен концентрацияға тәуелділігіне сәйкес келеді. Бу 2-күйден 3-күйге өткен кезде (126-сурет) концентрация тұрақты шама болып қалады, себебі сұйық толығымен буға айналады, қысымның температураға тәуелділігі сызықты болады.



126-сурет. Қаныққан бу қысымының температура мен концентрацияға (1→2) тәуелділік графигі



1-тапсырма

1. Менделеев – Клапейронның күй теңдеуінің негізінде бу қысымы мен абсолют ылғалдылық арасында тура тәуелділік бар екенін дәлелдендер.
2. 20 °С температурада су буы қысымының абсолют ылғалдылыққа тәуелділік графигін бейнелеңдер.
3. Шық нүктесіне тең болатын температура кезінде атмосферадағы су буының конденсациялануына мысал келтіріңдер.

III Ауаның абсолют ылғалдылығы. Шық нүктесі

Бізді қоршаған ауада әрқашан су булары болады.

1 м³ ауада болатын су буының мөлшерін ауаның абсолют ылғалдылығы деп атайды.

Егер көлемі V ауада массасы m бу болса, онда ауаның әрбір бірлік көлеміндегі су буы мына формуламен анықталады:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (2)$$

мұндағы ρ – абсолют ылғалдылық.

Әдетте, ауа құрамындағы су булары қанықпаған булар болады.

Атмосфералық ауадағы су буы қаныққан буға айналатын температураны шық нүктесі деп атайды.

IV Салыстырмалы ылғалдылық

Судың кебу қарқындылығы салыстырмалы ылғалдылықпен сипатталатын су буларының қанығу деңгейіне тәуелді.



Жауабы қандай?

1. Қаныққан булардың қысымы тәуелді болатын параметрлерді атаңдар.
2. 126-суреттегі 2→3 ауысуы үшін неліктен Шарль заңы қолданылады?
3. Қаныққан газ үшін газ заңдарын қолдану неліктен қолайсыз?



Есте сақтаңдар!

Белгісіз бу параметрлерінің бірін анықтаған кезде, қаныққан бу үшін Менделеев – Клапейрон теңдеуін пайдалануға болады.



Есте сақтаңдар!

ХБЖ бойынша абсолют ылғалдылықтың өлшем бірлігі:

$$[\rho] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ең жиі қолданылатын өлшем бірлігі: $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы – берілген температурада ауаның абсолют ылғалдылығының 1 м^3 ауаны қанықтыру үшін қажетті бу мөлшеріне процент түрінде өрнектелген қатынасы.

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\kappa}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

мұндағы φ – салыстырмалы ылғалдылық, ρ – будың абсолют ылғалдылығы, ρ_{κ} – берілген температурадағы қаныққан будың абсолют ылғалдылығы.

Біз абсолют ылғалдылықтардың қатынасы қысымдар қатынасына тең екенін дәлелдедік, демек:

Берілген температурада ауа құрамындағы су буы қысымының осы температурадағы қаныққан су буы қысымының процентпен өрнектелген қатынасын ауаның салыстырмалы ылғалдылығы деп атайды.

$$\varphi = \frac{p}{p_{\kappa}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

мұндағы p – су буының қысымы, p_{κ} – осы температурадағы қаныққан бу қысымы.

V Конденсациялық гигрометр. Шық нүктесі арқылы ауаның ылғалдылығын анықтау

Ауа ылғалдылығын анықтауға арналған құралдарды гигрометрлер (грек. «гигрос» – ылғал) деп атайды.

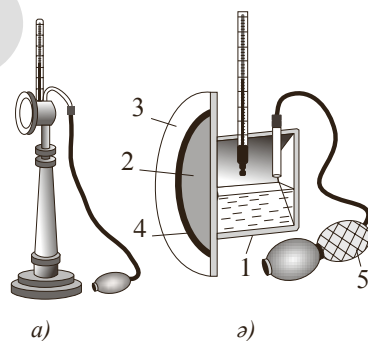
Конденсациялық гигрометр шық нүктесін анықтау үшін қолданылады. Ол штативке бекітілген металл камера (127, а-сурет) түрінде болады. Камерада екі тесік болады: бірі – термометр үшін, екіншісі – ауа үрлеу үшін (127, ә-сурет). Камераның алдыңғы қабырғасы (2) және сақиналық рама (3) айна бетіндей тегістелген. Рама мен камера бір-бірінен жылуоқшаулағыш материалмен (4) бөлінген. Камераны (1) эфирмен немесе спиртпен жартылай толтырып, сұйық бетіне резеңке бүріккіш құрал (5) көмегімен ауа үрлейді. Кебу барысында сұйық суып, қорапша қабырғаларында бу конденсацияланады. Қорапшаның тегістелген беті рама бетімен салыстырғанда күңгірттене түседі. Шық пайда болған сәттегі термометрдің көрсеткіші – шық нүктесі алынады.



Есте сақтаңдар!

1. Метеорологияда абсолют ылғалдылық деп ауаның құрамындағы су буының мм сын.бағ. арқылы өрнектелген қысымын айтады.
2. Су буының мольдік массасы:

$$M = 18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$



127-сурет. Конденсациялық гигрометр



2-тапсырма

1. Конденсациялық гигрометр мен психрометрді қолдану арқылы салыстырмалы ылғалдылықты анықтау алгоритмін құрастырыңдар.
2. Физика кабинетіндегі ауа ылғалдылығын анықтаңдар.

Шық нүктесі арқылы ғимараттағы ауа ылғалдылығын анықтайды. Ол үшін 7-кестедегі қаныққан бу тығыздықтарының кестесінен шық нүктесіне сәйкес келетін p абсолют ылғалдылық мәнін табады. Осы кесте бойынша қоршаған ортаның температурасындағы, қаныққан бу тығыздығын p_k анықтап, (3) формула бойынша салыстырмалы ылғалдылықты есептейді.

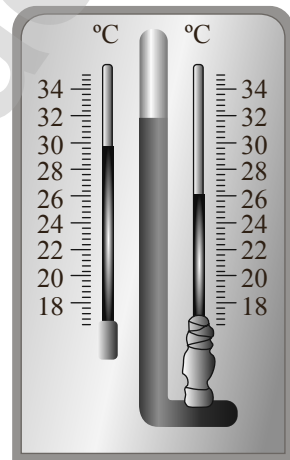
? Жауабы қандай?

Егер ауаның ылғалдылығы артатын болса, психрометрдің көрсеткіші қалай өзгереді?

VI Психрометр

Психрометр ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтау үшін қолданылады. Ол корпусқа бекітілген бірдей екі термометрден тұрады (128-сурет). Термометрлердің бірінің резервуары дәкемен оралып, суы бар ыдысқа салынған. Психрометрмен салыстырмалы ылғалдылықты анықтау үшін ауа температурасы мен құрғақ және ылғалды термометрлер көрсеткіші арасындағы температуралар айырмасын анықтайды.

Психрометрлік кестеден (қосымшадағы 9-кесте) ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтайды.



128-сурет. Психрометр

VII Сублимация. Десублимация. Үштік нүкте

Заттың қатты күйден сұйыққа айналмай, бірден газ тәріздес күйге өтуін сублимация деп атайды.

Сублимация энергияны жұту арқылы жүреді.

Оған кері процесс десублимация болады.

Үштік нүкте – заттың қатты, сұйық және газ тәріздес үш агрегаттық күйі де тепе-теңдікте болатын температура мен қысымның мәні.

? Жауабы қандай?

1. 129, 130-суреттерде қандай құбылыстар бейнеленген?
2. Неліктен қыста далаға ілінген киімдер кеуіп қалады?



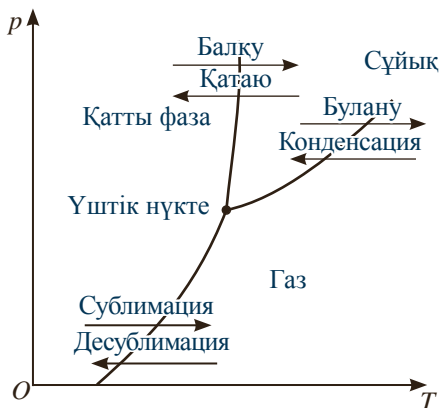
129-сурет. Бурабай көлі



130-сурет. Қарқаралы тауларындағы қысқы таң

Үштік нүкте – химиялық заттың сипаттамаларының бірі. Фазалық диаграммада бұл нүктеде балку, қайнау және сублимация фазалық өтулерінің сызықтары қиылысады (131-сурет).

Су үшін үштік нүктедегі температура 273,16 К, ал қысым 611,657 Па.



131-сурет. Фазалық өтудің диаграммасы

Естеріңізге түсіріңдер!

Сұйықтың тұтас көлемінде өтетін булану процесін қайнау деп атайды.

Жауабы қандай?

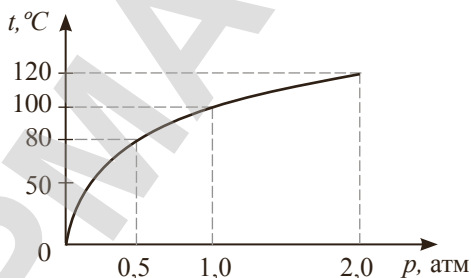
1. Неліктен қайнау алдында шу естіледі?
2. Сұйықтың бос бетіндегі қысым артқан кезде неліктен қайнау температурасы артады?
3. Суы қайнап жатқан ыдыстың ішінде қалқып жүрген екінші ыдыстағы су неліктен қайнамайды?

VIII Қайнау. Қайнау температурасының сыртқы қысымға тәуелділігі

Егер көпіршіктер ішіндегі қаныққан бу қысымы сыртқы қысымға тең болса немесе одан артық болса, сұйық ішіндегі көпіршіктер ұлғаяды және бетіне қалқып шығады. Қалыпты атмосфералық қысымда су булары 100 °С температурада қанығады.

Қаныққан бу қысымы сұйықтың бос бетіндегі сыртқы қысымға тең және сұйықтың барлық қабатының температурасы бірдей болғанда сұйық қайнайды.

Егер сұйық бетіндегі газдың қысымын азайтатын болсақ, сұйықтың қайнауы төмен температураларда орындалуы мүмкін. Газ қысымының артуы, керісінше, сұйықтың жоғары температураларда қайнауына алып келеді (132-сурет).



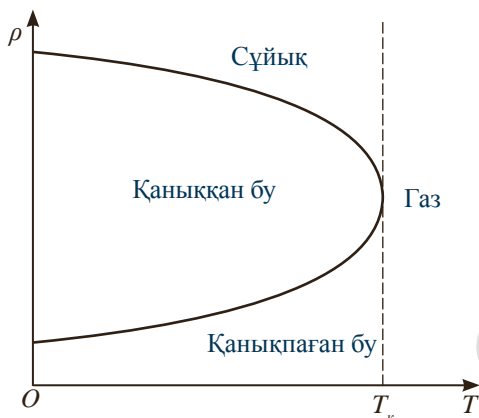
132-сурет. Сұйықтың қайнау температурасының сыртқы қысымға тәуелділік графигі

3-тапсырма

Сұйықтың төменгі және жоғарғы температураларда қайнауына мысал келтіріңдер.

IX Заттың кризистік күйі

Жабық ыдыста сұйықты қыздырғанда, сұйықтың тығыздығы азаяды, қаныққан будың тығыздығы артады (133-сурет). Қандай да бір мезетте сұйық пен бу тығыздығы теңеседі және екі күйді бөлетін шекара жоғалады. Зат кризистік күйде болады. Бұл күйде сұйықтың меншікті булану жылуы $r = 0$ болатын мәнді қабылдайды.



133-сурет. Кризистік температурадан жоғары температурада фазалық өту мүмкін емес

Сұйық пен оның қаныққан буының тығыздықтары мәндерінің арасындағы айырмашылық жоғалатын температураны осы заттың кризистік температурасы деп атайды.

Кризистік температуралардан жоғары температура-ларда зат тек газ тәріздес күйде болады, оны жай сығу арқылы сұйыққа айналдыру мүмкін емес. Егер зат температура-сы кризистік температурадан төмен болса, оны сығу арқылы сұйық күйге ауыстыруға болады.

Зат	Кризистік температура, $t, ^\circ\text{C}$
Су	374
Эфир	197
Хлор	146
Оттек	-118
Азот	-146
Сутек	-240
Гелий	-263



Жауабы қандай?

1. Неліктен Жерде оттектік және азоттық келдер жоқ?
2. Сұйық азотты қандай жағдайда алуға болады?



Есте сақтаңдар!

Заттың кризистік температурадан төмен температурадағы газ тәріздес күйін бу деп атайды.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай буды қаныққан бу деп атайды?
2. Сұйықтың қайнау температурасы сыртқы қысымға қалай тәуелді?
3. Қандай температураны кризистік температура деп атайды?
4. Газ бен бу ұғымдарының айырмашылығы неде?
5. Ауаның абсолют ылғалдылығы деп нені айтады? Оны қандай өлшем бірліктерімен өлшейді?
6. Қандай температураны шық нүктесі деп атайды?
7. Салыстырмалы ылғалдылық дегеніміз не?
8. Ауаның ылғалдылығын қандай құралдармен және қалай анықтайды?

1. Температурасы $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ қаныққан су буының тығыздығын анықтаңдар.
2. Бастапқы температурасы $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ қаныққан су буын сұйықтан бөліп алып, тұрақты көлемде $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ге дейін қыздырды. Бу қысымын анықтаңдар. Мұндай буды қалай атайды?
3. Су буының қысымы 8 кПа болса, $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура кезіндегі ауаның абсолют ылғалдылығын анықтаңдар.
4. Температурасы 300 К ауаның абсолют ылғалдылығы $12,9\text{ г/м}^3$. Ауаның салыстырмалы ылғалдылығын анықтаңдар.
5. Ыдыс аралықпен екіге бөлінген, бірінші бөліктің көлемі екіншіге қарағанда $n = 3$ есе үлкен. Бірінші бөлікте салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi_1 = 20\%$ ауа бар, екіншісіндегі ауаның салыстырмалы ылғалдылығы $\varphi_2 = 80\%$. Егер температураны өзгертпей, аралықты алып тастасақ, ыдыстағы салыстырмалы ауа ылғалдылығы қандай болады?

Эксперименттік тапсырма

2 бөлме термометрін пайдаланып, пәтер бөлмелеріндегі ауа ылғалдылығын анықтаңдар. Нәтижелерді салыстырыңдар.

Шығармашылық тапсырма

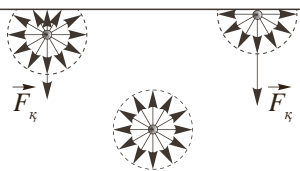
«Заманауи гигрометрлер» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 26. Сұйықтың беткі қабатының қасиеттері. Жұғу, капиллярлық құбылыстар

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- сұйықтың беттік керілу коэффициентін әртүрлі әдістермен анықтай аласыңдар.



134-сурет. Молекулалық қысым күші – қорытқы күш

Бұл қызық!

Сұйық көлемін азайту үшін молекулалық қысыммен салыстырмалы сыртқы қысымды тудыру қажет. Су үшін бұл қысым 2400 атм. құрайды. Мұндай қысымды техникалық түрде тудыру мүмкін емес, сұйықтар Жер жағдайында сығылмайды. Тынық мұхитының максимал тереңдігінде гидростатикалық қысым 1100 атм. шамасында болады. Суасты қайықтары түсетін шекті тереңдік 600 м-ден аспайды.



Жауабы қандай?

1. Неліктен сұйықтар сығылмайды?
2. Егер адам су бетіне жүзіп шықса, су шаштар неліктен бір-біріне жабысады, ал су астында бір-бірінен оңай ажыратылады?
3. Дымқыл құмнан жасалған шар су астында неліктен шашылып кетеді?

I Беткі қабаттың қасиеті.

Молекулалық қысым күштері

Сұйықтың әрбір молекуласы басқа молекулалармен радиусы 1 нм болатын молекулалық өзара әрекеттесу сферасы шегінде өзара әрекеттеседі. Сұйық түбіндегі молекулаларға әсер ететін күштердің геометриялық қосындысы нөлге тең (135-сурет). Сұйықтың бетінде орналасқан молекулалардың молекулалық өзара әрекеттесу сферасы өзара әрекеттесу күшін ескермеуге болатын ауа молекулаларымен жартылай толтырылған. Сұйықтың беткі қабаты молекулаларының өзара әрекеттесу күштерінің теңәсерлі күшін молекулалық қысым күші деп атайды.

Молекулалық қысым күші – сұйықтың беткі қабатының молекулаларына әсер ететін, оның бос бетіне перпендикуляр бағытталған қорытқы күш.

Беткі қабаттың қысым күші тек сұйық молекулаларына ғана әсер етеді.

II Беттік керілу күштері

Сұйықтың бос бетіне параллель болатын молекулалық өзара әрекеттесу күштерінің құраушылары беткі қабаттың молекулаларын жақындатуға тырысады. Осы күштердің әсерінің нәтижесінде беткі қабат керілу күйінде болады. Сұйық пен қатты дене шекарасында беттік керілу күштері қатты денеге оның бетіне перпендикуляр әсер етеді (135-сурет). Беттік керілу күштерінің әсерін қарапайым тәжірибелерден бақылауға болады. Сабын ерітіндісіне шеттеріне кермей байланған жібі бар сымнан жасалған сақинаны салайық. Сақина ішінде сабынды қабықша түзіледі, онда жіп еркін орналасады (135, а-сурет).

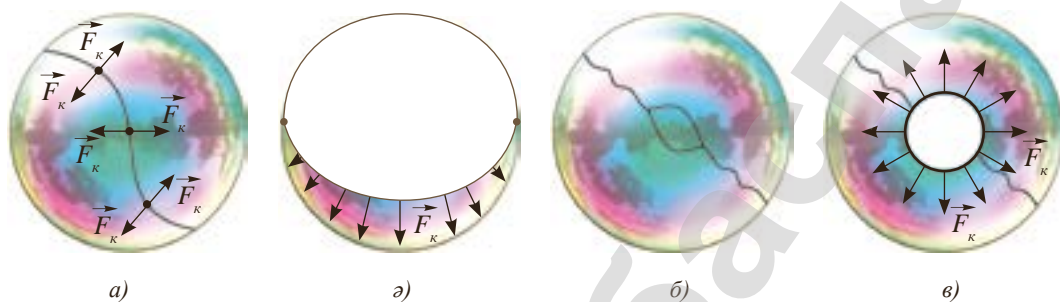
Жіптің екі жағынан әсер ететін беттік керілу күштері бір-бірін толықтырады. Жіптің бір жағынан қабықшаны тесеміз. Беттік керілу күшінің әсерінен қалған қабықша жіпті тарта отырып қысқарады, оған доға тәріздес пішін береді. (135, ә-сурет). Жіптен ілмек жасап, оны иекке байлап, тәжірибені қайталаймыз (135, б-сурет).

Ілмектің ішінен қабықшаны тесеміз, нәтижесінде беттік керілу күшінің әсерінен сабын қабықшасы қысқарып, оған сақина пішінін бере отырып ілмекті созады (135, в-сурет).

Өз тәжірибең

Сым сақинамен тәжірибе жүргізіндер (135-сурет).

Беттік керілу күштері – сұйықтың беттік қабатының ауданын кемітуге тырысатын және осы бетке жанама бойымен бағытталған беттік қабатының молекулаларының өзара әрекеттесу күштері.



135-сурет. Беттік керілу күшінің әрекетін бақылау

III Беттік керілу коэффициенті. Беттік керілу коэффициентін тамшыны үзіп алу әдісі бойынша анықтау

Беттік керілу құбылысын сандық түрде сипаттау үшін беттік керілу коэффициенті енгізілген.

Беттік керілу коэффициенті – беттік керілу күшінің сұйықтың беттік қабатының ұзындығына қатынасы.

Жауабы қандай?

Жүргізілген тәжірибеде екі ортаның шекарасы неліктен шеңбер доғасы немесе шеңбер болады? Ол қандай шарттарда мүмкін болады?

Беттік керілу коэффициентін σ (сигма) әрпімен белгілейді. Анықтама бойынша:

$$\sigma = \frac{F_k}{l}, \quad (1)$$

мұндағы l – беттік қабатының ұзындығы, F_k – керілу күші.

Диаметрі кіші түтікшеден үзілетін сұйық тамшысы үшін беттік қабат шекарасы радиусы түтікшенің ішкі радиусына тең шеңбердің ұзындығы болып табылады (136, а-сурет):

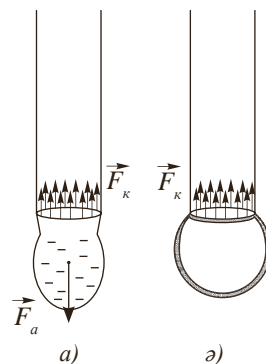
$$l = 2\pi r = \pi d. \quad (2)$$

Тамшы салмағы керілу күшіне тең болған кезде тамшы үзіледі:

$$P = F_k. \quad (3)$$

$$(1), (2), (3) \text{ формулалардан } \sigma = \frac{mg}{\pi d} \quad (4)$$

екені шығады.



136-сурет. Беттік қабаттың шекарасы түтіктің ішкі шеңберінің ұзындығы болып табылады

Түтікшеден сабын көпіршіктерін үрлеген кезде екі беттік қабықшалар түзіледі (136, ә-сурет), демек, сабынды көпіршік сыртқы күш беткі қабаттың екі шекарасында пайда болған беттік керілу күшіне тең болғанда түтікшеден үзіледі:

$$F_{\text{сыртқы}} = 2F_{\text{к}} \quad (5)$$

Беттік керілу коэффициенті сұйықтың тегіне, оның температурасына және құрамында қоспалардың болуына тәуелді. Температураны арттырған кезде және қоспалар бар кезде беттік керілу коэффициенті азаяды.

IV Сұйықтың беткі қабатының энергиясы

Молекулалардың төменгі қабаттардан беткі қабатқа көшуі молекулалық қысым күшін еңсеру үшін жасалатын жұмыспен байланысты. Жұмыс жасаған кезде молекулалардың кинетикалық энергиясы беткі қабаттың молекулаларының потенциалдық энергиясына айналады. Сұйықтың ауданын азайтқан кезде беткі қабаттың энергиясының есебінен жұмыс жасалады.

Жылжымалы бөгеті бар иілген сымды сабын ерітіндісіне салайық. Жиегінде екі беті бар қабықша түзіледі. Беттік керілу күшінің әсерінен қабықша қысқарады, қабықшаның потенциалдық энергиясы азаяды, жылжымалы бөгеттің орын ауыстыруы кезінде жұмыс жасалады (137-сурет). Беттік керілу күшінің жұмысы:

$$A = 2F_{\text{к}} h \quad (6)$$

мұндағы $F_{\text{к}} = \sigma L$. (7)

(7) теңдеуді (6) теңдеуге қоямыз, сонда:

$$A = 2\sigma Lh, \quad (8)$$

мұндағы $\Delta S_1 = Lh$ – бір қабаттың ауданының өзгеруі.

Екі беттік ауданның өзгеруін $\Delta S = 2\Delta S_1$ деп белгілейік. Осыны ескерсек, (8) формула мына түрге келеді:

$$A = \sigma \Delta S \quad (9)$$

бұдан: $\sigma = \frac{A}{\Delta S}$. (10)

Беттік керілу коэффициенті – сұйықтың бос беті бірлік ауданға азайған кездегі молекулалық күштердің жұмысына тең шама.



Есте сақтаңдар!

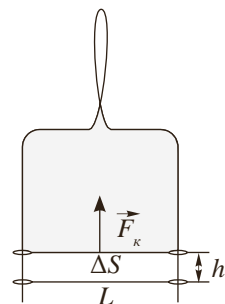
Беттік керілу коэффициентінің өлшем бірлігі:

$$[\sigma] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$



Өз тәжірибең

136-суретте бейнеленген тәжірибені жүргізіндер. Тәжірибе сапасына ерітіндінің температурасы мен оның концентрациясы қалай әсер ететінін анықтаңдар.



137-сурет. Беттік керілу күшінің әсерінен қабықша ауданының қысқаруы

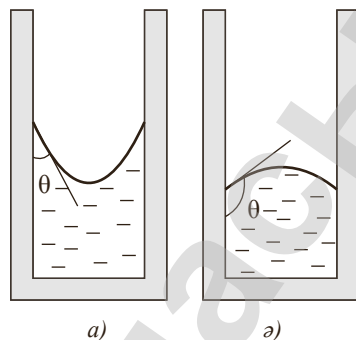
V Жұғу. Шеттік бұрыш

Сұйықтық қатты денелермен жанасу шекарасында орналасқан молекулалары сұйық молекулаларымен қатар, қатты дененің бөлшектерімен де өзара әрекеттеседі.

Егер қатты дене бөлшектерінің тартылыс күштері сұйық молекулалары арасындағы тартылыс күштерінен артық болса, онда сұйық денеге жұғады. Сұйықтың бос беті майысады да, ойыс пішінге ие болады (138, а-сурет).

Егер сұйық қатты денеге жұқпаса, онда сұйықтың бос беті дөңес пішінде болады (138, ә-сурет). Сұйықтың майысқан бос бетін мениск деп атайды.

Қатты дененің беті мен менисктің қатты денемен қиылысу нүктесіне жүргізілген жанама арасындағы бұрышты шеттік бұрыш θ деп атайды.



138-сурет. Капиллярдағы сұйықтың бос беті қисаяды

VI Капиллярлық құбылыстар

Сұйықтардың қатты денелердің беттеріне жұғуы немесе жұқпауы капиллярлық құбылыстың себебі болып табылады.

Капиллярлар – ішкі диаметрлері өте кіші түтікшелер.

Латын тілінен аударғанда «капиллус» – *шаш, қыл* дегенді білдіреді. Егер сұйық түтікшенің қабырғаларына жұғатын болса, капилляр түтікшедегі сұйық деңгейі ыдыстағы сұйық деңгейімен салыстырғанда жоғары болады. Капиллярдағы сұйық бағанына әсер ететін ауырлық күші беттік керілу күшіне тең болғанша сұйық көтеріле береді:

$$F_a = F_k, \quad (11)$$

мұндағы $F_a = mg = \rho Shg = \rho \pi r^2 hg, \quad (12)$

$$F_k = \sigma l = \sigma 2\pi r. \quad (13)$$

(12) және (13) формулаларды (11) формулаға қойсақ:

$$\rho \pi r^2 hg = \sigma 2\pi r,$$

бұдан:
$$h = \frac{2\sigma}{\rho gr} \quad (14)$$

немесе
$$h = \frac{4\sigma}{\rho gd}. \quad (15)$$



Өз тәжірибең

1. Шыны капилляр ішінде судың бос беті ойыс болатынына;
2. Диаметрі кішкентай түтікшеде беттің қисаюуы біршама көлемді көбірек болатынына көз жеткізіңдер. Бақыланған құбылысты МКТ негізінде түсіндіріңдер.



Жауабы қандай?

1. Сұйық құйылған ыдысқа салынған капилляр түтікшенің бос бетінің деңгейі неліктен ыдыстағы сұйықтың бос бетінің деңгейінен жоғары немесе төмен болады?
2. Үй салғанда неліктен іргетасты қабырғалардан капиллярлары болмайтын арнайы төсеммен оқшаулайды?



Тапсырма

Жұғу мен капиллярлық құбылыстардың қолданылуына мысал келтіріңдер.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай күштерді молекулалық қысым күштері деп атайды?
2. Қандай күштерді беттік керілу күштері деп атайды?
3. Сұйық пен қатты дене шекарасында беттік керілу күштері қалай бағытталған?
4. Қандай шаманы беттік керілу коэффициенті деп атайды? Оны қандай өлшем бірліктермен өлшейді?
5. Қандай құбылысты жұғу деп атайды? Қандай құбылыс капиллярлық құбылыс деп аталады?

★ Жаттығу

26

1. Ұзындығы $l = 4$ см сіріңке су бетінде қалқып жүр. Егер сіріңкенің бір шетіндегі суға майсана майын құятын болсақ, онда ол қозғалысқа түседі. Сіріңкеге әсер ететін күшті және оның бағытын анықтаңдар. Су мен майдың беттік керілу коэффициенттері сәйкесінше $\sigma_1 = 72$ мН/м және $\sigma_2 = 33$ мН/м.
2. Егер ұшының диаметрі $d = 0,4$ мм тамызғыштың көмегімен су массасын $m = 0,01$ г дейінгі дәлдікпен өлшеуге болатын болса, онда судың беттік керілу коэффициенті неге тең?
3. Радиусы $R = 4$ см сабын көпіршігін үрлеу үшін қандай жұмыс атқару қажет?
4. Каналдарының диаметрлері сәйкесінше $d = 1$ мм және $d = 2$ мм болатын екі капилляр ішіндегі сынап деңгейлерінің айырымын анықтаңдар.
5. Суға салынған диаметрлері әртүрлі екі капилляр түтікшенің деңгейлер айырымы $\Delta h_1 = 2,6$ см болды. Осы түтікшелерді спиртке салғанда деңгейлер айырымы $\Delta h = 1$ см болды. Егер судың беттік керілу коэффициенті $\sigma = 7,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м болса, онда спирттің беттік керілу коэффициентін анықтаңдар.

Эксперименттік тапсырма

Тәжірибелік жолмен сұйық сабын мен судың қандай қатынасында сабын көпіршіктерінің қабырғалары берік болатынын анықтаңдар. Капилляр түтікшенің көмегімен алынған ерітіндінің беттік керілу коэффициентін анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. Жуғыш заттар кір мен дақты қалай кетіреді?
2. Жеңіл және ауыр өнеркәсіпте капиллярларды қолдану.
3. Табиғаттағы капиллярлық құбылыстар.

§ 27. Кристалл және аморфты денелер. Қатты денелердің механикалық қасиеттері

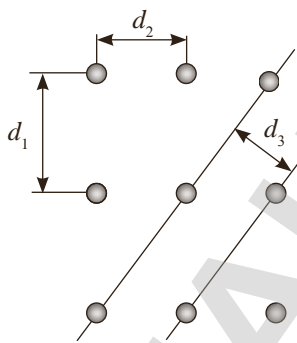
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- әртүрлі қатты денелердің мысалдарында кристалл және аморфты денелердің құрылысын ажырата аласыңдар;
- серпімді деформация кезінде Юнг модулін анықтай аласыңдар.

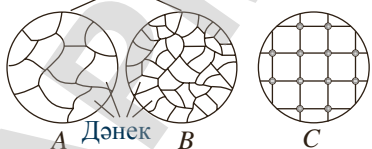


139-сурет. Сутас пен сұрғылттау кварцтың монокристалдары



140-сурет. Монокристалдар анизотропты

Поликристалл Монокристалл



141-сурет. Поликристалдардың құрылымы

I Кристалл және аморфты денелер. Қатты денелердің изотроптығы мен анизотроптығы

Әдетте, пішіні мен көлемін сақтайтын барлық денелер *қатты дене* деп аталады. Физикада бұл заттарды *кристалл және аморфты денелер* деп бөледі. Кристалл денелер *монокристалл және поликристалл* деп жіктеледі.

Аморфты денелердің кристаллдардан айырмашылығы – олардың белгілі бір балку температурасының болмауы. Физикада аморфты денелерді тұтқыр сұйық ретінде қарастырады. Аморфты денелерге балауызды, ермексазды, кәріптасты, (янтарь) әйнекті, қатқан шайырды жатқызуға болады. Аморфты денелердің кристалдық торы болмайды, олар изотропты.

Изотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелсіздігі.

Монокристал түріндегі кристалл денелер анизотропты болады.

Анизотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелділігі.

Табиғи жағдайларда кварц, топаз, алмас, сутас, графит геометриялық дұрыс пішінді монокристалдар (139-сурет) түзеді.

Кристаллдардың механикалық, жылулық, электрлік және оптикалық қасиеттерінің анизотроптығын зат бөлшектері арасындағы өзара әрекеттесу күштері кристалдық тордағы бағытты таңдауға тәуелді екеніне байланысты, оңай түсіндіруге болады. Әртүрлі бағыттарда олардың арасындағы арақашықтықтың айырмашылығы болады $d_1 > d_2 > d_3$ (140-сурет).

Поликристалл дене бірі-бірімен қосылып бітiскен хаосты бағдарланған монокристаллдардың жиынтығын береді, олардың өлшемдері 1–2 мкм-дан бірнеше мм-ға дейінгі аралықта өзгереді (141-сурет). *Жалпы поликристалл денелер изотропты болып табылады.* Поликристалл денелерге мысалы, металдар, поликристалл алмастар, керамика жатады.

II Кристалдық торлар. Кристалдардағы ақаулар

Кристалдың ішкі құрылысын көрнекі түрде көрсету үшін оны кристалдық тор түрінде бейнелейді.

Кристалдық тор – бұл кристалдағы атомдардың немесе иондардың периодты орналасуы. Кристалдық тордың атомдар немесе иондар орналасқан нүктелері кристалдық тордың түйіндері деп аталады.

Кристалдық торда түйіндердің орналасу суретін ондық микроскоптың көмегімен алуға болады.

Барлық кристалық торлар төрт типке бөлінеді: иондық, атомдық, молекулалық және металдық.

III Кристалл денелердің беріктігі мен қаттылығы

Дененің сыртқы күштердің әрекетіне төтен беру қасиетін беріктік деп атайды. Ақаулар табылған кристалдардың беріктігі таза кристалдардың беріктігінен он тіпті жүз есе кіші болады. Ақауларды нүктелік және сызықтық деп бөледі. Өз атомдарын жаттекті атомдармен алмастыру (142, а-сурет), тор түйіндерінің арасына атом енгізу (142, ә-сурет), кристалдық тор түйіндерінің бірінде атом болмауы (142, б-сурет) сияқты ақаулар нүктелік ақауға жатады. Сызықтық ақаулар – кристалл жазықтығында атомдардың орналасу реті бұзылған кезде туындайтын ақаулар (142, в-сурет).

Техникада барлық материалдар беріктікпен қатар қаттылығы бойынша ажыратылады. Қаттылық – материалдың басқа материалдардың бетін сызғанда із қалдыру қасиеті. Басқа материалдың бетінде із қалдыратын материал – қатты материал болып саналады. Металды кесуге арналған кескіш пен бұрғының қаттылығы өңделіп жатқан металға қарағанда басым болу керек.

IV Денелердің серпімді және пластикалық деформациясы. Қатты денелердің пластикалығы мен серпімділігі

Материалдың өз пішінін қайта қалпына келтіру қасиетін материалдың серпімділігі деп атайды.

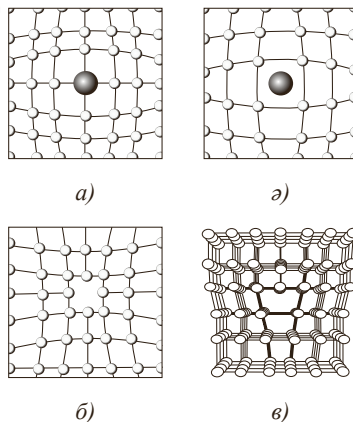
Барлық кристалл денелер, резеңке серпімділік қасиетіне ие.

? Жауабы қандай?

1. Неліктен аморфты денелердің белгілі бір балқу температурасы жоқ?
2. Тордың иондық, атомдық, молекулалық және металдық төрт типінің айырмашылығы неде?

🔍 Бұл қызық!

Кристалдың беріктігін арттыру үшін оларда арнайы ақаулар туғызады. Олар кездейсоқ ақаулар сызығы бойынша байланыстардың үзілуіне кедергі келтіреді. Мысалы, болатқа хром мен вольфрамды енгізгенде, оның беріктігі шамамен үш есе артқан.



142-сурет. Ақау түрлері

🔄 Өз тәжірибең

Алюминийдің, болаттың және шынының қаттылығын салыстырыңдар.

🌐 Естеріңе түсіріңдер!

Сыртқы күштердің түсу нүктесі мен бағытына қарай қатты денелер деформациясын негізгі төрт түрге бөледі: созылу немесе сығылу, иілу, ығысу және бұралу.

Материалдың сыртқы күштердің әсерінен алған пішінін сақтау қасиетін пластикалық деп атайды. Аморфты денелер пластикалық қасиеттерге ие.

V Абсолютті және салыстырмалы ұзару. Механикалық кернеу

Сығылу және созылу деформациясын абсолютті ұзарумен Δl сипаттайды. Абсолютті ұзару – үлгінің деформацияға дейінгі l_0 және кейінгі l ұзындықтарының айырмасына тең шама:

$$\Delta l = l - l_0. \quad (1)$$

Созылу кезінде Δl оң, ал сығылу кезінде теріс шама болады.

Абсолютті ұзарудың дененің деформацияға дейінгі l_0 ұзындығына қатынасын салыстырмалы ұзару деп атайды:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}. \quad (2)$$

Дене деформацияланған кезде оның әр қимасында молекулалар арасындағы арақашықтықтың өзгеруіне байланысты электромагниттік күштер әсер етеді, оларды *серпімділік күштері* немесе *ішкі кернеу күштері* деп атайды. Күштердің таралуын механикалық кернеу сипаттайды.

Механикалық кернеу – көлденең қиманың S бірлік ауданына әсер ететін ішкі кернеу күшіне $F_{серп}$ тең физикалық шама:

$$\sigma = \frac{F_{серп}}{S}, \quad (3)$$

мұндағы σ – механикалық кернеу. ХБЖ-да механикалық кернеудің өлшем бірлігіне паскаль қабылданған:

$$\sigma = 1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}.$$

VI Гук заңы. Юнг модулі

Тәжірибелік жолмен ағылшын физигі Р.Гук мынадай қорытынды жасады:

Серпімді деформацияланған дененің механикалық кернеуі серпімділік модулі мен салыстырмалы ұзаруға тура пропорционал.

$$\sigma = E \cdot |\varepsilon| \quad (4)$$

немесе (2) формуланы ескерсек:

$$\sigma = \frac{E |\Delta l|}{l_0}, \quad (5)$$



1-тапсырма

Пластикалық және серпімді деформацияға мысал келтіріңдер.



Естеріңе түсіріңдер!

Сыртқы күштердің әсері тоқтағаннан кейін толығымен жойылатын деформацияны *серпімді деформация* деп атайды. Сыртқы күштердің әсері тоқтағаннан кейін де жоғалмайтын деформацияны *пластикалық* деп атайды.



2-тапсырма

Деформацияның әр түрінде сыртқы күштердің түсу нүктесі мен бағытын көрсетіңдер.



3-тапсырма

Серпімді деформацияның әр түріне ұшырайтын денелерге мысал келтіріңдер.

мұндағы E – Юнг модулі. Юнг модулінің өлшем бірлігі $[E] = 1 \text{ Па}$. (5) теңдеуге (3) формуланы апарып қойсақ, мына өрнекті аламыз:

$$\frac{F_{\text{серп}}}{S} = \frac{E}{l_0} |\Delta l|,$$

бұдан

$$F_{\text{серп}} = \frac{ES}{l_0} |\Delta l| \quad (6)$$

немесе

$$F_{\text{серп}} = k |\Delta l|, \quad (7)$$

мұндағы k – қатаңдық коэффициенті. (6) және (7) өрнектерден шығатыны:

$$k = \frac{ES}{l_0}. \quad (8)$$

Қатаңдық коэффициенті дененің өлшемдері мен заттың серпімділік қасиеттеріне тәуелді (11-кесте). Дене қысқа және оның көлденең қимасының ауданы үлкен болған сайын ол қатая түседі.

11-кесте

Жалғау түрі		Формула
Параллель	Қатаңдықтары әртүрлі серіппелер	$k = k_1 + k_2 + \dots + k_n$ n – серіппе саны
	Қатаңдықтары бірдей серіппелер	$k = nk_1$ n – серіппе саны
Тізбектей	Қатаңдықтары әртүрлі серіппелер	$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$, n – серіппе саны
	Екі әртүрлі серіппе	$k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$
	Қатаңдықтары бірдей серіппелер	$k = \frac{k_1}{n}$ n – серіппе саны

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Ұзындығы l_0 , қатаңдық коэффициенті k_0 болатын резеңке бауды екі қабаттады. Баудың қатаңдық коэффициенті қалай өзгерді?

Берілгені:

l_0

k_0

$k - ?$

Шешуі:

Қимасы S_0 және ұзындығы l_0 баудың қатаңдық коэффициенті:
 $k_0 = ES_0 / l_0$.

Бауды екі қабаттағанда, жүйе қимасының ауданы екі есе артады $S = 2S_0$, ал ұзындығы 2 есе кемиді: $l = l_0/2$. Сондықтан:

$$k = \frac{ES}{l} = 4 \frac{ES_0}{l_0} = 4k_0.$$

Жауабы: $k_0 = 4k_0$.

Бақылау сұрақтары

1. Аморфты денелердің кристалл денелерден қандай айырмашылықтары бар?
2. Кристалдық тор деп нені атайды? Сендерге торлардың қандай түрлері белгілі?
3. Қандай әдістермен кристалдардың беріктігін арттырады?
4. Механикалық кернеу деп нені атайды? Юнг модулі дегеніміз не?
5. Созылу диаграммасы бойынша деформация кезінде қатты денелерде болатын процестерді сипаттаңдар.

★ Жаттығу

27

1. Өзек осі бойымен бағытталған қандай күштің әсерінен онда $15 \cdot 10^7 \frac{H}{m^2}$ кернеу туындайды? Өзек диаметрі 0,40 см.
2. Биіктігі 20 м кірпіш қабырғаның табанындағы кернеуді анықтаңдар. Қабырғаның табанындағы және оның жоғарғы бөлігіндегі кірпіштің беріктігі бірдей бола ма?
3. Ұзындығы 4,0 м және қимасы 20 мм^2 жез сымда қалдық деформация пайда болуы үшін оның минимал жүктемесі қандай болу керек? Осы кезде сымның салыстырмалы ұзаруы неге тең? Жездің серпімділік шегі $\sigma = 1,1 \cdot 10^8 \frac{H}{m^2}$. Сым массасын ескермеуге болады.
4. 100 Н күштің әсерінен ұзындығы 5,0 м және қимасы $2,5 \text{ мм}^2$ сым 1,0 мм-ге созылды. Сымға әсер ететін кернеу мен Юнг модулін анықтаңдар.
5. Ұзындығы 5,0 м мыс өзекке 480 Н жүктеме түсірілгенде, ол 1,0 мм-ге созылатын болса, оның қимасы қандай болу керек? Егер созылғандағы оның беріктік шегі $2,2 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$ болса, өзек мұндай кернеуді көтере ала ма? Өзек массасын ескермендер.

9-тараудың қорытындысы

Ауа ылғалдылығы	Беттік керілу коэффициенті	Капиллярдағы сұйықтың көтерілу биіктігі
<p>Абсолют ылғалдылық</p> $\rho = \frac{m}{V}$ <p>Салыстырмалы ылғалдылық</p> $\varphi = \frac{\rho}{\rho_x} \cdot 100\%$ $\varphi = \frac{P}{P_x} \cdot 100\%$	$\sigma = \frac{F_k}{l}$ $\sigma = \frac{A}{\Delta S}$	<p>Толық жұғу кезінде</p> $h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$ $h = \frac{4\sigma}{\rho g d}$
Гук заңы	Дененің ұзаруы, механикалық кернеу	Қатандық коэффициенті
<p>Гук заңы</p> $F_{серп} = k \Delta l $ $\sigma = E \cdot \varepsilon $	<p>Абсолют ұзару</p> $\Delta l = l - l_0$ <p>Салыстырмалы ұзару</p> $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$ <p>Механикалық кернеу</p> $\sigma = \frac{F_{серп}}{S}$	$k = \frac{ES}{l_0}$ <p>Серіппелерді тізбектей жалғау</p> $\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots + \frac{1}{k_n}$ $k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}$ <p>Параллель жалғау</p> $k = k_1 + k_2 + \dots + k_n$

Заңдар:

Гук заңы:

Серпімді деформацияланған дененің механикалық кернеуі серпімділік модулі мен салыстырмалы ұзаруға тура пропорционал.

Дене деформацияланғанда пайда болатын серпімділік күші осы деформацияның шамасына тура пропорционал.

Глоссарий

Ауаның абсолют ылғалдылығы – 1 м³ ауада болатын су буының мөлшері.

Абсолют ұзару – үлгінің деформацияға дейінгі l_0 және кейінгі l ұзындықтарының айырмасына тең шама.

Анизотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелділігі.

Гигрометр – ауа ылғалдылығын анықтауға арналған құрал.

Дененің деформациясы – дене өлшемі мен пішінінің өзгеруі.

Динамикалық тепе-теңдік – бірдей уақыт аралығында сұйықты тастап молекулалар саны мен сұйыққа қайта оралатын молекулалар саны тең болатын термодинамикалық жүйенің күйі.

Изотроптық – заттың физикалық қасиеттерінің таңдалған бағытқа тәуелсіздігі.

Капиллярлар – ішкі диаметрлері өте кіші түтіктер.

Қайнау – сұйықтың тұтас көлемінде өтетін булану процесі.

Конденсация – будың сұйыққа айналу процесі.

Беттік керілу коэффициенті – сұйықтың бос беті бірлік ауданға азайған кездегі молекулалық күштердің жұмысына тең шама.

Беттік керілу коэффициенті – беттік керілу коэффициенті – беттік керілу күшінің сұйықтың беттік қабатының ұзындығына қатынасы.

Шеттік бұрыш – қатты дененің беті мен менисктің қатты денемен қиылысу нүктесіне жүргізілген жанама арасындағы бұрыш.

Кристалдық тор – кристалдағы атомдардың немесе иондардың периодты орналасуы.

Кризистік температура – сұйық пен оның қаныққан буының тығыздықтары мәндерінің арасындағы айырмашылық жоғалатын болғандағы температура.

Мениск – сұйықтың майысқан бос беті.

Механикалық кернеу – көлденең қиманың S бірлік ауданына әсер ететін ішкі кернеу күшіне $F_{серп}$ тең физикалық шама.

Қаныққан бу – өзінің сұйығымен динамикалық тепе-теңдікте болатын бу.

Қанықпаған бу – өзінің сұйығымен динамикалық тепе-теңдікте болмайтын бу.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы – температурада ауаның абсолют ылғалдылығының 1 м^3 ауаны қанықтыруға қажетті бу мөлшеріне процентпен өрнектелген қатынасы.

Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы – берілген температурада ауа құрамындағы су буы қысымының осы температурадағы қаныққан су буы қысымының процентпен өрнектелген қатынасы.

Булану – заттың сұйық күйден газ тәріздес күйге өту процесі.

Пластикалық деформация – материалдың сыртқы күштердің әсерінен әрекеттесу күш жоғалмайтын деформация.

Пластикалық – сыртқы күштердің әсерінен алған пішінін сақтау қасиеті.

Беріктік – дененің сыртқы күштердің әрекетіне төтеп беру қасиеті.

Молекулалық қысым күші – сұйықтың беткі қабаты молекулаларының өзара әсер ететін қорытқы күш, ол оның еркін бетіне перпендикуляр бағытталады.

Беттік керілу күші – сұйықтың беттік қабатының ауданын кемітуге тырысатын және осы бетке жанама бойымен бағытталған беттік қабатының молекулаларының өзара әрекеттесу күштері.

Сублимация – заттың қатты күйден сұйыққа айналмай, бірден газ тәріздес күйге өтуі.

Қаттылық – материалдың басқа материалдардың бетін сызғанда із қалдыру қасиеті.

Шық нүктесі – атмосфералық ауадағы су буы қаныққан буға айналатын температура.

Үштік нүкте – заттың қатты, сұйық және газ тәріздес үш агрегаттық күйінде тепе-теңдікте болатын температура мен қысымның мәні.

Серпімді деформация – сыртқы күштердің әсері тоқтағаннан кейін толығымен жойылатын деформация.

Серпімділік – материалдың өз пішінін қайта қалпына келтіру қасиеті.

«Электр және магнетизм» бөлімінің негізгі мазмұны – электромагниттік өрістің қасиеттері мен оның зарядталған денелермен өзара әрекеттесуін сипаттау. Электродинамикада зарядталған денелер арасындағы электрлік және магниттік өзара әрекеттесуі қарастырылады. Электромагниттік өрістің әсерінен болатын кез келген өзара әрекеттесулер электродинамика қарастыратын мәселелер болып табылады.

10-ТАРАУ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатика деп қозғалмайтын зарядтардың өзара әрекеттесуін зерттейтін электродинамиканың бөлімін айтады. Заряд оң мәндермен қатар теріс мәндерді де қабылдайды. Ең алғаш «электр заряды» деген ұғым 1785 жылы Кулон заңында енгізілген болатын.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- есептер шығаруда электр зарядының сақталу заңы мен Кулон заңын пайдалануды;
- электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін суперпозиция принципін қолдануды;
- зарядталған жазықтықтың, шардың, сфераның және шексіз жіптің электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін Гаусс теоремасын пайдалануды;
- нүктелік зарядтардың электр өрісінің жұмысы мен потенциалын есептеуді;
- есептер шығаруда электростатикалық өрістің энергетикалық және күштік сипаттамаларын байланыстыратын формулаларды қолдануды;
- гравитациялық және электростатикалық өрістердің күштік және энергетикалық сипаттамаларын салыстыруды;
- өткізгіштердегі электростатикалық индукция мен диэлектриктердегі поляризация құбылыстарына салыстырмалы талдау жүргізуді;
- конденсатор сыйымдылығының оның параметрлеріне тәуелділігін зерттеуді;
- есептер шығаруда конденсаторларды тізбектей және параллель жалғау формулаларын пайдалануды;
- электр өрісінің энергиясын есептеуді үйренесіңдер.

§ 28. Электр заряды. Зарядтың беттік және көлемдік тығыздығы. Зарядтың сақталу заңы. Кулон заңы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- есептер шығаруда электр зарядының сақталу заңы мен Кулон заңын пайдалана аласыңдар.



Естеріңе түсіріңдер!

Атом бейтарап.

Электрондарының бір бөлігін жоғалтқан атом оң ионға айналады.

Артық электрондары бар атомды теріс ион деп атайды.



Тапсырма

Менделеев кестесін пайдаланып, оттектен және алюминий атомдары құрамындағы электрондар, протондар және нейтрондар санын атаңдар.

I Денелердің электрленуі.

Денелерді электрлеу әдістері

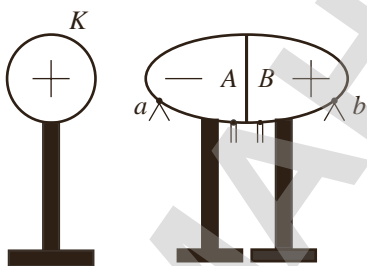
Екі денені үйкелеу арқылы электрленгенде, оларда модульдері бойынша тең, танбалары бойынша қарама-қарсы зарядтар пайда болады, атомдар иондарға айналады.

Денені үйкеліс арқылы және әсер арқылы электрлеуге болады.

Үйкеліс арқылы электрлеу әдісін диэлектриктер үшін пайдаланады. Диэлектриктерде заряд қай жерде пайда болса, сонда қалады, ол электрленген дененің басқа бөліктеріне көше алмайды.

Бұл әдіспен металдарды электрлеу мүмкін емес. Металл денелердің бір-бірінен ажырауы кезінде барлық артық электрондар бір металл денеден басқасына ағып өтеді, екі дене де зарядталмаған болады. Металл денелерді басқа әдіспен электрлеу өте оңай, оны әсер арқылы электрлеу деп атайды. Бір-біріне жанасқан зарядталмаған өткізгіштерге электрленген денені жақындатайық. Денелер оқшауланған тіреуіштерде орналасуы қажет (143-сурет). *A* және *B* өткізгіштерінің бойында бекітілген жеңіл жапырақшалар тек олардың ұштарында ғана бір-бірінен ауытқиды. Демек, *K* зарядталған дененің электр өрісінің әсерінен электрондардың ығысуының арқасында артық зарядтар жиналады.

Өлшемдері кішкентай оң зарядталған дене болып табылатын сынақ зарядтың көмегімен, *a* нүктесінде теріс заряд жиналатынына оңай көз жеткізуге болады. Сынақ зарядты *a* нүктесіне апарайық, жапырақшалар сынақ зарядқа тартылады. *b* нүктесінде оң заряд жинақталады, жапырақшалары сынақ зарядтан тебіледі. *A* және *B* өткізгіштерін бір-бірінен



143-сурет. Әсер арқылы электрлеу – электрлік индукция



Жауабы қандай?

Аттас зарядтар бір-бірінен тебілетініне, ал әр аттас зарядтар тартылатынына қалай көз жеткізуге болады?

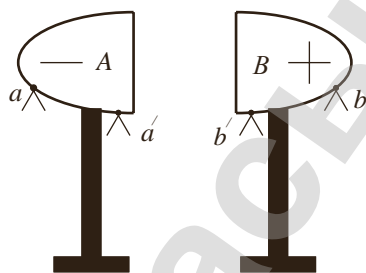


Өз тәжірибең

Пластмасса пластинаны үйкеліс арқылы электрлеп, қағаздың ұсақ бөліктеріне жақындатыңдар. Тәжірибені металл пластинамен қайталаңдар. Нәліктен бірінші жағдайда қағаздар тартылады, ал екінші жағдайда тартылмайды? Диэлектрикті электрлеу қалай жүргізілетінін түсіндіріңдер. Нәліктен өткізгішті үйкеліс арқылы электрлеуге болмайды?

алыстатайық. Ажырату сәтінде электрондар A денесінен B денесіне өте алмайды, себебі олар K электр өрісіне тартылады.

K денесі тудырған сыртқы күштер алыстатылған соң, A және B денелеріндегі зарядтар тұтас беті бойынша таралады, бұған A және B денелеріне бекітілген барлық жапырақшалардың ауытқуы дәлел бола алады (144-сурет).



144-сурет. Өткізгіштердегі зарядтардың сандық мәндері тең, бірақ таңбалары қарама-қарсы

Өткізгіштің әсер арқылы зарядталу процесін электрлік индукция деп атайды.

Осы кезде туындаған зарядты индукциялық немесе нысаналы заряд деп атайды.

II Элементар заряд. Зарядтың дискреттілігі

Мүмкін болатын минимал электр заряды бар электронды *элементар заряд* деп атайды. Денелердің зарядтары электрондардың артық болуымен немесе жетіспеуімен шартталған, демек, олардың заряды *элементар зарядқа* бөлінеді. Кез келген зарядталған еркін бөлшек элементар зарядтың бүтін санын алып жүреді:

$$q = N|e|.$$

Зарядтың ХБЖ-дағы өлшем бірлігі $[q] = 1$ Кл.

Кулон – ток күші 1 А болғанда өткізгіштің көлденең қимасы арқылы 1 с ішінде өтетін электр заряды.

Ұзақ уақыт бойы электр зарядының дискреттілігінің табылмауының себебі – электрон зарядының мәні $e \approx 1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл болуы.

Дискреттілік дегеніміз – «үздіктілік», «бөлектік», дербес үлестер түрінде болуды білдіреді.

Электр зарядының дискреттілігі тек дене зарядтары элементар зарядпен салыстырылатындай аз болған кезде білінеді. Сондықтан Р.Милликен өз тәжірибелерінде заряды бірнеше элементар зарядтарды құрайтын микроскопиялық тамшыларды қолданған.

Жауабы қандай?

1. Егер электроскопқа оң зарядталған денені жақындатсақ, оның зарядталған жапырақшалары неліктен ауытқиды? Егер теріс зарядталған денені жақындатсақ, неліктен түседі?
2. Неліктен жібек жіпке ілінген зарядталған дене артық заряд таңбасына тәуелсіз, тәжірибе жүргізуінің қолына тартылады?

Есте сақтаңдар!

Электрон зарядының шамасын алғаш рет 1909–1913 жылдары америкалық физик Р. Милликен өлшеген. Ол электр өрісіндегі майдың микроскопиялық тамшыларының қозғалысын бақылаған. Ол тамшы зарядтарының элементар зарядқа бөлінетінін көрсетті және осы заряд шамасын өлшеді, ол $e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл-ға тең.

III Зарядтардың беттік және көлемдік тығыздығы

Зарядтар тек дененің бетінде ғана емес, оның тұтас көлемінде де түзіледі. Зарядтардың дене көлеміне таралуы беттік және көлемдік тығыздықпен сипатталады:

$$\sigma = \frac{q}{S},$$

мұндағы σ – беттік тығыздық, q – дененің заряды, S – зарядталған дене бетінің ауданы.

$$\rho = \frac{q}{V},$$

мұндағы ρ – зарядтың көлемдік тығыздығы, V – көлем.



Есте сақтаңдар!

$$[\sigma] = 1 \frac{Кл}{м^2}$$

$$[q] = 1 Кл$$

$$[S] = 1 м^2$$

$$[\rho] = 1 \frac{Кл}{м^3}$$

$$[V] = 1 м^3$$

IV Зарядтың сақталу заңы

Зарядталған денелер жүйесінде жаңа зарядталған бөлшектер, мысалы, атомдардың немесе молекулалардың иондалуының салдарынан электрондар мен иондар туындауы мүмкін. 1843 жылы ағылшын физигі М.Фарадей зарядтың сақталу заңын ашты:

Кез келген тұйық жүйедегі электр зарядтарының алгебралық қосындысы осы жүйедегі кез келген процестер кезінде өзгеріссіз қалады.

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Зарядтың сақталу заңы энергия мен импульстің сақталу заңдарымен қатар табиғаттың іргелі заңы болып табылады. Ол макродүниемен қатар, микродүние денелеріне де қолданылады.

V Кулон заңы

Екі нүктелік зарядтың өзара әрекеттесу заңын 1785 жылы француз ғалымы Ш.Кулон ашқан.

Нүктелік зарядтар – өлшемдері олардың арасындағы арақашықтықтан әлдеқайда кіші болатын зарядталған денелер.

Кулон тәжірибелік жолмен мына тұжырымға келді:



Есте сақтаңдар!

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Екі нүктелік зарядтардың өзара әрекеттесу күші зарядтарды қосатын түзу сызық бойымен бағытталған, зарядтардың модульдерінің көбейтіндісіне тура пропорционал және олардың арақашықтығының квадратына кері пропорционал.

$$F_K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{|q_1||q_2|}{r^2} \quad (1)$$

немесе

$$F_K = \frac{k|q_1||q_2|}{\epsilon r^2}, \quad (2)$$

мұндағы $|q_1|, |q_2|$ – өзара әрекеттесуші денелердің зарядтарының модульдері;
 r – нүктелік зарядтар арасындағы арақашықтық;
 k – пропорционалдық коэффициенті;
 ϵ_0 – электрлік тұрақты;
 ϵ – ортаның диэлектрлік өтімділігі.

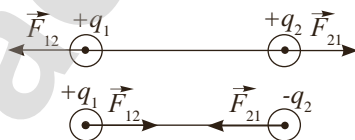
Диэлектрлік өтімділік ортаның электрлік қасиеттерін сипаттайды, оның өлшем бірлігі болмайды:

$$\epsilon = \frac{F_0}{F}.$$

Ортаның диэлектрлік өтімділігі – диэлектриктегі зарядтардың өзара әрекеттесу күші вакуумға қарағанда неше есе аз екенін көрсететін физикалық шама.

145-суретте екі нүктелік зарядтың өзара әрекеттесу күштері бейнеленген, Ньютонның үшінші заңының негізінде олар тең: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.

Кулондық күштер *центрлік* күштер болып табылады, олар нүктелік зарядты қосатын түзу бойымен әсер етеді.



145-сурет. Нүктелік зарядтарды қосатын түзу бойымен әсер ететін кулондық күштер

VI Бірнеше зарядтың өзара әрекеттесуі

Бірнеше нүктелік зарядтар өзара әрекеттескенде олардың кез келгеніне түсірілген теңәсерлі күшті оған әсер ететін барлық күштердің векторлық қосындысы ретінде анықтайды:

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

Мысалы, шаршының центрінде орналасқан зарядқа оның төбелерінде орналасқан зарядтар тарапынан әсер ететін теңәсерлі күш мынаған тең (146-сурет):

$$\vec{F}_5 = \vec{F}_{51} + \vec{F}_{52} + \vec{F}_{53} + \vec{F}_{54}.$$

Күштердің сандық мәндерін (1) немесе (2) формула бойынша есептейді, себебі екі заряд арасындағы өзара әрекеттесу күші басқа зарядтардың бар болуына тәуелді емес.

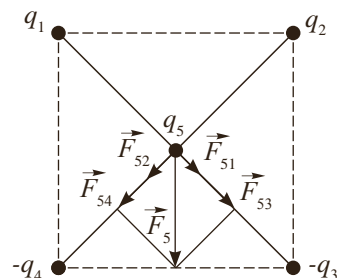
Теңәсерлі күштің модульдерін күштерді векторлық қосу кезінде алынған үшбұрыштан немесе координаталық әдіспен анықтайды:

$$F_R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2},$$

мұндағы

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} + \dots + F_{nx},$$

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} + \dots + F_{ny}.$$



146-сурет. Теңәсерлі күш векторлық қосу арқылы анықталады

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Шаршы төбелерінде q -ға тең бірдей оң зарядтар орналасқан. Барлық зарядтар жүйесі тепе-теңдікте болуы үшін шаршы центрінде орналасқан зарядтың шамасы қандай болу қажет? Бұл тепе-теңдік орнықты бола ма?

Берілгені:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = q$$

$$q_0 = ?$$

Шешуі:

Шаршы төбелерінің бірінде орналасқан зарядтың тепе-теңдік шартын қарастырайық, мысалы, q_2 заряды бар нүктедегі зарядты (суретті қарандар):

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \vec{F}_0 = 0$$

Теңдеуді x осіне түсірілген проекция түрінде жазайық:

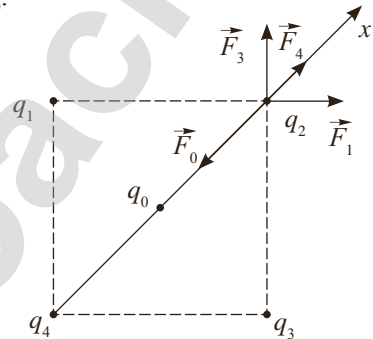
$$F_4 + F_1 \cos 45^\circ + F_3 \cos 45^\circ - F_0 = 0,$$

Кулон заңының негізінде күштерді есептеу формулаларын жазайық:

$$F_1 = F_3 = k \frac{q^2}{a^2}, \quad F_4 = k \frac{q^2}{2a^2}$$

мұндағы a – шаршы қабырғасы.

$$F_0 = k \frac{q|q_0|}{\left(\frac{a}{\sqrt{2}}\right)^2} = k \frac{2q|q_0|}{a^2}, \text{ егер } q_0 \text{ заряды – теріс шама}$$



болса, жүйе тепе-теңдік сақтай алады, онда:

$$k \frac{q^2}{2a^2} + k \frac{q^2}{a^2} \sqrt{2} - k \frac{2q|q_0|}{a^2} = 0 \Rightarrow |q_0| = \frac{q(1 + 2\sqrt{2})}{4}.$$

Тепе-теңдік орнықсыз, себебі, тепе-теңдік күйінен ауытқыған кез келген заряд бастапқы күйіне қайтып келмейді.

Жауабы: $q_0 = -\frac{q(1 + 2\sqrt{2})}{4}.$

Бақылау сұрақтары

1. Қандай құбылысты электрлену деп атайды?
2. Диэлектриктерді қандай әдіспен электрлейді?
3. Зарядтың сақталу заңы мен Кулон заңын тұжырымдаңдар.
4. Қандай зарядты нүктелік деп атайды?

★ Жаттығу

28

1. Бір-бірінен 5 см арақашықтықта орналасқан 10 нКл және 15 нКл нүктелік зарядтардың өзара әрекеттесу күшін анықтаңдар.

2. Бір-бірінен 5 см арақашықтықта орналасқан бірдей екі нүктелік заряд $0,4$ мН күшпен өзара әрекеттеседі. Осы зарядтарды анықтандар.
3. Бірі оң 15 мкКл зарядпен зарядталған, екіншісі -25 мкКл теріс зарядпен зарядталған екі бірдей шарды жанастырады және қайта 10 см арақашықтыққа алшақтатады. Әр шардың зарядын және олардың жанасқаннан кейінгі өзара әрекеттесу күштерін анықтандар.
4. Жіпте массасы 20 г зарядталған шар ілулі тұр. Шардың салмағы екі есе азаюы үшін шардан 5 см арақашықтықта қандай q_2 зарядын орналастыру қажет? Шардың заряды 10^{-6} Кл.
5. Ұзындығы 1 м жіптің ұштарына ілінген массалары бірдей екі кішкене шарға $9 \cdot 10^{-7}$ Кл заряд берілді. Олардың ауытқу бұрышы 60° . Шарлардың массаларын анықтандар.

Шығармашылық тапсырма

Хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

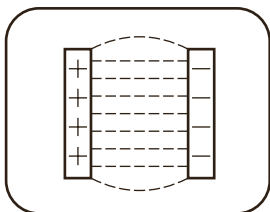
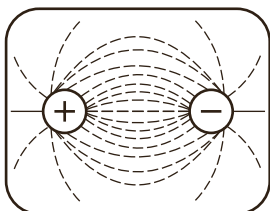
1. Иоффе мен Милликен тәжірибелері.
2. Техникада электрлеуді пайдалану.

§ 29. Электр өрісі. Біртекті және біртекті емес электр өрісі. Электр өрісінің кернеулігі. Электр өрістерінің суперпозиция принципі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін суперпозиция принципін қолдана аласыңдар.



147-сурет. Майда қалқып жүрген талшықтардың зарядталған денелердің айналасында орналасуы

I Электр өрісі

Зарядталған денелер айналасындағы кеңістік жаңа қасиетке ие болады: оған енгізілген жеңіл немесе зарядталған денелер тартылу немесе тебілу күштерін сезінеді. Күш әсерінен денелер орын ауыстырып, кеңістікте белгілі бір тәртіппен орналасады (147-сурет).

Зарядталған дененің айналасындағы кеңістікті *электр өрісі* деп атайды. Электр өрісі ұғымын алғаш рет ағылшын ғалымы М.Фарадей енгізген. Ол зарядтардың өзара әрекеттесуі кезінде жақыннан әсер ету теориясын жақтаушы болды. Фарадей зарядтар электр өрісінің әсерінен тебіледі немесе тартылады деп тұжырымдады.

Электр өрісі – зарядталған денелер өзара әрекеттесуін сипаттайтын материяның ерекше түрі.

Қозғалмайтын және уақыт өте келе өзгермейтін зарядтың электр өрісін *электростатикалық өріс* деп атайды.

Алыстан әсер ету теориясын жақтаушылар, зарядтар бір-бірімен тікелей кез келген арақашықтықта әрекеттесетініне сенімді болды.

II Электр өрісінің кернеулігі. Нүктелік зарядтың кернеулігі

Кернеулік – электр өрісінің күштік сипаттамасы.

Өрістің кеңістіктің берілген нүктесіне орналасқан оң сынақ зарядқа әсер ететін күшінің, осы заряд шамасына қатынасына тең физикалық шаманы электр өрісінің кернеулігі деп атайды.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1)$$



Жауабы қандай?

Зарядталған денелердің әрекеттесуін зерттеудегі алыстан және жақыннан әсер етудің негізгі айырмашылығы неде?



Өз тәжірибең

Сынақ зарядты пайдаланып, зарядталған металл шардың электр өрісін зерттеңдер. Шарға қандай заряд берілгенін анықтаңдар. Заряд шардан алыстатылғанда электр өрісі қалай өзгереді?

(1) формуладан q нүктелік заряд өрісіне енгізілген зарядқа әсер етуші күшті анықтайық:

$$F = qE. \quad (2)$$

Кулон заңы негізінде Q және q зарядтарының арасындағы өзара әрекеттесу күші мынаған тең:

$$F = \frac{k|Q||q|}{r^2}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулалардан:

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad (4)$$

екені шығады.

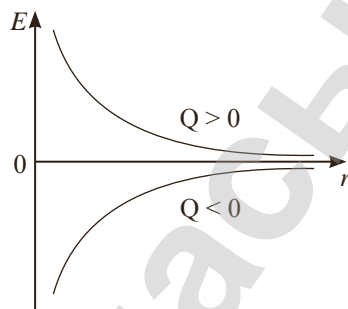
Біз нүктелік зарядтың өріс кернеулігін есептеу формуласын алдық. Кеңістіктің берілген нүктесіндегі кернеулік өрісті тудырған дене Q зарядымен анықталады. Ол оған енгізілген q зарядқа тәуелсіз. Кернеулік арақашықтық функциясы болып табылады, кеңістіктегі нүкте өріс көзінен неғұрлым алыс орналасса, оның модулі соғұрлым аз болады (148-сурет). (1) формулаға сәйкес кернеуліктің өлшем бірлігі:

$$[E] = 1 \frac{H}{Kл}.$$

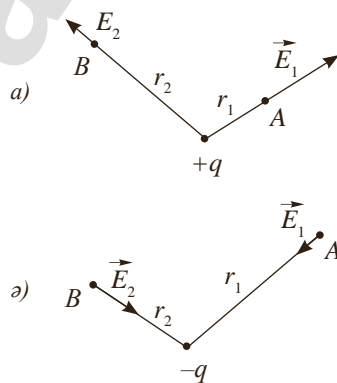
III Кернеулік векторының бағыты және күш сызықтары

Электр өрісінің кернеулігі векторлық шама болып табылады. Кернеулік векторының бағыты кеңістіктің кез келген нүктесінде оң сынақ зарядқа әсер ететін күш бағытымен сәйкес келеді.

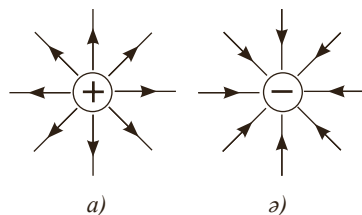
Егер өрісті оң заряд тудырса, онда кеңістіктің кез келген нүктесіндегі өріс кернеулігі радиал түзу бойымен зарядтан әрі қарай (149, а-сурет) бағытталады. Теріс заряд өрісінде кернеулік векторы радиал түзу бойымен зарядқа қарай (149, ә-сурет) бағытталады. Радиал түзулер – күштің әсер ету сызықтары, яғни олар электр өрісінің күш сызықтары болып табылады (150-сурет). Ең алғаш рет күш сызықтары ұғымын М.Фарадей өрісті бейнелеу көрнекі және ыңғайлы болу үшін енгізді. Қарама-қарсы таңбалы екі нүктелік зарядтар арасындағы және әр аттас зарядталған екі пластина арасындағы өрістің күш сызықтары 151-суретте көрсетілген.



148-сурет. Кернеуліктің арақашықтыққа тәуелділік графигі



149-сурет. Нүктелік заряд өрісі кернеулігі векторының бағыты радиал түзулер бойымен бағытталған

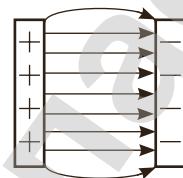
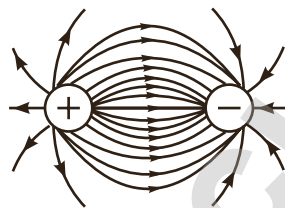


150-сурет. Оң және теріс нүктелік зарядтардың күш сызықтары

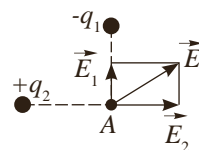
Электр өрісінің күш сызықтары – әрбір нүктедегі жанамаларының бағыты өріс кернеулігі векторының бағытымен сәйкес келетін сызықтар.

Күш сызықтарының суреті:

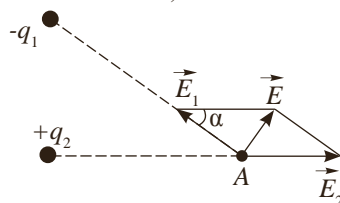
- 1) кеңістіктің кез келген нүктесінде кернеулік бірнеше бағытқа ие бола алмайтындықтан, электр өрісінің күш сызықтары бір-бірімен қиылыспайтынын;
- 2) электр өрісінің күш сызықтары тұйықталған екенін, олар оң зарядтардан басталып, теріс зарядтарда аяқталатынын көрсетеді.



151-сурет. Әртүрлі нүктелік зарядтардың және әртүрлі пластиналардың арасындағы өрістің күш сызықтары

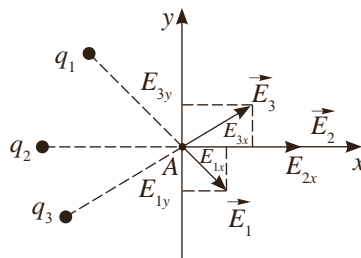


а)



ә)

152-сурет. Бірнеше заряд тудырған өрістің кернеулігі кернеуліктердің геометриялық қосындысына тең



153-сурет. Бірнеше заряд өрісінің кернеулігін анықтаудың координаталық әдісі

IV Біртекті және біртекті емес өрістердің күш сызықтары

150, 151-суреттердегі электр өрісінің күш сызықтарының суреттерін салыстырайық. Екі пластина тудырған өрістің күш сызықтары бір-біріне бірдей аралықта орналасқан параллель сызықтар, олардың тығыздығы өзгермейді. Мұндай өрісті *біртекті* деп атау келісілген. Біртекті өріс үшін кернеулік векторы оның барлық нүктелерінде тұрақты:

$$\vec{E} = \text{const.}$$

Нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрісте заряд маңында күш сызықтарының тығыздығы жоғары, зарядтардан алыста аз, бұл өріс кернеулігінің өзгеретінін көрсетеді. Күш сызықтары неғұрлым тығыз болса, өріс кернеулігі соғұрлым көп болады.

V Өрістердің суперпозиция принципі

Бірнеше зарядтың әрекеттесуі нәтижесінде өрістердің қабаттасуы болады, бұны суперпозиция принципі деп атайды.

Зарядтар жүйесі тудырған электр өрісінің кеңістіктің берілген нүктесіндегі кернеулігі зарядтың электр өрістерінің кернеуліктерінің геометриялық қосындысына тең.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$$

A нүктесінде екі нүктелік заряд тудырған өріс кернеулігін анықтайық (**152-сурет**):

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Кернеулік векторы модулін Пифагор теоремасы бойынша (**152, а-сурет**):

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

немесе косинустар теоремасымен анықтаймыз (152, ә-сурет):

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 - 2E_1E_2 \cos \alpha}.$$

Зарядтар саны көп болған кезде векторлар кезекпен қосылады немесе координаталық әдіс қолданылады (153-сурет). Координата басы мен көрсетілген нүкте арқылы кернеулік векторлары таңдап алынған осьтердегі проекцияларының қосындылары анықталады:

$$\begin{aligned} E_x &= E_{1x} + E_{2x} + F_{3x}, \\ E_y &= E_{1y} + E_{2y} + F_{3y}, \end{aligned}$$

онда барлық вектор қосындыларының модулі мынаған тең:

$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}.$$

Жауабы қандай?

1. Неліктен электр өрісінің күш сызықтары қиылыспайды?
2. Неліктен электр өрісіне енгізілген жеңіл зарядталмаған денелер, осы өрісті тудырған зарядталған денелерге тартылады?
3. Неліктен біртекті өріске енгізілген нүктелік заряд орнының өзгеруі оған әрекет ететін күш мәніне әсер етпейді?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Ромб диагональдары: $d_1 = 96$ см және $d_2 = 32$ см. Ұзын диагональ ұштарында $q_1 = 64$ нКл және $q_2 = 352$ нКл нүктелік зарядтар, ал қысқа диагональ ұштарында $q_3 = 8$ нКл және $q_4 = 40$ нКл нүктелік зарядтар орналасқан. Ромб центріндегі электр өрісі кернеулігінің модулін және қысқа диагональға қатысты бағытын анықтаңдар.

Берілгені:

- $d_1 = 96$ см
- $d_2 = 32$ см
- $q_1 = 64$ нКл
- $q_2 = 352$ нКл
- $q_3 = 8$ нКл
- $q_4 = 40$ нКл

$E = ? \alpha = ?$

Шешуі:

q_1, q_2, q_3, q_4 зарядтары тудырған өрістер кернеуліктерінің ромб центріндегі векторларын саламыз (суретті қараңдар). Электр өрісінің кернеуліктерінің модульдері мынаған тең:

$$E_1 = \frac{4kq_1}{d_1^2}, E_2 = \frac{4kq_2}{d_2^2}, E_3 = \frac{4kq_3}{d_2^2}, E_4 = \frac{4kq_4}{d_1^2}.$$

Суперпозиция принципі негізінде былай жазамыз:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4.$$

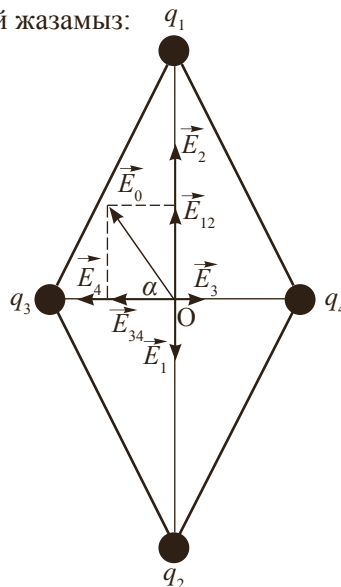
Күштерді жұптап қосып, Пифагор теоремасы бойынша ромб центріндегі өріс кернеулігінің модулін анықтаймыз:

$$\begin{aligned} E &= \sqrt{(E_2 - E_1)^2 + (E_4 - E_3)^2} = \\ &= \left(\frac{4k}{d_1^2 d_2^2} \right) \sqrt{(q_2 - q_1)^2 d_2^4 + (q_4 - q_3)^2 d_1^4} = 15,9 \text{ кВ/м}. \end{aligned}$$

Кернеулік бағыты мен қысқа диагональ арасындағы бұрыш мына өрнекпен анықталады:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{E_2 - E_1}{E_4 - E_3} = \frac{(q_2 - q_1) d_2^2}{(q_4 - q_3)^2 d_1^2} = 1, \text{ яғни } \alpha = 45^\circ.$$

Жауабы: $E = 15,9$ кВ/м; $\alpha = 45^\circ$.



Бақылау сұрақтары

1. Электр өрісі дегеніміз не?
2. Зарядтардың өзара әрекеттесуін түсіндіруде жақыннан әсер ету теориясы мен алыстан әсер ету теориясының айырмашылығы неде?
3. Электр өрісінің кернеулігі дегеніміз не? Ол қалай анықталады? Қалай бағытталады?
4. Өрістердің суперпозиция принципі дегеніміз не?
5. Қандай өрісті біртекті деп атайды? Қандай өрісті біртекті емес дейді?

★ Жаттығу

29

1. Электрон кернеулігі 10 В/м өрісте қандай үдеумен қозғалады?
2. 0,1 мкКл екі заряд бір-бірінен 6 см арақашықтықта орналасқан. Әрбір зарядтан 5 см қашықтықта орналасқан нүктедегі электр өрісінің кернеулігін табу керек. Осы есепті:
 - а) екі зарядта оң;
 - ә) бірінші заряд оң, екіншісі теріс болатын жағдайлар үшін шешіндер.
3. Жібек жіпке ілінген зарядталған металл шар біртекті электр өрісіне енгізілді. Жіп вертикальдан 45° бұрышқа ауытқыды. Шардан оның зарядының 0,1 үлесі ағып кетсе, жіптің ауытқу бұрышы қалай өзгереді? Өрістің кернеулік сызықтары горизонталь бағытталған.
4. Егер нүктелік зарядтан 20 см арақашықтықтағы өріс кернеулігі $4 \cdot 10^{-4}$ В/м болса, онда осы нүктелік зарядтан 2 м қашықтықтағы нүктедегі электр өрісінің кернеулігін табындар. Сонымен бірге өрісті тудырған заряд шамасын да анықтаңдар.
5. $q_1 = q_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл және $q_3 = -8 \cdot 10^{-8}$ Кл үш зарядты қабырғасы $a = 30$ см үшбұрыш төбелеріне орналастырды. Үшбұрыш центріндегі өріс кернеулігін анықтаңдар.

§ 30. Электр өрісінің кернеулік векторының ағыны. Гаусс теоремасы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- зарядталған шексіз жазықтықтың, шардың, сфераның және шексіз жіптің электр өрісінің кернеулігін анықтау үшін Гаусс теоремасын қолдануды үйренесіңдер.



Есте сақтаңдар!

Бет жазық емес немесе өріс біртекті емес болған жағдайларда кернеулік векторының ағынын анықтау үшін бетті кіші бөліктерге бөледі, оларды жазық және әрқайсысының шегіндегі өрісті біртекті деп санауға болады.

Содан кейін S_i кіші аудандар арқылы кернеулік векторының Φ_i элементар ағындарын табады.

Бет арқылы өтетін толық ағын оның барлық бөліктерінің элементар ағындарының қосындысына тең болады (2) формула).

I Электр өрісінің кернеулік ағыны

Ауданы S жазық бет кернеулігі \vec{E} біртекті электр өрісінде орналасқан (154-сурет). n векторы – бетке нормаль, кернеулік сызықтары мен нормаль арасындағы бұрыш α -ға тең.

Кернеулік векторының ағыны кернеулік векторының нормаль құраушысының бет ауданына көбейтіндісіне тең:

$$\Phi_E = E_n S = E S \cos \alpha, \quad (1)$$

мұндағы Φ_E – кернеулік векторының ағыны.

Біртекті емес өріс үшін кернеулік ағынын мына формула арқылы анықтайды:

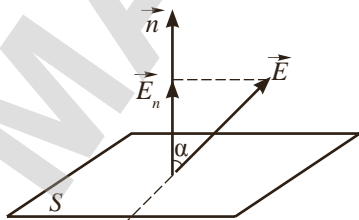
$$\Phi_E = \sum_{i=1}^n \Phi_{Ei} = \sum_{i=1}^n E_i S_i \cos \alpha_i. \quad (2)$$

II Нүктелік зарядтың кернеулік ағыны

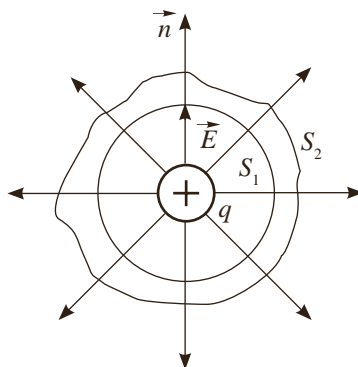
Нүктелік заряд өрісінің кернеулік ағынын (2) формуланы пайдаланып, S_1 сфералық бет арқылы анықтайық (155-сурет).

Нүктелік заряд өрісінің кернеулік векторы радиус бойымен бағытталған, демек, ол сфералық бетке перпендикуляр және оның сыртқы нормалімен $\alpha = 0$, $\cos \alpha = 1$ бұрыш құрайды. Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі сфераның кез келген нүктесінде бірдей мәнге тең болады және мына формуламен анықталады:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$



154-сурет. Нормаль құраушы кернеулік сызығының бағыты мен нормаль арасындағы бұрышқа тәуелді



155-сурет. S_1 және S_2 беттері арқылы өтетін кернеулік ағыны бірдей

мұндағы r – сфераның радиусы. Кернеуліктің толық ағынын Φ_E сфераның $S = 4\pi r^2$ ауданы арқылы былай өрнектеуге болады:

$$\Phi_E = \sum_{i=1}^n \Phi_{Ei} = E \sum_{i=1}^n S_i = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0}$$

$$\Phi_E = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0}. \quad (3)$$

Алынған өрнектен, кернеулік ағынының тұйық беттің ауданына тәуелсіз екені шығады. Ол оның ішінде орналасқан заряд және ортаның диэлектрлік өтімділігі арқылы анықталады. Демек, кез келген S_2 бет арқылы өтетін кернеулік ағынының мәні S_1 сфералық бет арқылы өтетін ағынның мәнімен бірдей болады (155-сурет).

Сфераның радиусын арттырған жағдайда күш сызықтарының тығыздығы және электр өрісінің кернеулігі азаяды.

Тұйық беттің сыртында орналасқан зарядтың кернеулік ағыны нөлге тең, өйткені ол бетті екі рет тесіп өту арқылы қарама-қарсы таңбаға ие болады.

III Гаусс теоремасы

Егер тұйық беттің ішінде бір емес бірнеше нүктелік заряд орналасса немесе ол қандай да бір бетте немесе көлемде таралса, онда алынған (3) өрнек суперпозиция принципі негізінде мына түрге ие болады:

$$\Phi_E = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\epsilon\epsilon_0}. \quad (4)$$

Кернеулік ағыны беттің пішініне және оның ішіндегі зарядтардың орналасуына тәуелсіз. Ол тұйық беттің ішіндегі барлық зарядтардың қосындысымен анықталады:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i.$$

Алынған қатынасты неміс математигі Карл Фредрих Гаусс ашқан, сондықтан ол Гаусс теоремасы деген атқа ие болды:

Кез келген тұйық бет арқылы өтетін кернеулік ағыны бет ішіндегі барлық еркін электр зарядтардың алгебралық қосындысын $\epsilon\epsilon_0$ көбейтіндісіне бөлгенге тең.



1-тапсырма

1. Ауа кеңістігінде орналасқан зарядтары: $q_1 = -2 \cdot 10^{-5}$ Кл, $q_2 = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл, $q_3 = 4 \cdot 10^{-5}$ Кл үш шарды қамтитын сфералық бет арқылы өтетін кернеулік ағынын анықтаңдар.
2. Егер сфераны эллипсоид етіп созатын болсақ, кернеулік ағыны арта ма әлде азая ма?
3. Сфералық бет радиусын 2 есе арттырса, электр индукциясының ағыны қалай өзгереді?
4. Егер зарядтарды суға батырсақ, кернеулік ағыны қалай өзгереді?
5. Егер зарядтарды тұйық беттің сыртында орналастырсақ, кернеулік ағыны қалай өзгереді?



2-тапсырма

Өткізгіш шардың өріс кернеулігі зарядталған сфера өрісінің кернеулігі сияқты анықталатынын дәлелдендер.

IV Зарядталған өткізгіш шардың және сфераның өріс кернеулігі

Радиусы R зарядталған сфера өрісі кернеулігінің ағынын радиусы үлкен $R_1 > R$ сфера арқылы анықтайық (156-сурет):

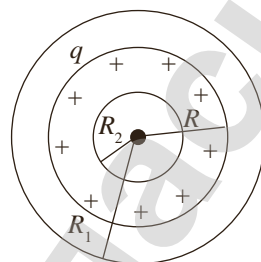
$$\Phi_E = E \cdot 4\pi R_1^2. \quad (5)$$

Алынған беттің ішінде зарядталған сфера орналасқан, сондықтан $\Phi_E = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0}$ Гаусс теоремасын қолдануға болады.

(5) теңдеуді Гаусс теңдеуімен қатар шешіп, зарядталған сфера өрісінің кернеулігін мына түрде жазамыз:

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1^2} \quad (6) \quad \text{немесе} \quad E = \frac{kq}{\epsilon R_1^2} \quad (7)$$

Зарядталған сфера өрісінің кернеулігін есептеу формулалары нүктелік заряд кернеулігін есептеуге арналған формулалар сияқты екенін көріп отырсындар. $R_2 < R$ радиусы кіші сфера үшін өріс кернеулігі нөлге тең. Осы беттің ішінде заряд жоқ, демек, $\Phi_E = 0$.



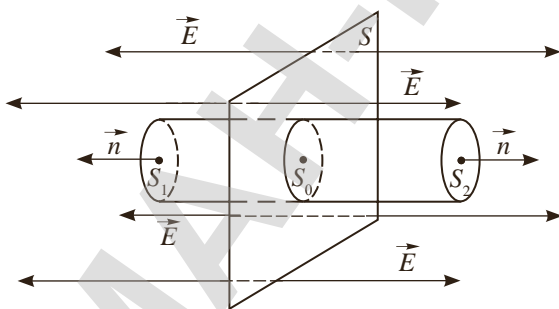
156-сурет. Радиусы R зарядталған сфераның ішінде өріс жоқ: $E = 0$. Сфера сыртындағы өріс кернеулігі оның центрінде орналасқан нүктелік заряд кернеулігі сияқты анықталады

V Бірқалыпты зарядталған шексіз жазықтықтың өріс кернеулігі

Шексіз жазықтықтың электр өрісі күштерінің сызықтары оның бетіне перпендикуляр (157-сурет). Кулондық күш әсерінен заряд оның бетінде:

$$\sigma = \frac{q}{S} \quad (8)$$

беттік тығыздықпен бірқалыпты таралады.



157-сурет. Шексіз жазықтықтың өріс кернеулігі кеңістіктің барлық нүктесінде бірдей мәнге ие болады. Өріс біртекті

Заряды $q = \sigma S_0$ болатын S_0 бетті таңдап алайық та, осы заряд тудырған кез келген тұйық бет арқылы өтетін кернеулік ағынын анықтайық. Бүйір беті кернеулік векторларына параллель цилиндрлік бет таңдап алайық. Осылайша, бүйір бет арқылы өтетін ағынды ескермейміз және есепті шешу цилиндрдің S_1 және S_2 табандары арқылы



Жауабы қандай?

1. Зарядталған сфераның ішінде өріс кернеулігі нөлге тең болуының себебі неде?
2. Неліктен зарядталған шексіз пластинаға жақын орналасқан зарядқа әсер ететін күш олардың арақашықтығына тәуелді емес?
3. Неліктен өлшемі кішкентай зарядталған пластиналардың өрісі біртекті емес?

өтетін кернеулік ағынын табуға әкеледі. Кернеулік векторы мен цилиндр табанына жүргізілген нормаль бағыты сәйкес келеді. $\Phi_E = E_n \cdot 2S$ және $\Phi_E = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0}$ теңдеулерін қатар шеше отырып, зарядталған пластинаның электр өрісінің кернеулігін есептеу формуласын аламыз:

$$E = \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0 S} \quad (9)$$

немесе
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0} \quad (10)$$

Алынған формуладан *зарядталған шексіз жазықтық өрісінің кернеулігі одан кез келген қашықтықта тұрақты екенін көреміз, ал пластинаның электр өрісі біртекті.*

VII Бірқалыпты зарядталған шексіз жіптің (цилиндрдің) өрісі

Радиусы R шексіз жіп бірқалыпты зарядталған болсын делік (159-сурет). Зарядтың сызықтық тығыздығы $\tau = \frac{\Delta q}{\Delta l}$, мұндағы Δq – ұзындығы Δl болатын жіп бөлігіндегі заряд. Ұзындығы l жіптің зарядын сызықтық тығыздық арқылы өрнектейік:

$$q = \tau \Delta l. \quad (11)$$

Кернеулік сызықтары жіп бетіне перпендикуляр, олар радиал түзулер бойымен бағытталған. Цилиндр пішінді тұйық бетті алайық, оның осі жіптің OO' осімен сәйкес келеді. Цилиндрдің ауданы $S = 2\pi r l$, бүйір беті арқылы өтетін ағын:

$$\Phi_E = ES = E \cdot 2\pi r l. \quad (12)$$

Гаусс теоремасын және (11) және (12) формулаларын пайдаланып, мынадай өрнек аламыз:

$$E \cdot 2\pi r \cdot l = \frac{\tau \cdot l}{\epsilon \cdot \epsilon_0},$$

бұдан зарядталған шексіз жіп тудырған өріс кернеулігін өрнектейміз:

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

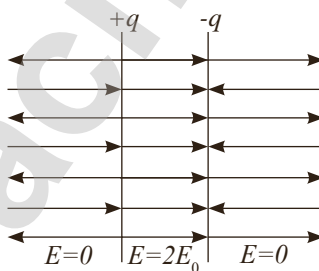


3-тапсырма

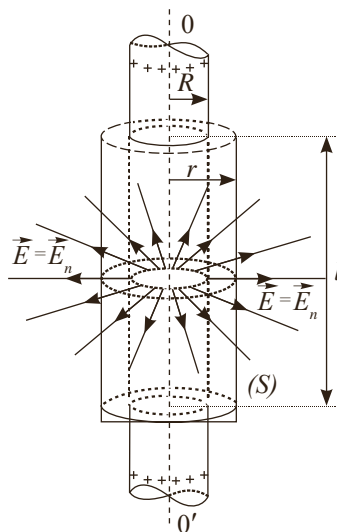
1. Әр аттас зарядталған пластиналар арасында өріс кернеулігі 2 есе артатынын дәлелдеңдер (158-сурет):

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}.$$

2. Екі пластинаның сыртындағы өріс кернеулігі нөлге тең $E = 0$ екенін дәлелдеңдер (158-сурет).



158-сурет. Екі шексіз жазықтық тудырған электр өрісі пластиналардың арасындағы кеңістікте шоғырланады



159-сурет. Цилиндрдің бүйір беті арқылы өтетін кернеулік векторлары жазықтыққа түсірілген нормальмен кез келген нүктеде нөлге тең бұрыш жасайды



4-тапсырма

Гаусс теоремасын пайдаланып, электр өрісінің кернеулігін есептеу формуласын қорытып шығару алгоритмін құрастырыңдар.

мұндағы r – жіп (цилиндр) осінен берілген нүктеге дейінгі арақашықтық. Өткізгіш жіптің ішінде өріс жоқ.



5-тапсырма

Цилиндрдің жоғарғы және төменгі бетімен өтетін кернеулік ағыны нөлге тең екенін дәлелдеңдер (159-сурет).

Бақылау сұрақтары

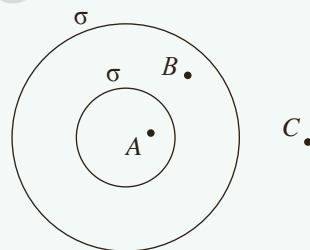
1. Элементар аудан арқылы өтетін кернеулік ағынын қалай анықтайды?
2. Кернеулік ағыны нені сипаттайды?
3. Гаусс теоремасының мәні неде?
4. Қандай жағдайларда Гаусс теоремасын қолдану есепті шешуді жеңілдетеді?



Жаттығу

30

1. Ішінде $q_1 = 15$ нКл, $q_2 = -25$ нКл және $q_3 = 1$ нКл зарядтар орналасқан текшенің бүйір беті арқылы өтетін кернеулік ағынын анықтаңдар.
2. Зарядталған радиусы r өткізгіш шар радиусы R металл тордың ішінде орналасқан (160-сурет). Шар центрінен R_A, R_B, R_C арақашықтықта орналасқан A, B, C нүктелеріндегі кернеулік мәндерін анықтаңдар. Зарядтардың шар мен тордағы беттік тығыздықтары σ тең.
3. Радиусы R өткізгіш сфера беттік тығыздығы σ зарядпен зарядталған және ішкі радиусы R_1 , сыртқы радиусы R_2 өткізгіш қабатпен қоршалған. Өріс кернеулігінің r радиусқа тәуелділігін анықтаңдар және осы тәуелділіктің графигін тұрғызыңдар.
4. Екі зарядталған параллель пластиналардың беттік тығыздықтары $-\sigma$ және $+\sigma$. Пластиналар арасындағы арақашықтық d -ға тең. Ox осі пластиналар жазықтығына перпендикуляр жүргізілген, өріс кернеулігінің x координатасына тәуелділігінің қисығын сызыңдар.
5. Зарядталған үлкен пластинаның центріндегі өріс кернеулігі $E = 10^4$ В/м. Кернеулік сызықтары пластинаға қарай бағытталған. Егер пластина бірқалыпты зарядталған болса, пластинадағы зарядтардың беттік тығыздығын анықтаңдар?
6. Массасы $m = 20$ г және заряды $q = 10^{-6}$ Кл шар жіпке ілулі тұр. Егер жіптің керілу күшін екі есе кемітсек, онда шар астындағы горизонталь пластинаға берілген зарядтардың беттік тығыздығы неге тең болады?



160-сурет. 2-есепке

§ 31. Зарядтың орнын ауыстырғандағы электр өрісінің жұмысы. Электр өрісінің потенциалы және потенциалдар айырымы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- нүктелік зарядтың электр өрісінің потенциалы мен жұмысын есептей аласыңдар.



1-тапсырма

Заряд A нүктесінен C нүктесіне, содан соң B нүктесіне орын ауыстырса, $A = qEd$ жұмыс атқарылатынын дәлелдендер (161-сурет).

Электр өрісіне енгізілген зарядқа күш әсер етеді, күш әсерінен заряд қозғалады. Біртекті және біртекті емес өрістерде зарядтың орнын ауыстыру кезінде атқарылатын жұмысты анықтайық.

I Біртекті электр өрісінің зарядтың орнын ауыстыру кезінде атқаратын жұмысы

Оң заряд q зарядталған пластиналардың электр өрісінің күші әсерінен бір пластинаның A нүктесінен екінші пластинаның B нүктесіне орын ауыстырсын делік, пластиналардың арақашықтығы d (161-сурет). Заряд орын ауыстырған кезде өрістің атқаратын жұмысы мынаған тең болады:

$$A = FScos\alpha.$$

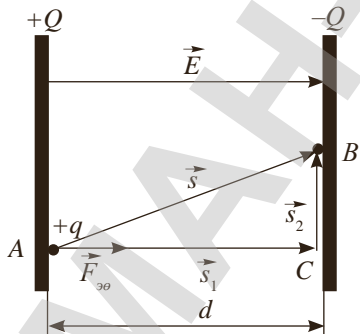
$F = qE$, $Scos\alpha = d$ екенін ескерсек, мына өрнекті аламыз:

$$A = qEd. \quad (1)$$

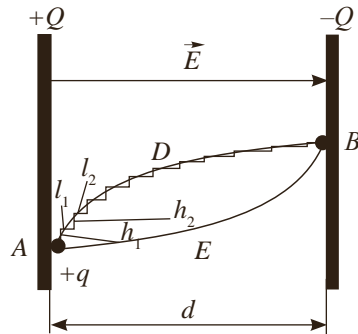
Зарядтың ADB сызығы бойымен орын ауыстыруын қарастырайық (162-сурет). Заряд қозғалатын кез келген траекторияны жолдың аз горизонталь l_1, l_2, \dots, l_n және вертикаль h_1, h_2, \dots, h_n бөліктері ретінде қарастыруға болады. Горизонталь бөліктерді қосып $l_1 + l_2 + \dots + l_n = d$ аламыз, демек, жолдың горизонталь бөліктеріндегі жұмыс мынаған тең:

$$A = qEd.$$

Жолдың вертикаль бөліктеріндегі жұмыс нөлге тең, себебі күш векторы мен орын ауыстыру векторы арасындағы бұрыш 90° -қа тең, яғни $cos90^\circ = 0$.



161-сурет. Біртекті электр өрісінің жұмысы қозғалыс траекториясына тәуелді емес



162-сурет. Тұйық контур бойындағы электр өрісінің жұмысы нөлге тең

Зарядтың бір нүктеден екінші нүктеге орын ауыстыруы кезінде атқарылған жұмыс қозғалыс траекториясына тәуелді емес. Ол тек осы нүктелердің өрістеги орнына ғана байланысты болады.

Біз бұрын гравитациялық өріс үшін алынған қорытындыға келдік.

II Зарядталған дененің біртекті электр өрісіндегі потенциалдық энергиясы

$ADBEA$ тұйық контур бойымен қозғалатын зарядты қарастырайық (162-сурет). Дене B нүктесінен A нүктесіне қарай қозғалғанда, горизонталь бөліктеріндегі күш пен орын ауыстыру арасындағы бұрыш 180° , демек, $\cos\alpha = -1$. Электр өрісі теріс жұмыс жасайды: $A_{BEA} = -qEd$. $ADBEA$ тұйық контур бойымен атқарылған жұмыс нөлге тең:

$$A = A_{ADB} + A_{BEA} = qEd - qEd = 0.$$

Дене тұйық контур бойымен орын ауыстырған кезде атқарылған жұмыс нөлге тең болатын өрістерді потенциалдық өрістер деп атайды.

Мұндай өрістерге гравитациялық өріс және қозғалмайтын заряд тудырған электр өрісі жатады. Потенциалдық өріс жұмысын дененің потенциалдық энергиясының өзгерісі бойынша анықтауға болады:

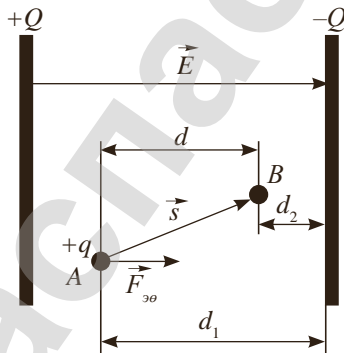
$$A = -(W_{p2} - W_{p1}). \quad (2)$$

A және B нүктелері пластинадан d_1 және d_2 арақашықтықта орналасқан кез келген нүктелер болсын (163-сурет). d кесіндісін осы арақашықтықтар арқылы өрнектейік: $d = d_1 - d_2$, сонда

$$A = -(qEd_2 - qEd_1). \quad (3)$$

(2) және (3) формулалардан біртекті өрістегі зарядталған дененің потенциалдық энергиясы мынаған тең екені шығады:

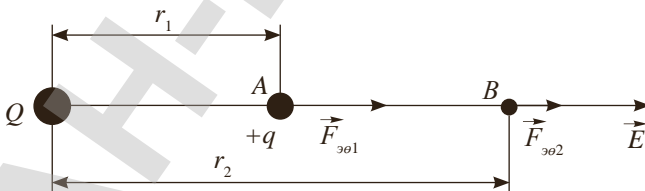
$$W_p = qEd. \quad (4)$$



163-сурет. Электр өрісіндегі A және B нүктелерінің арақашықтығын теріс зарядталған пластинаға қатысты анықтау

III Біртекті емес электр өрісінің зарядтың орнын ауыстыру кезінде атқаратын жұмысы

q заряды Q оң заряд тудырған өрістің күш сызықтары бойымен A нүктесінен B нүктесіне орын ауыстырсын делік (164-сурет).



164-сурет. Q заряды тудырған өрісте q заряды орын ауыстырған кезде электр өрісінің атқаратын жұмысы

Зарядтың орнын ауыстыратын күш арақашықтықтың квадратына кері пропорционал:

$$F_A = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_1^2}, \quad F_B = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_2^2}$$

және айнымалы шама болып табылады. Біртекті емес гравитациялық өріспен ұқсастығын пайдалана отырып, электр өрісінің заряд орын ауыстырған кезде атқаратын жұмысын есептеу формуласын жазайық:

$$A = F_{опм} (r_1 - r_2) = \frac{kqQ}{\varepsilon \cdot r_1} - \frac{kqQ}{\varepsilon \cdot r_2}. \quad (5)$$

Алынған өрнектегі

$$W_p = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r} \quad (6)$$

q зарядтың қозғалмайтын Q зарядтың электр өрісіндегі потенциалдық энергиясы немесе диэлектрлік өтімділігі ε , кеңістікте r арақашықтықта орналасқан Q және q нүктелік зарядтарының өзара әрекеттесу энергиясы.

Зарядталған дененің қандай да бір нүктедегі потенциалдық энергиясы заряд өрістің осы нүктесінен шексіздікке орын ауыстыруы кезінде атқарылатын жұмысқа тең.

(6) өрнекті (5) өрнекке қойып, мынаны аламыз:

$$A = -(W_{p2} - W_{p1}). \quad (7)$$

Біртекті емес электр өрісінің зарядтың орын ауыстыру кезінде атқаратын жұмысы зарядталған дененің теріс таңбамен алынған потенциалдық энергиясына тең.

IV Біртекті электр өрісінің потенциалы

Өріс потенциалы зарядтың потенциалдық энергиясының сол зарядқа қатынасына тең:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}. \quad (8)$$

Ол оң немесе теріс мәнге ие болуы мүмкін.

Өрістің потенциалдар айырымының физикалық мағынасы бар, себебі ол арқылы өріс күштерінің зарядтың орнын ауыстыруы кезінде атқаратын жұмысы өрнектеледі.

Біртекті электр өрісі үшін өріс нүктесінің потенциалы мынаған тең:

$$\varphi = \frac{qEd}{q} = Ed. \quad (9)$$

(9) өрнекті (3) өрнекке қойып, нүктенің бастапқы және соңғы потенциалдарының арасындағы байланысты аламыз:

$$A = -(q\varphi_2 - q\varphi_1) \text{ немесе } A = q(\varphi_1 - \varphi_2). \quad (10)$$

V Нүктелік заряд тудырған біртекті емес электр өрісінің потенциалы

(6) және (8) формулаларды қолданып, нүктелік зарядтың өрісінің потенциалын өрнектейік:

$$\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon \cdot r}, \quad (11)$$

мұндағы Q – өрісті тудырған нүктелік заряд.



Есте сақтаңдар!

Біртекті емес электр өрісінің орын ауыстыруы кезінде атқаратын жұмысы мынаған тең:

$$A = \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_1} - \frac{kQq}{\varepsilon \cdot r_2}$$



Есте сақтаңдар!

Өріс потенциалы – өрістің энергетикалық сипаттамасы.

Ол берілген өрістің қандай да бір нүктесіне енгізілген оң зарядтың потенциалдық энергиясын сипаттайды.

Потенциалдың өлшем бірлігі:

$$[\varphi] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}} = 1 \text{ В.}$$



Естеріңізге түсіріңдер!

Өрістің екі нүктесінің потенциалдарының айырымын кернеу деп атайды U :

$$U = (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Өрістің жұмысы және кернеуі мына қатынаспен байланысады:

$$A = qU.$$

VI Бірнеше нүктелік заряд тудырған өріс потенциалы

Бірнеше нүктелік заряд тудырған өріс потенциалы олардың әрқайсысының потенциалдарының алгебралық қосындысына тең.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n. \quad (12)$$

(12) тендеу өрістердің энергетикалық сипаттамалары үшін суперпозиция принципінің өрнегі болып табылады. Оң заряд өрісінің потенциалы – оң, теріс зарядтікі – теріс.

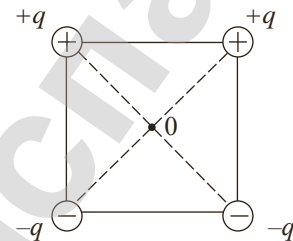
VII Потенциалдық энергияны есептеу үшін нөлдік деңгейді таңдау

Зарядталған денелердің өзара әрекеттесуінің потенциалдық энергиясы зарядтардың бірін шексіздікке алып кеткенде нөлге ұмтылады. Теориялық есептеулерде потенциалдың нөлдік нүктесі ретінде шексіз алыстатылған нүкте алынады. Практикалық есептерді шешу кезінде көбінесе өріс нүктелері арасындағы потенциалдар айырымы қолданылады. Потенциалдар айырымының мәні нөлдік деңгейді таңдауға тәуелді емес. Есептеулер жүргізуге ыңғайлы кеңістіктің кез келген нүктесі нөлдік деңгей бола алады. Электротехникада потенциалдың нөлдік деңгейі ретінде Жердің кез келген нүктесін қолдануға болады.



2-тапсырма

Шаршының төбелерінде орналасқан модульдері тең зарядтар тудырған өрістің 0 нүктесіндегі потенциалын анықтандар (165-сурет). Егер барлық зарядтар оң болса, осы нүктенің потенциалы қандай болады?



165-сурет. Бірнеше заряд үшін суперпозиция принципі орындалады

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Радиусы $R = 20$ см жұқа қабырғалы металл сфераның ішінде радиусы $r = 10$ см металл шар бар. Сфера ішіндегі шар тесік арқылы жұқа ұзын өткізгіш көмегімен Жермен жалғанған. Сыртқы сфераға $Q = 10^{-8}$ Кл заряд орналастырылады. Осы сфераның φ потенциалын анықтандар.

Берілгені:

$R = 20$ см

$r = 10$ см

$Q = 10^{-8}$ Кл

$\varepsilon = 1$

$\varphi = ?$

Шешуі:

Зарядталған сфераның барлық нүктесінің потенциалы оның бетіндегі потенциалға тең: $\varphi_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.

Жермен жалғанған ішкі шарда $\varphi_0 = 0$, ол қарама-қарсы таңбалы q зарядқа индукцияланады. Ішкі шардың потенциалы q және Q зарядтары тудырған өрістердің потенциалдарының қосындысына тең:

$$\varphi_0 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{Q}{R} - \frac{q}{r} \right). \quad (1)$$

$\varphi_0 = 0$ болғандықтан, (1) өрнектен шығатыны:

$$q = \frac{Qr}{R}. \quad (2)$$

Үлкен сфераның бетінде индукцияланған зарядты ескерсек, потенциал мынаған тең болады: $\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \left(\frac{Q}{R} - \frac{q}{R} \right) = \frac{Q - q}{4\pi\varepsilon_0 R}$.

(2) формуланы ескеріп, есептеу формуласын аламыз:

$$\varphi = \frac{Q(R-r)}{4\pi\epsilon_0 R^2} = 225 \text{ В}.$$

Жауабы: $\varphi = 225 \text{ В}$.

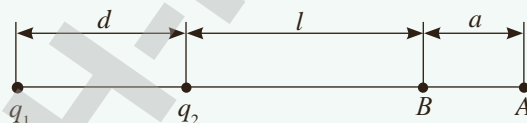
Бақылау сұрақтары

1. Біртекті электр өрісінде зарядтың орын ауыстыруы кезінде атқарылатын жұмыс қалай анықталады? Нүктелік заряд өрісінде ше?
2. Қандай өрістерді потенциалдық деп атайды?
3. Біртекті өріске енгізілген зарядтың потенциалдық энергиясы неге тең? Нүктелік заряд өрісіндегі ше?
4. Қандай шаманы электр өрісінің потенциалы деп айтады?
5. Бірнеше заряд тудырған өріс потенциалын қалай анықтайды?
6. Өріс нүктелерінің потенциалын анықтаған кезде нөлдік деңгей ретінде нені алады?

★ Жаттығу

31

1. $q_1 = 6,6 \cdot 10^{-9}$ Кл және $q_2 = 1,32 \cdot 10^{-8}$ Кл екі нүктелік заряд бір-бірінен $r_1 = 40$ см арақашықтықта орналасқан. Оларды $r_2 = 25$ см-ге дейін жақындату үшін қандай жұмыс атқару керек?
2. q_1 және q_2 екі нүктелік зарядтар өрісіндегі q заряд A нүктесінен B нүктесіне орын ауыстырған кезде атқарылатын жұмысты анықтаңдар (166-сурет).



166-сурет. 2-есепке

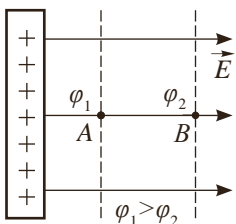
3. Бір-бірінен $d = 1$ см арақашықтықта орналасқан екі вертикаль пластина арасында массасы $m = 0,1$ г зарядталған шар тұр. Пластиналарға $U = 1000$ В кернеу берілгеннен кейін, шары бар жіп $\alpha = 10^\circ$ бұрышқа ауытқыды. Шардың q зарядын анықтаңдар.
4. Сынаптың радиустары $r_1 = 2$ мм, $r_2 = 5$ мм және $r_3 = 3$ мм үш тамшысы сәйкесінше $q_1 = 4 \cdot 10^{-12}$ Кл, $q_2 = 5 \cdot 10^{-12}$ Кл және $q_3 = 6 \cdot 10^{-12}$ Кл зарядтармен зарядталған және бір тамшыға біріктірілген. Үлкен тамшының потенциалын анықтаңдар.
5. $q_1 = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл нүктелік зарядты шексіздіктен зарядтың беттік тығыздығы $\sigma = 10^{-9}$ Кл/см², радиусы $r = 1$ см шар бетінен $d = 1$ см қашықтықтағы нүктеге әкелген кезде қандай жұмыс атқарылады?

§ 32. Эквипотенциал беттер. Біртекті электр өрісі үшін потенциалдар айырымы мен кернеулік арасындағы байланыс

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- есептер шығаруда электростатикалық өрістің күштік және энергетикалық сипаттамаларын байланыстыратын формулаларды пайдалана аласыңдар;
- гравитациялық және электростатикалық өрістердің күштік пен энергетикалық сипаттамаларын салыстыра аласыңдар.



167-сурет. Кернеулік сызықтары потенциалы көп нүктеден потенциалы аз нүктеге қарай бағытталады

I Эквипотенциал беттер

Біртекті электр өрісінің кернеулігі – тұрақты шама. § 31-та алынған формуладан:

$$\varphi = Ed \quad (1)$$

беттен бірдей арақашықтықтағы барлық нүктелердің потенциалдары тең екенін көреміз. Олар зарядталған пластинаға параллель жазықтықта жатады.

Барлық нүктелерде өріс потенциалы бірдей болатын бетті эквипотенциал деп атайды.

Кернеулік сызықтары эквипотенциал бетке перпендикуляр (*167-сурет*).

Біртекті өрістің эквипотенциал беттері деп, кернеулік сызықтары тікбұрыш жасай тесіп өтетін жазықтықтарды айтамыз.

Нүктелік заряд тудырған өріс потенциалы $\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon \cdot r}$, демек, нүктелік зарядтың өрісі үшін эквипотенциал бет сфера болып табылады. *168-суретте оң Q нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрістің күш сызықтары және эквипотенциал беттері бейнеленген. Кернеулік векторы эквипотенциал беттерге перпендикуляр.*

Заряд эквипотенциал бетте орын ауыстырған кездегі өрістің жұмысы нөлге тең болады:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q(\varphi - \varphi) = 0,$$

себебі, эквипотенциал беттің барлық нүктелері бірдей потенциалға ие.

II Біртекті электр өрісі үшін потенциалдар айырымы мен кернеулік арасындағы байланыс

Потенциалдың өріс кернеулігімен байланысын пайдаланып, біртекті электр өрісінің *A* және *B* (*167-сурет*) нүктелері арасындағы потенциалдар айырымын анықтайық:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = Ed_1 - Ed_2 = E(d_1 - d_2),$$

мұндағы d_1 және d_2 – электр өрісінің *A* және *B* нүктелерінен бастап, таңдаған нүктелердің оң жағында



1-тапсырма

Кернеулік векторлары эквипотенциал беттерге перпендикуляр екенін (*168-сурет*) дәлелдеңдер;
Тұйық контур *ABCD* бойынша жұмыс нөлге тең екенін дәлелдеңдер.

орналасқан нөлдік потенциал деңгейіне дейінгі арақашықтық.

$d_1 - d_2$ айырымын A және B нүктелерінің арасындағы d арақашықтыққа алмастырайық, сонда:

$$\begin{aligned} \varphi_1 - \varphi_2 &= Ed \\ \text{немесе} \quad U &= Ed. \end{aligned}$$

Өріс кернеулігі мен өріс нүктелері жататын эквипотенциал беттер арасындағы қашықтық үлкен болған сайын, олардың аралығындағы потенциалдар айырымы да көп болады.

III Потенциалдың кернеулікпен байланысы

Оң зарядтар күш сызықтарының бағыты бойынша орын ауыстырғанда өріс оң жұмыс жасайды. Кері бағыттағы қозғалыс кезінде өріс жұмысы теріс болады. 167 және 168-суреттерді қарастырайық. Біртекті өріс нүктелерінің потенциалы $\varphi = Ed$ формуласымен, біртекті емес нүктелердің потенциалы

$\varphi = \frac{kQ}{\varepsilon \cdot r}$ формуласымен анықталатындықтан, мынадай қорытындыға келеміз:

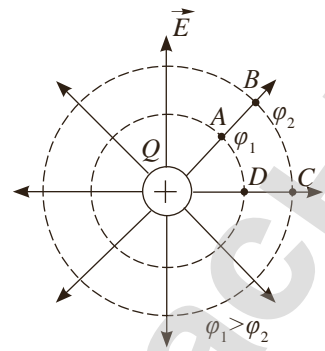
Өріс кернеулігі потенциалы көп нүктеден потенциалы аз нүктеге қарай бағытталады.

IV Гравитациялық және электростатикалық өрістердің күштік және энергетикалық сипаттамалары

Жер бетінің маңайындағы гравитациялық өрістің күш сызықтарын әр аттас зарядталған пластиналар тудырған біртекті электр өрісінің кернеулік сызықтарымен салыстырайық (169-сурет). Сонымен қатар шамамен Жер радиусындай арақашықтықтағы Жердің гравитациялық өрісінің күш сызықтарын теріс нүктелік зарядтан туындаған біртекті емес өрістің күш сызықтарымен салыстырайық (170-сурет).

Өрістердің негізгі сипаттамаларын есептеу формулалары мен күш сызықтарын салыстыру 12-кестеде берілген шамалардың ұқсастығын орнатуға мүмкіндік береді.

Гравитациялық өріс және электр өрісі потенциалдық немесе консервативті өріс болып табылады. Консервативті күштердің тұйық контурдағы жұмысы нөлге тең. Жұмыс дененің қозғалыс траекториясына тәуелді емес, ол дененің бастапқы және соңғы уақыт мезетіндегі күйіне ғана тәуелді.

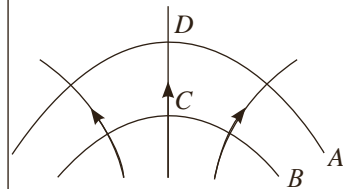


168-сурет. Q нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрістің кернеулік сызықтары және эквипотенциал беттері

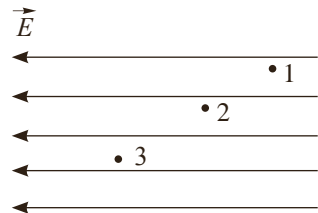


2-тапсырма

- 171 және 172-суреттерден ең көп потенциалы бар нүктелерді көрсетіңдер.
- Қандай нүктелерде өріс кернеулігі ең кіші болады?



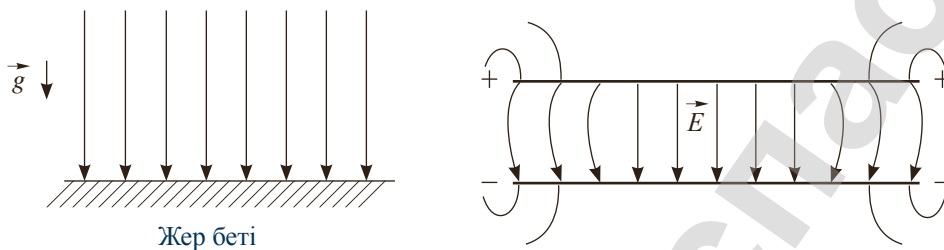
171-сурет. Біртекті емес өрістің күштік сызықтары мен эквипотенциал беттері



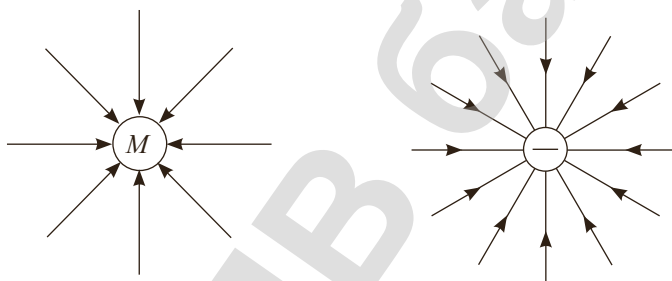
172-сурет. Біртекті өрістің кернеулік сызықтары

Консервативті өріс күштерінің жұмысы дене энергиясының потенциалдық энергиясының азаюымен анықталады.

Консервативті өрістер үшін энергияның сақталу заңы орындалады. Потенциалдық энергияның азаюы қозғалатын дененің кинетикалық энергиясының артуына алып келеді.



169-сурет. Жер бетіндегі гравитациялық өрістің және зарядталған аратмас пластиналар арасындағы біртекті электр өрісінің күш сызықтары



170-сурет. Жер радиусына шамалас арақашықтықтағы Жердің гравитациялық өрісі мен теріс нүктелік заряд тудырған біртекті емес өрістің күш сызықтары

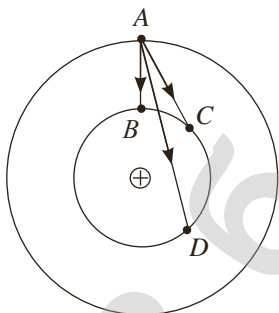
12-кесте. Электр өрісі мен гравитациялық өрісті сипаттайтын шамалардың ұқсастығы

Физикалық шамалар	Гравитациялық өріс	Электр өріс
Кернеулік	g	E
Гравитациялық тұрақты	G	
Пропорционалдық коэффициенті		k
Масса	m	
Заряд		q
Потенциал	gh	φ
Күш	$F=mg$	$F=qE$
Біртекті өрістің потенциалдық энергиясы	$W_p = mgh$	$W_p = qEd$
Біртекті емес өрістің потенциалдық энергиясы	$W_p = \frac{GMm}{r}$	$W_p = \frac{kQq}{r}$

Физикалық шамалар	Гравитациялық өріс	Электр өріс
Өріс жұмысы	$A = -(W_{p2} - W_{p1})$	
Біртекті өрістің жұмысы	$A = -mg(h_2 - h_1)$	$A = -qE(d_2 - d_1)$
Біртекті емес өрістің жұмысы	$A = -\left(\frac{GMm}{r_2} - \frac{GMm}{r_1}\right)$	$A = -\left(\frac{kQq}{r_2} - \frac{kQq}{r_1}\right)$

3-тапсырма

q оң зарядының A нүктесінен B, C, D нүктелеріне орын ауыстыруы кезінде электр өрісінің атқаратын жұмыстарын салыстырыңдар (173-сурет).



173-сурет. Нүктелік заряд тудырган өрісте зарядтың орын ауыстыруы

Бақылау сұрақтары

1. Эквипотенциал бет дегеніміз не?
2. Кернеулік векторлары эквипотенциал бетке қатысты қалай бағытталған?
3. Гравитациялық және электр өрісінің сипаттамаларын салыстырыңдар.

★ Жаттығу

32

1. Біртекті өрістің бір кернеулік сызығының бойында жататын екі нүкте арасындағы кернеу 2 кВ. Нүктелер арасындағы арақашықтық 4 см деп алып, кернеулікті анықтаңдар.
2. Екі электрон арасындағы кулондық тебілу күштері гравитациялық тартылыс күштерінен неше есе үлкен?
3. Кернеулігі 60 кВ/м біртекті электр өрісінде 5 нКл заряд 20 см-ге орын ауыстырған. Орын ауыстыру векторы күш сызықтарының бағытымен 60° бұрыш құрайды. Өрістің атқаратын жұмысын, зарядтың потенциалдық энергиясының өзгеруін, орын ауыстырудың бастапқы мен соңғы нүктелері арасындағы кернеуді анықтаңдар.
4. Үш нүктелік заряд $q_1 = 2$ нКл, $q_2 = 3$ нКл және $q_3 = -4$ нКл қабырғасы $a = 10$ см теңқабырғалы үшбұрыштың төбелерінде орналасқан. Осы жүйенің потенциалдық энергиясын анықтаңдар.

§ 33. Электр өрісіндегі өткізгіштер мен диэлектриктер

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- өткізгіштердегі электростатикалық индукция құбылысы мен диэлектриктердегі полярлануға салыстырмалы талдау жасай аласыңдар.



Естеріңе түсіріңдер!

Өткізгіштер – құрамында еркін заряд тасымалдаушылар бар заттар.

Диэлектриктер – құрамында еркін зарядталған бөлшектер болмайтын заттар.

I Біртекті электр өрісіндегі өткізгіш пластина

Біртекті электр өрісінде орналасқан өткізгіште (174-сурет) еркін электрондар күш сызықтары бойымен жылжиды. Әсер арқылы электрлеу жүреді: өткізгіш ішінде индукцияланған зарядтар тудырған өріс пайда болады. Ол сыртқы өріске қарама-қарсы бағытталған, сондықтан индукцияланған заряд өрісінің әсерінен электрондардың қозғалысы бәсеңдейді және индукцияланған өрістің кернеулігі сыртқы кернеулігіне жеткенде толығымен тоқтайды. Суперпозиция принципінің негізінде, өткізгіш ішіндегі кернеулік сыртқы және индукцияланған өріс кернеуліктерінің қосындысына тең:

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{сырт}} + \vec{E}_0.$$

Векторлар бағытын ескерсек: $E = E_{\text{сырт}} - E_0 = 0$.

Бұл өткізгіш ішінде электр өрісі болмайтынын білдіреді. Демек, сыртқы өріс тудырған пластинадағы зарядтардың σ беттік тығыздықтары өткізгіш бетінде де тек бір мәнге ие болады, беттегі зарядтар модульдері бойынша тең: $|Q| = |q|$.

II Өткізгіш ішіндегі және оның бетіндегі нүктелер потенциалы

Өткізгіш беті эквипотенциал бет болып табылады, себебі, кернеулік векторлары әрқашан өткізгіш бетіне перпендикуляр. Біртекті өріс үшін өткізгіш бетінің потенциалын мына формула бойынша анықтаймыз:

$$\varphi = Ed,$$

мұндағы d – беттің таңдап алынған кез келген деңгейге дейінгі арақашықтығы, мысалы, теріс зарядталған пластина мен өткізгіш бетінің арасындағы арақашықтық.

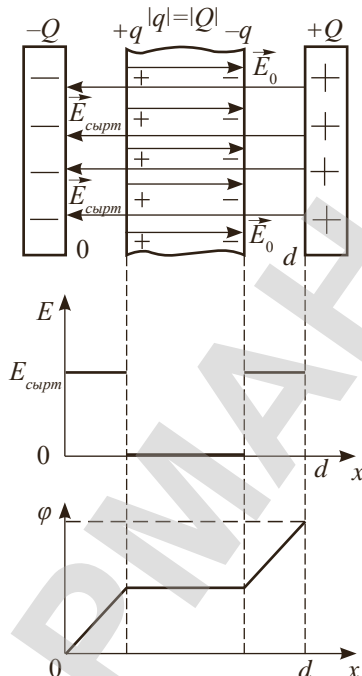
Өткізгіштің таңдап алынған кез келген екі нүктесі үшін келесі қатынас орындалады:

$$\Delta\varphi = E\Delta d, \varphi_1 - \varphi_2 = E(d_1 - d_2).$$

Өткізгіш ішінде $E = 0$, онда $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$, демек:

$$\varphi_1 = \varphi_2.$$

Өткізгіштің барлық нүктелерінің потенциалдарының мәндері бірдей болады. 174-суретте ішінде



174-сурет. Біртекті электр өрісіндегі өткізгіш пластина



Жауабы қандай?

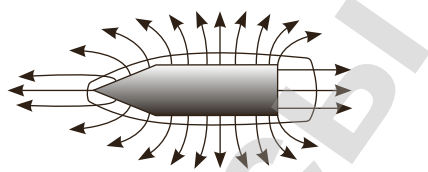
1. Металдарда электр зарядтарын қандай бөлшектер тасымалдайды?
2. Металдың еркін бөлшектері сыртқы электр өрісінің әсерінен қандай бағытта қозғалады?

өткізгіш орналасқан біртекті электр өрісінің нүктелерінің кернеулігі мен потенциалының таралуының координатаға тәуелділік графиктері берілген. Нөлдік деңгей ретінде теріс зарядталған пластина таңдап алынған.

III Электр өрісіндегі өткізгіштер

Кез келген өткізгіштердің беті эквипотенциал болып табылады.

Күш сызықтары эквипотенциал бетке перпендикуляр болады (175-сурет), олардың тығыздықтары беттің үшкір бөліктерінің маңында артады. Демек, оның ұшында заряд тығыздығы да көбірек болады. Өткізгіштің бұл бөлігінде зарядтардың «ағуы» мүмкін. Өткізгіште зарядты сақтап қалу үшін оның бетін тегістеу қажет.



175-сурет. Кернеулік сызықтар өткізгіш бетіне перпендикуляр

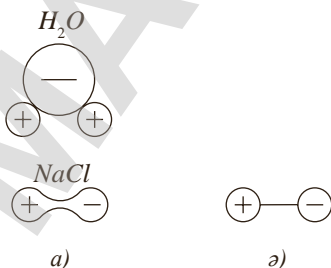
IV Диэлектриктерді поляризациялау механизмі

Диэлектриктер бейтарап атомдар немесе молекулалардан тұрады. Заттардың құрамына қарай оларды полярлы және полярлы емес диэлектриктер деп бөледі.

Молекуладағы теріс және оң зарядтардың орналасу центрлері бір-біріне қатысты ығысатын болса, онда оны полярлы деп атайды.

Бұл молекулалар дипольді береді (177-сурет).

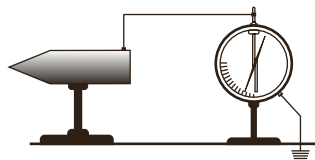
Диполь – өзінің меншікті өрісін түзетін, бір-біріне қатысты ығысатын өзара байланысқан зарядтар жүйесі.



177-сурет. а) полярлы диэлектриктердің: судың, еріген тұздың молекулалары; б) дипольдің суретте бейнеленуі.

Өз тәжірибең

Ұшы өткірленген өткізгіш цилиндрді зарядтаңдар (176-сурет). Электрометрдің көмегімен беттің барлық нүктелерінің Жерге қатысты потенциалдарын, өткізгіш бетімен электрометрдің сырғытпасын жылжыта отырып анықтаңдар.



176-сурет. Цилиндрлік өткізгіш бет нүктелерінің потенциалын анықтау

Жауабы қандай?

Нөлдіктен кернеулік векторлары әрқашан өткізгіш бетіне перпендикуляр бағытталады?

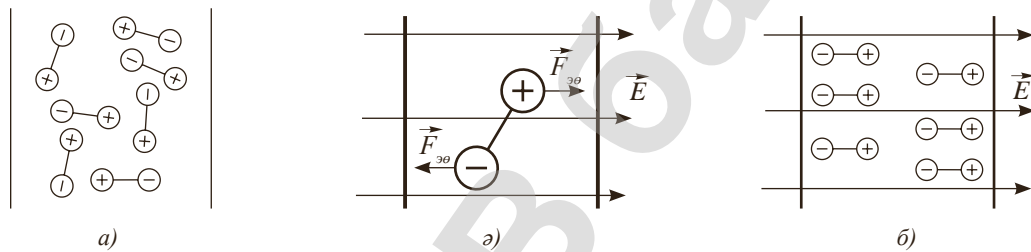
Электр өрісінде диэлектриктер поляризацияланады.

Электр өрісінде орналасқан диэлектрикте зарядтардың ығысу процесін поляризациялау, ал диэлектриктің өзін поляризацияланған деп атайды.

Полярлы және полярлы емес диэлектриктер үшін поляризациялау процестерінің айырмашылықтары бар.

1) Полярлы молекулалардан тұратын диэлектриктерді поляризациялау.

Қарапайым жағдайда, жылулық қозғалыс нәтижесінде заттағы молекулалар еркін бағдарланады, мұндай диэлектриктің маңында өріс болмайды (178, а-сурет). Егер диэлектрикті сыртқы өріске енгізсек, онда әр дипольға жүп күш әсер етеді, олардың әсерінен молекулалар ығысады, диполь осьтері сыртқы өрістің күш сызықтары бойында орналасады (178, ә, б-сурет), диэлектрик поляризацияланады. Молекулалардың меншікті өрістерінің сыртқы өріспен суперпозициялануының нәтижесінде, диэлектрик ішіндегі өріс кернеулігі азаяды. Диэлектриктің кез келген бөлігінде зарядтардың қосындысы нөлге тең болады. Осы кезде диэлектриктің бір бетінде теріс зарядтар артық, екінші бетінде оң зарядтар артық болады.

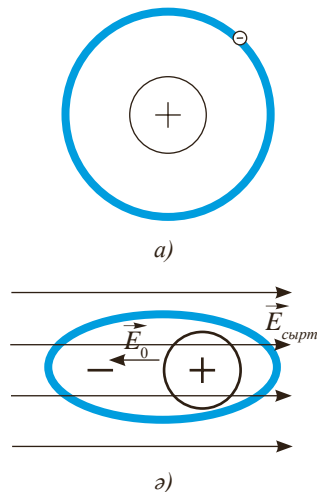


178-сурет. Полярлы диэлектриктерді поляризациялау

2) Полярлы емес диэлектриктерді поляризациялау.

Полярлы емес диэлектриктер атомдардан тұрады. Атомдағы теріс зарядтардың орналасу центрін, ядро маңында электрондар тез айналатындықтан, электронды бұлт центрі деп санауға болады. Осылайша, теріс зарядтардың орналасу центрі ядроның оң зарядының центрімен сәйкес келеді (179, а-сурет). Сыртқы өріс әсерінен электрондық қабықша кернеулік сызықтар бойымен созылады. Оң және теріс зарядтардың центрлері бір-біріне қатысты ығысады, диполь түзіледі, оның өрісі E_0 сыртқы өрісті $E_{сырт}$ әлсіретеді (179, ә-сурет).

Қарастырылған жағдайларда поляризацияланған диэлектриктер бетінде таңбалары қарама-қарсы зарядтар пайда болады. Олар диэлектриктерде өткізгіштегі электрондар сияқты еркін орын ауыстыра алмайды, сондықтан оларды байланысқан зарядтар деп атайды.

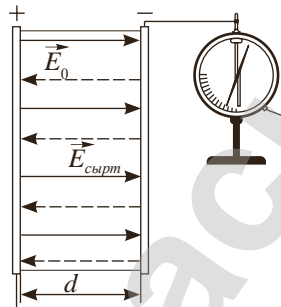


179-сурет. Полярлы емес диэлектриктерді поляризациялау



Өз тәжірибең

Екі зарядталған металл пластиналар арасындағы кеңістікке кезекпен әртүрлі диэлектриктерді енгізіндер (180-сурет). Электрометрдің көрсеткіші бойынша олардың өріске қалай әсер ететінін анықтаңдар. 197-беттегі 12-кесте бойынша материалдардың диэлектрлік өтімділіктерін салыстырыңдар, қорытынды жасаңдар.



180-сурет. Диэлектриктің электр өрісіне әсерін зерттеу

V Біртекті электр өрісіндегі диэлектриктер

Поляризациялау нәтижесінде диэлектрик ішіндегі өріс кернеулігі азаяды (181-сурет). Өрістердің суперпозиция принципінің негізінде:

$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{сырт}} + \vec{E}_0 \text{ немесе } E = E_{\text{сырт}} - E_0.$$

Ортаның диэлектрлік өтімділігінің мәні белгілі болса, диэлектрик ішіндегі өріс кернеулігі:

$$E = \frac{E_{\text{сырт}}}{\epsilon}.$$

181-суретте өріс кернеулігінің екі зарядталған шексіз пластиналар арасындағы кеңістік нүктелерінің координаталарына тәуелділік графигі берілген. Біртекті өрісте нүкте потенциалы кернеулікпен мына формула бойынша байланысқан $\phi = Ed$. 181 б-суреттегі графигте ϕ -тің d -дан тәуелділігі $0x$ осіне көлбеу бұрыш жасайтын түзуді беретінін көреміз, көлбеу бұрышының тангенсі өріс кернеулігіне тең:

$$tq\alpha_1 = \frac{\Delta\phi_1}{d_1} = E_{\text{сырт}}, tq\alpha_2 = \frac{\Delta\phi_2}{d_2} = \frac{E_{\text{сырт}}}{\epsilon}.$$



Жауабы қандай?

Өткізгіш бетінің потенциалын өлшеу кезінде неліктен электрометр корпусын жерлендіру керек?

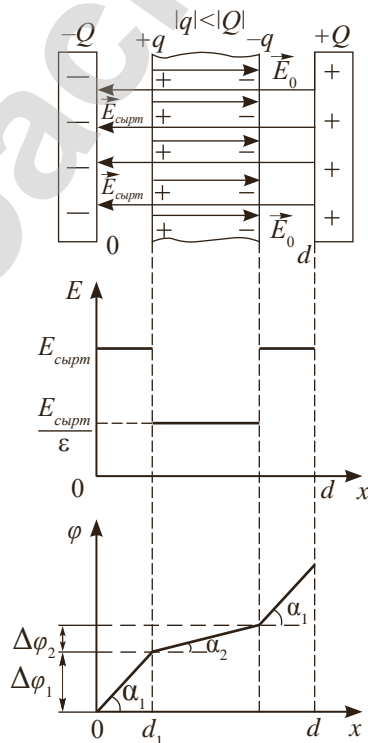


Бұл қызық!

Электростатикалық қорғаныс

Металл торлар мен корпусарды электростатикалық қорғаныс ретінде пайдалануды ең алғаш рет Фарадей ұсынды. Өткізгіштердің қасиеттерін зерттеу барысында ол сыртында кернеулігі жоғары өріс болатын жұқалтырмен (фольга) жабылған текшеге кірді. Электроскоптың көмегімен текше ішінде зарядты табу талпынысы сәтсіз аяқталады. Электростатикалық қорғаныс электротехникада кеңінен пайдаланылады. Сыртқы өрістерге сезімтал құралдардың барлығында металл корпус бар.

Иллюзионистер өткізгіштердің бұл қасиетін аттракциондарда пайдаланады, ол үлкен қызығушылық тудырады (182-сурет).



181-сурет. Біртекті электр өрісіндегі диэлектрик



182-сурет. Иллюзионист Д.Блейн, 10⁶ В кернеудің әсерінде

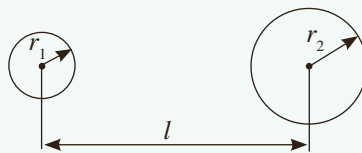
Бақылау сұрақтары

1. Неліктен электр өрісіне енгізілген өткізгіштің ішінде өріс кернеулігі нөлге тең?
2. Неліктен өткізгіштердің беттері эквипотенциал беттер болып табылады?
3. Электр өрісіне сезімтал құралдарға электростатикалық қорғанысты қалай жасайды?
4. Өткізгіштер мен диэлектриктер арасындағы негізгі айырмашылықты көрсетіндер.
5. Полярлы диэлектриктің полярлы емес диэлектриктен айырмашылығы неде?
6. Қандай диэлектрикті полярлы деп атайды? Полярлы диэлектриктің бетіндегі зарядтарды неліктен байланысқан деп атайды?
7. Неліктен сыртқы өріске енгізілген диэлектрик ішіндегі электр өрісі азаяды, ал өткізгіште толығымен жоғалады?

★ Жаттығу

33

1. Бір-біріне жақын арақашықтықта орналасқан екі параллель металл пластиналардың біріне $q = 4$ нКл заряд берілді. Екінші пластинаның әрбір қабырғасына қандай зарядтар индукцияланады? Пластиналар арасындағы өріс кернеулігін анықтаңдар.
2. Центрлері бір-бірінен l арақашықтықта орналасқан екі шарды жіңішке сыммен жалғастырған соң, олардың өзара әрекеттесу күшінің өзгеруін анықтаңдар (*183-сурет*). Шарлардың зарядтары q_1 және $q_2 = 2q_1$, шарлардың радиустары r_1 және $r_2 = 2r_1$.
3. Керосинде бір-бірінен $R = 10$ см арақашықтықта орналасқан екі нүктелік заряд $q_1 = 6,6$ мкКл және $q_2 = 1,2$ мкКл қандай күшпен өзара әрекеттеседі? Өзара әрекеттесу күші бастапқы мәнінде қалу үшін оларды вакуумда қандай арақашықтықта орналастыру қажет?
4. Зарядталған шарды майға батырды. Шардан қандай арақашықтықта өріс кернеулігі, шарды майға батырғанға дейінгі $R = 40$ см арақашықтықтағыдай болады?
5. Бір-біріне жақын арақашықтықта көлденеңінен екі үлкен пластина орналасқан. Төменгі өткізбейтін пластинада заряды $q = 20$ мкКл кішкене шар жатыр. Егер пластиналар арасындағы кеңістікті тығыздығы $\rho = 800$ кг/м³, диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 2$ сұйықпен толтырсақ, шардың салмағы қалай өзгереді? Шардың көлемі $V = 1$ см³, жоғарғы оң зарядталған пластина тудырған электр өрісінің кернеулігі $E = 100$ В/м.



183-сурет. 2 есепке

Шығармашылық тапсырма

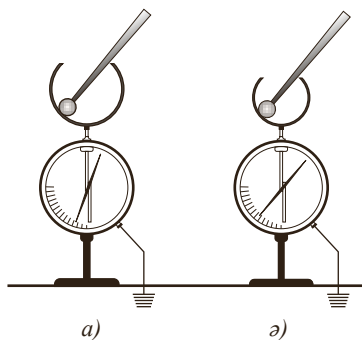
Біздің планета тудырған электр өрісінің негізгі сипаттамаларын зерттеңдер. Қысқаша хабарлама дайындаңдар.

§ 34. Электрсыйымдылық. Конденсаторлар. Конденсаторларды жалғау

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- конденсатор сыйымдылығының оның параметрлеріне тәуелдігін зерттей аласыңдар;
- есептер шығаруда конденсаторларды параллель және тізбектей жалғаудың формулаларын қолдана аласыңдар.



184-сурет. Радиусы үлкен сфераның электрсыйымдылығы үлкен болады

I Оқшауланған өткізгіштердің электрсыйымдылығы

Еркін электрондардың қозғалғыштығына байланысты өткізгіштерді зарядтарды жинақтаушылар ретінде қолданады. Олар әсер арқылы оңай электрленеді немесе электрленген денемен байланыста болғанда артық заряд жинап алады. Тәжірибе жүзінде оқшауланған өткізгіш пен оған берілген заряд арасында тура пропорционал тәуелділік бар екені анықталды. Сфераға оның ішкі бетін өлшемдері кіші зарядталған шармен бірнеше рет жанастыру арқылы q заряд берейік. Әрбір жанасу кезінде электрметр тілшесі бірдей мәнге ауытқиды (184, а-сурет). Демек, заряд пен шар потенциалы арасындағы тәуелділік тура пропорционал:

$$q = C\varphi,$$

мұндағы C – пропорционалдық коэффициенті.

Өріс потенциалы өткізгіш өлшемдеріне тәуелді ме? Оны анықтау үшін радиусы кіші сферамен тәжірибені қайталаймыз. Берілген зарядтың мұндай мәнінде электрметр тілшесі үлкен бұрышқа ауытқиды (184, ә-сурет). Демек, радиусы кіші сфераның потенциалы жоғары: $\varphi_2 > \varphi_1$. Тәжірибе нәтижесінен C коэффициенті өткізгіш сфералардың сипаттамасы болып табылатындығы шығады, оны *электрсыйымдылық* деп атайды.

Оқшауланған өткізгіштің электрсыйымдылығы – өткізгіш зарядының оның потенциалына қатынасына тең физикалық шама.

Естеріңізге түсіріңдер!

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

$$C = \frac{q}{\varphi}. \quad (1)$$

Өткізгіш сфераның потенциалын есептеудің (1) формуласына $\varphi = \frac{kq}{\varepsilon \cdot r}$ өрнегін қойып, табатынымыз:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot r}{k} \quad (2)$$

немесе

$$C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon r. \quad (3)$$

Жауабы қандай?

Шардың сыйымдылығын неліктен сфераның сыйымдылығы сияқты анықтайды: $C = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon r$?

Оқшауланған сфераның радиусы үлкен болса, оның электрсыйымдылығы үлкен болды. Алынған қорытындылар шар үшін де дұрыс, себебі өткізгіштер

ішінде еркін зарядтар жоқ және электр өрісі болмайды.

Электр өрісінің өлшем бірлігі ретінде фарад алынған. Ол М.Фарадейдің құрметіне аталған.

Фарад – заряд 1 кулонға өзгерген кезде оның потенциалы 1 вольтқа артатын өткізгіш сыйымдылығы.

$$C = 1\Phi = \frac{1Kl}{1B}.$$

Сыйымдылықтың өлшем бірлігі үлестік қосымшалармен қолданылады:

$$1 \text{ мк}\Phi = 10^{-6} \Phi; 1 \text{ н}\Phi = 10^{-9} \Phi; 1 \text{ п}\Phi = 10^{-12} \Phi.$$

II Конденсатор

Алақанымызды зарядталған сфераға жақындатайық (*186-сурет*), электрметр көрсеткіші азаяды, демек сфера потенциалы азаяды. Сфера потенциалы оның өрісіне кез келген өткізгішті енгізгенде азаяды. Ойша сфераны жерлендірілген радиусы үлкен сфераның ішіне орналастырайық (*185-сурет*). Сыртқы сфераның бетінде индукцияланған заряд пайда болады. Потенциалы нөлге тең сыртқы сфераға қатысты ішкі сфераның потенциалы:

$$\Delta\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r_1} - \frac{kq}{\varepsilon r_2} = \frac{kq}{\varepsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{kq(r_2 - r_1)}{\varepsilon r_1 r_2} \quad (4)$$

болады.

Потенциалдың азаюы екі өткізгіштің сыйымдылығы оқшауланған өткізгіштің сыйымдылығынан көп екенін көрсетеді.

(4) өрнекті (1) өрнекке қоямыз, екі концентрлік өткізгіш сфералар үшін сыйымдылықты есептеу формуласын жазамыз:

$$C = \frac{\varepsilon r_1 r_2}{k(r_2 - r_1)} \quad (5)$$

немесе
$$C = \frac{4\pi\varepsilon_0 \varepsilon r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (6)$$

Сфера радиустары үлкен және олардың арасындағы қашықтық аз болған сайын, олардың сыйымдылығы



Бұл қызық!

Жер сфералық конденсатор болып табылады, оның сыртқы сферасы ионосфера, ал диэлектригі ауа болып табылады.

Бұл қызық!

Сыйымдылығы 1 Ф шардың радиусы 9 млн км-ге тең:

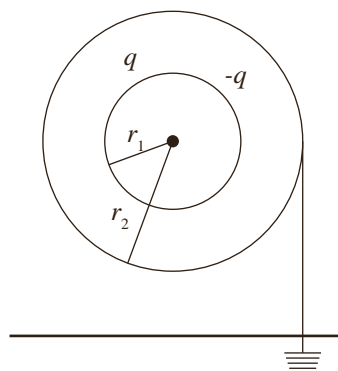
$$r = Ck = 1\Phi \cdot 9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2}{Kl^2} = 9 \cdot 10^9 m.$$

Осындай шардың радиусы Жердің радиусынан 1400 есе артық:

$$\frac{r}{R_{ж}} = \frac{9 \cdot 10^9 m}{6,4 \cdot 10^6 m} \approx 1400.$$

Біздің планетаның атмосферасыз сыйымдылығы 0,71 мФ-ты құрайды:

$$C_{ж} = \frac{6,4 \cdot 10^6 m}{9 \cdot 10^9 \frac{H \cdot m^2}{Kl^2}} = 0,71 \cdot 10^{-3} \Phi = 0,71 \text{ м}\Phi.$$



185-сурет. Жерлендірілген сфераның потенциалы нөлге тең

13-кесте. Конденсаторларда қолданылатын материалдардың диэлектрлік өтімділігі

Зат	ε
Ауа	1,0005
Қағаз	2,5-тен 3,5-ке дейін
Шыны	3-тен 10-ға дейін
Слюда	5-тен 7-ге дейін
Металл оксидтерінің ұнтақтары	6-дан 20-ға дейін

арта түседі. Диэлектрикпен бөлінген екі өткізгіш сфера сфералық конденсатор болып табылады.

Екі жазық параллель пластинадан тұратын, диэлектрикпен бөлінген жазық конденсатор кеңінен қолданысқа ие. Конденсатор пластиналарын *астарлар* деп атайды.

Конденсатор – заряд пен электр өрісінің энергиясын және зарядты жинақтауға арналған құрылғы. Ол қалыңдығы астарлардың өлшемдерімен салыстырғанда аз болатын диэлектрикпен бөлінген екі пластинадан тұрады.

Пластиналар арасындағы біртекті өріс кернеулігі:

$$E = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S}.$$

Конденсатор пластиналары арасындағы потенциалдар айырымы немесе бір астардың екіншісіне қатысты потенциалы мынаған тең:

$$\Delta\varphi = Ed = \frac{qd}{\varepsilon\varepsilon_0 S}. \quad (7)$$

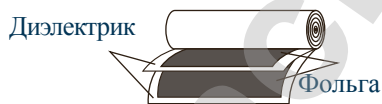
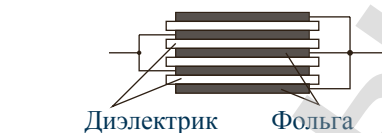
(7) өрнекті (1) өрнекке қойып, жазық конденсатордың сыйымдылығын есептеу формуласын аламыз:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}. \quad (8)$$

(8) формуладан конденсатордың сыйымдылығын арттыру үшін астарлар ауданын арттырып, олардың арасындағы қашықтықты азайтып, диэлектрик енгізу қажет екенін көреміз.

III Конденсатор түрлері

Конденсаторлардың сыйымдылықтары тұрақты және айнымалы түрлері болады. Тұрақты сыйымдылығы бар конденсаторлар бір-бірінен диэлектрикпен оқшауланған екі немесе бірнеше пластинадан тұрады (186-сурет). Пластина ретінде металл жұқалтырды (фольга), ал диэлектрик ретінде қағазды, слюда, лакты алуға болады. Конденсаторлар пайдаланылған материалдың түріне қарай қағазды, слюдалық, электролиздік деп бөлінеді (187-сурет). Айнымалы сыйымдылықты конденсаторлар пластиналардың осьпен жалғасқан екі тобынан тұрады (188-сурет). Ось айналғанда пластиналардың қамтитын ауданы мен олардың арасындағы қашықтық өзгереді. Мұндай құрылым конденсатордың сыйымдылығын бірқалыпты өзгертуге мүмкіндік береді.



186-сурет. Жазық конденсатор



187-сурет. Металқағазды және алюминийлі электролиттік конденсатор



188-сурет. Айнымалы сыйымдылықты конденсатор

IV Конденсаторларды параллель жалғау

Сыйымдылықтардың түрлі мәндерін алу үшін конденсаторларды әртүрлі жалғау қолданылады. *Параллель жалғау жағдайында барлық конденсаторлар бірдей потенциалдардың айырымына дейін зарядталады (189-сурет).*

$$U = \varphi_1 - \varphi_2.$$

$$\text{Осылайша, } U = U_1 = U_2 = \dots = U_n. \quad (9)$$

Егер конденсаторлардың сыйымдылықтарында айырмашылық болса, онда олардың әрқайсысында мәндері бойынша әртүрлі зарядтар жинақталады:

$$q_1 = C_1 U, q_2 = C_2 U, \dots, q_n = C_n U. \quad (10)$$

Жалпы заряд әр конденсатордағы зарядтардың қосындысымен анықталады:

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i. \quad (11)$$

(10) өрнекті (11) өрнекке қоямыз және (9) формуланы ескеріп, мынадай формула аламыз:

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n,$$

мұндағы n – конденсаторлар саны. *Параллель жалғанған конденсаторлардың сыйымдылығы барлық конденсаторлардың сыйымдылықтарының қосындысына тең.*

(9) және (10) өрнектерден шығатыны:

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}.$$

Кернеудің мәні өзгермесе де, конденсатор сыйымдылығы қаншалықты артса, заряд та соғұрлым көбірек жинақталады.

V Конденсаторларды тізбектей жалғау

Конденсаторларды тізбектей жалғауды қарастырайық (190-сурет). Бірінші конденсатордың астарынан заряд берейік. Онда келесі астарларда мәндері бірдей, бірақ таңбасы алдыңғы пластинаға қарама-қарсы заряд индукцияланады. *Барлық пластиналардағы зарядтардың қосындысы бір конденсатордың ішіндегі зарядқа тең, демек:*

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n. \quad (12)$$

Әр конденсатордағы кернеу оның сыйымдылығымен анықталады:

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; U_2 = \frac{q}{C_2}; \dots; U_n = \frac{q}{C_n}. \quad (13)$$

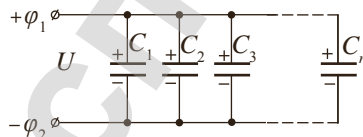
Барлық конденсаторлардың жалпы кернеуі олардың әрқайсысындағы кернеулердің қосындысына тең:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n. \quad (14)$$

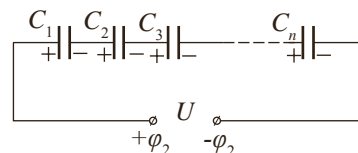


Есте сақтаңдар!

Параллель жалғау кезінде конденсаторлардың сыйымдылықтары тең болған жағдайда олардың жалпы сыйымдылығы: $C = nC_1$.



189-сурет. Конденсаторларды параллель жалғау



190-сурет. Конденсаторларды тізбектей жалғау



Жауабы қандай?

1. Конденсаторлардың жалпы сыйымдылығы неліктен оларды параллель жалғағанда артады, ал тізбектей жалғағанда азаяды?
2. Неліктен сфералық емес жазық конденсаторлар кең қолданысқа ие?
3. Тізбектей жалғанған конденсаторлардың барлық астарларында неліктен мәні бойынша бірдей заряд жинақталады?

(13) формуланы (14) формулаға қойып және конденсаторлардағы зарядтардың (12) теңдігін ескере отырып, мына формуланы аламыз:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}. \quad (15)$$

Параллель жалғау кезінде конденсатордың жалпы сыйымдылығына кері шама жекелеген конденсаторлардың сыйымдылықтарының кері шамаларының қосындысына тең.

(12) және (13) өрнектерден шығатыны:

$$C_1 U_1 = C_2 U_2 \text{ немесе } \frac{C_1}{C_2} = \frac{U_2}{U_1}.$$

Зарядтың мәні өзгеріссіз болғанда, конденсатордың сыйымдылығы қаншалықты артса, оның кернеуі соншалықты кемиді.



Есте сақтаңдар!

Сыйымдылықтары әртүрлі екі конденсатор үшін (15) формуладан алатынымыз:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Сыйымдылықтар тең болған жағдайда:

$$C = \frac{C_1}{n},$$

мұндағы n – конденсаторлар саны.

Бақылау сұрақтары

1. Электрсыйымдылық дегеніміз не? Ол немен өлшенеді?
2. Зарядтардың жинақталуы үшін қандай құрылғы қолданылады? Ол неден тұрады?
3. Конденсаторлардың қандай түрлерін білесіңдер?
4. Конденсаторларды тізбектей және параллель жалғаудың негізгі заңдылықтарын көрсетіңдер.

★ Жаттығу

34

1. Екі пластинадан тұратын конденсатордың электрсыйымдылығы 5 пФ. Егер оның астарлары арасындағы потенциалдар айырымы 1000 В болса, оның әр астарында қандай заряд бар?
2. Пластиналарының өлшемдері 25×25 см және олардың арасындағы қашықтық 0,5 мм жазық конденсатор потенциалдар айырымы 10 В кернеу көзінен зарядталып, содан кейін одан ажыратылады. Егер конденсатордың пластиналарын 5 мм қашықтыққа алыстатсақ, оның потенциалдар айырымын анықтаңдар.
3. Үш түрлі конденсатор бар. Олардың біреуінің электрсыйымдылығы 2 мкФ. Барлық конденсаторлар тізбектей жалғанған кезде жалпы электрсыйымдылық 1 мкФ болды. Конденсаторлар параллель жалғанғанда олардың тізбегінің электрсыйымдылығы 11 мкФ болады. Екі белгісіз конденсатордың электрсыйымдылықтарын анықтаңдар.
4. Электрсыйымдылықтары 1 мкФ және 3 мкФ тізбектей жалған зарядталмаған екі конденсатордан тұратын электр тізбегі тұрақты 220 В кернеу көзіне жалғанған. Олардың желіге жалғанғаннан кейінгі кернеулерін анықтаңдар.
5. Электрсыйымдылығы 4 мкФ конденсатор 10 В кернеуге дейін зарядталған. Егер оған электрсыйымдылығы 6 мкФ, 20 В кернеуге дейін зарядталған басқа конденсаторды жалғайтын болсақ, онда бірінші конденсатордың астарларындағы заряд қандай болады? Әр аттас зарядтары бар астарлар жалғанған.

§ 35. Электр өрісінің энергиясы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электр өрісінің энергиясын есептеуді үйренесіңдер.



Есте сақтаңдар!

Конденсатордың электр өрісінің энергиясы деформацияланған серіппеннің потенциалдық энергиясына ұқсас:

$$W = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k} = \frac{Fx}{2}$$



1-тапсырма

Электр өрісінің энергиясын есептеу формуласын деформацияланған серіппенің потенциалдық энергиясын есептеу формуласымен салыстырыңдар. Ұқсас шамаларды көрсетіңдер.



Жауабы қандай?

Неліктен конденсатордың энергиясы конденсатордың астарлары арасындағы кеңістікпен оқшауланған? Бұл сұраққа жауап беру үшін электр өрісі энергиясының тығыздығын есептеу формуласын пайдаланыңдар.

I Электр өрісінің энергиясы

Зарядталған конденсатор оны зарядтау барысында атқарылған жұмысқа тең потенциалдық энергия қорына ие. Зарядтау кезінде атқарылатын жұмысты пластиналарды нөлдік қашықтықтан d арақашықтыққа дейін жылжыту барысында атқарылатын жұмыс ретінде анықтауға болады. Заряды q пластинаның кернеулігі E_1 екінші пластина өрісіндегі қозғалысын қарастырайық, E_1 екі пластина арасындағы кернеуліктің жартысына тең $E_1 = \frac{E}{2}$. Пластиналардың орын ауыстыру күші $F = qE_1 = \frac{qE}{2}$, ал атқарылған жұмыс: $A = Fd = \frac{qEd}{2}$.

$$U = Ed \text{ екенін ескеріп, мынаны аламыз: } A = \frac{qU}{2}.$$

Демек, конденсатор астарлары арасындағы өріс энергиясы мынаған тең:

$$W = \frac{qU}{2}. \quad (1)$$

Заряд пен кернеулік арасындағы байланыс формуласын $q = CU$ пайдаланып, өріс энергиясын мына түрде жазамыз:

$$W = \frac{CU^2}{2} \quad (2) \quad \text{және} \quad W = \frac{q^2}{2C}. \quad (3)$$

Конденсатор ток көзіне жалғанған және оның астарларындағы кернеу өзгермейтін жағдайда (2) формула қолданылады. Конденсатор ток көзіне жалғанбаған жағдайда және оның заряды тұрақты шама болып қалатын (3) формуланы пайдалану ыңғайлы.

II Энергия тығыздығы

Өріс энергиясының тығыздығы мынаған тең:

$$\omega = \frac{W}{V}. \quad (4)$$

Энергия тығыздығы мен өріс кернеулігі арасындағы байланысты анықтайық:

$$\omega = \frac{CU^2}{2V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 SE^2 d^2}{d \cdot 2V}.$$

$Sd = V$ екенін ескеріп, мына өрнекті аламыз:

$$\omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}. \quad (5)$$

Энергия тығыздығы кернеулік квадратына тура пропорционал.

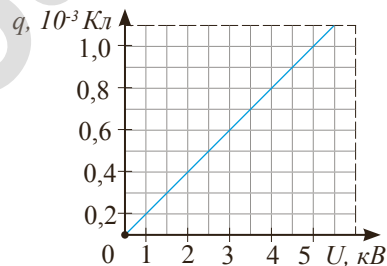
III Конденсатор энергиясының сыйымдылыққа және кернеуге тәуелділігін тәжірибе жүзінде зерттеу

Тәжірибені жүргізу үшін түтікше мен диаметрі кішкентай түтікті пайдалана отырып, газ термометрін жасау қажет. Түтікшенің тығынына боялған суы бар түтік және сымның екі ұшы кіретін тесік жасау керек. Түтікшенің ішіне металл спираль салып, екі ұшын түтікшенің тығынындағы тесіктен шығару қажет. Түтікшені тығынмен жабамыз. Спиральға екі полюсті кілт арқылы конденсаторды жалғаймыз. Конденсаторды зарядтау үшін конденсаторға кілттің екінші полюсіне жалғанған тұрақты ток көзін қолдануға болады. Конденсатордың энергиясы оның разрядталуы кезіндегі жылулық әрекетімен есептелінеді. Конденсатор разрядталғанда түтікшедегі спираль және ауа қызып, түтікшедегі тамшы орын ауыстырады. Конденсатордың сыйымдылығы екі есе арттыру түтіктегі тамшының көтерілу биіктігінің екі есе артуына алып келеді. Конденсаторды сыйымдылығы екі есе үлкен конденсаторға алмастыратын болсақ, онда тамшылардың орын ауыстыруы екі есе артады.

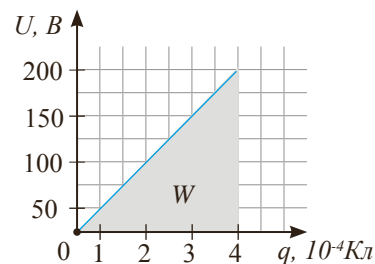


2-тапсырма

1. Жазық конденсатордың астарлары тудырған өрістің күш сызықтарын бейнелеңдер. Конденсатордың сыртында электр өрісінің кернеулігі нөлге тең екенін дәлелдеңдер.
2. (4) формуланы пайдаланып, энергияның көлемдік тығыздығының өлшем бірлігін жазыңдар. Қандай шама дәл осындай өлшем бірлікке ие?



191-сурет. Конденсатор астарларындағы зарядтың кернеуге тәуелділік графигі



192-сурет. Конденсатор астарларындағы кернеудің зарядқа тәуелділік графигі



3-тапсырма

191-суретте көрсетілген график бойынша конденсатордың электр өрісінің энергиясын және сыйымдылығын анықтаңдар.

IV Конденсаторға берілген зарядтың конденсатордың астарларындағы кернеуге тәуелділік графигінен энергияны анықтау

192-суретте конденсатор астарларындағы кернеудің конденсаторға берілген зарядқа тәуелділік графигі берілген. $W = \frac{qU}{2}$ формуласының негізінде график астындағы фигура ауданының сандық мәні конденсатордың электр өрісінің энергиясына тең деп тұжырымдауға болады. $q = 4 \cdot 10^{-4}$ Кл заряд берілу кезінде конденсатордың астарлары арасындағы электр өрісінің энергиясы $W = 0,04$ Дж болады.



Өз тәжірибең

1. Параграфтың III бөлігінде сипатталған, конденсатор энергиясының сыйымдылық пен кернеуге тәуелділігін зерттеуге арналған қондырғыны бейнелеңдер.
2. Конденсатордың электр өріс энергиясының
 - а) кернеудің тұрақты мәнінде конденсатор сыйымдылығына;
 - б) сыйымдылық тұрақты кезде конденсатордың астарларындағы кернеуге тәуелділігін зерттендер.
3. Алынған нәтижелер бойынша конденсатор энергиясының көрсетілген шамаларға тәуелділік графигін салыңдар.
4. Алынған нәтижені теориялық қорытындымен салыстырыңдар.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Жазық ауа конденсаторының энергиясы $W_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Дж. Конденсаторды диэлектрлік өтімділігі $\epsilon = 2$ диэлектрикпен толтырғаннан кейін: 1) конденсатор ток көзінен ажыратылған, 2) ток көзіне жалғанған жағдайлардағы конденсатор энергиясын анықтаңдар.

Берілгені:

$W_1 = 2 \cdot 10^{-7}$ Дж

$\epsilon = 2$

1) $q = \text{const}$

2) $U = \text{const}$

$q = \text{const}$ болғанда $W_2 = ?$

$U = \text{const}$ болғанда $W_3 = ?$

Шешуі:

Конденсатордың сыйымдылығы диэлектрикпен толтырылғаннан кейін 2 есе артады: $C_2 = 2C_1$.

Бірінші жағдайда конденсатор ток көзінен ажыратылған, бұл жағдайда оның заряды өзгермейді, сонда конденсатордың энергиясын мына формуламен анықтаймыз:

$$W_2 = \frac{q^2}{2C_2} = \frac{q^2}{2 \cdot 2C_1} = \frac{W_1}{2}.$$

Конденсатордың энергиясы 2 есе кемиді: $W_2 = 10^{-7}$ Дж.

Екінші жағдайда, яғни конденсатор ток көзіне жалғанғанда конденсатор астарларындағы кернеу тұрақты шама болып қалады. Конденсатордың энергиясы мынаған тең:

$$W_3 = \frac{C_2 U^2}{2} = 2 \frac{C_1 U^2}{2} = 2W_1$$

Конденсатордың энергиясы 2 есе артты:

$$W_3 = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Дж.}$$

Жауабы: $q = \text{const}$ болғанда $W_2 = 10^{-7}$ Дж.

$U = \text{const}$ болғанда $W_3 = 4 \cdot 10^{-7}$ Дж.

Бақылау сұрақтары

1. Электр өрісінің энергиясы қалай анықталады?
2. Электр өрісінің барлық энергиясы конденсатордың қай бөлігінде шоғырланған?
3. Электр өріс энергиясының тығыздығын қалай анықтайды?
4. Электр өріс энергиясының тығыздығының өлшем бірлігін атаңдар.

1. Электрсыйымдылығы 20 мкФ конденсаторға 5 мкКл заряд берілген. Зарядталған конденсатордың энергиясын анықтаңдар.
2. Кернеуі тұрақты $U = 1000$ В ток көзіне жалғанған конденсатордың электрсыйымдылығы $C_1 = 5$ пФ. Конденсатордың астарларының арақашықтығын $n = 3$ есе азайтты. Конденсатордың астарларындағы зарядының өзгерісін және электр өріс энергиясының өзгерісін анықтаңдар.
3. Ауа конденсаторының пластиналарын ток көзінен ажыратып, екі есе қашықтыққа жылжытып, пайда болған қуысты өтімділігі 4-ке тең диэлектрикпен толтырды. Конденсатордағы электр өрісінің энергиясы неше есе кеміді?
4. Ауданы 200 см^2 конденсатордың жазық пластиналары бір-бірінен 1 см қашықтықта орналасқан. Егер кернеуі 500 кВ/м болса, онда оның өріс энергиясын анықтаңдар.
5. Конденсатордың астарлары парафинге малынған қалыңдығы 2 мм қағаз диэлектрикпен бөлінген. Электр өрісінің кернеуі 200 В болса, энергия тығыздығын анықтаңдар. Ортаның диэлектрлік өтімділігі 2,2.
6. Электрсыйымдылығы 2 мкФ конденсаторға 10^{-3} Кл заряд берілген. Конденсатор астарларын өткізгішпен жалғаған. Конденсаторды разрядтаған кезде өткізгіште бөлінетін жылу мөлшері және разрядтағанға дейінгі және разрядтағаннан кейінгі астарлар арасындағы потенциалдар айырымын анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. ҚР кәсіпорындарындағы конденсатор өндірісі.
2. Күштік конденсаторлар мен конденсаторлық құрылғылардың атқаратын міндеті (193-сурет).



193-сурет. Өскемен конденсатор зауытында жасалған конденсаторлар

10-тараудың қорытындысы

Заңдар	Электр өрісінің сипаттамалары	
	Кернеулік	Потенциал
<p>Зарядтың сақталу заңы</p> $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = const$ $q = N e $ <p>Кулон заңы</p> $F_K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon} \frac{ q_1 q_2 }{r^2}$ $F_K = \frac{k q_1 q_2 }{\epsilon r^2}$ <p>Өрістердің суперпозиция принципі</p> $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$ $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$ <p>Гаусс теоремасы</p> $\Phi_E = \frac{\sum_{i=1}^n q_i}{\epsilon\epsilon_0}$	$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ <p>Нүктелік заряд өрісінің кернеулігі</p> $E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}; E = \frac{kq}{\epsilon r^2}$ <p>Шексіз пластина өрісінің кернеулігі</p> $E = \frac{q}{2\epsilon\epsilon_0 S}; E = \frac{\sigma}{2\epsilon\epsilon_0}$ $\sigma = \frac{q}{S} - \text{зарядтың беттік тығыздығы}$ <p>Өраттас екі пластиналар арасындағы өріс кернеулігі</p> $E = \frac{q}{\epsilon\epsilon_0 S}; E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$	$\varphi = \frac{W_p}{q}$ <p>Нүктелік заряд өрісінің потенциалы</p> $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}; \varphi = \frac{kq}{\epsilon r}$ <p>Біртекті өрістің потенциалы</p> $\varphi = Ed$
<p>Өрістегі зарядтың потенциалдық энергиясы, заряд орын ауыстырғанда атқарылатын жұмыс</p>		<p>Өрістің жұмысы және потенциалы</p>
<p>Біртекті өріс үшін</p> $W_p = qEd$ $A = -(qEd_2 - qEd_1)$	<p>Біртекті емес өріс үшін</p> $W_p = \frac{kQq}{r}$ $A = \frac{kQq}{r_1} - \frac{kQq}{r_2}$	
<p>Өткізгіштердің сыйымдылығы</p>	<p>Конденсаторларды жалғаудың негізгі заңдылықтары</p>	
<p>Оқшауланған өткізгіштің сыйымдылығы</p> $C = \frac{q}{\varphi}$ <p>Оқшауланған шардың сыйымдылығы</p> $C = 4\pi\epsilon_0 r$ <p>Сфералық конденсатордың сыйымдылығы</p> $C = \frac{4\pi\epsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}$ <p>Жазық конденсатордың сыйымдылығы</p> $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$	<p>Тізбектей жалғау</p> $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$ $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$ $C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ $C = \frac{C_1}{n}$ $\frac{C_1}{C_2} = \frac{U_2}{U_1}$	<p>Параллель жалғау</p> $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = \sum_{i=1}^n q_i$ $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ $C = nC_1$ $\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_2}{C_1}$

Ортаның диэлектрлік өтімділігі	Конденсатордың электр өрісінің энергиясы мен тығыздығы
$\varepsilon = \frac{F_0}{F}; \varepsilon = \frac{E_0}{E}$	$W = \frac{qU}{2}; W = \frac{CU^2}{2}; W = \frac{q^2}{2C}; \omega = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2}$

Заңдар

Зарядтың сақталу заңы:

Кез келген тұйық жүйедегі электр зарядтарының алгебралық қосындысы осы жүйедегі кез келген процестер кезінде өзгеріссіз қалады.

Кулон заңы:

Екі нүктелік зарядтардың өзара әрекеттесу күші зарядтарды қосатын түзу сызық бойымен бағытталған, зарядтардың модульдерінің көбейтіндісіне тура пропорционал және олардың арақашықтығының квадратына кері пропорционал.

Өрістердің суперпозиция принципі:

Зарядтар жүйесі тудырған электр өрісінің кеңістіктің берілген нүктесіндегі кернеулігі зарядтың электр өрістерінің кернеуліктерінің геометриялық қосындысына тең.

Бірнеше заряд тудырған өрістің потенциалы зарядтар өрістері потенциалдарының алгебралық қосындысына тең.

Гаусс теоремасы:

Кез келген тұйық бет арқылы өтетін кернеулік ағыны бет ішіндегі барлық еркін электр зарядтардың алгебралық қосындысын ε_0 көбейтіндісіне бөлгенге тең.

Глоссарий

Диполь – өзінің меншікті өрісін түзетін, бір-біріне қатысты ығысатын өзара байланысқан зарядтар жүйесі.

Ортаның диэлектрлік өтімділігі – диэлектрдегі өріс кернеулігі вакуумға қарағанда неше есе аз екенін көрсететін физикалық шама.

Конденсатор – заряд пен электр өрісінің энергиясын және зарядты жинақтауға арналған құрылғы. Ол қалыңдығы астарлардың өлшемдерімен салыстырғанда аз болатын диэлектрикпен бөлінген екі пластинадан тұрады.

Кулон – ток күші 1 А болғанда 1 с ішінде өткізгіштің көлденең қимасынан өтетін электр заряды.

Электр өрісінің кернеулігі – өрістің кеңістіктің берілген нүктесіне орналасқан оң сынақ зарядқа әсер ететін күшінің, осы заряд шамасына қатынасына тең физикалық шама.

Электр өрісінің күш сызықтары – әрбір нүктедегі жанамаларының бағыты өріс кернеулігі векторының бағытымен сәйкес келетін сызықтар.

Нүктелік зарядтар – өлшемдері арасындағы қашықтықтардан әлдеқайда кіші болатын зарядталған денелер.

Фарад – өткізгіш сыйымдылығы, заряд 1 кулонға өзгергенде оның потенциалы 1 вольтқа артады.

Эквипотенциал бет – барлық нүктелерде өріс потенциалы бірдей болатын бет.

Электр өрісі – зарядталған денелер өзара әрекеттесуін сипаттайтын материяның ерекше түрі.

Электростатика – қозғалмайтын электр зарядтары арасындағы өзара әрекеттесулерді зерттейтін электродинамиканың бөлімі.

Электрлік индукция – өткізгіштің әсер арқылы зарядталу процесі.

ТҰРАҚТЫ ТОК

Ең алғаш рет зарядталған бөлшектердің қозғалысын байқаған италиялық ғалым-биолог Луиджи Гальвани болатын. Ол әртүрлі металл пластинамен түйіскенде өлі бақа табандарының импульсивті жиырылуын байқады. Гальвани зерттеулерін Александр Вольт ары қарай жалғастырды. Ол тәжірибе жүзінде әр аттас металл пластиналарды тұз, қышқыл және сілті ертінділеріне салғанда әр аттас пластиналар арасында ток пайда болатынын дәлелдеді. Зарядталған бөлшектердің қозғалысы көптеген физикалық ғалымдардың назарын аударды. Әртүрлі орталарда қозғалатын зарядталған бөлшектер бағынатын заңдар негізінен эксперимент жүзінде ашылды. Ғалымдардың зерттеу нәтижелері өнеркәсіп пен тұрмыста кеңінен қолданыс тапты. Қазіргі әлемді электр тогын пайдаланатын әртүрлі құралдар мен құрылғыларсыз елестету мүмкін емес.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- тізбектің өткізгіштер аралас жалғанған бөлігі үшін Ом заңын пайдалануды;
- өткізгіштердің аралас жалғануын зерттеуді;
- әртүрлі жұмыс режиміндегі (қалыпты жұмыс, бос жүріс, қысқа тұйықталу) электр қозғаушы күш пен кернеудің арасындағы байланысты зерттеуді;
- толық тізбек үшін Ом заңын қолдануды;
- ток көзінің электр қозғаушы күшін және ішкі кедергісін тәжірибе жүзінде анықтауды;
- тармақталған электр тізбегіне Кирхгоф заңын қолдануды;
- есептер шығару кезінде ток көзінің жұмысының, қуатының және пайдалы әсер коэффициентінің формуласын қолдануды үйренесіңдер.

§ 36. Электр тогы. Тізбек бөлігіне арналған Ом заңы. Өткізгіштерді аралас жалғау

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- тізбектің өткізгіштер аралас жалғанған бөлігі үшін Ом заңын қолданды үйренесіңдер.

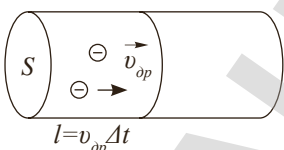
Жауабы қандай?

Неліктен еркін зарядтардың өткізгіштегі жылулық қозғалысын электр тогы деп айта алмаймыз? Қандай шарттарда өткізгіштегі еркін зарядтардың бағытталған қозғалысы орындалады?

Естеріңе түсіріңдер!

Ток күшінің өлшем бірлігі: 1 ампер:

$$[I] = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ А}$$



194-сурет. Дрейф

жылдамдығы – зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысының жылдамдығы

Жауабы қандай?

Неліктен қуатты электр құралдарын, мысалы, үтіккі, микротолқынды пешті желіге қимасы жуан (үлкен) сыммен қосады.

I Электр тогы. Ток күші. Ток тығыздығы

Өткізгіштегі зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысы сыртқы өріс әсерінен пайда болады.

Электр тогы – электр зарядтарының бағытталған қозғалысы.

Өткізгіштегі электр тогын сипаттау үшін мынадай физикалық шамалар енгізіледі: ток күші және ток тығыздығы.

Ток күші – бірлік уақытта өткізгіштің көлденең қимасы арқылы өтетін заряд мөлшеріне тең шама.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1)$$

Зарядты бір бөлшек зарядының олардың N санына көбейтіндісімен алмастырсак:

$$\Delta q = |q_0|N, \quad (2)$$

мұндағы $|q_0|$ – бір бөлшектің заряды. Δt уақытта өткізгіштің көлденең қимасы арқылы V көлемді алатын зарядтар өтеді (194-сурет). Онда зарядтар концентрациясының белгілі бір мәнінде, олардың санын төмендегі формуламен анықтауға болады:

$$N = nV, \quad (3)$$

$$\text{мұндағы} \quad V = SI = Sv_{op}t \quad (4)$$

(2), (3) және (4) теңдеулерін (1)-ге қойып, мынаны аламыз:

$$I = |q_0|nv_{op}S. \quad (5)$$

Алынған формуладағы v_{op} – зарядталған бөлшектердің бағытталған жылдамдығы немесе дрейф жылдамдығы.

Ток тығыздығы – ток күшінің өткізгіштің көлденең қимасының ауданына қатынасына тең физикалық шама.

$$j = \frac{I}{S}. \quad (6)$$

Ток тығыздығының өлшем бірлігі $[j] = 1 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$.

Ток тығыздығы зарядталған бөлшектердің концентрациясымен, зарядтың дрейф жылдамдығымен және заряд шамасымен анықталады:

$$j = |q_0| n v_{др} \quad (7)$$

Үлкен токтарға арналған немесе қуатты электр қыздырғыш құралдарды желіге қимасы үлкен сымдар арқылы жалғайды. Бұл сымның қатты қызып кетуінен және оқшаулағыштың еріп кетуінен сақтау үшін және сымдағы ток тығыздығын кеміту үшін қажет.

II Тізбек бөлігі үшін Ом заңы

Эксперименттік мәліметтер негізінде Г.Ом мынадай тұжырымдама жасады:

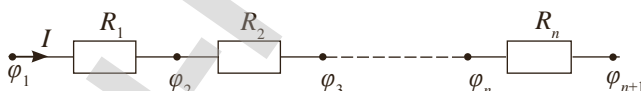
Тізбек бөлігіндегі ток күші сол бөліктегі кернеуге тура пропорционал және кедергіге кері пропорционал.

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} \text{ немесе } I = \frac{U}{R} \quad (8)$$

Берілген заңдылықты *тізбек бөлігі үшін Ом заңы* деп атайды (195-сурет).

III Өткізгіштерді параллель және тізбектей жалғау

Егер келесі өткізгіштің басын алдыңғы өткізгіштің ұшымен жалғайтын болса, онда өткізгіштерді жалғаудың бұл түрін *өткізгіштерді тізбектей жалғау* деп атайды (196-сурет).

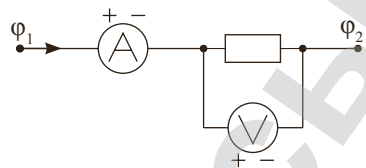


196-сурет. Өткізгіштерді тізбектей жалғау

Параллель жалғау кезінде өткізгіштердің бастарын бір түйінге, ұштарын екінші түйінге жалғайды (197-сурет).

Тізбектей жалғауды параллель жалғаудан ажырату қиын емес, тізбектей жалғау кезінде тізбекте түйіндер болмайды.

Түйін – үш немесе одан да көп өткізгіштерді жалғау.



195-сурет. Белсенді кедергісі бар тізбек бөлігі



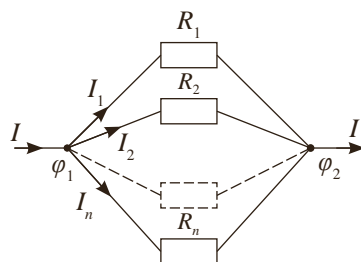
Тапсырма

195-суретке қарап, амперметрді және вольтметрді желіге жалғау ережесін түсіндіріңдер.



Есте сақтаңдар!

U кернеу дегеніміз – ток көзі болмайтын тізбектің екі нүктесінің потенциалдар айырымы: $\varphi_1 - \varphi_2$.



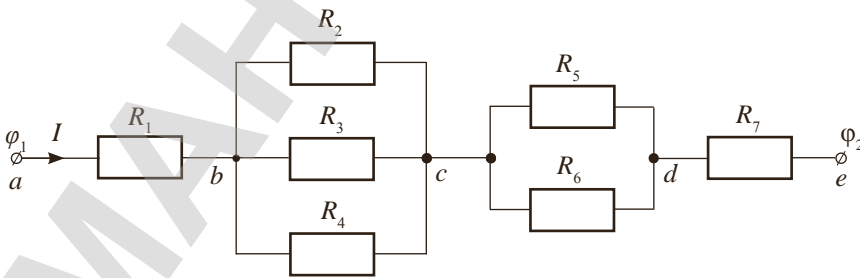
197-сурет. Өткізгіштердің параллель жалғануы

14-кесте. Өткізгіштерді параллель және тізбектей жалғау формулалары

Шамалардың арақатынасы	Жалғау түрлері	
	тізбектей	параллель
Жалпы токтың тізбек бөліктеріндегі токтармен байланысы	$I_{жалпы} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I_{жалпы} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Жалпы кернеудің тізбек бөліктеріндегі кернеудің түсуімен байланысты	$U_{жалпы} = \varphi_1 - \varphi_{n+1};$ $U_{жалпы} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U_{жалпы} = \varphi_1 - \varphi_2;$ $U_{жалпы} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Тізбек бөлігінің жалпы кедергісі	$R_{жалпы} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R_{жалпы}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$
Кедергілері шамалары бойынша тең n өткізгіштің жалпы кедергісі	$R_{жалпы} = nR$	$R_{жалпы} = \frac{R}{n}$
Екі өткізгіштің кедергісі	$R_{жалпы} = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Айнымалы шамалардың арақатынасы	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ $U_1 : U_2 : U_3 : \dots : U_n$ $R_1 : R_2 : R_3 : \dots : R_n$	$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ $I_1 : I_2 : I_3 : \dots : I_n$ $\frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \dots : \frac{1}{R_n}$

IV Өткізгіштерді аралас жалғау

Өткізгіштерді аралас жалғау тізбек бөлігіндегі тізбектей және параллель жалғануларды біріктіреді. Тізбектің жалпы кедергісін, ток пен кернеудің оның бөліктері бойынша таралуын есептеуді параллель жалғау және тізбектей жалғау формулаларын (14-кесте) қолданып жүргізеді. 198-суретте тізбек бөлігінде өткізгіштерді аралас жалғау көрсетілген.

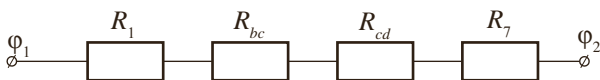


198-сурет. Өткізгіштерді аралас жалғау

Тізбектің bc және cd бөліктерінде өткізгіштер параллель жалғанған, ендеше, осы бөліктердегі есептеулер параллель жалғану заңдарымен жүргізіледі:

$$R_{bc} = \frac{R_2 R_3 R_4}{R_3 R_4 + R_2 R_4 + R_2 R_3}, \quad R_{cd} = \frac{R_5 R_6}{R_5 + R_6}.$$

Есептеулерді ыңғайлы ету үшін *эквиваленттік сұлбаларды* қолданады. Эквивалентті сұлба тізбек бөліктеріндегі жеке кедергілерді жалпы кедергіге алмастырғанда 199-суреттегідей болады.



199-сурет. 198-суретте көрсетілген тізбектің эквивалентті сұлбасы

Тізбекте түйіндер жоқ болғандықтан, алынған сұлба – өткізгіштерді тізбектей жалғау сұлбасы. Тізбектің жалпы кедергісі мына кедергілердің қосындысына тең болады:

$$R_{\text{жалпы}} = R_1 + R_{bc} + R_{cd} + R_7.$$

Тізбектегі кернеу мен ток күшінің таралуын есептеу кезінде тізбек бөлігі үшін Ом заңын қолданады.

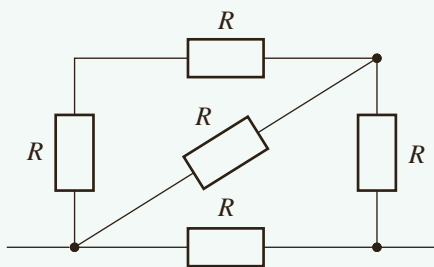
Бақылау сұрақтары

1. Электр тогы дегеніміз не?
2. Электр тогын сипаттайтын шамаларды атаңдар, оларға анықтама беріңдер.
3. Тізбек бөлігі үшін Ом заңын тұжырымдаңдар.
4. Қандай жалғауды тізбектей жалғау деп атайды? Қандай жалғауды параллель жалғау деп атайды?
5. Электр тізбегінің түйіні деп нені айтады?

★ Жаттығу

36

1. Қалта фонары шамының қыл сымы арқылы $t = 2$ мин уақыт ішінде $q_1 = 20$ Кл заряд өтеді. Шам қыл сымы арқылы $q_2 = 60$ Кл заряд өтетін уақытты және ток күшін анықтаңдар.
2. Найзағай өткізгіш ұшын жермен жалғайтын темір сымның көлденең қимасының ауданы $S = 1 \text{ см}^2$. Найзағай разряды кезінде осы сым арқылы $I = 10^5 \text{ А}$ ток жүруі мүмкін. Өткізгіштегі ток тығыздығын табыңдар. Оны диаметрі 2 мм болатын және бойымен 1,57 А ток өтетін өткізгіштегі ток тығыздығымен салыстырыңдар.
3. Егер $I = 1 \text{ А}$ ток күшінде кернеудің түсуі $U = 1,2 \text{ В}$ болса, өткізгіштің меншікті кедергісі ρ неге тең? Өткізгіштің диаметрі $d = 0,5 \text{ мм}$, ал ұзындығы $l = 47 \text{ мм}$.
4. Кедергілері бірдей $R = 10 \text{ Ом}$ болатын төрт резистор бар. Оларды жалғаудың неше тәсілі бар? Әрбір жағдай үшін эквивалентті кедергіні табыңдар.
5. Егер $R = 4 \text{ Ом}$ болса, онда 200-суретте көрсетілген тізбектің жалпы кедергісі қандай?



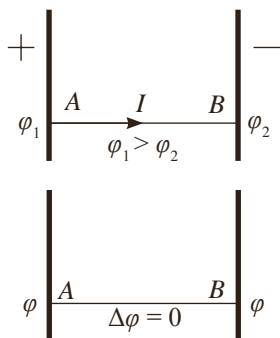
200-сурет. 36-жаттығудың 5-есебіне

§ 37. Ток көзінің электр қозғаушы күші және ішкі кедергісі

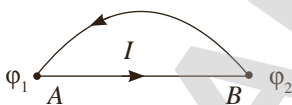
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- ток көзінің әртүрлі жұмыс режиміндегі (қалыпты жұмыс, бос жүріс, қысқа тұйықталу режимі) электр қозғаушы күш пен кернеудің арасындағы байланысты зерттеуді үйренесіңдер.



201-сурет. Конденсатор астарларының арасындағы қысқа мерзімді ток



202-сурет. Тұйық тізбектегі зарядты тасымалдау

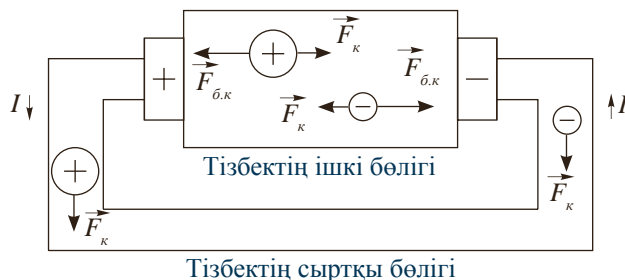
Жауабы қандай?

Өткізгіштегі зарядтардың қозғалысы қандай шартта реттелген болады?

I Тұрақты электр тогының пайда болуы және бар болуы үшін қажетті шарттар

Зарядталған конденсатор пластиналарын AB өткізгішімен жалғасақ, өткізгіште электр тогы пайда болады. Конденсатор разрядталғаннан кейін, өткізгіш ұштарындағы потенциалдар айырымы нөлге тең болады да, ток тоқтайды (201-сурет). Тізбектегі токты ұстап тұру үшін оның ұштарында потенциалдар айырымын тудыру керек: тұйық тізбек жасап, басқа өткізгіш бойымен зарядтарды қайта тасымалдауға болады (202-сурет). Зарядты B нүктесінен A нүктесіне тасымалдауды электрлік емес бөгде күштердің көмегімен ғана жүзеге асыруға болады, себебі B нүктесінің потенциалы A нүктесі потенциалынан кіші. Өткізгіште өтетін процестер көлбеу жазықтықтағы дене қозғалысына ұқсас. Ауырлық күші әсерінен дене жоғарыдан төменге түседі. Сырғанаған дененің қозғалысын қайтадан қалпына келтіру үшін оны көлбеу жазықтық төбесіне қайта көтеру қажет. Осындай орын ауыстыру ауырлық күшінен басқа сыртқы бөгде күштің әсерінен ғана жүзеге асырылады. Денені көтеру кезінде ауырлық күші теріс жұмыс жасайды.

203-суретте электр тізбегінің сызбасы көрсетілген. Ток көзінде, яғни тізбектің ішкі бөлігінде зарядтардың полюстерге қарай орнын ауыстыру жұмысын электрлік емес бөгде күштер атқарады. Кулондық күштің жұмысы теріс. Тізбектің сыртқы бөлігінде зарядтар кулондық күштер әсерінен орын ауыстырады. Оң зарядтар оң полюстен теріс полюске және керісінше, теріс заряд оң полюске орын ауыстырады.



203-сурет. Электр тізбегінің принциптік сұлбасы

Сонымен, тұрақты ток алуға қажетті шарт – ток көзі бар тұйық өткізгіш тізбектің болуы.

Тізбек құрамына кіретіндер: ток көзі, ток тұтынушылар, жалғағыш сымдар, ажыратқыш және өлшеуіш құралдар.

II Электр энергиясы көзінің электр қозғаушы күші

Ток көзінде энергияның басқа түрлері электр энергиясына айналады. Энергияның сақталу заңы бойынша бөгде күштердің жұмысы тізбектің ішкі және сыртқы бөліктеріндегі кулондық күштердің жұмысына тең:

$$A_{б.к} = A_r + A_R.$$

Тендеудің екі жағын да тұйық контур бойынша тасымалданған зарядқа бөліп, мынаны аламыз:

$$\frac{A_{б.к}}{q} = \frac{A_r}{q} + \frac{A_R}{q}$$

немесе

$$\varepsilon = U_r + U_R$$

мұндағы ε – электр қозғаушы күш, U_r – тізбектің ішкі бөлігіндегі кернеудің түсуі, U_R – тізбектің сыртқы бөлігіндегі кернеудің түсуі.

Электр қозғаушы күш – бірлік зарядты тасымалдау кезінде бөгде күштердің атқаратын жұмысына тең шама.

$$\varepsilon = \frac{A_{б.к}}{q}$$

ε (ЭҚК) өлшем бірлігі – вольт, $[\varepsilon] = 1 \text{ В}$.

III ЭҚК және әртүрлі жұмыс режиміндегі ток көзінің кернеуі

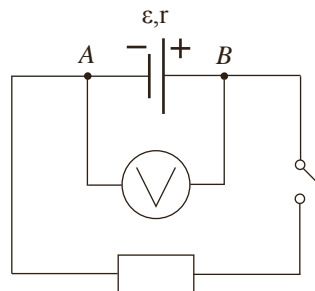
1. Бос жүріс режимі (жүктемесіз).

Бос жүріс режимінде ток көзінің ЭҚК-сы тұйықталмаған тізбекке вольтметрді тура жалғау арқылы өлшейді (204-сурет). Тұйықталмаған тізбекте ток болмайды.

Жауабы қандай?
Неліктен А және В нүктелерінің потенциалдарының айырымын қалпына келтіру үшін бөгде күштердің жұмысы қажет болады (202-сурет)?

Жауабы қандай?

1. Неліктен ток көзінде зарядтарды тасымалдау бойынша атқарылатын жұмысты кулондық күштер есебінен орындау мүмкін емес?
2. Неліктен ток көзіндегі бөгде күштердің жұмысы тізбектің сыртқы және ішкі бөліктеріндегі кулондық күштердің жұмыстарының қосындысына тең?



204-сурет. Ток көзінің ЭҚК-сын өлшеу

Өз тәжірибең

1. 204-суретте көрсетілгендей тізбек құрастырыңдар. Вольтметрдің тұйықталу және ашық кілттеу кезіндегі көрсеткішін жазыңдар. Неліктен вольтметрдің көрсеткіші тұйықталу кезінде кемиді?
2. Тізбекке резисторды және реостатты тізбектей жалғандар. Сырғытпаның орнын ауыстырып, тізбектің сыртқы және ішкі бөлігіндегі кернеудің таралуын зерттеңдер. Алынған нәтиже бойынша қорытынды шығарыңдар.

Демек тізбектің сыртқы бөлігінде кернеу кемімейді, ал ішкі бөлігінде ол өте аз:

$$U_R = 0, U_r = 0.$$

Вольтметр кедергісі шексіз үлкен, оны ток көзіне жалғау ток көзі полюстерінің потенциалдар айырымына әсер етпейді. Вольтметрдегі кернеу ЭҚК-ға тең:

$$\varphi_A - \varphi_B = \varepsilon.$$

2. *Қалыпты жұмыс режимі.* Қалыпты жұмыс режимінде кілтпен тұйықталған кезде АВ нүктелері арасындағы потенциалдар айырымы мынаған тең болады:

$$\varphi_A - \varphi_B = \varepsilon - U_R$$

немесе

$$\varphi_A - \varphi_B = U_r,$$

вольтметр тізбектің сыртқы бөлігіндегі кернеуді көрсетеді. Тізбектің ішкі бөлігіндегі кернеудің түсуі электр күшінің теріс жұмысы әсерінен болады.

3. *Қысқа тұйықталу режимі.* Егер жүктеме кедергісі шексіз аз болса, онда ток көзі қысқа тұйықталу режимінде жұмыс жасайды. Тізбектің ішкі бөлігіндегі кернеу ЭҚК-ге тең болады:

$$U_r = \varepsilon$$

Ток күші ток көзінде бірден өсіп, максимал мәнге жетеді:

$$I_{к.т.} = \frac{\varepsilon}{r}$$

Қысқа тұйықталу және бос жүріс режимдері ток көзінің шекті жұмыс істеу режимдері болып табылады.

IV Ток көздерін тізбектей және параллель жалғау

Ток көздерін тізбектей жалғау кезінде (205-сурет) батареяның ішкі кедергісін әрбірінің жалпы қосындысы ретінде анықтайды:

$$r_{жалпы} = r_1 + r_2 + \dots + r_n.$$

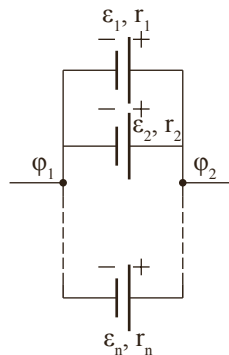


205-сурет. Ток көздерінің тізбектей жалғануы

Бұл жағдайда батареяның ЭҚК-сы мынаған тең:

$$\varepsilon_{жалпы} = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n.$$

Бірдей ток көздерін параллель жалғау барысында (206-сурет) батареяның ЭҚК-сы олардың бірінің ЭҚК-сы ретінде анықталды: $\varepsilon_{жалпы} = \varepsilon_1$,



206-сурет. Ток көздерінің параллель жалғануы

Жауабы қандай?

1. Неліктен қысқа тұйықталу құбылысы қауіпті деп саналады?
2. Неліктен сыртқы тізбек кедергісіне қарағанда ток көзінің ішкі кедергісін кемітуге тырысады?

Жауабы қандай?

Егер ток көзінің ішінде ток теріс полюстен оң полюске бағытталса, неліктен тізбек бөлігінің потенциалы артады?

ал жалпы ішкі кедергі бір ток көзі кедергісінің олардың жалпы санына қатынасымен анықталды:

$$r_{\text{жалпы}} = \frac{r}{n}.$$



Жауабы қандай?

Неліктен ток көздерін тізбектей жалғаумен қатар жалпы ЭҚК мәні артпауына қарамастан, параллель жалғау да қолданылуда?

Бақылау сұрақтары

1. Электр тогы мүмкін болатын шарттарды көрсетіндер.
2. Ток көздерінде қандай күштер зарядтарды тасымалдау жұмыстарын атқарады?
3. Ток көзінің ЭҚК-сын қалай өлшейді?
4. Тізбектің ішкі және сыртқы бөліктеріндегі кернеудің таралуы кедергілерге қалай байланысты?



Жаттығу

37

1. Сыйымдылығы $C = 100$ мкФ конденсатор $U = 300$ В кернеуге дейін зарядталған, ол $\Delta t = 0,1$ с уақытта разрядталады. Конденсатордың разрядталуы кезіндегі ток күшінің орташа мәнін табыңдар.
2. Сыйымдылығы 100 мкФ конденсатор $0,5$ с уақытта 500 В кернеуге дейін зарядталады. Зарядтық ток күшінің орташа мәні қандай?
3. Батарея аккумуляторы бір-біріне тізбектей жалғанған $n = 8$ элементтен тұрады. Әр элементтің ЭҚК-сы $\varepsilon = 1,5$ В, ал ішкі кедергілері $r = 0,25$ Ом. Өзара параллель жалғанған кедергілері $R_1 = 10$ Ом және $R_2 = 50$ Ом екі өткізгіш сыртқы тізбекті құрайды. Батарея қысқышындағы кернеуді анықтандар.
4. Әрқайсысының кедергісі $r = 1$ Ом болатын $n = 10$ ток көзін алдымен тізбектей жалғап, сыртқы R кедергісіне тұйықтандырды, одан соң сол сыртқы кедергіге тұйықтандырып, параллель жалғайды. Ток күші 5 есе артқан кездегі тізбектегі R кедергіні анықтандар. Қандай мақсатпен өткізгіштерді тізбектей, қандай мақсатпен параллель жалғайды?
5. Үш тізбектей жалғанған элементтерден тұратын екі топ параллель жалғанған. Элементтердің әрқайсысының ЭҚК-сы $1,2$ В, ал ішкі кедергісі $r = 0,2$ Ом. Құралған батарея $R = 1,5$ Ом сыртқы кедергімен тұйықталған. Сыртқы тізбектің ток күшін анықтандар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың бірі бойынша хабарлама дайындаңдар:

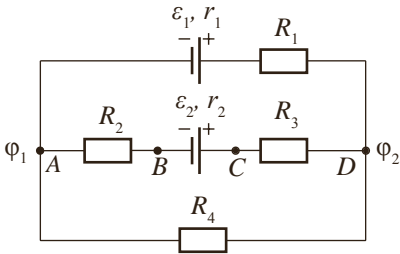
1. Ток көзімен жұмыс жасау кезіндегі қауіпсіздік ережелері.
2. Баламалы ток көздері және оларды қолдану ережелері.

§ 38. Толық тізбек үшін Ом заңы

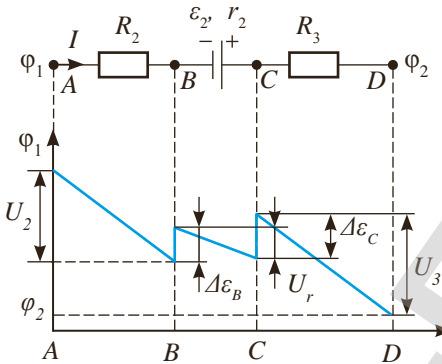
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

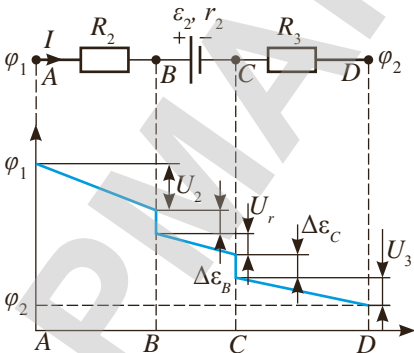
- толық тізбек үшін Ом заңын қолдана алатын боласыздар.



207-сурет. Тармақтарында ток көзі бар тізбектің сұлбасы



208-сурет. Тізбекке тура жалғанған ток көзінің полюстарындағы кернеу секірісі.



209-сурет. Тізбекке кері жалғанған ток көзінің полюстарындағы кернеу секірісі.

I Ток көзі бар тізбек бөлігі үшін Ом заңы

Құрамында электр қозғаушы күші ε_2 және ішкі кедергісі r_2 болатын ток көзі бар тізбек бөлігін қарастырайық (207-сурет). Көрсетілген тізбек бөлігінде ток солдан оңға қарай өтеді, егер де $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ болса, онда $\phi_1 > \phi_2$ болады. Көрсетілген тізбек бөлігінде потенциалдың түсуі R_1 , r_2 және R_3 кернеулері орналасқан бөлігінде, ал потенциалдың өсуі ток көзінің полюстарында болады. Осыған ұқсас құбылыстарды біз өзен бойына платина орнатқан кезде байқаймыз: өзеннің барлық бөліктерінде су деңгейі төмендейді, ал платинада көтеріледі. 208-суретте ток көзі полюстеріндегі потенциалдың өзгерісі және қарастырылған тізбек бөлігіндегі кернеудің түсуі көрсетілген. Полюстердегі потенциалдың өзгерісі ток көзінің электр қозғаушы күшіне тең:

$$\Delta \varepsilon_B + \Delta \varepsilon_C = \varepsilon_2. \quad (1)$$

Тізбек бөлігінің ұштарындағы потенциалдар айырымы әрбір бөліктегі потенциалдың кемуі мен ток көзіндегі потенциалдардың өзгерісі қосындыларының айырымына тең:

$$\phi_1 - \phi_2 = (U_2 + U_r + U_3) - \varepsilon_2$$

$$\text{немесе } \phi_1 - \phi_2 = (IR_2 + Ir + IR_3) - \varepsilon_2. \quad (2)$$

Алынған теңдеуден ток күшін өрнектейік:

$$I = \frac{(\phi_1 - \phi_2) + \varepsilon_2}{(R_2 + R_3) + r}. \quad (3)$$

Жалпы жағдайда (3) өрнекті мына түрде жазуға болады:

$$I = \frac{U + \varepsilon}{R + r}, \quad (4)$$

мұндағы R – тізбек бөлігінің жалпы кедергісі, r – тізбек бөлігіндегі ток көзінің жалпы ішкі кедергісі, $U = \phi_1 - \phi_2$ – тізбек ұштарындағы потенциалдар айырымы, ε – берілген бөліктегі ток көздерінің ЭҚК-сының жалпы мәні.

Алынған формула ток көзі бар тізбек бөлігі үшін Ом заңын өрнектейді.

Ток көзіне тура жалғанғанда полюстердің өзгеруі кернеу өзгерісі сипатына әсер ететінін ескеру керек. 209-суретте ток көзіне кері жалғанған кернеу өзгерісі көрсетілген. Осы кезде ток күші мынаған тең болады:

$$I = \frac{U - \varepsilon}{R + r} \quad (5)$$

Ток көздерінде потенциалдың күрт төмендеуі өзендердегі сарқырамада су деңгейінің төмендеуіне ұқсас болады.

II Жалпыланған Ом заңының дербес жағдайлары. Толық тізбек үшін Ом заңы

1) (4) теңдеуді тізбек бөлігінде ток көзі жоқ жағдай үшін жазайық. $\varepsilon = 0$, $r = 0$ екенін ескерсек, онда

$$I = \frac{U}{R}. \text{ Біз қарапайым тізбек бөлігі үшін Г.Ом}$$

тұжырымдаған заңды алдық. R_4 кедергісі бар тармақ үшін (207-сурет) қарапайым тізбек бөлігі үшін Ом заңын қолдануға болады:

$$I_4 = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R_4} = \frac{U}{R_4}.$$

2) 208-суреттегі тізбектің ұштарын жалғап, тұйық тізбек аламыз (210-сурет). A және D нүктелерінің потенциалдары тең болады: $U = \varphi_1 - \varphi_2 = 0$, онда (4) формула мына түрге келеді:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (6)$$

Осы өрнек толық тізбек үшін Ом заңы деп аталады.

Тізбектегі ток күші ток көзінің электр қозғаушы күшіне (ЭҚК) тура пропорционал, сыртқы және ішкі кедергілерінің қосындысына кері пропорционал.

III Толық тізбек үшін Ом заңының салдары

(6) өрнектен

$$\varepsilon = IR + Ir$$

немесе

$$\varepsilon = U_R + U_r \quad (7)$$

екені шығады.

ЭҚК дегеніміз зарядтардың орын ауыстыруы кезінде атқарылатын бөгде күштердің жұмысы болғандықтан, (7) теңдеуден мынадай қорытынды шығады: бөгде күштер тізбектің ішкі бөлігінде де, сыртқы бөлігінде де жұмыс жасайды.

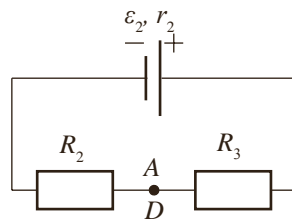
Ішкі кедергілердің аз мәндерінде $r \rightarrow 0$ ток көзінің барлық энергиясы тізбектің сыртқы бөлігінде жұмсалады, $\varepsilon = U$. Ішкі кедергілердің аз мәндерінде және жүктеме болмаған кезде $R = 0$ тұйық

Жауабы қандай?

Тармаққа жалғанған ток көзі тізбектегі ток күшіне қалай әсер етеді?

Бұл қызық!

Шетелдерде, оның ішінде Франция мен Англияда Омның жұмыстарына ұзақ уақыт бойы назар аударылмады. 10 жылдан кейін француз физигі Пулье эксперимент нәтижесінде Ом жасаған нәтижелерді алды. Француз мектептерінде Ом заңдары Пулье заңдары деген атпен оқытылады.



210-сурет. Ток көзі бар тұйық тізбек

Маңызды ақпарат

Адам өміріне қауіпті ток күші 0,05 А. Адам қолдары арасындағы кернеу адамның хал жағдайына қарай 800 Ом-ға дейін төмендеп өзгеріп тұрады. Бұдан 40 В кернеу адам өміріне өте үлкен қауіп төндіретінін көреміз.

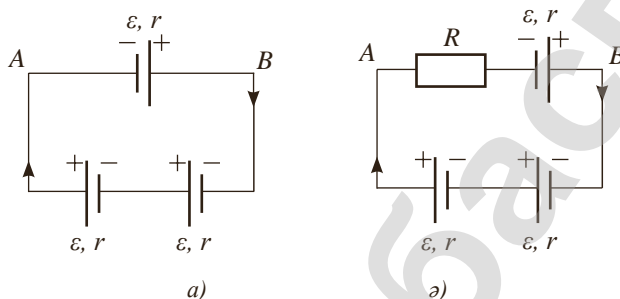
Жауабы қандай?

Нәліктен A және D нүктелеріндегі потенциалдар оларды қосқанда теңеседі?

тізбектегі ток күшінің мәні күрт артады, қысқаша тұйықталу пайда болады (§37 қарандар).

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Әрқайсысының ЭҚК-сы ε , ал ішкі кедергісі r болатын үш бірдей ток көзі 1, а-суретте көрсетілгендей жалғанған. Жалғанған сымдардың кедергілерін ескермеуге болады, A және B нүктелерінің арасында кедергісі R резистор орналасқан жағдайда A және B нүктелерінің арасындағы потенциалдар айырымын анықтандар (I , ә-суретті қараңдар).



1-сурет.

Берілгені:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \varepsilon$$

$$r_1 = r_2 = r_3 = r$$

R

$$\varphi_A - \varphi_B = ?$$

Шешуі:

Толық тізбек үшін Ом заңы бойынша: $I = \frac{3\varepsilon}{3r} = \frac{\varepsilon}{r}$.

Онда $\Delta\varphi_1 = \varphi_A - \varphi_B = Ir - \varepsilon = 0$.

A және B нүктелерінің арасында резистор болғанда

$$I = \frac{3\varepsilon}{3r + R} \text{ және } \Delta\varphi_2 = \varphi_A - \varphi_B = \frac{3\varepsilon}{3r + R}(r + R) - \varepsilon = \frac{2\varepsilon R}{R + 3r}.$$

Жауабы: $\varphi_1 = 0$; $\varphi_2 = \frac{2\varepsilon R}{R + 3r}$.

Бақылау сұрақтары

1. Ток көзі бар тізбек бөлігі үшін Ом заңын тұжырымдаңдар.
2. Қандай токты қысқа тұйықталу тогы деп атайды?
3. Тізбектің ішкі және сыртқы бөліктеріндегі кернеудің таралуы кедергілерге қалай тәуелді?



1. Батареяның ЭҚК-сы $\varepsilon = 4,5$ В, ішкі кедергісі $r = 2$ Ом. Батарея кедергісі $R = 7$ Ом резистормен тұйықталған. Тізбектегі ток күшін және батарея қысқыштарындағы кернеуді анықтаңдар.
2. ЭҚК $\varepsilon = 1,1$ В ток көзіне жалғанған және кедергісі $R = 2$ Ом өткізгіштегі ток күші $I = 0,5$ А. Ток көзі қысқа тұйықталғандағы ток күшін анықтаңдар.
3. Ток көзі және $R_1 = 4$ Ом кедергісі бар тізбектегі ток күші $I_1 = 0,2$ А. Егер сыртқы кедергі $R_2 = 7$ Ом болса, онда тізбектегі ток күші $I_2 = 0,14$ А. Егер ток көзі қысқа тұйықталса, тізбектегі ток күші неге тең болады?
4. Ток күші $I_1 = 1,5$ А болғанда, тізбек бөлігіндегі кернеу $U_1 = 20$ В. Ал ток күші $I_2 = 0,5$ А болса, осы тізбек бөлігінде кернеу $U_2 = 8$ В. Осы бөлікке әсер ететін ЭҚК неге тең?
5. Ішкі кедергісі 2 Ом және ЭҚК 12 В аккумуляторға екі бірдей шам параллель жалғанған. Шамдардың біріндегі ток күші 1 А. Егер екінші шам жанып кететін болса, бірінші шам арқылы өтетін ток күшін анықтаңдар.
6. Автокөлік жүргізушісі өз көлігінің ЭҚК-сын өлшеу үшін аккумулятор, ЭҚК-сы 2 В болатын ток көзі және амперметр тізбектей жалғанған тұйықталған тізбек жинады. Осы кезде амперметр көрсеткіші 1 А болды. Аккумулятордың жалғану полярлығын өзгерткенде тізбектегі ток бағыты өзгерді және 0,75 А болды. Аккумулятордың ЭҚК-сын анықтаңдар.
7. Плеерді қосқанда ток көзінің қысқыштарындағы кернеу 2,8 В болады. Элементтер батареясының ЭҚК-сы 3 В, ішкі кедергісі 1 Ом. Тізбектегі ток күшін анықтаңдар. Ток көзінің бөгде күштері 5 минутта қанша жұмыс атқарады? Тізбектің сыртқы және ішкі бөліктеріндегі токтың жұмысы қандай?

Шығармашылық тапсырма

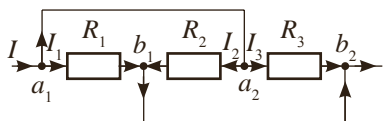
«Электр тізбегіндегі қысқа тұйықталудың себептері мен салдары» тақырыбына хабарлама дайындаңдар.

§ 39. Кирхгоф заңдары

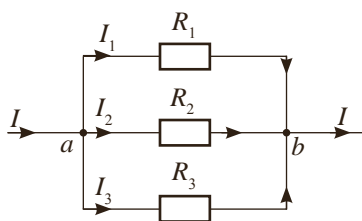
Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

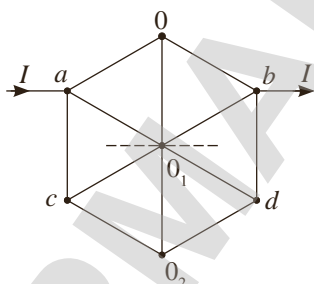
- Кирхгоф заңын тармақталған электр тізбегіне қолдана аласыңдар.



211-сурет. Тармақталған тізбектің сұлбасы



212-сурет. 211-суреттегі тізбекке эквивалентті тізбек сұлбасы



213-сурет. $0, 0_1, 0_2$ потенциалдық нүктелеріне тең симметриялық тізбектің сұлбасы.

I Тармақталған тізбек кедергілерін есептеу. Бірдей потенциалды түйіндер

Электр тізбектері тармақталған және тармақталмаған болады. Тізбек элементтерін тізбектей жалғағанда тармақталмаған тізбектің барлық бөліктерінде бірдей ток өтеді. Тармақталған тізбекте өткізгіштерді тізбектей де, параллель де жалғануы кездеседі, осы тізбек элементтерін жалғау аралас болады.

Тармақталған тізбектер үшін мынадай ұғымдар қолданылады: тармақ, түйін, контур.

Тармақ – бір ғана ток жүретін тізбек бөлігі, ол тізбектей жалғанған өткізгіштерден және ток көздерінен тұрады.

Түйін – үш немесе одан да көп тармақтардың жалғанған орны.

Контур – кез келген тізбек элементтерінің тұйық жалғануы, оны бірнеше тармақтары бойынша айналып өтуге болады.

Күрделі тармақталған тізбектердің кедергілерін есептеу барысында төмендегі ережелер қолданылады:

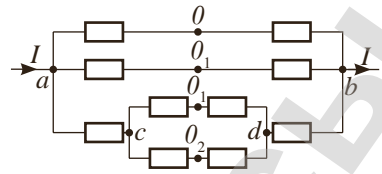
- бірдей потенциалды нүктелерді бір түйінге түйістіруге болады;
- бір түйінге түйіскен тармақтарды тармақталған тізбектің симметрия сызықтарында ажыратуға болады;
- бірдей потенциалды түйіндерге жалғанған өткізгіштер ток кедергісін тудырмайды, тізбектің жалпы кедергісін есептеу кезінде оларды ескермеуге болады.

Көрсетілген ережелерді қолдану тізбекті бірталай ықшамдайды, бұл кезде тізбек тармақтарындағы токтар бұрынғыдай болып қалады.

211-суретте көрсетілген тізбек бөлігінің кедергісін анықтайық. Сызбада төрт түйін a_1, a_2, b_1, b_2 көрсетілген. a_1 және a_2 түйіндерінің потенциалдары тең, олар өзара сыммен жалғанған, ондағы кедергіні ескермеуге болады. b_1 және b_2 нүктелері де бірдей потенциалға ие. Өте аз кедергілі сымдардың ұзындықтарын қысқартып, екі түйінді сызба аламыз. Тізбек өткізгіштердің параллель жалғануын сипаттайды (212-сурет).

213-суретте көрсетілген сымнан жасалған фигурада бірдей потенциалды $0, 0_1, 0_2$ нүктелері симметрия осі бойымен орналасқан, ендеше 00_1

және $0_1 0_2$ сымдары арқылы ток жүрмейді, оларды ажыратуға болады, сонда 0_1 түйіні токтың қозғалыс бағыты бойынша ажыратылады. Сонда 214-суретте көрсетілген эквивалентті сұлбаны аламыз. Осындай тізбекте есептеулер өткізгіштерді тізбектей және параллель жалғау формуласын қолдану арқылы жүргізіледі.



214-сурет. 213-суреттегі тізбекке эквивалентті тізбек сұлбасы

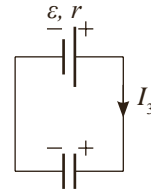
II Тұрақты ток тізбегіндегі индуктивтілік шарғысы және конденсатор

Индуктивтілік шарғысының актив (белсенді) кедергісі аз $R_L \rightarrow 0$. Оны тұрақты ток көзіне тура жалғағанда қысқа тұйықталу болады. Шарғы кедергісі оны тізбекке жалғағанда және ажыратқанда артады, осы кезде ток күші артады немесе кемиді, тізбекте өздік индукция құбылысы байқалады.

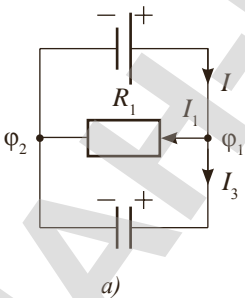
Конденсатор диэлектрикпен ажыратылған екі өткізгіш пластина болып табылады. Конденсаторды тұрақты ток көзіне жалғағанда тізбекте зарядталу тоғы жүреді. Ол конденсатор астарлары арасындағы потенциалдар айырымы ток көзінің ЭҚК-сына тең болғанда тоқтайды (215-сурет). Тармақталған тізбекте конденсатор өзі жалғанған түйіндер арасындағы потенциалдар айырымына дейін зарядталады (216, а-сурет). Ток көзін ажыратқаннан кейін ол толық разрядталғанша тұйық контурда ток тудырады (216, ә-сурет).

Жауабы қандай?

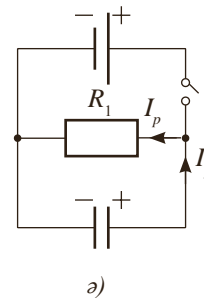
Нәліктен тізбектің жалпы кедергісін есептегенде өткізгіштің кедергісі ескерілмейді?



215-сурет. $U_c = \varepsilon$ Тұрақты ток көзінен конденсатордың зарядталуы



216-сурет. а) зарядтау режиміндегі конденсатор $U_c = \varphi_1 - \varphi_2$
ә) разрядталу режиміндегі конденсатор



III Кирхгоф заңдары

Өте күрделі тізбектерді, мысалы ЭҚК-сы әртүрлі бірнеше ток көздерінен тұратын тізбектерді, Кирхгоф заңдары негізінде есептейді.

Кирхгофтың бірінші заңы зарядтың сақталу заңының салдары болып табылады, ол бойынша өткізгіштің бірде-бір нүктесінде заряд жинақталмауы және жоғалып кетпеуі керек:

Түйінде жинақталатын ток күшінің алгебралық қосындысы нөлге тең.

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0.$$

Егер ток түйінге кіретін болса, онда ток күші оң шама, егер түйіннен шығатын болса, оны теріс шама деп алынады.

Кирхгофтың екінші заңы Ом заңының жалпылануы болып табылады:

Кез келген тұйық контурдағы кернеудің түсуінің алгебралық қосындысы осы контурдағы ток көздерінің ЭҚК-сінің алгебралық қосындысына тең.

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i,$$

мұндағы k – ток көзінің саны, n – өткізгіштердің саны.

IV Кирхгоф заңдарын пайдаланып, есеп шығару алгоритмі

Алгоритмді пайдалану тізбекті сипаттайтын негізгі шамалар үшін берілетін формулалардың жазылуын едәуір ықшамдайды:

1. Тізбек сұлбасы бойынша кез келген бағытта контурлық токтар бағытын таңдайды және тармақтардағы токтар бағытын көрсетеді.
2. Түйіндер үшін Кирхгофтың бірінші заңын жазады, егер тізбек n түйіннен тұрса, онда токтар үшін $n - 1$ теңдеу құрастырады.
3. Кирхгофтың екінші заңын қолданғанда, теңдеу құрылатын әрбір жаңа контурға алдыңғы контурларға кірмеген ең болмағанда бір жаңа тармақ жалғануы керек.
4. Егер резистор арқылы жүретін ток бағыты контурлық ток бағытымен сәйкес келетін болса, онда резистордағы кернеу мәні, оң және керісінше, егер резистор арқылы өтетін ток бағыты контурлық ток бағытымен сәйкес келмесе, онда ондағы кернеудің түсуінің мәні теріс болады.
5. Егер ток көзінің ЭҚК-сы контурды айналып өту бағыты бойынша потенциалды арттыратын болса, онда оның мәні оң деп қабылданады. Бұл жағдайда ток көзін айналып өту ток көзінің теріс полюсінен оң полюсіне қарай өтеді. Кері жағдайда – ЭҚК мәні теріс деп есептеледі.

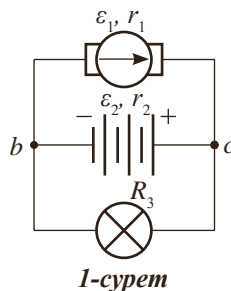


Есте сақтаңдар!

Егер ток күші үшін теріс нәтиже алынса, онда токтың бағыты осы бөлікте кері бағытта болады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

ЭҚК $\varepsilon_1 = 12$ В және ішкі кедергісі $r_1 = 0,1$ Ом тұрақты ток генераторы ЭҚК $\varepsilon_2 = 10$ В және ішкі кедергісі $r_2 = 0,5$ Ом аккумулятор батареясымен зарядталды (*1-сурет*). Кедергісі $R_3 = 3$ Ом болатын шам батареяға параллель жалғанған. Аккумулятор батареясы мен шамдағы токты анықтаңдар.



1-сурет

Берілгені:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= 12 \text{ В} \\ r_1 &= 0,1 \text{ Ом} \\ \varepsilon_2 &= 10 \text{ В} \\ r_2 &= 0,5 \\ R_3 &= 3 \text{ Ом} \end{aligned}$$

$$I_2, I_3 - ?$$

Шешуі: Токтар мен ЭҚК белгіленген эквиваленттік сұлба сызайық. Ток бағыттары 2-суретте көрсетілгендей деп ұйғарайық. Берілген есепті Кирхгоф заңдарын пайдаланып шешеміз. I және II контурларды сағат тілі бағытымен айналып өтелік. c түйіні үшін Кирхгофтың бірінші заңын қолданамыз:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \text{ немесе}$$

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

I контур үшін Кирхгофтың екінші заңын қолданамыз:

$$I_1 r_1 + I_2 r_2 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2 \quad (2)$$

II контур үшін:

$$I_2 r_2 + I_3 R_3 = \varepsilon_2 \quad (3)$$

(1) және (2) теңдеулерді бірге шеше отырып, мынадай өрнек аламыз: $I_2(r_1 + r_2) + I_3 r_1 = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$

$$\text{бұдан} \quad I_3 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - I_2(r_1 + r_2)}{r_1} \quad (4)$$

Алынған өрнекті (3)-ке апарып қойып, мынаны аламыз:

$$\frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) - I_2(r_1 + r_2)}{r_1} R_3 - I_2 r_2 = \varepsilon_2,$$

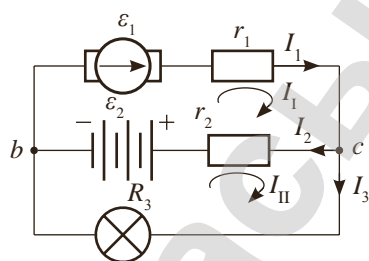
$$\text{бұдан} \quad I_2 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) R_3 - \varepsilon_2 r_1}{(r_1 + r_2) R_3 + r_1 r_2}$$

$$I_2 = \frac{(12 - 10) \cdot 3 - 10 \cdot 0,1}{(0,1 + 0,5) \cdot 3 + 0,1 \cdot 0,5} = 2,7 \text{ (А)}.$$

Алынған I_2 тогының шамасын (4) формулаға апарып қойып, I_3 табамыз:

$$I_3 = \frac{(12 - 10) - 2,7 \cdot (0,5 + 0,1)}{0,1} = 3,8 \text{ (А)}.$$

Жауабы: $I_2 = 2,7 \text{ А}, I_3 = 3,8 \text{ А}.$

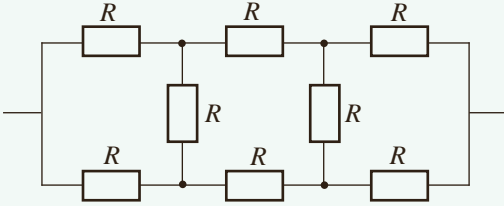


2-сурет

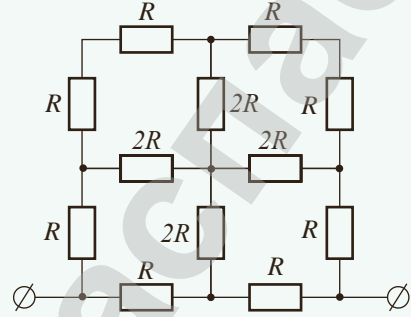
Бақылау сұрақтары

1. Тармақталған тізбектегі түйін, тармақ, контур деген не?
2. Тармақталған тізбектің жалпы кедергісін қалай анықтайды?
3. Кирхгоф заңдарын тұжырымдаңдар.
4. Қандай шарт орындалғанда ток көзінің ЭҚК-сы оң таңбалы болады? Қандай жағдайда теріс болады?
5. Қандай жағдайда кедергідегі кернеудің түсуі теріс, қай кезде оң болады?

1. Егер $R = 9$ Ом болса, онда 217-суретте көрсетілген тізбектің жалпы кедергісі қандай?
2. Егер $R = 5$ Ом болса, онда 218-суретте көрсетілген тізбектің жалпы кедергісі қандай?

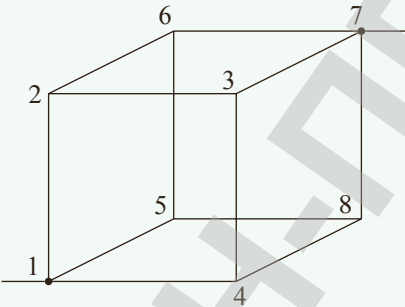


217-сурет. 39-жаттығудың 1-есеміне

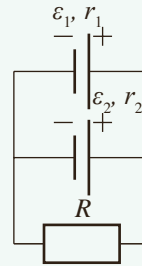


218-сурет. 39-жаттығудың 2-есеміне

3. Текше пішіндес (219-сурет) сым каркастың 1 және 7 нүктелерінің арасын жалғағандағы тізбектің кедергісін анықтаңдар. Каркастың әрбір қабырғасының кедергісі $R = 0,3$ Ом.

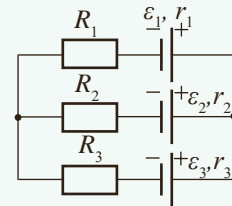


219-сурет. 39-жаттығудың 3-есеміне



220-сурет. 39-жаттығудың 4-есеміне

4. ЭҚК-сы $\varepsilon_1 = 10$ В және $\varepsilon_2 = 8$ В және ішкі кедергісі $r_1 = 1$ Ом және $r_2 = 2$ Ом болатын екі батарея 220-суретте көрсетілгендей кедергісі $R = 6$ Ом резистормен тізбектей жалғанған. Резистор арқылы өтетін ток күшін анықтаңдар.
5. ЭҚК-і $\varepsilon_1 = 1,5$ В, $\varepsilon_2 = 2$ В, $\varepsilon_3 = 2,5$ В болатын үш батарея 221-суретте көрсетілгендей резистор кедергілермен, яғни $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом және $R_3 = 30$ Ом жалғанған. R_1 резисторы арқылы өтетін ток күшін анықтаңдар. Батареялардың ішкі кедергілерін ескермеңдер.



221-сурет. 39-жаттығудың 5-есеміне

§ 40. Электр тогының жұмысы және қуаты. Джоуль – Ленц заңы. Ток көзінің пайдалы әсер коэффициенті

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты үзгергенде:

- есептер шығаруда жұмысты, қуатты және пайдалы әсер коэффициентін есептеу формулаларын қолдана аласыңдар.

I Тізбектегі тұрақты токтың жұмысы

Токтың жұмысы электр өрісінің күші әсерінен зарядтардың өткізгіш бойымен бағытталған орын ауыстыруына негізделген.

Ток жұмысы – электр өрісі тасымалдаған зарядтың берілген өткізгіш бөлігіндегі кернеуге көбейтіндісіне тең физикалық шама.

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU. \quad (1)$$

Кез келген уақыт аралығында тасымалданған заряд мөлшері ток күшіне тәуелді:

$$q = It.$$

Осы қатынасты пайдалана отырып, (1) теңдіктен төмендегі өрнекті аламыз:

$$A = UI t. \quad (2)$$

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы негізінде (2) формуланы мына түрде жазуға болды:

$$A = I^2 R t \quad (3)$$

немесе
$$A = \frac{U^2}{R} t. \quad (4)$$

(3) қатынас өткізгіштерді тізбектей жалғағанда, (4) қатынас өткізгіштерді параллель жалғағанда ток жұмысын есептеуге ыңғайлы.

II Ток жұмысын өлшеу

Ток жұмысын үш құралды вольтметр, амперметр және сағатты пайдаланып өлшеуге болады.

Күнделікті ток жұмысын есептеу үшін электр энергиясының есептеушісі (222-сурет) пайдаланылады, онда жұмыстың жүйеден тыс өлшем бірлігі 1 кВт · сағ қолданылады.

Электр энергиясының құнын тарифтің белгілі мәні бойынша мына формуламен есептейді:

$$Q_{\text{ұны}} = T \cdot A$$

мұндағы $Q_{\text{ұны}}$ – электр энергиясының құны, T – тариф – 1 кВт · сағ энергия құны.



222-сурет. Электр энергиясының есептеушісі. Қазақстандық өнім, Алматы қ. ("Saitan" ЖШС)



1-тапсырма

Электр тізбегінде энергияның екі рет түрленуіне мысал келтіріңдер.

III Ток қуаты

Ток қуаты – зарядтың орын ауыстыруы кезінде жұмыстың орындалу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

$$P = \frac{A}{t}. \quad (5)$$

(2), (3) және (4) формулаларды (5) өрнекке қойып, тұйық тізбектің сыртқы бөлігіндегі ток қуатын есептейтін формуланы аламыз:

$$P = UI; \quad P = \frac{U^2}{R}; \quad P = I^2 R. \quad (6)$$

Толық тізбек үшін электр тогының қуаты мынаған тең:

$$P = \frac{\varepsilon^2}{(R + r)^2} \cdot R. \quad (7)$$

Ток қуатын амперметр және вольтметр немесе ваттметр көмегімен анықтайды. «Медсервис» компаниясының қазіргі заманғы құралы электр тізбегін сипаттайтын алты өлшемді – ток күшін, кернеуді, қуатты, қуаттылық коэффициентін, желідегі ток жиілігін, жылдық қуатты өлшейді (223-сурет).

IV Ток көзінің жұмысы мен қуаты

Тізбектегі толық жұмыс – бөгде күштердің жұмысы, ол мынаған тең:

$$A_{\text{б.к}} = q\varepsilon \text{ немесе } A_{\text{б.к}} = Iet.$$

Толық тізбек үшін Ом заңын $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ ескере отырып, келесі өрнекті аламыз:

$$A_{\text{б.к}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r} \cdot t$$

немесе

$$A_{\text{б.к}} = I^2(R + r)t.$$

Тізбектің толық қуатын мына формулалар бойынша анықтауға болады:

$$P_{\text{тол}} = \frac{A_{\text{б.к}}}{t}, \quad P_{\text{тол}} = I\varepsilon, \quad P_{\text{тол}} = \frac{\varepsilon^2}{R + r}, \quad P_{\text{тол}} = I^2(R + r).$$



2-тапсырма

Өздеріңнің тұрғылықты жерлеріңде электр энергиясының қандай төлем тарифтері барын анықтаңдар. Неліктен энергияны көп жұмсаған сайын бағасы да артады?



Естеріңізге түсіріңдер!

Электр тогы жұмысының өлшем бірлігі – *джоуль*.

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

Электр тогы жұмысының жүйеден тыс өлшем бірлігі мен джоуль арасындағы байланысы:

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 1 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{сағ} = 3600 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} = 3600000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}$$

Қуаттың өлшем бірлігі – ватт:

$$[P] = 1 \text{ Вт} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ В}$$



223-сурет. Қазақстанда шыққан ваттметр құралы. Алматы қ.



3-тапсырма

Электр көзінің жұмысын және қуатын есептейтін формуланы бөгде күштердің жұмысын және қуатын есептейтін формуламен салыстырыңдар. Бұл формулалардың айырмашылығы қандай?

V Ток көзінің ПЭК-і

Пайдалы әсер коэффициенті – пайдалы жұмыстың толық жұмысқа қатынасы. Электр тізбегі үшін пайдалы жұмыс – электр өрісінің жұмысы, толық жұмыс – бөгде күштердің жұмысы, онда келесі қатынас орындалады:

$$\eta = \frac{A}{A_{\sigma.k}} = \frac{UIt}{\varepsilon It} = \frac{P}{P_{\text{мол}}} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{IR}{I(R+r)} = \frac{R}{R+r}$$

Пайдалы әсер коэффициентін есептеуді төмендегі ұсынылған формулалардың кез келгенімен жүргізуге болады:

$$\eta = \frac{A}{A_{\sigma.k}}, \eta = \frac{P}{P_{\text{мол}}}, \eta = \frac{U}{\varepsilon}, \eta = \frac{R}{R+r}.$$

VI Джоуль – Ленц заңы

Өткізгіште бөлінетін жылу мөлшері өткізгіш арқылы өтетін ток күшінің квадратына, өткізгіш кедергісіне және тізбектің жұмыс істеу уақытына тура пропорционал.

$$Q = I^2 R t. \quad (8)$$

Тізбекте токтың тек жылулық әсері ғана байқалған жағдайда, жылу мөлшері де жұмыс сияқты анықталады, бұл энергияның сақталу заңына қайшы келмейді. Джоуль – Ленц заңына сүйенсек, өткізгіштерді тізбектей жалғағанда ең көп жылу мөлшері үлкен кедергісі бар өткізгіште бөлінеді:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Өткізгіштерді параллель жалғағанда олардағы ток күші әртүрлі, сондықтан мына формуланы қолданған ыңғайлы:

$$Q = \frac{U^2}{R} t.$$

Онда өткізгіштерде бөлінетін жылу мөлшері олардың кедергілеріне кері пропорционал:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Өткізгіштерді параллель жалғағанда кедергісі аз өткізгіштен ең көп жылу мөлшері бөлінеді.



Жауабы қандай?

1. Ток көзінің ПЭК неліктен 100%-дан арта алмайды?
2. Неліктен электротехниканың ток көзінің ішкі кедергісін сыртқы тізбекпен салыстырғанда кемітуге тырысады?



Естеріңізге түсіріңдер!

8-сынып курсынан тізбектегі ток әсері Джоуль-Ленц заңына сәйкес пайда болатыны белгілі. Бұл заңдылықты бір-бірінен тәуелсіз түрде тәжірибе жүргізіп, бірдей тұжырымға келген ағылшын ғалымы Д.Джоульдің және орыс ғалымы Э.Ленцтің құрметіне аталған.



Жауабы қандай?

1. Неліктен тізбектегі сыртқы кедергіні біршама арттырған сайын ток қуаты кемиді?
2. Неліктен үлкен қуатқа негізделген шам тізбекте күңгірт жанады?
3. Неліктен электр шамына сым арқылы келетін ток қызбайды, ал шамның спираль қылы ағарғанша қызады?
4. Неліктен су қайнатқышты ток көзіне жалғап, суға батырма-сақ, тез күйіп кетеді?



Есте сақтаңдар!

Қуатты аспаптардың кедергілері аз болады.

Бақылау сұрақтары

1. Толық тізбекте энергияның қандай түрленулері жүреді?
2. Электр тогының жұмысы мен қуаты қалай анықталады?
3. Токтың жұмысы мен қуатын қандай құралдармен өлшейді?
4. Тізбектегі ішкі және сыртқы кедергілердің қандай қатынасында оның сыртқы бөлігінде ток қуаты ең үлкен мәнге ие болады? Бұндай режимді жұмыс көзін қайда пайдаланады? Оны қалай атайды?
5. Тізбектегі толық жұмыс неге тең?
6. Электр тізбегінің ПӘК-і қалай анықталады?
7. Өткізгіштерді тізбектей жалғағанда өткізгіштердің қайсысында бөлінетін жылу мөлшері үлкен болады? Параллель жалғағанда ше?

★ Жаттығу

40

1. Егер шамдағы ток күші $I = 0,5 \text{ А}$, ал кернеу $U = 220 \text{ В}$ болса, $t = 1$ сағ уақытта электр шамының қыл сымы қандай жылу мөлшерін бөледі?
2. Егер тізбектегі кернеу $U = 220 \text{ В}$, ток күші $I = 8 \text{ А}$ болса, шәйнектегі көлемі $V = 1 \text{ л}$ суды $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ температурадан қайнауға дейін жеткізу үшін оны қанша уақыт қыздыру керек?
3. Электр плитасының бір-бірімен параллель жалғанған, әрқайсысының кедергісі $R = 120 \text{ Ом}$ үш спиралі бар. Плитаны кедергісі $R = 50 \text{ Ом}$ резистормен тізбектей жалғайды. Плитканың бір спиралі жанып кеткен кезде суы бар шәйнекті қайнату үшін кететін уақыт қалай өзгереді?
4. Қуаты $P = 500 \text{ Вт}$ шам $U_0 = 220 \text{ В}$ кернеуге есептелген. Шамның қуатын өзгертпей, шам кернеуі $U = 220 \text{ В}$ болатын тізбекке жалғауға мүмкіндік беретін қосымша кедергіні анықтаңдар.
5. Электр су қайнатқыштың екі орамы бар. Олардың біреуін қосқанда ыдыстағы су $t_1 = 5$ минутта қайнайды, ал екіншісін қосқанда $t_2 = 15$ минуттан кейін қайнайды. Егер оның екі орамасын: а) тізбектей; ә) параллель жалғаса, су қанша уақытта қайнайды?
6. Кедергісі R резисторды ток көзіне жалғағанда оның ПӘК-і $\eta = 20\%$. Осындай резисторларды жалғағанда қуат ең үлкен мәнге ие болуы үшін неше резистор және оларды қалай жалғау керек?
7. Егер қысқа тұйықталу тогы $I_{\text{қ.т.}} = 2 \text{ А}$ болса, тізбектегі ток күші $I = 0,8 \text{ А}$ болғандағы ток көзінің ПӘК-і қандай?

11-тараудың қорытындысы

Электр тізбегін сипаттайтын шамалар		Тұрақты ток заңдары	
<p>Ток күші</p> $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \Delta q = q_0 N$ <p>Ток тығыздығы</p> $j = \frac{I}{S}$ <p>Кедергі</p> $R = \rho \frac{l}{S}$ <p>Кернеу</p> $U = \frac{A}{q}$ <p>Электр қозғаушы күш</p> $\mathcal{E} = \frac{A_{б.к.}}{q}$	<p>Тізбек бөлігі үшін Ом заңы</p> $I = \frac{U}{R}$ <p>Тура қосу кезінде</p> $I = \frac{U + \mathcal{E}}{R + r}$ <p>Кері қосу кезінде</p> $I = \frac{U - \mathcal{E}}{R + r}$ <p>Толық тізбек үшін Ом заңы</p> $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$ <p>$\mathcal{E} = U_r + U_R$</p> <p>Қысқа тұйықталу тогы</p> $I_{қ.т.} = \frac{\mathcal{E}}{r}$	<p>Кирхгоф ережесі</p> $\sum_{i=1}^n I_i = 0$ $\sum_{i=1}^k \mathcal{E}_i = \sum_{i=1}^n I_i R_i$ <p>Джоуль-Ленц заңы</p> $Q = I^2 R t$	
Өткізгіштерді қосу кезіндегі шамалардың қатынасы		Ток көздерін жалғау	
тізбектей	параллель		
$I_{жалты} = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ $U_{жалты} = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $R_{жалты} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ $R_{жалты} = nR$ $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$I_{жалты} = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ $U_{жалты} = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $\frac{1}{R_{жалты}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ $R_{жалты} = \frac{R}{n} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$	<p>тізбектей</p> $\mathcal{E}_{жалты} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_n$ $r_{жалты} = r_1 + r_2 + \dots + r_n$ <p>параллель</p> $\mathcal{E}_{жалты} = \mathcal{E}_1$ $r_{жалты} = \frac{r}{n}$	
Ток және бөгде күштердің жұмысы	Ток қуаты	ПӘК	
<p>Ток жұмысы</p> $A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU$ $A = UIt$ $A = I^2 R t$ $A = \frac{U^2}{R} t$ <p>Бөгде күштердің жұмысы</p> $A_{б.к.} = q\mathcal{E}$ $A_{б.к.} = I\mathcal{E}t$	<p>Ток қуаты</p> $P = \frac{A}{t}, P = UI$ $P = \frac{U^2}{R}, P = I^2 R$ $P = \frac{\mathcal{E}^2}{(R + r)^2} \cdot R$ <p>Тізбектің толық қуаты</p> $P_{жалты} = \frac{A_{б.к.}}{t}$ $P_{жалты} = I\mathcal{E}$ $P_{жалты} = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}$ $P_{жалты} = I^2(R + r)$	$\eta = \frac{A}{A_{б.к.}}$ $\eta = \frac{P}{P_{тол}}$ $\eta = \frac{U}{\mathcal{E}}$ $\eta = \frac{R}{R + r}$	

Заңдар, ережелер

Тізбек бөлігі үшін Ом заңы

Тізбек бөлігіндегі ток күші сол бөліктегі кернеуге тура пропорционал және кедергіге кері пропорционал.

Толық тізбек үшін Ом заңы

Тізбектегі ток күші ток көзінің электр қозғаушы күшіне тура пропорционал, сыртқы және ішкі кедергілерінің қосындысына кері пропорционал.

Джоуль-Ленц заңы

Өткізгіште бөлінетін жылу мөлшері өткізгіш арқылы өтетін ток күшінің квадратына, өткізгіш кедергісіне және тізбектің жұмыс істеу уақытына тура пропорционал.

Фарадейдің бірінші заңы

Электролиз кезінде электродтан бөлінетін заттың массасы электролит арқылы тасымалданған зарядқа тура пропорционал болады.

Фарадейдің екінші заңы

Заттардың электрохимиялық эквиваленті олардың химиялық эквиваленттеріне тура пропорционал.

Кирхгоф ережесі:

Түйінде жинақталатын ток күшінің алгебралық қосындысы нөлге тең.

Кез келген тұйық контурдағы кедергілердегі кернеу түсулерінің алгебралық қосындысы осы контурдағы ток көздері ЭҚК-сының қосындысына тең.

Глоссарий

Тармақ – бір ғана ток жүретін тізбек бөлігі, ол тізбектей жалғанған өткізгіштерден және ток көздерінен тұрады.

Қосымша кедергі – тізбек бөлігіне тізбектей жалғанған өткізгіш.

Контур – кез келген тізбек элементтерінің тұйық жалғануы, оны бірнеше тармақтары бойынша айналып өтуге болады.

Ток қуаты – зарядтың орын ауыстыруы кезінде жұмыстың орындалу шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

Ток тығыздығы – ток күшінің өткізгіштің көлденең қимасының қатынасына тең физикалық шама.

Ток жұмысы – электр өрісі тасымалдаған зарядтың берілген өткізгіш бөлігіндегі кернеуге көбейтіндісіне тең физикалық шама.

Ток күші – бірлік уақытта өткізгіштің көлденең қимасы арқылы өтетін заряд мөлшеріне тең шама.

Түйін – үш немесе одан да көп тармақтардың жалғанған орны.

Электр тогы – электр зарядтарының бағытталған қозғалысы.

Электр қозғаушы күш – бірлік зарядты тасымалдау кезінде бөгде күштердің атқаратын жұмысына тең шама.

ӘРТҮРЛІ ОРТАДАҒЫ ЭЛЕКТР ТОГЫ

Электр тогының пайда болуының шарттарының бірі – электр өрісі әсерінен қозғалатын еркін зарядтардың болуы. Белгілі бір шарттарда электр тогы түрлі заттардан өте алады. Осы тарауда әртүрлі ортада электр зарядын қандай бөлшектер тасымалдайтынын, электр тогын сипаттайтын шамалар қандай заңдармен байланысатынын анықтаймыз.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- металдардағы электр тогын сипаттауды және кедергінің температураға тәуелділігін сараптауды;
- жоғары температурадағы асқынөткізгіш заттарды алу перспективаларын талқылауды;
- жартылай өткізгіштердегі электр тогын сипаттауды және жартылай өткізгіштері бар аспаптарды қолдануды түсіндіруді;
- қыздыру шамдарының, резистордың және жартылай өткізгіш диодтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуді;
- электролиттердегі электр тогын сипаттауды және есептер шығаруда электролиз заңын қолдануды;
- электролиз үдерісінде электронның зарядын эксперимент арқылы анықтауды;
- вакуумдағы және газдардағы электр тогын сипаттауды;
- электронды-сәулелі түтікшенің жұмыс істеу принципін және қолданылуын түсіндіруді үйренесіңдер.

§ 41. Металдардағы электр тогы. Асқынөткізгіштік

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- металдардағы электр тогын сипаттай аласыңдар және кедергінің температураға тәуелділігін сараптай аласыңдар, жоғары температурадағы асқынөткізгіш заттарды алу перспективаларын талқылай аласыңдар.

I Металдардағы заряд тасымалдаушыларды байқау тәжірибелері

1901 жылы неміс физигі К.Рикке мынадай тәжірибе жүргізді: трамвай желілерін қоректендіретін басты өткізгіштерге массалары белгілі үш цилиндрді бір-біріне тізбектей жалғады. Екі шетіндегісі мыстан, ал ортасындағысы алюминийден жасалған. Бір жыл ішінде цилиндрлер арқылы 3,5 МКл шамасында заряд өтті, цилиндрлердің жалғанған жерлерінде зат тасымалдануы байқалмады. Демек, металдардағы атомдар мен молекулалар заряд тасымалдауға қатыспаған, ал ток металдардың барлығына ортақ бөлшектер – электрондардың қозғалысының арқасында жүріп отырған.

Металдардан токтың өтуі электрондардың қозғалысы екенін америкалық ғалымдар Р.Толмен және Т.Стюарт дәлелдеген. Олар 1913 жылы орыс ғалымдары С.Л.Мандельштам және Н.Д.Папалекси жүргізген тәжірибелердің әдістемесін жаңарта отырып, 1916 жылы ток тасымалдаушыларының меншікті зарядын анықтады. Тәжірибе мынаған негізделген: ұштары гальванометрге жалғанған айналмалы соленоидты бірден тоқтатып отырған (*224-сурет*). Соленоид тоқтағанда гальванометр токтың импульсін тіркеп отырады. Ораманың ұзындығы шамамен 500 метр, айналмалы сызықтық жылдамдығы шамамен 500 м/с болғанда, соленоидтың көмегімен ток тасымалдаушылардың электрондарға сәйкес келетін меншікті зарядын үлкен дәлдікпен анықтау мүмкін болды:

$$\frac{q}{m} = 1,76 \cdot 10^{11} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$$

II П.Друде және Х.Лоренцтің өткізгіштіктің электрондық теориясы

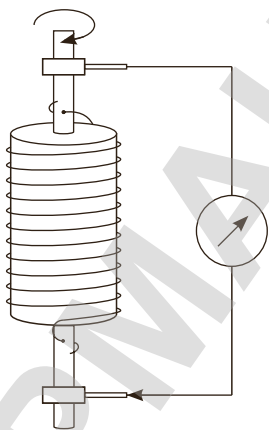
Металдардағы ток тасымалдаушылар ретінде бос электрондар жайлы белгілі мәліметтерді қорыта отырып, 1900 жылы П.Друде металдардың электрөткізгіштігінің классикалық теориясын жасап шығарды, ол теорияны кейіннен Х.Лоренц жаңартты.

Друде – Лоренц классикалық теориясына сәйкес, кристалдық тордың түзілуі кезінде атомдармен әлсіз байланысқан валентті электрондар босап шығады, олар өткізгіште бейберекет қозғалады.



Естеріңізге түсіріңдер!

Металдардағы заряд тасымалдаушылар – электрондар.



224-сурет. Р.Толмен және Т.Стюарт тәжірибесін жүргізудің принциптік сұлбасы

П.Друденің электрондық теориясының негізгі ережелері:

1. Металдар еркін электрондардың концентрациясы жоғары $10^{28} - 10^{29} \text{ м}^{-3}$ болатындықтан, жоғары электрөткізгіштікке ие болады.
2. Металдағы электрондардың жылулық қозғалысы идеал газ молекулаларының қозғалысына ұқсайды. Металдағы еркін электрондар концентрациясы теңіз деңгейінен $2,55 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$ биіктегі қалыпты жағдайдағы атмосферадағы ауа молекулалары концентрациясынан артық болады.

П.Друде «электронды газ» түсінігін енгізді (225-сурет) және молекулалық-кинетикалық теорияны қолданып, электрондардың жылулық қозғалысының орташа квадраттық жылдамдығын анықтады:

$$\frac{m_e v_e^2}{2} = \frac{3}{2} kT,$$

бөлме температурасында электрондардың жылдамдығы 110 км/с-қа дейін жетеді:

$$v_e = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}} \approx 110 \text{ км/с}.$$

3. Электрондардың бейберекет қозғалысына сыртқы электр өрісі әсер еткенде электрондар қозғалысы реттеле бастайды, яғни электр тогы пайда болады. Электрондардың бағытталған қозғалысы теңүдемелі болып табылады және классикалық механика заңдарына бағынады. Электрондардың еркін қозғалуының λ ұзындығы кристалдық тордың периодымен анықталады.

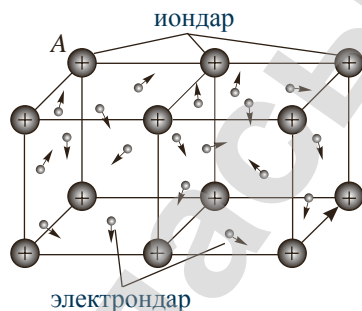
Өткізгіштегі ток күші электрондардың дрейф жылдамдығына тәуелді (§ 36):

$$I = |e|nSv_{op} \quad (1)$$

және металдардағы токтың тығыздығы:

$$j = |e|nv_{op}.$$

4. Электр тогының тізбек бойымен жоғары жылдамдықта таралуы электромагниттік өрістің таралу жылдамдығына пара-пар, ол жарық жылдамдығына тең болады $3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.
5. Электрондар иондармен серпімді соқтығысқанда электр өрісінде жинаған энергияларын иондарға толығымен береді. Бөлінген жылу энергиясының теориялық есептеу Джоуль – Ленц заңына негізделеді.



225-сурет. Металдардағы еркін электрондар «электронды газ» түзеді. Еркін электрондардың концентрациясы шамамен $10^{28} - 10^{29} \text{ м}^{-3}$. Атмосферадағы ауа молекулалары шамамен 10^{25} м^{-3}



Тапсырма

Ток тығыздығын есептеу формуласын қолдана отырып, металдардағы ток тығыздығының максимал мәні кезіндегі $j = 10^7 \text{ А/м}^2$, электрон дрейфтерінің жылдамдығы шамамен 1 мм/с болатынын дәлелдендер.

III Өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі

Тәжірибе жүзінде меншікті кедергі мен температура арасындағы тура тәуелділік бар екендігі анықталған (226-сурет):

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\Delta t),$$

мұндағы ρ_0 – температура 0°C болғандағы өткізгіштің меншікті кедергісі, α – кедергінің температуралық коэффициенті, Δt – температураның 0°C -ге қатысты өзгеруі.

Кедергінің температуралық коэффициенті – өткізгішті 1 К-ге қыздырғанда оның кедергісінің қалай өзгеретінін көрсететін физикалық шама.

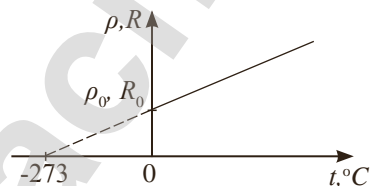
ХБЖ бойынша кедергінің температуралық коэффициентінің өлшем бірлігі: $[\alpha] = 1\text{ K}^{-1}$.

$R = \rho \frac{l}{S}$ болғандықтан, өткізгіш кедергісінің температураға тәуелділігі мына түрде болады:

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta t).$$

Жауабы қандай?

Не себепті металл өткізгіш кедергісінің тәуелділік графигі мен меншікті кедергінің температураға тәуелділік графигі арасында айырмашылық жоқ?



226-сурет. Металдың меншікті кедергісінің температураға тәуелділік графигі

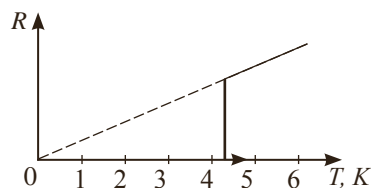
IV Асқынөткізгіштік құбылысы

Кейбір металлдардың температурасы абсолют нөлге жақындаған кезде, олардың кедергісі бірден нөлге дейін төмендейді, мысалы, сынап үшін бұл температура $4,2\text{ K}$ болады (227-сурет). *Өткізгіштің электр кедергісі нөлге жақындауын асқынөткізгіштік деп атайды. Асқынөткізгіштік жағдайындағы заттар асқынөткізгіш деген атау алды.* Асқынөткізгіштік құбылысын 1911 жылы дат ғалымы Хейк Камерлин-Оннес ашты.

1957 жылы америкалық ғалымдар Л.Купер, Дж.Бардин және Дж.Шриффер тұжырымдаған асқынөткізгіштік теориясында мынадай болжам жасалады: электрондар асқынөткізгіште «купер жұптарын» құрады, олар электр өрісі әсерінен кристалдық тор арқылы кедергісіз орын ауыстыруға қабілетті әрі кернеу түскеннен кейін де ток өтеді.

Ғалымдар асқынөткізгіштік құбылысын зерттей келе асқынөткізгіштік тогы беткі қабатта болып табылатынын анықтады. 1986 жылы жоғарғы температурадағы асқынөткізгіштер алынды, температура 100 K болғанда лантан мен барийдің оксидтік қосылыстары асқынөткізгішке айналатыны байқалды.

Соңғы он жылда америкалық зерттеушілердің жоғары температурадағы асқынөткізгіштерді алу жұмысында айтарлықтай ілгерілеу байқалады. 254 K (-19°C) температурада таллий негізінде синтезделген күрделі химиялық қоспадан асқынөткізгіштік эффектiсi бар үлдірлер алынды. Асқынөткізгіштің дәстүрлі емес эффектiсi сондай-ақ темір арсенид мен мыс оксидінің қоспаларынан байқалды.



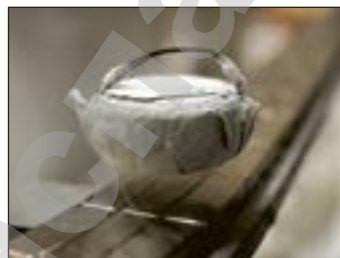
227-сурет. Сынап $4,2\text{ K}$ төмен температурада асқынөткізгіш болады

Жоғарғы температурадағы асқынөткізгіш үлдірлерді алу энергия үнемдегіш электроникалардың жаңа класының шығуына алып келуі мүмкін. Қазіргі кезде асқынөткізгіштерді МГД (магнитті гидродинамикалық) генераторларға және элементар бөлшектерді үдеткіштерге арналған қуатты электромагниттерді дайындау үшін пайдаланады. Мұндай қондырғыларды сұйық гелиймен үнемі салқындатып отыру қажеттілігі оларды тасымалдауда қиындық тудырады.



Бұл қызық!

Магниттік левитация деп аталған құбылысқа ғалымдар қызығушылық танытуда. 2013 жылы Тель-Авив университеті және Ғылыми-техникалық орталықтар ассоциациясы (ASTC) асқынөткізгіштер мен тұрақты магниттердің әсерлесуін зерттеу мақсатымен бірқатар жұмыстар жүргізді. Асқынөткізгіш ретінде шыны немесе жақұт төсемге жағылған иттрий-барий-мыс оксиді ($YBa_2Cu_3O_7$) алынды. Асқынөткізгіштің қалыңдығы 1 мкм болды. Оны температурасы -185°C сұйық азотқа батыру жолымен асқынөткізгішке айналдырады. Асқынөткізгіштің қозғалысы және тұрақты магнитпен әрекеттесуі нәтижесінде асқынөткізгіште индукциялық ток және оның әсерінен магнит өрісі пайда болады. Ол асқынөткізгішке кеңістікте өз орнын сақтап қалуға мүмкіндік береді (228-сурет).



228-сурет. Асқынөткізгіштің тұрақты магнитпен жасалған рельстермен әрекеттесуі

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Мыс өткізгіш арқылы тығыздығы $j = 1 \text{ А/мм}^2$ ток өтеді. Мыстың әр атомына бір еркін электроннан келеді деп алып, $l_0 = 10 \text{ см}$ орын ауыстырған электронның жүрген жолының ұзындығын есептеңдер. Мыстың тығыздығы $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$, мыстың мольдік массасы $M = 0,064 \text{ кг/моль}$. Өткізгіштің температурасы $t = 27^\circ\text{C}$.

Берілгені:

$j = 1 \text{ А/мм}^2$
 $l_0 = 0,01 \text{ м}$
 $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
 $M = 0,064 \text{ кг/моль}$
 $T = 300 \text{ К}$

 $L - ?$

ХБЖ

$$10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}$$

Шешуі:

Ток тығыздығы $j = |e|n v_{др}$, онда электронның l_0 қашық-тыққа орын ауыстыру уақыты $\Delta t = \frac{l_0}{v_{др}} = \frac{l_0 |e| n}{j}$ болады. Металдағы электрондардың бейберекет жылулық қозғалысының жылдамдығы: $v = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}}$.

Электрондардың концентрациясы: $n = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{M V} = \frac{\rho}{M} N_A$.

Жолдың ұзындығы $L = v \Delta t = \sqrt{\frac{3kT}{m_e}} \cdot \frac{l_0 |e| \rho N_A}{M j}$.

Есептеулер жүргіземіз:
$$L = \left[\sqrt{\frac{Дж \cdot К}{К \cdot кг}} \cdot \frac{м \cdot Кл \cdot кг \cdot моль \cdot м^2}{м^3 \cdot моль \cdot кг \cdot А} \right] = \left[\frac{м \cdot Кл}{с \cdot А} \right] = [м].$$

Сандық мәнін анықтаймыз:

$$L = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \cdot \frac{0,01 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}{0,064 \cdot 10^6} = 1,5 \cdot 10^9 м$$

Жауабы: $1,5 \cdot 10^9 м$.

Бақылау сұрақтары

1. Металдарда зарядтарды қандай бөлшектер тасымалдайды?
2. Друде – Лоренц электрондық теориясының негізгі күйін атаңдар.
3. Өткізгіштің кедергісі температураға қалай тәуелді?
4. Кедергінің температуралық коэффициенті дегеніміз не?
5. Қандай құбылыс асқынөткізгіштік деген атқа ие болды?

★ Жаттығу

41

1. Ұзындығы $l = 1 м$ түзу өткізгіш арқылы $I = 10 А$ ток өтеді. Өткізгіштегі электрондардың импульстерінің қосындысының орташа мәнін анықтаңдар. Электрон заряды $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19} Кл$, массасы $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} кг$.
2. Егер әрбір атомға бір еркін электроннан келеді деп есептесек, ток тығыздығы $j = 1 А/мм^2$ кезінде мыс өткізгіштің бойымен бағытталған электрондардың қозғалысының орташа жылдамдығын анықтаңдар.
3. Ток күші $I = 1 А$ кезінде көлденең қимасы $S = 1 мм^2$ никелиннен жасалған өткізгіштегі электр өрісінің кернеулігі қандай?
4. Вольфрам сымының температуралары $t = 0 °C$ және $t = 2400 °C$ кезіндегі кедергілерінің қатынастарын есептендер.
5. Кернеуі бар алюминий сымнан жасалған шарғыны еріп жатқан мұзға батырғанда ондағы ток күші $I_1 = 29 мА$, ал қайнап жатқан суға батырғанда ток күші $I_2 = 20 мА$. Алюминий кедергісінің температуралық коэффициентін анықтаңдар.
6. Температурасы $0 °C$ -ден $20 °C$ -ге өзгерген кезде орамы мыс сымнан жасалған электромагниттің тұтынатын қуаты қанша процентке өзгереді?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар (таңдау бойынша):

1. БКШ (Дж.Бардин, Л.Купер және Дж.Шриффер) теориясы.
2. Жоғары температуралы асқынөткізгіштер.
3. Асқынөткізгіштердің қолданылуы.

§ 42. Жартылай өткізгіштегі электр тогы. Жартылай өткізгіш құралдар

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

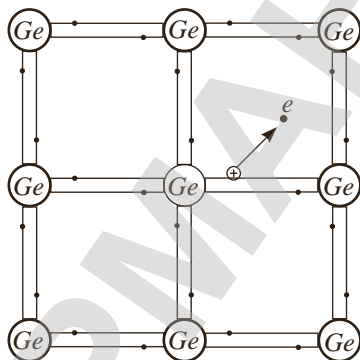
- жартылай өткізгіштердегі электр тогын сипаттауды және жартылай өткізгіш құралдарды қолдануды түсіндіре аласыңдар.

15-кесте. Заттың меншікті кедергісі

Зат	Меншікті кедергі (реті)
Өткізгіш	10^{-7} Ом·м
Жартылай өткізгіш	10^{-5} Ом·м-ден 10^8 Ом·м-ге дейін
Диэлектрик	10^8 Ом·м

Назар аударыңдар!

Меншікті өткізгіштікте бос электрондар мен кемтіктердің саны бірдей.



229-сурет. Жартылай өткізгіштердегі заряд тасымалдаушылар: еркін электрондар мен кемтіктер

I Жартылай өткізгіштер. Жартылай өткізгіштердегі заряд тасымалдаушылар. Меншікті өткізгіштік

Жартылай өткізгіш – өткізгіштігі жағынан өткізгіштер мен диэлектриктердің арасынан орын алатын зат. Оның өткізгіштерден ерекшелігі: жартылай өткізгіштің қоспалардың концентрациясына, температураға, сәулелену түрлерінің әсеріне аса тәуелді болуы. Жартылай өткізгіштердің қарапайым түрлері – германий, селен, кремний.

Бөлме температурасында жартылай өткізгіштегі еркін электрондар саны аз ғана болады. Электрондардың жартылай өткізгіштегі қозғалысы олардың металдардағы қозғалысына ұқсас болады: электр өрісі жоқ кезде электрондар бейберекет қозғалады, ал сыртқы өріс бар кезде ретсіз қозғалыспен қатар, бағытталған қозғалыс та пайда болады. Еркін электрондардың өткізгіштігін электронды өткізгіштік немесе *n-типті* өткізгіштік деп атайды: (*negativ* – теріс).

Бағытталған қозғалысқа бос электрондардан басқа өзара байланысқан электрондар да қатысады. Германий атомдары арасындағы электрондық байланыстың жазық сұлбасын қарастырайық (229-сурет). Суретте атомдардың электрондық байланысы сызықтармен бейнеленген. Германий атомы ядросының айналасында төрт сыртқы электрон бар, олардың әрқайсысы көрші атомдардың электрондарымен жұптық байланыс орнатады. Егер электрон еркін электронға айналса, онда бұл бұрынғы байланыс аумағында оң зарядтың пайда болуымен пара-пар болады, оны *кемтік* деп атайды. Көршілес байланыс сызығынан электрон ауысуы негізінде үзілген байланыс қалпына келуі мүмкін, онда басқа атомдардың байланыс сызығында *кемтік* пайда болады. Байланысқан электрондар қозғалысына негізделген кемтік қозғалысы электр өрісі бар кезде бағытталған және электрондар қозғалысына қарсы бағытта болады. Кемтіктердің орын ауыстыруына байланысты өткізгіштікті *p-типті* кемтік өткізгіштік (*positive* – оң, жағымды) деп атайды. Осылайша, еркін электрондар мен кемтіктер жартылай өткізгіштегі заряд тасымалдаушылар болып табылады.

Электронды-кемтіктік өткізгіштікті жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігі деп атайды.

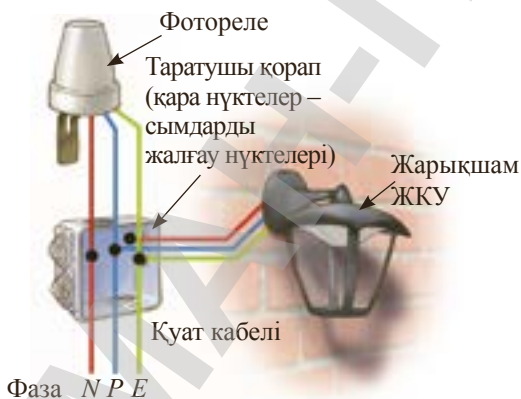
II Жартылай өткізгіштердің меншікті өткізгіштігінің температура мен жарыққа тәуелділігі. Термисторлар мен фоторезисторлар

Термистор – кедергісі температураға тәуелді жартылай өткізгішті резистор.

Термистор – термометрдің қабылдау бөлігі. Жартылай өткізгіштік термометрдің артықшылығы: өлшемі миллиметрдің 1/10 бөлігін құрайтын термистор өзінің сезімталдығын сақтайды (230-сурет), ол сұйықтық термометрін қолдануға болмайтын кішкентай денелердің температурасын өлшеуге мүмкіндік береді. Термистормен Кельвиннің миллиондық үлесіндей температура өзгерісін анықтауға болады.

Жартылай өткізгіштердің өткізгіштігінің жарыққа тәуелділігі фоторезисторда, қолдану электр тізбегін автоматты түрде басқаруға мүмкіндік берді. 231-суретте көшені жарықтандыруды автоматты түрде қосуға арналған фоторезисторлы тізбектің сұлбасы бейнеленген.

Фоторезистор – кедергісі жарықтандыруға тәуелді жартылай өткізгіш резистор.



231-сурет. Фоторезистордың көшені жарықтандыру тізбегіне жалғану сұлбасы

Жауабы қандай?

Қоршаған ортаның жарықтануы мен температурасы жоғарылаған сәтте неліктен жартылай өткізгіштің өткізгіштігі артады?



230-сурет. Датчигі бар термистр

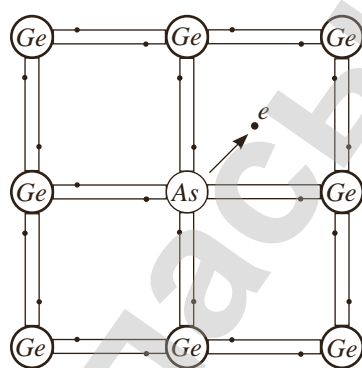
Жауабы қандай?

Көшені жарықтандыруды фоторезистор қалай реттейді?

III Жартылай өткізгіштердің қоспалы өткізгіштігі

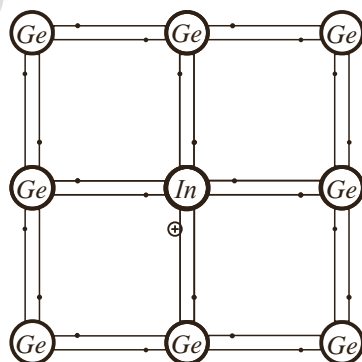
Егер қоспалар Менделеев кестесінің V, VI немесе VII тобына жататын болса, онда олар жартылай өткізгішті еркін электрондармен байытады. Мұндай қоспалар

донорлық деп, ал жартылай өткізгіштер электрондық немесе *n-типті* деп аталады. Германий атомдары мен бес валентті күшала (мышьяк) арасындағы электрондық байланыс сұлбасын қарастырайық (232-сурет). Күшала атомының төрт электроны германий атомдарының электрондарымен байланыс жасайды да, бесіншісі еркін электронға айналады. *n-типті жартылай өткізгіштер электрондық өткізгіштікке ие болады.* Температура төмендегенде және жарықтандыру әлсіз болған жағдайда қоспалы өткізгіштік меншікті өткізгіштіктен ондаған, жүз мыңдаған есе асып кетеді.



232-сурет. *n-типті жартылай өткізгіш*

Менделеев кестесінің I, II және III тобындағы заттардың қоспасы бар жартылай өткізгіште кемтіктік өткізгіштік қасиет басым болады. Жұптық электрондық байланыстар түзілгенде бұл топтардың элементтерінде кемтік пайда болады, өйткені олардың валентті электрондарының саны жартылай өткізгіштерге қарағанда аз болады. Мұндай қоспаларды *акцепторлық, ал жартылай өткізгіштерді кемтіктік немесе p-типті* деп атайды. 233-суретте германий атомдарының үш валентті индий атомымен байланыс сұлбасы бейнеленген. Индийдің үш электроны германийдің көршілес үш атомымен жұптық байланыстар орнатады, төртінші атоммен электрондық байланыста кемтік пайда болады. *Акцепторлы қоспасы бар жартылай өткізгіштің негізгі өткізгіштігі кемтіктік болып саналады.*



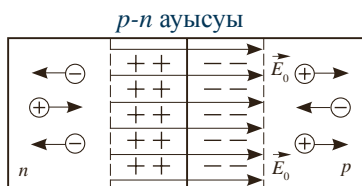
233-сурет. *p-типті жартылай өткізгіш*

Қоспалы өткізгіштік – акцепторлық және донорлық қоспасы бар жартылай өткізгіштегі өткізгіштік қасиеті.

IV Жартылай өткізгішті диод

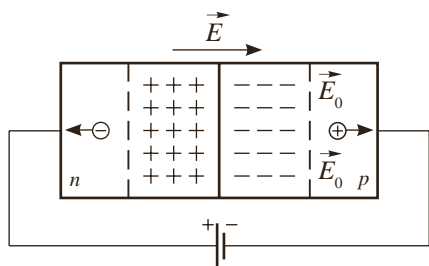
p-типті және n-типті екі жартылай өткізгіштің байланыстарын қарастырайық. Диффузия нәтижесінде *n-типті* жартылай өткізгіштің шеткі қабаты оң зарядталады, *p-типті* жартылай өткізгіштің шеткі қабаты теріс зарядталады, осылайша, *p-n* ауысуы пайда болады (234-сурет). *p-n* ауысуынан пайда болған E_0 өрісі негізгі заряд тасымалдаушылардың қозғалысына кедергі келтіреді.

Пайда болған шекаралық қабатты *жапқыш қабат* деп атайды. Ол жартылай өткізгішті диодтың негізгі бөлігі, оның тек біржақты өткізгіштік қасиеті болады. Жартылай өткізгіштерге ток көзін жалғаймыз: оң полюсі *n-типті* жартылай өткізгішке, теріс полюсі

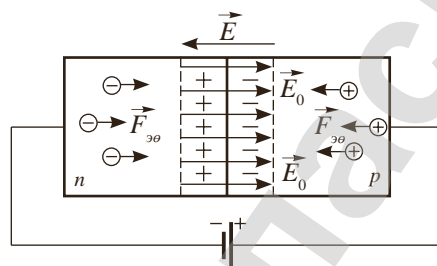


234-сурет. *p-n ауысуы*

p-типті теріс полюске жалғанады (235-сурет). Сыртқы өрістің кернеулігі *p-n* ауысу өрісінің кернеулігімен сәйкес келгенде, жапқыш қабат кеңейеді және оның кедергісі өседі.

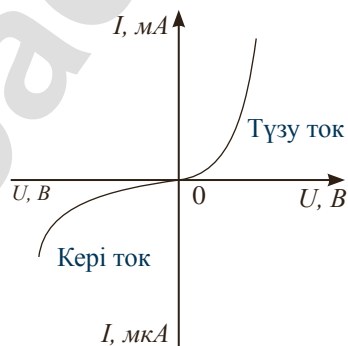


235-сурет. *p-n* ауысудағы кері қосылу



236-сурет. *p-n* ауысуының тура қосылуы

Ток көзінің полюстерін ауыстырамыз, сол кезде сыртқы өрістің кернеулігі *p-n* ауысуы өрісінің бағытына қарсы бағытталатын болады (236-сурет). Жапқыш қабат жұқарады немесе толығымен жоғалып кетеді, *p-n* ауысуының кедергісі азаяды. Жартылай өткізгіш арқылы негізгі ток тасымалдаушылардың бағытталған қозғалысынан туындайтын ток көбейеді. Ток көзінің *p-n* ауысуына тура және кері қосылуы кезіндегі вольт-амперлік сипаттама 237-суретте берілген. *p*-типті және *n*-типті жартылай өткізгіштердің түйісуі диодтың негізгі бөлігі болып табылады, жартылай өткізгішті диод 238-суретте сұлба түрінде бейнеленген.



237-сурет. *p-n* ауысуына арналған вольт-амперлік сипаттама

V Жарықдиодты шам

Жарықдиодты жарық шамы тұрақты токтың қуат беру блогына орнатылған цокольдан, драйверден – аса қуатты жарықдиодты арнайы жобаланған тақадан және шашыратқыштан тұрады (239-сурет). Жарықдиод – электр энергиясы көрінетін сәулеленуге айналатын *p-n* ауысуы. Яғни жарықдиодты шамның негізгі бөлігі – өлшемі 160x550x80 мкм болатын жартылай өткізгіш чип. Тақта радиаторға – жылу берілісін арттыруға арналған алюминий корпусқа орнатылған. Шамның жарығын шашыратқышқа жағылған люминофор арттырады. Шамның кернеуі 12 В және 220 В аралығында болатын түрлі нұсқалары бар. Жарықдиодты шамның электр энергиясын тұтыну кәдімгі шамнан 5–10 есе үнемді.



238-сурет. Диодтың сұлбада бейнеленуі



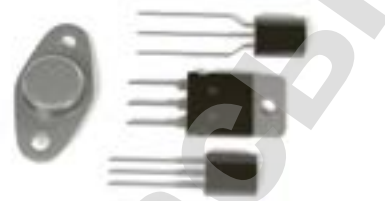
- Шашыратқыш
- Жарықдиод COB
- Драйвер
- Радиатор
- Цоколь E27

239-сурет. Жарықдиодты жарық шамы

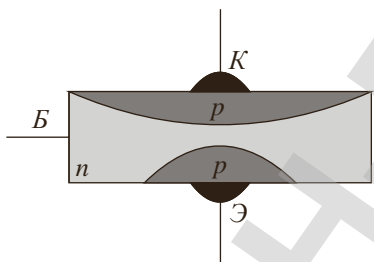
VI Транзистордағы күшейткіш

Екі $p-n$ ауысуы бар жартылай өткізгіш құралдарды транзисторлар деп атайды (240-сурет). Олар $p-n-p$ және $n-p-n$ түрінде болуы мүмкін. $p-n-p$ транзисторын дайындау үшін p -типті жартылай өткізгіштен жасалған пластина қажет, оны Б база деп атайды. Пластинаға n -типті жартылай өткізгіштен жасалған екі бөлікті жапсырады (241-сурет), мұндай жағдайда Э эмиттеріне қарағанда К коллекторының ауданы үлкен болады. Екі ауысуы да жапқыш қабаттың жұмысын реттейтін тұрақты көзіне жалғанады (242-сурет). «Эмиттер – база» ауысуы тура, «база – коллектор» ауысуы кері ток болады. Негізгі тасымалдаушылар бірінші ауысуда эмиттер тоғын тудырады. Базаға өткен кемтіктер екінші ауысу үшін негізгі емес тасымалдаушылар болып табылады және одан кедергісіз өтеді. Осылайша коллектор тоғы I_K тек қана эмиттер тоғына $I_Э$ тәуелді және коллектор тізбегіндегі R кедергіге тәуелді емес: $I_K = I_Э - I_Б$.

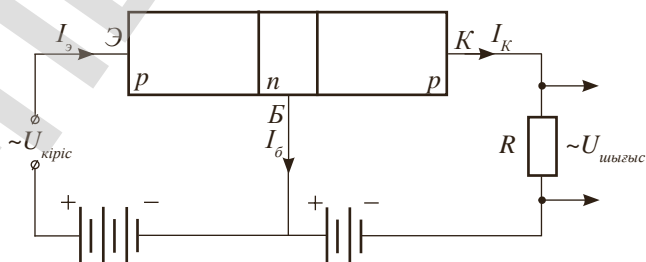
Коллектор тізбегіне үлкен кедергілі резисторды жалғап, жоғары кернеулі сигнал алуға болады: $U_{шығыс} = I_K R$.



240-сурет. Транзисторлар



241-сурет. $p-n-p$ түріндегі транзистор



242-сурет. Транзистор шығыстарына ток көздерін қосу



Жауабы қандай?

1. Температура төмен болғанда, жартылай өткізгіштерде неліктен қоспалы өткізгіштік басым болады, ал жоғары температурада меншікті өткізгіштік басым болады?
2. Кернеудің мәні бірдей болғанда, неліктен $p-n$ ауысуында тура ток кері токтан артық болады?
3. Неліктен коллектордағы ток коллектор-базаның тізбегіндегі кедергіге тәуелді емес?

Бақылау сұрақтары

1. Жартылай өткізгішке қандай заттар жатады?
2. Жартылай өткізгіштің меншікті өткізгіштігі деген не?
3. Жартылай өткізгіштің кедергісі қыздырған кезде қалай өзгереді? Жарықтандырған кезде ше?
4. Қандай өткізгіштікті қоспалы деп атайды?
5. Қандай қоспаларды донорлық деп атайды? Акцепторлық деп қайсыларын атайды?
6. p - n ауысуының қандай қасиеттері бар?
7. Транзистордың құрылысы қандай?

★ Жаттығу

42

1. Бөлме температурасында германийдің өткізгіш электрондарының концентрациясы $n = 3 \cdot 10^{19} \text{ м}^{-3}$. Өткізгіш электрондарының саны атомдардың жалпы санының қандай бөлігін құрайды? Германийдің тығыздығы $\rho = 5400 \text{ кг/м}^3$, мольдік массасы $\mu = 0,073 \text{ кг/моль}$.
2. Температура 20°C болғанда, германийдің өткізгіштік электрондарының концентрациясы 10^{14} см^{-3} . Оның атомдарының қандай бөлігі иондалған? Иондалу кезінде орта есеппен атомның валентті электронының біреуі ғана жоғалады деп санаңдар.
3. «Кемтіктік» концентрациясы $5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ болуы үшін алюминийдің кремниймен қоспасындағы (массасы %-пен) меншікті құрамы қандай болу керек? Алюминийдің әрбір атомы «кемтіктердің» түзілуіне қатысады деп алыңдар.
4. Өзара тізбектей жалғанған 1 кОм кедергісі бар реостат пен термистордан тұратын тізбектің ұшына 20 В кернеу берілді. Бөлме температурасында тізбектегі ток күші 5 мА болды. Термисторды ыстық суға батырғанда, ток күшінің мәні 10 мА болды. Термистордың кедергісі неше есе өзгерді?
5. Қараңғыда кедергісі 25 кОм болатын фоторезистор кедергісі 5 кОм болатын резистормен тізбектей жалғанған. Фоторезисторды жарықтандырған кезде, кернеудің сол мәнінде тізбектегі ток күші 4 есе артты. Фоторезистордың кедергісі неше есе кеміді?

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың бірінен хабарлама дайындаңдар:

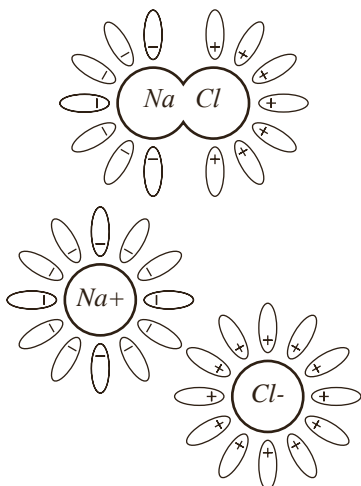
1. Жартылай өткізгіштердің жарық техникасында қолданылуы.
2. Транзисторлардағы үдеткіштердің түрлері мен олардың қолданылуы.
3. Қазақстандағы жарық техникасы мен радиоэлектроника.

§ 43. Электролиттердің балқытпасы мен ерітіндісіндегі электр тогы. Электролиз заңдары

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электролиттегі электр тогын сипаттауды және есеп шығаруда электролиз заңдарын қолдануды игересіңдер.



243-сурет. Электролиттік диссоциация

I Электролиттердегі заряд тасымалдаушылар

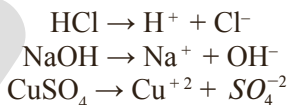
Құрылымы бойынша электролиттер мен су молекулалары полярлы болады. Қышқыл, сілті мен тұз молекулаларының иондары арасындағы байланыс су молекулаларының ортасында әлсірейді. Жылулық қозғалыс әсерінен молекулалар иондарға ыдырап кетеді де, электролиттік диссоциация жүреді (243-сурет).



Естеріңізге түсіріңдер!

Электролиттер – судағы ерітінділері мен балқытпалары өткізгіш болып табылатын заттар.

Электролиттік диссоциация – еріткіш әсерінен молекулалардың иондарға ыдырауы.



Анод пен катод арасында пайда болған электр өрісінің әсерінен электролитте иондардың бағытталған қозғалысы жүреді, электр тогы түзіледі (244-сурет).

Молекулалардың иондарға ыдырауы заттардың қатты қызған кезінде де жүреді. Диссоциация дәрежесі немесе молекуланың ыдырау үлесі температураға тәуелді болады.

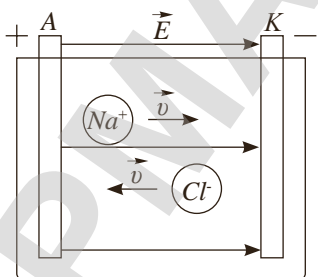
Естеріңізге түсіріңдер!

Металдардағы ток күші:

$$I = |enSv|$$

Токтың тығыздығы:

$$j = |en|v$$



244-сурет. Зарядталған бөлшектердің сыртқы өріс әсерінен бағытталған қозғалысқа түсуі

Диссоциация дәрежесі – молекулалардың қанша бөлігінің иондарға ыдырағанын көрсететін физикалық шама.

$$\alpha = \frac{N_i}{N}$$

мұндағы α – диссоциация дәрежесі; N_i – иондарға ыдыраған молекулалардың саны; N – ерітіндідегі электролит молекулаларының саны.

Ерітіндідегі диссоциациямен қатар, оң иондардың теріс иондармен соқтығысуы кезінде молекулаларды қалпына келтіретін кері процесс жүреді.

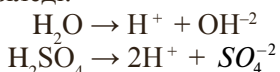
Рекомбинация – иондардың бейтарап молекулаларға бірігу процесі.

II Электродтарда жүретін процестер. Электролиз

Электролиттердің түріне байланысты электродтарда түрлі процестер жүреді:

1) *Судың сутек мен оттекке ыдырауы.* Электр тогы әсерінен күкірт қышқылының судағы ерітіндісі арқылы катодта газ тәрізді сутектің, анодта оттектің бөлінуі жүзеге асады.

Диссоциация нәтижесінде ерітіндіде H^+ сутек иондары мен OH^- гидроксил және SO_4^{2-} сульфат (245-сурет) түзіледі.



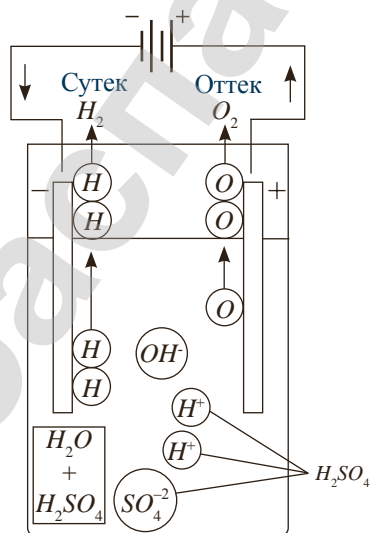
Сутек иондары катодқа бағытталып, теріс ионмен бірігіп, бейтарап болады және сутегінің молекулаларына айналады: $4H^+ + 4e = 2H_2\uparrow$.

Гидроксилдің иондары анодқа артық электрондарын береді және бейтарап болып, су мен оттегінің молекулаларын құрайды: $4OH^- \rightarrow 2H_2O + O_2\uparrow$

Электролиттер ерітіндісінде металдағы процеске ұқсас процестер жүреді. Сутектің оң иондары катод электрондарын тартады, гидроксилдің теріс иондары анодқа артық электрондарын береді. Тура осылай металда еркін электрондар зарядтарды ток көзінің теріс полюсінен оң полюсіне ауыстырады. Сұйық өткізгіште ток үшін Ом заңы орындалады. Токтың электролит арқылы өтуі кезінде қышқылдық-қалпына келтіру реакциясы нәтижесінде электродтарда таза заттар түзіледі, бұл процесс *электролиз* деп аталады.

Есте сақтаңдар!

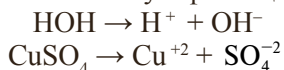
Оң және теріс иондар электролиттегі заряд тасымалдаушылар болып табылады.



245-сурет. Судың сутегі мен оттегіне ыдырауы

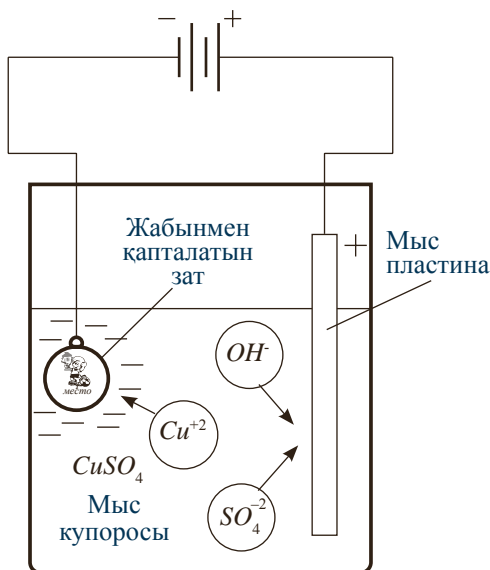
Электролиз – электролит арқылы ток өткен кезде электродтарда таза заттың түзілу құбылысы.

2) *Гальваностегия.* Егер тотияйынды $CuSO_4$ суда ерітсе, онда ерітіндіде сутегінің H^+ , гидроксилдің OH^- , мыстың Cu^{+2} және сульфаттың SO_4^{2-} иондары пайда болады:



Гидроксил иондары анодта оттектен түзеді, сутек иондары катодта бейтарап сутекке айналады, ал мыстың иондары бейтарап болып, катодта тұрақтайды (246-сурет). Катод таза металл қабатымен жабылады.

Гальваностегия – металл бұйымға басқа металдан қорғаныш немесе декоративті қабат қаптаудың электрохимиялық процесі.



246-сурет. Гальваностегия – бұйымды металл қабатымен жабу



247-сурет. «Алтын адам» отандық алтын жалатылған кәдесбей. Алматы қ.

Гальваностегияны бұйымға декоративті немесе коррозияға қарсы жабын жасау үшін қолданады (247-сурет). Бұйымды никельмен немесе хроммен, алтынмен немесе мыспен қаптағанда, катод – бұйымның өзі, ал анод таза металдың пластинасы болады. Электролит ретінде осы металдың тұз ерітіндісін қолданады. Ерітіндідегі металл иондарының кемуіне сәйкес SO_4^{2-} сульфаттың теріс иондары анодпен реакцияға түседі, анод еріп кетеді де, катод жабынының қалыңдығы артады. 248-суретте бұйымды мыспен жабуға арналған гальваникалық ванна көрсетілген.



248-сурет. Бұйымды мыспен қаптауға арналған ванна

III Фарадейдің бірінші заңы. Электрохимиялық эквивалент

М.Фарадей 1834 жылы токтың тұрақты мәнінде, бірдей уақыт аралығында катодта химиялық элементтердің бірдей массалары бөлінетінін байқады. Фарадей заттың электрохимиялық эквиваленті түсінігін енгізді:

$$k = \frac{m}{q} \quad (1)$$

Электрохимиялық эквивалент – электролит арқылы бірлік заряд өткенде электродта заттың қандай массасы бөлінетінін көрсететін физикалық шама.

ХБЖ бойынша электрохимиялық эквиваленттің өлшем бірлігі:

$$[k] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$$

Фарадей өзінің ашқан жаңалықтарын заң түрінде тұжырымдады. Фарадейдің бірінші заңы:

Электролиз кезінде бөлінген заттардың массасы ерітінді арқылы өткен зарядқа тура пропорционал.

$$m = kq. \quad (2)$$

Зарядтың ток күшімен $q = It$ байланысы арқылы Фарадейдің бірінші заңы мынадай түрге келтіріледі:

$$m = kIt. \quad (3)$$

IV Фарадейдің екінші заңы

Фарадейдің екінші заңы заттардың электрохимиялық және химиялық эквиваленттерінің арасында байланыс орнатады. Оны Фарадей тәжірибе барысында тұжырымдады. Шамалардың арасына теория жүзінде байланыс орнатайық. (1) формулаға белгілі формулаларды қоямыз:

$$m = m_0 N = \frac{M}{N_A} N \quad \text{және} \quad q = n|e|N,$$

мұндағы N_A – Авогадро саны, N – электродқа тұнған иондар саны, $m_0 = \frac{M}{N_A}$ – бір ионның массасы, n – ионның валенттілігі, $|e|$ – элементар заряд, нәтижесінде мынадай өрнек аламыз:

$$k = \frac{MN}{N_A n |e| N} = \frac{M}{N_A |e| n}. \quad (4)$$

(4) өрнектегі $\frac{M}{n}$ қатынасы заттың химиялық эквиваленті болып табылады. Электрохимиялық және химиялық эквиваленттің пропорционал коэффициенттері өзара тең болады:

*16-кесте. $I = \text{const}$, $t = \text{const}$,
 $q = 1 \text{ Кл}$ болғандағы
М.Фарадей тәжірибесінің
нәтижесі*

Зат	Масса, г
Мыс	0,000329 г
Күміс	0,001118 г
Сутегі	0,00001 г

17-кесте. Электрохимиялық эквиваленттер кестесі

Зат	Электрохимиялық эквивалент, кг/Кл
Мыс	$3,29 \cdot 10^{-7}$
Күміс	$1,118 \cdot 10^{-6}$
Сутегі	10^{-8}

$$\frac{1}{N_A |e|} = \frac{1}{F},$$

мұндағы F – Фарадей тұрақтысы, оның мәні:

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}.$$

Фарадейдің екінші заңының математикалық өрнегі мына түрге келеді:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}. \quad (5)$$

Заттардың электрохимиялық эквиваленттері олардың химиялық эквиваленттеріне тура пропорционал.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай заттарды электролиттер деп атайды?
2. Электролиттік диссоциация деген не? Электролиз, рекомбинация деген не?
3. Қандай бөлшектер электролиттердегі зарядталған бөліктерді тасымалдаушылар болып табылады?
4. Диссоциация дәрежесі нені көрсетеді?
5. Электролиз заңдарын тұжырымдаңдар.
6. Электрохимиялық эквивалент нені білдіреді?



Жаттығу

43

1. AgNO_3 және CuSO_4 ерітінділері бар екі электролиттік ванна тізбектей жалғанған. Массасы $m_1 = 180$ г болатын күміс бөлінген уақыт аралығында мыстың қандай массасы m_2 бөлінеді?
2. $t = 5$ мин уақыт аралығында $I = 2,5$ А токты күкіртқышқылды мырыштың ерітіндісі арқылы өткізгенде, екі валентті мырыштың қанша атомы бөлініп шығады? Мырыштың электрохимиялық эквивалентін қосымшадағы 15-кесте бойынша анықтаңдар.
3. Бұйымды никелдеу барысында ток күші алғашқы $t_1 = 15$ мин уақыт аралығында нөлден $I_{\text{max}} = 5$ А-ге дейін бірқалыпты ұлғаяды, содан кейін $t_2 = 1$ сағ уақыт аралығында тұрақты болып қалды, соңғы $t_3 = 15$ мин аралығында нөлге дейін төмендейді. Бөлінген никельдің массасын анықтаңдар. Никельдің электрохимиялық эквивалентін қосымшадағы 15-кесте бойынша анықтаңдар.
4. Токтың тығыздығы $j = 0,15$ А/дм² болғанда NiSO_4 ерітіндісі электролизденді. $t = 2$ мин уақыт өткенде катод бетінің $S = 1$ см² ауданында никель атомының қанша мөлшері бөлінді? Никельдің электрохимиялық эквивалентін қосымшадағы 15-кесте бойынша анықтаңдар.
5. Пластинаның ауданы $S = 25$ см², токтың тығыздығы $j = 200$ А/дм². Тотияйын электролизі кезінде мыс пластинаның (катодтың) массасы қандай уақыт аралығында $\Delta m = 99$ г болып ұлғаяды? Пластинана пайда болған мыс қабатының тығыздығын анықтаңдар.

§ 44. Газдардағы электр тогы. Вакуумдағы электр тогы. Электронды-сәулелік түтікше

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- газдағы және вакуумдағы электр тогын сипаттауды;
- электронды-сәулелік түтікшенің жұмыс істеу принципін және оны қолдануды үйренесіңдер.



Есте сақтаңдар!

Газдағы заряд тасымалдаушылар оң және теріс ион және еркін электрондар болады.

I Газдардағы заряд тасымалдаушылар

Қалыпты жағдайларда газ *диэлектрик* болып табылады, ол бейтарап молекулалар немесе атомдардан тұрады. Жылулық, ультракүлгін, рентген және радиоактивті сәулеленулер арқылы иондалған газ өткізгішке айналады.

Газ молекулалары бір немесе бірнеше электронын жоғалтып, оң иондарға айналады. Бейтарап молекулалармен соқтығысқан кезде еркін электрондар теріс иондар түзеді. Газдарда иондалумен бірге бір мезгілде рекомбинация жүреді: электрондар оң зарядталған иондармен соқтығысқанда бейтарап молекулалар түзіледі.

Сыртқы электр өрісі бар болған жағдайда, жылулық қозғалыспен қатар, иондалған газда ток пайда болады. Теріс иондар және электрондар электр өрісінің кернеулік векторының бағытына қарсы бағытталады, оң иондар кернеулік векторының бағыты бойынша қозғалады.

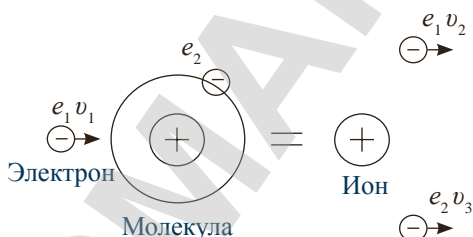
II Соққы иондалу

Электр өрісінің 10^3 В/м және 10^5 В/м аралығындағы жоғары кернеулігінде электрондар соқтығысқан мезетте бейтарап молекулаларды иондауға қажетті энергияға

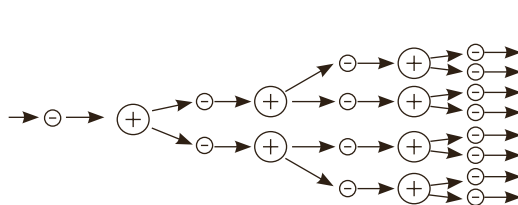
ие болады (249-сурет): $E_i = \frac{mv^2}{2} = qE\lambda$,

мұндағы E_i – иондалу энергиясы, m – зарядталған бөлшектің массасы, v – зарядталған бөлшектің жылдамдығы, q – бөлшектің заряды, E – өріс кернеулігі, λ – еркін жүріс қашықтығы.

Соқтығысу нәтижесінде түзілетін иондар мен электрондар өрісте тарап, кезегінде жаңа молекулаларды иондайды, зарядталған бөлшектер саны күрт өседі, сыртқы иондатқыш болмаған жағдайда газдың өздігінен иондалуы орындалады. Осындай процесс соққы иондалу атауына ие болды (250-сурет).



249-сурет. Газ молекуласының иондалуы



250-сурет. Соққы иондалу

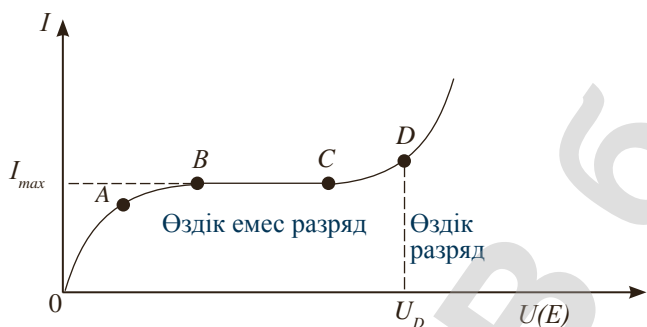
Соққымен иондалу – атомдар немесе молекулалардың шапшаң электрондармен соқтығысуы нәтижесінде оң зарядталған иондардың түзілу процесі.

III Өздік және өздік емес разряд

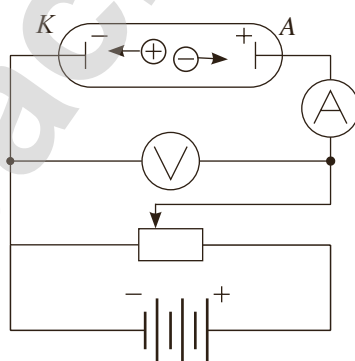
251-суретте газразрядты түтіктегі (252-сурет) ток күшінің өріс кернеулігіне тәуелділік графигі көрсетілген. Электродтар арасындағы кернеу өріс кернеулігінің анод және катод арасындағы l қашықтыққа көбейтіндісіне тең:

$$U = El,$$

мұндағы l – тұрақты шама болғандықтан, ток күшінің кернеуге және кернеулікке тәуелділігінің түрі бірдей. OA бөлігінде ток күшінің кернеуге тәуелділігі тура пропорционал, Ом заңы орындалады. Кернеу өскен сайын ток күшінің өсуі ионизатор әсерінен пайда болған иондар мен электрондар саны электродқа келіп жеткен зарядталған бөлшектер санымен теңелген мезетте тоқтайды, бұл процеске графиктегі BC бөлігі сәйкес келеді. Ток күшінің максимал мәнін *қаныққан ток* деп атайды, ол иондатқыш қуатына тәуелді. Егер иондатқышты өшірсе, онда газ қайтадан диэлектрикке айналады, ток жоғалады.



251-сурет. Газдағы вольт-амперлік разрядталу тәуелділігі



252-сурет. Газразрядты түтікше

Вольт-амперлік сипаттамадағы OD бөлігі тек ионизатор бар болған жағдайда ғана мүмкін болатын өздік емес разрядқа сәйкес келеді. Газда U_D -дан жоғары кернеулер болған жағдайда соққымен иондалу басталады, разряд өздік разряд болады.

IV Өздік разряд түрлері

1) **Ұшқын разряд.** Қалыпты атмосфералық қысым кезінде өріс кернеулігі жоғары, шамамен $3 \cdot 10^6$ В/м болғанда, газда ұшқын разряд пайда болады. Разряд каналындағы газ 10^4 К-ға дейін қызады және жарқырай бастайды. Табиғатта ұшқын разрядқа мысал ретінде найзағайды келтіруге болады, оның каналының диаметрі 25 см-ге, ал ток күші 10^5 А-ге дейін жетеді. Қыздырған кезде каналдағы газ тығыздығы азаяды, қысым күрт төмендейді. Төмендеген қысым аймағына суық ауа бағытталады, сатыр-сұтыр, күннің күркіреуі сияқты дыбыстық эффект пайда болады.



Есте сақтаңдар!

Егер түтікшедегі газдың қысымы атмосфералық қысымнан төмен болса, онда өздік разряд тек электродтардың арасындағы кернеу төмен болған жағдайда ғана пайда болады.

Разрядталған газда зарядталған бөлшектердің бос жүріс қашықтығы өседі, ал кинетикалық энергия кернеу төмен болған кезде иондалу энергия мәніне жетеді:

$$E_i = q \frac{U}{l} \lambda.$$

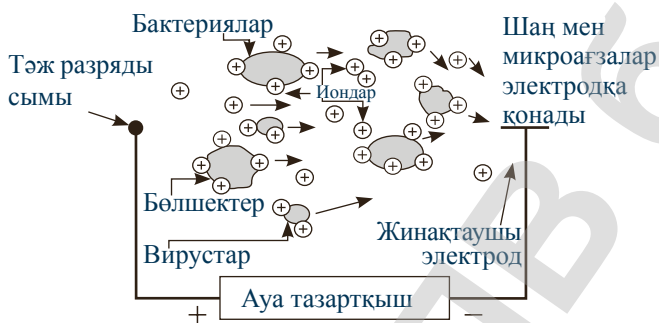
Ұшқын разряд металдарды өңдеуде және кесуде (253-сурет), іштен жану қозғалтқыштарындағы жанғыш қоспаны тұтандыруға қолданылады.

2) Тәж разряды. Тәж разряды кезінде әлсіз күлгін жарқыл мен ысылдаған дыбыс пайда болады. Разряд өткізгіштердің үшкір бөліктері маңайында, жоғары кернеуліктегі біртекті емес өрісте қалыпты және жоғары қысым кезінде байқалады. Тәж разряды көшіргіш аппараттарда және лазерлік принтерлерде ұнтақты барабаннан қағазға тасымалдау үшін және барабаннан қалдық зарядты алу үшін қолданылады. Ол электростатикалық фильтрде қолданылады. Тәж разряды әсерінен шаң бөлшектері, бактериялар және вирустар электрленеді және құралдың катодына орналасады (254-сурет).



253-сурет. Металды кесу

? Жауабы қандай?
Негізден газразрядты катодтың маңайында газ көрінбейді?



254-сурет. Тәж разрядымен тозаңды электрлеу

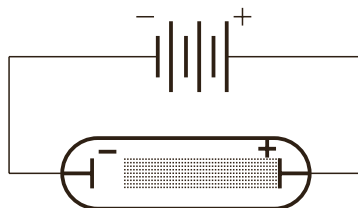
3) Доғалық разряд. Доғалық разряд екі көмір немесе металл электродтар арасында кернеудің салыстырмалы аз мәнінде, шамамен 60 В, пайда болады. Доғалық разряд кезінде жоғары 5000–6000 К-ге дейін жететін температурада және жарық жарқыл пайда болады. Доғалық разрядта газ молекулаларының соққы иондалуы мен қызған катодтан ұшып шыққан электрондардың есебінен газдың өздік иондалуы жүреді.

Доғалық разрядты металдарды дәнекерлеуде, болат балқытатын доғалық пештерде (255-сурет), прожекторлар, кварцтық шамдарда кеңінен қолданылады.

4) Солғын разряд. Төменгі, шамамен 10 Па, қысым және 200–300 В шамасындағы жоғары кернеу кезінде газразрядты түтікте солғын разряд байқалады. Оның жарқырауы түтік толтырылған газ



255-сурет. Доғалық дәнекерлеу



256-сурет. Газразрядты түтікіше

түріне байланысты болады (256-сурет). Газразрядты түтік тұрмыста кеңінен қолданылатын энергия үнемдеуші люминесцентті шамның негізгі бөлігі болып табылады (257-сурет). Қуаты 20 Вт люминесцентті шам қуаты 100 Вт қыздыру шамы сияқты жарық береді. Мұндай шамдардың кемшілігі – сынаптың улы булары қолданылатын болғандықтан, қайта кәдеге жарату қиындығы.



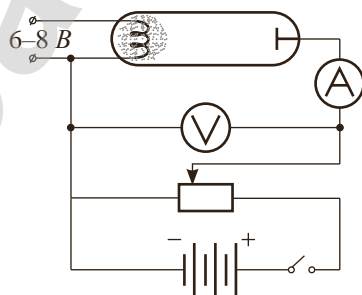
257-сурет. Энергия үнемдеуші люминесцентті шам

V Вакуумдағы заряд тасымалдаушылар. Термоэлектронды эмиссия

Вакуум – бұл ауасыз кеңістік, онда заряд тасымалдай алатын бөлшектер болмайды. Вакуумда электр тогын алу үшін оған зарядталған бөлшектер енгізу қажет. Ең қарапайым әдіс *термоэлектронды эмиссия* болып табылады.

Термоэлектронды эмиссия – металды жоғары температураға дейін қыздырған кезде одан еркін электрондардың шығуы.

Вакуумдық түтіктің шиыршық түріндегі электродтарының бірін кернеуі 6–8 В ток көзіне жалғайды (258-сурет). Ток өткен кезде электрод жоғары температураға дейін қызады және электрондар шығарады, олар электронды бұлт түзеді. Электрондарды шығарған кезде катод оң зарядталады және электрондарды өз маңында ұстайды. Катод пен анод арасында электр өрісі болған кезде электрондар анодқа тартылады.



258-сурет. Вакуумдағы токтың вольт-амперлік сипаттамасын зерттеуге арналған тізбек сұлбасы

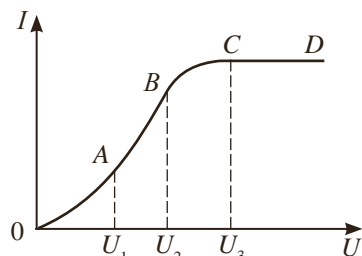


Есте сақтаңдар!

Вакуумға енгізілген зарядталған бөлшектер вакуумдағы заряд тасымалдаушылар болып табылады.

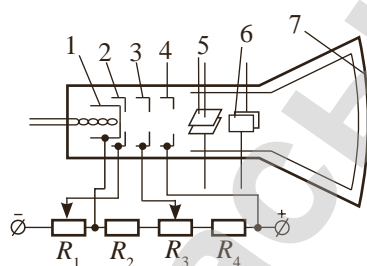
VI Вакуумдағы ток күшінің кернеуге тәуелділігі

258-суретте анод пен катод арасындағы кернеуді өзгерту үшін потенциометр, электрондар ағыны тудырған ток күшін өлшеу үшін амперметр, кернеуді өлшеу үшін вольтметр қолданылатын қондырғының сұлбасы берілген. Вольт-амперлік сипаттама 259-суретте көрсетілген. *OC* бөлігінде кернеудің өсуіне байланысты ток күші артады, демек, анодқа қарай қозғалатын электрондар саны да көбейе



259-сурет. Вакуумдағы токтың вольт-амперлік сипаттамасы

түседі. U_1 және U_2 мәндері аралығында кернеу тәуелділігі сызықтық түрде болады. Кернеудің осы салыстырмалы түрде кіші аралығында Ом заңы орындалады. Одан ары қарай кернеуді U_3 -ке дейін арттырғанда, катодтан ұшып шыққан барлық электрондар анодқа қарай бағытталатын мезет туады. Бұл жағдайда ток күші кернеудің өзгеруіне тәуелсіз болып қалады, вакуумдық түтікте ток максимал мәніне – қанығу тогы күшіне жетеді. Қанығу тогы күші катод температурасына және жасалған металл қасиеттеріне байланысты.



260-сурет. Электронды-сәулелік түтікше

VII Электронды-сәулелік түтікше

Электродтар арасындағы кернеуді арттырғанда вакуумдық түтікте анод маңында жасылдау жарқырау пайда болады. Электрондар шыны бөлшектеріне сосын суық жарқырау – люминесценция түрінде шығарылатын кинетикалық энергия береді. Бұл құбылыс электронды-сәулелік түтікшеде қолданыс тапты (260-сурет).

Электронды-сәулелік түтікше – электр тізбегіндегі тез өзгеретін электромагниттік құбылыстарды зерттеуде қолданылатын вакуумдық құрал.



Есте сақтаңдар!

Вакуумдық түтікшедегі электр тогы электрондардың бағытталған қозғалысын сипаттайды.

Ол – ұзын әрі жіңішке мойны бар түбі кең, люминоформен (7) қапталған шыны колба (260-сурет). Түтіктің мойнында катодтан (1), теріс потенциалды басқарушы электродтан (2), оң потенциалды қуыс цилиндрлер түріндегі (3) және (4) екі анодтан тұратын электронды зеңбірек бар. Бұрушы пластиналардың екі жұбы (5) және (6) электрондық сәулені вертикаль және горизонталь бойынша ығыстырады. Экранда түтік пластиналарына берілген кернеудің өзгеру заңын сипаттайтын сызық – осциллограмма пайда болады. Электронды-сәулелік түтікше осциллографтың негізгі бөлігі болып табылады (261-сурет).



261-сурет. Осциллограф

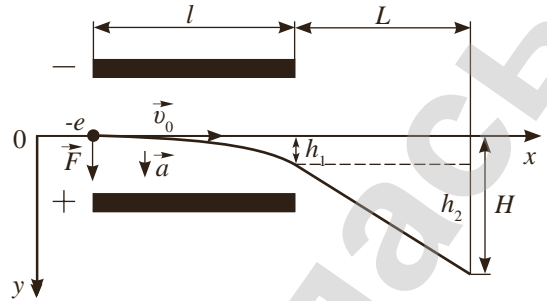


Жауабы қандай?

1. Неліктен қаныққан ток катод жасалған материалдың қасиетіне және оның қызу дәрежесіне тәуелді?
2. Неліктен электронды-сәулелік түтікшеде бірнеше анод болады?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Кинетикалық энергиясы $W_k = 10$ кэВ электрон пластиналарының арасында тұрақты потенциалдар айырымы $U = 40$ В сақталатын жазық конденсаторға ұшып кіреді (суретті қарандар). Пластиналар арасындағы арақашықтық $d = 1$ см, олардың ұзындығы $l = 10$ см. Конденсатордан $L = 20$ см қашықтықта экран орналасқан. Электронның бастапқы жылдамдығы пластиналарға параллель бағытталаған. Электронның экрандағы H ығысуын анықтаңдар. Егер электрон орнына энергиясы сондай протон алсақ, жауап қалай өзгереді? Ауырлық күшін ескермендер.



Берілгені:

- $W_k = 10$ кэВ
- $U = 40$ В
- $d = 1$ см
- $l = 10$ см
- $L = 20$ см
- $H = ?$

ХБЖ

- $1,6 \cdot 10^{-15}$ Дж
- 0,01 м
- 0,1 м
- 0,2 м

Шешуі:

Oy осінің бойымен конденсатордың электр өрісі күшінің әсерінен электрон үдеумен қозғалады:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{|e|E}{m} = \frac{|e|U}{md}$$

Ox – осінің бойымен $v_0 = \sqrt{\frac{2W_k}{m}}$ жылдамдықпен бірқалыпты қозғалады.

Конденсатор ішінде электронның ұшу уақыты мынаған тең: $t = \frac{l}{v_0} = \frac{l\sqrt{m}}{\sqrt{2W_k}}$.

Конденсатор ішіндегі электронның h_1 вертикаль ығысуын және одан ұшып шыққан кездегі v_y вертикаль жылдамдығын анықтаймыз. Электронның теңүдемелі қозғалатынын ескеріп, мынаны аламыз:

$$h_1 = \frac{at^2}{2} = \frac{|e|U^2 m}{2md \cdot 2W_k} = \frac{|e|Ul^2}{4dW_k}$$

$$v_y = at = \frac{|e|Ul\sqrt{m}}{md\sqrt{2W_k}} = \frac{|e|Ul}{d\sqrt{2mW_k}} = \frac{|e|Ul}{dmv_0}$$

Конденсатордан ұшып шыққаннан кейін электрон инерция бойынша түзу сызықты және бірқалыпты ұшады. Пластиналар және электронның ұшу бағыты арасындағы θ бұрышы төмендегі қатынас арқылы анықталады:

$$tg\theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{eUl}{2dW_k}$$

Қосымша ығысу $h_2 = Ltg\theta = \frac{eUlL}{2dW_k}$.

Онда $H = h_1 + h_2 = \frac{eUl}{2dW_k} \left(\frac{l}{2} + L \right) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,5 \text{ см}$.

Есептеу формуласына бөлшек массасы енгендіктен және протон заряды электрон зарядына модулі бойынша тең болатындықтан, протон ығысуы электрон ығысуына тең болады, бірақ қарама-қарсы жаққа бағытталады.

Жауабы: $H = 0,5$ см.

Бақылау сұрақтары

1. Қандай бөлшектерді газдағы зарядтарды тасымалдаушылар деп атаймыз?
2. Газ иондатқышын атаңдар.
3. Қандай жағдайда газдың өздік иондалуы жүреді?
4. Өздік және өздік емес разрядтың қандай айырмашылығы бар?
5. Өздік разрядталудың қандай түрлерін білесің?
6. Қандай бөлшектер вакуумдағы заряд тасымалдаушылар болып табылады?
7. Термоэлектрондық эмиссия деген не?
8. Вакуумдық түтікше неден тұрады, ол қандай қасиетке ие?
9. Электронды-сәулелік түтікшеде катодтық сәуленің қандай қасиеттерін пайдаланады?
10. Электронды-сәулелік түтікшені қайда қолданады?

★ Жаттығу

44

1. Электрон өріс кернеулігінің бағытына қарама-қарсы бағытта $1,83 \cdot 10^6$ м/с жылдамдықпен біртекті электр өрісіне ұшып кіреді. Егер иондалу энергиясы $2,8 \cdot 10^{-18}$ Дж болса, электрон сутегі атомын иондау үшін қандай потенциалдар айырымын жүріп өтуі керек?
2. Егер иондауыш секунд сайын 1 см^2 ауданда 10^9 иондар жұбын құрса, онда өздік емес разряд кезіндегі қанығу тогы қандай болады? Әрбір параллель екі электродтың ауданы 100 см^2 және олардың арасындағы арақашықтық 5 см .
3. Егер молекулалардың иондалу энергиясы $2,4 \cdot 10^{-18}$ Дж, еркін жол ұзындығы 5 мкм болса, онда өрістің қандай кернеулігінде ауада өздік разряд болады? Молекулалармен соқтығысындағы электрондардың жылдамдығы қандай?
4. Теледидар кинескобындағы үдеткіш анодтық кернеу 16 кВ , ал анодтан экранға дейінгі қашықтық 30 см . Электрондар осы арақашықтықты қанша уақытта өтеді?
5. Электронды-сәулелік түтікшеде ұзындығы $x = 4 \text{ см}$ жазық конденсатор пластиналарының арасында кинетикалық энергиясы $E_k = 8 \text{ кэВ}$ электрондар ағыны қозғалады, пластиналар арасындағы қашықтық $l = 2 \text{ см}$. Конденсатордан шығар кезде электрондар ағынының ығысуы $y = 0,8 \text{ см}$ болуы үшін конденсатор пластиналарына қандай кернеу берілуі керек?

Шығармашылық тапсырма

Келесі тақырыптардың бірі бойынша хабарлама дайындаңдар:

1. Өздік зарядтың түрлері.
2. Плазма және оның қасиеттері.
3. Жайтартқыштың әрекет ету принципі.
4. Электрвакуумдық аспаптар: диод және триод.

12-тараудың қорытындысы

Негізгі шамалар	Есептеу формуласы
Металдардағы және вакуумдағы ток күші мен оның тығыздығы	$I = e_0 n v_{др} S$
Металдағы және вакуумдағы ток тығыздығы	$j = e_0 n v_{др}$
Диссоциация дәрежесі	$\alpha = \frac{N_i}{N}$
Газдардағы иондалу энергиясы	$E_i = \frac{m v^2}{2} = q E \lambda ; E_i = q \frac{U}{l} \lambda$

Заңдар, ережелер

Фарадейдің бірінші заңы:

Электролиз кезінде электродта бөлінген заттардың массасы ерігінді арқылы өткен зарядқа тура пропорционал.

Фарадейдің екінші заңы:

Заттардың электрохимиялық эквиваленті олардың химиялық эквиваленттеріне тура пропорционал.

Глоссарий

Гальваностегия – металл бұйымға басқа металдан қорғаныш немесе декоративтік қабат қаптаудың электрохимиялық процесі.

Жартылай өткізгішті диод – *p*-типті және *n*-типті жартылай өткізгіштердің байланысы.

Ток тығыздығы – ток күшінің өткізгіштің көлденең қимасының қатынасына тең физикалық шама.

Жартылай өткізгіш – өткізгіштігі жағынан өткізгіштер мен диэлектриктердің арасынан орын алатын зат.

Қоспалы өткізгіштік – акцепторлық немесе донорлық қоспасы бар жартылай өткізгіштегі өткізгіштік қасиеті.

Рекомбинация – иондардың бейтарап молекулаларға бірігу процесі.

Меншікті өткізгіштік – жартылай өткізгіштердің электронды-кемтіктік өткізгіштігі.

Диссоциация дәрежесі – молекулалардың қанша бөлігі иондарға ыдырағанын көрсететін физикалық шама.

Асқынөткізгіштік – электр кедергісі нөлге жуық болатын өткізгіштің күйі.

Асқынөткізгіштер – асқынөткізгіштік күйдегі заттар.

Кедергінің температуралық коэффициенті – өткізгішті 1 К-ге қыздырғанда оның кедергісінің қалай өзгеретінін сипаттайтын физикалық шама.

Термистор – кедергісі температураға тәуелді жартылай өткізгішті резистор.

Термоэлектронды эмиссия – металды жоғары температураға дейін қыздырған кезде одан еркін электрондардың шығуы.

Транзистор – екі *p-n* ауысуы бар жартылай өткізгіш құрал.

Соққы иондалу – атомдар немесе молекулалардың шапшаң электрондармен соқтығысуы нәтижесінде оң зарядталған иондардың түзілу процесі.

Фоторезистор – кедергісі жарықтандыруға тәуелді жартылай өткізгіш резистор.

Электролиттер – судағы ерітінділері мен балқытпалары өткізгіштер болып табылатын заттар.

Электролиттік диссоциация – еріткіш әсерінен молекуланың иондарға ыдырауы.

Электролиз – электролит арқылы ток өткен кезде электродтарда таза заттың түзілу құбылысы.

Электрохимиялық эквивалент – электролит арқылы бірлік заряд өткенде электродта заттың қандай массасы бөлінетінін көрсететін физикалық шама.

Электронды-сәулелік түтікше – электр тізбектеріндегі тез өзгеретін электромагниттік құбылыстарды зерттеуде қолданылатын вакуумдық құрал.

МАГНИТ ӨРІСІ

Магнетизм тарихы Кіші Азия антикалық өркениетінен бастау алады. Кіші Азия аумағындағы Магнесия қаласынан тау жыныстарының бір-біріне тартылатын үлгілері табылған. Қала атауына қарай оларды «магнетиктер» деп атаған. Магнетиктер магнит өрісі арқылы өзара әрекеттеседі.

Магнит өрісі тұрақты магнитсіз-ақ, қозғалатын зарядталған бөлшектердің айналасында да пайда болады. Жойқын жарылыстан кейін, ғалам пайда болғаннан бастап, алғашқы кеңістік көптеген қозғалатын электрондармен, протондармен, сондай-ақ гелий мен сутек иондарымен толтырылды. 2010 жылы Калифорния техникалық университетінің астрофизигі Шиничиро Андо және Лос-Анджелестің Калифорния университетінің астрофизигі Александр Кусенко аса салмақты қара құрдымдар суретінен ғаламның реликті магнитті фонын байқады. Олардың ойынша, ғаламды тесіп өтетін магниттік фонның әсерінен суреттер анық болмады.

Магнит өрісі – қозғалыстағы электр зарядтарына, тогы бар өткізгішке, магниттік моменті бар денелерге әсер ететін материяның бір түрі.

Электротехника, радиотехника мен электроника магнит өрісінің техникада қолданылуына негізделген. Магнит өрісі дефектоскопияда зарядталған бөлшектерді үдеткіштерде, басқарылатын термоядролық синтез жағдайында ыстық плазманы ұстап қалу үшін қолданылады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

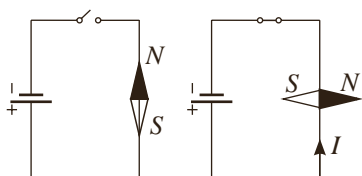
- қазіргі заманғы техниканың жетістігі (магниттік жастықты пойыздар, т.б.) және есептерді шығару негізінде магнит индукция векторының физикалық мағынасын түсіндіруді;
- электр қозғалтқыштардағы электр өлшеуіш аспаптардың жұмыс істеу принципін түсіндіруді;
- адрондық коллайдердың, токамактың, магниттік тұзақтың, циклотронның жұмыс істеу принципін талдауды және полярлық сәулеленудің (шұғыланың) табиғатын түсіндіруді;
- қозғалыстағы зарядталған бөлшектің магнит өрісінің әсерін зерттеуді;
- заттарды магниттік қасиетіне байланысты сұрыптауды және олардың қолдану саласын анықтауды;
- магнитті материалдарды (неодим магниті, датчиктер, сейсмографтар, металл детекторлар) пайдаланудың қазіргі заманғы бағыттарын талдап, олардың қолдану үрдістерін талқылауды үйренесіңдер.

§ 45. Токтың өткізгішпен әрекеттесуі, Ампердің және Эрстедтің тәжірибелері. Магнит индукция векторы. Тоғы бар шексіз түзу және дөңгелек өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы. Бұрғы ережесі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

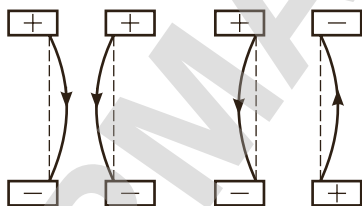
- қазіргі заманғы техниканың жетістігі (магниттік жастықты пойыздар, т.б.) және есептерді шығару негізінде магнит индукция векторының физикалық мағынасын түсіндіруді үйренесіңдер.



262-сурет. Эрстед тәжірибесі

Жауабы қандай?

Неліктен Эрстед тәжірибе жүргізу барысында тоғы бар өткізгішті Жер меридианы бойына орналастырды?



263-сурет. Тоғы бар өткізгіштердің өзара әрекеттесуі

I Эрстед тәжірибелері

1820 жылы дат ғалымы Эрстед тәжірибе жүзінде тоғы бар өткізгіш айналасындағы магнит өрісін анықтады. Ол меридиан бойымен орналасқан өткізгіш үстіне жіңішке жіппен магнит тілшені іліп қойды (262-сурет). Кілтті тұйықтаған кезде магнит тілше өткізгішке тік бұрыш жасай орналасты. Эрстед тәжірибені газразрядты және электролиттері бар түтіктермен қайталап жүргізіп, мынадай қорытындыға келді: *кез келген ортада қозғалатын зарядтардың айналасында магнит өрісі пайда болады.*

Электр тогының үш әсерінің (жылулық, химиялық және магниттік) ішінде тек магниттік әсері ғана кез келген жағдайда және кез келген ортада байқалады.

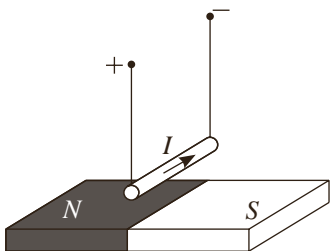
II Ампер тәжірибелері

А. Ампер тұрақты магнит өрісінің тоғы бар өткізгішке әсерін және тоғы бар өткізгіштердің өзара әрекеттесуін қарастырды. Ол бірнеше тәжірибе жасап, нәтижесінде мынадай қорытындыға келді:

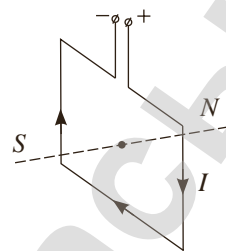
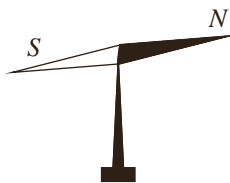
- 1) егер екі параллель өткізгіштегі токтар бағыттас болса, олар бір-біріне тартылады, токтардың бағыттары қарама-қарсы болса, тебіледі (263-сурет).
- 2) жіңішке жіпке ілінген тоғы бар өткізгіш жолақты магнит осіне перпендикуляр орналасады (264-сурет).
- 3) Жердің магнит өрісі тоғы бар рамаға және магниттік тілшеге бағыттаушы әсер етеді. Мұнда магнит тілшенің осі орам жазықтығына перпендикуляр (265-сурет).

III Түзу және дөңгелек токтың магнит индукциясы

Магнит өрісінің тоғы бар өткізгішке күштік әсерін сипаттайтын физикалық шаманы магнит индукциясы деп атайды.



264-сурет. Жолақ магнит пен тогы бар өткізгіштің өзара әрекеттесуі



265-сурет. Тогы бар рама жазықтығына түсірілген перпендикуляр магнит тіліше сияқты бағытталған

1820 жылы француз физиктері Ж.Био және Ф.Савар тәжірибе жүзінде түзу ток үшін магнит индукциясы шамасын анықтады:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}, \quad (1)$$

мұндағы B – тогы бар түзу өткізгіштің магнит индукциясы, өрістің күштік сипаттамасы; I – өткізгіштегі ток күші, a – кеңістік нүктесінен өткізгішке дейінгі ең қысқа қашықтық (266-сурет), $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2$ – магниттік тұрақты. ХБЖ-да магнит индукциясының өлшем бірлігі – 1 тесла:

$$[B] = 1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$$

Француз физигі және математигі П.Лаплас эксперименттік нәтижелерді жинақтап, кез келген пішінді өткізгіш өрісінің магнит индукциясын анықтауға мүмкіндік беретін заңдылықты ашты:

$$|\vec{B}| = \left| \sum_{i=1}^n \vec{B}_i \right| = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{I_i \Delta l_i \sin \alpha_i}{R_i^2}, \quad (2)$$

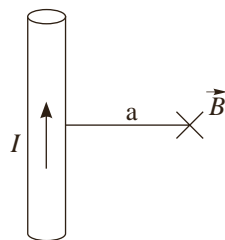
мұндағы \vec{B}_i – өрістің магнит индукциясы, $I_i \Delta l_i$ – ток элементі, α_i – ток элементі мен өрістің магнит индукциясы анықталатын кеңістік нүктесін қосатын түзу арасындағы бұрыш; R_i – кеңістіктің берілген нүктесінен ток элементіне дейінгі арақашықтық.

(2) заңдылық – Био – Савар – Лаплас заңының математикалық өрнегі. Осы заң негізінде дөңгелек токтың центріндегі магнит индукциясын есептеу формуласы алынды (267-сурет):

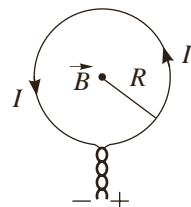
$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad (3)$$

мұндағы R – орам радиусы.

Осы заң бойынша соленоид, яғни орам саны N өте көп, ұзындығы орам диаметрінен әлдеқайда



266-сурет. Тогы бар өткізгіштен алыстатылғанда магнит өрісінің индукция кемиді



267-сурет. Орам радиусын арттырғанда дөңгелек токтың центріндегі магнит индукциясы кемиді

артық $l \gg d$ болатын шарғы ішіндегі магнит өрісінің индукциясы мынаған тең:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{l} \quad (4)$$

немесе

$$B = \mu_0 nI, \quad (5)$$

мұндағы $n = \frac{N}{l}$ – бірлік ұзындықтағы орам саны.

Ток мәні тұрақты болғанда өрістің магнит индукциясы тұрақты шама болып қалады, демек, *соленоид ішіндегі магнит өрісі біртекті, күш сызықтары өзара параллель орналасады* (268-сурет).

Био – Савар – Лаплас заңы магнит өрісінің суперпозиция принципімен сәйкес келеді:

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

Бірнеше тогы бар өткізгіш тудырған өрістің магнит индукциясын осы өрістердің магнит индукцияларының векторлық қосындысы ретінде анықтайды.

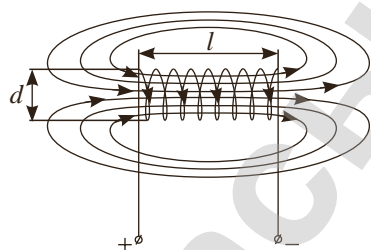
IV Түзу және дөңгелек токтардың магнит өрістерінің күш сызықтары

Магнит өрісінің күш сызықтары – жанамалары кез келген нүктеде магнит индукция векторының бағытын көрсететін сызықтар.

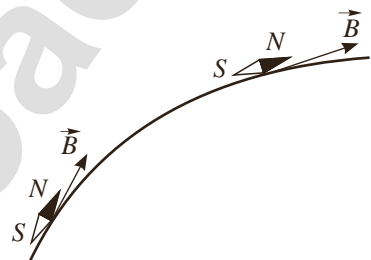
Магнит тілшенің солтүстік полюсі магнит өрісі сызықтарының бағытын көрсетеді (269-сурет). Бұл бағыт өрістің *магнит индукциясының бағыты* деп қабылданған. Түзу және дөңгелек токтың магнит өрісі күш сызықтарының бағытын бұрғы ережесімен анықтайды.

Егер бұрғының ілгерілемелі қозғалысын өткізгіштегі ток бағытымен сәйкестендірсе, онда бұрғы тұтқасының айналмалы қозғалысы магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын көрсетеді (270-сурет).

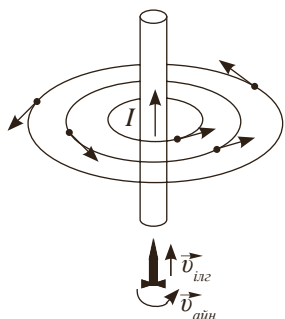
Магнит күш сызықтарын жазықтықта бейнелеу ыңғайлы болу үшін магнит индукция векторын садақ жебесі түрінде елестетіп, нүктелер («жебе ұшы») және айқыш сызықтарды (x – «жебе қауырсыны») пайдаланады. Егер вектор нүкте түрінде бейнеленсе, онда ол сурет жазықтығына перпендикуляр жоғары бағытталған, егер айқыш сызық түрінде бейнеленсе, онда вектор сурет жазықтығына перпендикуляр, бірақ төмен қарай бағытталған болады. 271-суретте ток жоғары қарай жүретін өткізгіш қимасы көрсетілген. Өткізгіш айналасындағы магнит өрісінің күш сызықтары сағат тіліне қарсы бағытталған концентрлік шеңберлер болып келеді. 272-суретте тогы бар өткізгіштің бойлық қимасы берілген, магнит өрісінің күш сызықтары сурет жазықтығына перпендикуляр және өткізгіштің сол жағында олар жоғары, ал оң жағында төмен бағытталған. 273, а, ә, б-суреттерде бір немесе бірнеше орам үшін дөңгелек токтың күш сызықтары көрсетілген.



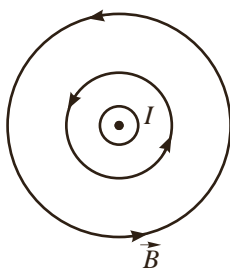
268-сурет. Соленоид ішіндегі магнит өрісі біртекті



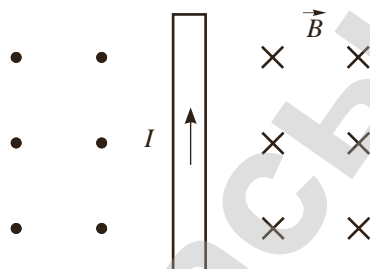
269-сурет. Магнит тілшенің солтүстік полюсі магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын көрсетеді



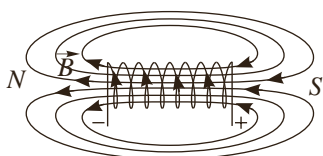
270-сурет. Бұрғы ережесі бойынша тогы бар өткізгіштің магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын анықтау



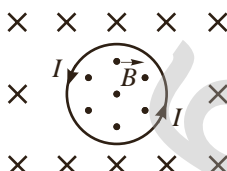
271-сурет. Өткізгіштің көлденең қимасындағы күш сызықтарының кескіні



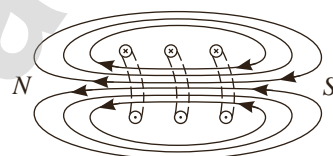
272-сурет. Өткізгіштің бойлық қимасындағы күш сызықтарының кескіні



а)



ә)



б)

273-сурет. Дөңгелек токтың күш сызықтары

Тогы бар шарғының магнит өрісінің бағытын оң қол ережесімен оңай анықтауға болады:

Егер оң қолымызды шарғыға тигізбей, төрт саусағымызбен оның орамдарындағы ток бағытын көрсететіндей етіп ұстасақ, онда 90°-қа бұрылған бас бармақ магнит өрісінің бағытын көрсетеді.

Электр өрісінің күш сызықтарына қарағанда магнит өрісінің күш сызықтары әрқашан тұйық болады.

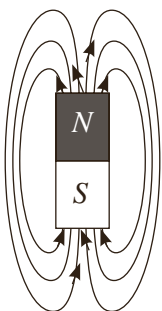


1-тапсырма

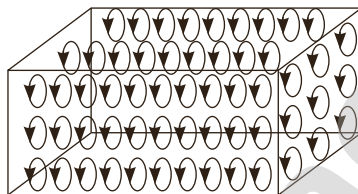
273 а, ә, б-суреттерге қарап, бұрғы ережесі немесе оң қол ережесі бойынша дөңгелек ток тудырған магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын анықтаңдар.

V Ампер гипотезасы

А.Ампер дөңгелек токтың магнит өрісі мен жолақ магниттің магнит өрісі арасындағы ұқсастықты байқап (273, а-сурет және 274-сурет), 1820 жылы мынадай гипотеза ұсынды: тұрақты магниттердің магниттік қасиеттері оларда элементар дөңгелек токтардың болуына негізделген. Атом құрылысы саласында жаңалықтардың ашылуына байланысты, ядро айналасында электрондардың қозғалуынан элементар токтар пайда болатыны анықталды. 275-суретте магниттелген темір кесегіндегі элементар токтардың бағытталған қозғалысы көрсетілген. Кесекті бөліктерге бөлген кезде элементар токтардың орналасуы өзгермейді. Кіші кесек те үлкен кесек сияқты қасиеттерге ие болады. Ампер гипотезасы магнит полюстерінің ажырамайтынын және үлкен магнитті бөлгенде кіші магниттердің пайда болуын оңай түсіндіреді.



274-сурет. Жолақ магниттің магнит өрісі



275-сурет. Ядро айналасындағы электрондардың айналмалы қозғалысы тудырған магнит өрісі

Бұл қызық!

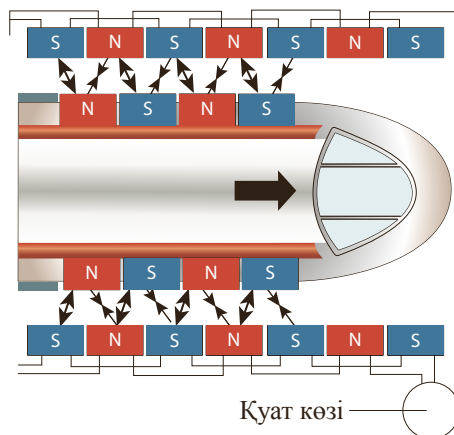
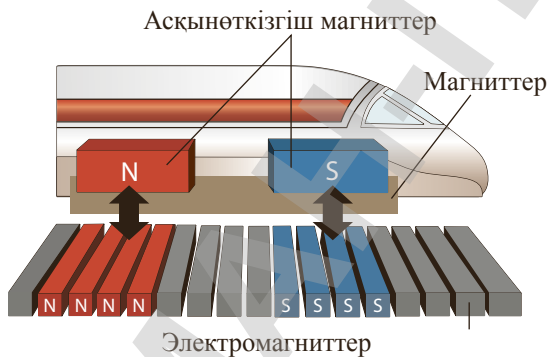
Тель-Авив әлемдегі магниттік аспадағы көлік жүйесі бар алғашқы қалаға айналады мақсат етіп отыр (276-сурет). Бұл жүйені Калифорниядағы Эймс атындағы НАСА зерттеу орталығына негізделген SkyTran компаниясы мен НАСА инженерлері жасады. Компания бұл автокөлік пен автобуска баламалы экологиялық таза, арзан, жылдам әрі ыңғайлы жүйе дейді.



276-сурет. Магниттік аспадағы көлік

3-тапсырма

277-суретке қарап, левитация және магниттік жастықтағы пойызды қозғалысқа келтіретін жүйе принциптерін түсіндіріңдер. Интернет желісіндегі ақпарат көздерін пайдаланып, Берлиндегі, Бирмингемдегі, Шанхайдағы, Жапониядағы алғашқы магниттік аспадағы пойыздардың технологиясын салыстырыңдар.



277-сурет. Пойыздың магниттік жастықтағы левитация жүйесі

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Бойымен I ток ағып жатқан шексіз ұзын өткізгіштің *a-суретте* көрсетілгендей орамы бар. O нүктесінде магнит өрісінің индукциясы түзу токтың магнит өрісінің осы нүктедегі индукциясынан (*ә-сурет*) неше есе артық?

Берілгені:

I

$$\frac{B_0}{B'_0} - ?$$

Шешуі:

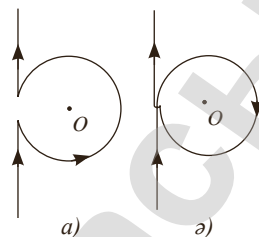
Өткізгіш сым *a-суретте* көрсетілгендей иілген кезде түзу ток пен орам тудырған магнит өрісінің индукция векторлары \vec{B}_1 және \vec{B}_2 , қарама-қарсы жақтарға бағытталған, сондықтан:

$$B_0 = B_1 - B_2 = \frac{\mu_0 I}{2r} \left(\frac{1}{\pi} - 1 \right).$$

Өткізгіш сым *ә-суретте* көрсетілгендей иілген кезде, магнит өрісінің индукция векторлары бір бағытқа бағытталады, ендеше:

$$B'_0 = B_1 + B_2 = \frac{\mu_0 I}{2r} \left(1 + \frac{1}{\pi} \right), \quad \text{онда} \quad \frac{B_0}{B'_0} = \frac{\pi - 1}{\pi + 1}.$$

Жауабы: $\frac{B_0}{B'_0} = \frac{\pi - 1}{\pi + 1}.$



Бақылау сұрақтары

1. Магнит өрісін қалай тудыруға болады?
2. Тоғы бар өткізгіштер қалай әрекеттеседі?
3. Магнит өрісін қалай бейнелейді?
4. Бұрғы ережесімен нені анықтайды?
5. Тоғы бар өткізгіш өрісінің магнит индукциясы ток күшіне қалай тәуелді?
6. Ампер гипотезасының мәні неде?

★ Жаттығу

45

1. Екі болат кесек берілген, олардың біреуі магниттелген. Осы кесектерді ғана пайдаланып, қай кесек магниттелгенін қалай білуге болады?
2. Шексіз ұзын өткізгіштегі ток күші $I = 20$ А. Өткізгіштен $r = 5$ см арақашықтықтағы нүктедегі магнит индукциясын анықтаңдар.
3. Екі ұзын параллель өткізгіш бір-бірінен $d = 5$ см арақашықтықта орналасқан. Өткізгіштерде қарама-қарсы бағытта бірдей $I = 10$ А ток жүріп жатыр. Бірінші және екінші өткізгіштен $r_1 = 2$ см арақашықтықтағы нүктедегі магнит индукциясын анықтаңдар.
4. Радиусы $R = 5,8$ см дөңгелек ток өрісінің центріндегі магнит индукциясы $B = 1,3 \cdot 10^{-4}$ Тл. Ток күшін анықтаңдар.

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне ppt-презентация дайындаңдар:

1. Асқынөткізгіш магниттер.
2. Магниттерді техникада қолдану.

§ 46. Ампер күші. Сол қол ережесі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электрөлшеуіш құралдардың және электр қозғалтқыштың жұмыс істеу принципін түсіндіруді үйренесіңдер.

Өз тәжірибең

Ампердің тәжірибесін қайталаңдар. Өткізгішті тұрақты ток көзіне жалғап, таға тәрізді магнит өрісіне енгізіндер (278-сурет). Тоғы бар өткізгіштің ауытқу бұрышын өлшеп алыңдар. Магнит полюстерін өзгертіндер, өткізгіштің ауытқу бұрышы қалай өзгеретінін анықтаңдар. Тәжірибені екі магнитті қолданып қайталаңдар. Өткізгіштегі ток күшін өзгертіңдер. Жүргізілген тәжірибеге қорытынды жасаңдар.

1-тапсырма

Сол қол ережесін пайдаланып, 278 а) және ө) суреттерде көрсетілген тоғы бар өткізгіштің ауытқуы дұрыс бейнеленгеніне көз жеткізіндер.

I Ампер заңы

А. Ампер жүргізген тәжірибелер тоғы бар өткізгішке әсер ететін күш магнит индукциясы шамасына және оның бағытынан тәуелді екенін көрсетті. Бұған 278-суретте келтірілген тәжірибеден көз жеткізуге болады.

Магнит өрісі тарапынан тоғы бар өткізгішке әсер ететін күшті Ампер күші деп атайды.

Жүргізілген тәжірибелердің нәтижесіне байланысты Ампер мынадай қорытындыға келді:

Тоғы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күш магнит индукциясының перпендикуляр құраушысының, ток күшінің және өткізгіш ұзындығының көбейтіндісіне тең.

$$F_A = B_{\perp} I l \text{ немесе } F_A = B I l \sin \alpha, \quad (1)$$

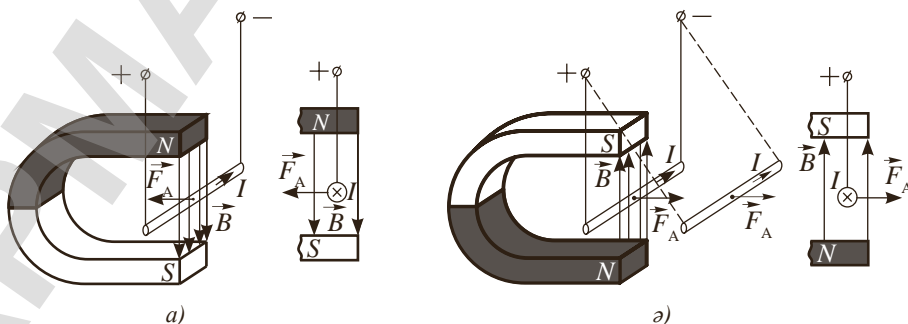
мұндағы α – \vec{B} магнит индукциясы векторы мен ток бағыты арасындағы бұрыш. Алынған формуладан, егер $\sin \alpha = 1$ немесе $\alpha = 90^\circ$ болса, өзара әрекеттесу күшінің ең үлкен мәнге ие болатынын көреміз.

Ампер заңының негізінде магнит өрісінің күштік сипаттамасы ретінде магнит индукциясының физикалық мағынасы анықталды:

$$B = \frac{F_A}{I l \sin \alpha} \quad (2)$$

және магнит индукциясының өлшем бірлігінің күштің өлшем бірлігімен байланысы тағайындалды:

$$[B] = 1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$



278-сурет. Магнит өрісіндегі тоғы бар өткізгіштің ауытқуы

II Ампер күшінің бағыты

Ампер күшінің бағытын сол қол ережесі бойынша анықтайды:

Егер сол қолымызды магнит индукция векторы алақанымызға кіретіндей, ал созылған төрт саусағымызды ток бағытын көрсететіндей етіп ұстасақ, онда 90° -қа бұрылған бас бармағымыз Ампер күшінің бағытын көрсетеді.

Егер магнит индукциясы векторының бағыты мен өткізгіштегі ток күші арасындағы бұрыш 90° -ты құраса, онда сол қол ережесі орындалады. Егер бұрыш 90° -тан кіші немесе үлкен болса, онда магнит индукциясы векторын \vec{B} тогы бар өткізгішке қатысты параллель және перпендикуляр құраушыларға жіктеу керек (279-сурет).

$$B_{\perp} = B \sin \alpha. \quad (3)$$

Ампер күшінің бағыты перпендикуляр құраушы бойынша анықталады.

III Параллель токтардың өзара әрекеттесу күштері

Бір-бірінен r арақашықтықта орналасқан параллель өткізгіштер арқылы I_1 және I_2 токтар жүріп өтеді делік. Бірінші өткізгіштің магнит өрісі (283-сурет), Ампер заңына сәйкес,

$$F_A = B_1 I_2 \sin \alpha. \quad (4)$$

күшпен екінші өткізгішке әсер етеді.

Тогы бар түзу өткізгіш өрісінің магнит индукциясы мынаған тең:

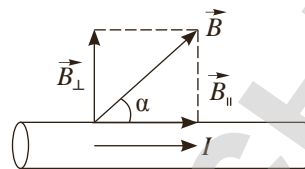
$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r}. \quad (5)$$

(5)-ті (4)-ке қойып, тогы бар түзу өткізгіштің өзара әрекеттесу күшін есептеу формуласын аламыз:

$$F_A = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}. \quad (6)$$

IV Магнит өрісіндегі тогы бар рама

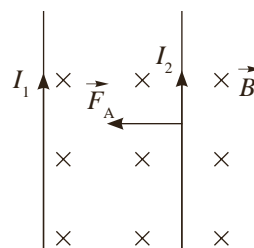
Ампер тогы бар өткізгішке Жердің магнит өрісінің бағыттаушы әсерін байқады. Тогы бар раманы таға тәріздес магниттің өрісіне орналастырып, оның айналуын бақылады: рама ток тудырған магнит өрісінің солтүстік полюсінен магниттің оңтүстік полюсіне бұрылды (281-сурет). Біртекті өрісте рама тек айналмалы қозғалыс қана жасады. Біртекті емес өрісте, рама бұрылып, магнит өрісінің индукциясы артатын бағытта ығысты (282-сурет).



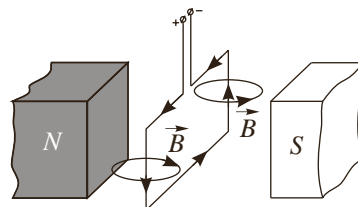
279-сурет. Магнит индукция векторын құраушыларға жіктеу

Жауабы қандай?

1. Неліктен индукция векторына параллель орналасқан тогы бар өткізгіш ауытқымайды?
2. Егер тогы бар шарғы арқылы тұрақты ток өтсе, онда оның сығылуының себебі неде?



280-сурет. Тогы бар өткізгіштердің әрекеттесуі



281-сурет. Тұрақты магниттің және тогы бар раманың магнит өрістерінің әрекеттесуі

V Магнит өрісіндегі тогы бар рамаға әсер ететін айналдырушы момент

Рамаға әсер ететін күштердің айналдырушы моментін оның үш түрлі жағдай үшін анықтаймыз:

1) Тогы бар раманы магнит полостерінің арасына рама ауданына түсірілген нормаль магнит индукциясымен 90° бұрыш жасайтындай етіп орналастырайық (283, а, ә-сурет).

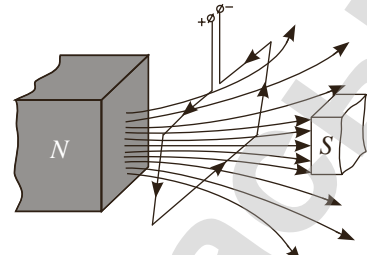
Рама ауданына түсірілген нормальдің бағытын контурдағы токқа қатысты бұрғы ережесімен анықтайды, ол рамадағы ток тудырған меншікті магнит өрісінің бағытымен сәйкес келеді.

Раманың AB және CD қабырғалары магнит индукция векторына параллель, ендеше магнит өрісі оларға әсер етпейді. AD және BC қабырғаларына шамалары жағынан тең, бірақ қарама-қарсы жақтарға бағытталған Ампер күштері әсер етеді. Күштердің түсу нүктелері әртүрлі, сондықтан қос күштің әсерінен рама сағат тілінің бағытына қарсы айналады. Күш моменттерінің қосындысы мынаған тең:

$$M = M_1 + M_2 = F_A \frac{b}{2} + F_A \frac{b}{2} = F_A b = B \cdot I \cdot l \cdot b \sin \alpha,$$

мұндағы b – рама ені, l – рама ұзындығы, α – \vec{B} және I векторларының арасындағы бұрыш.

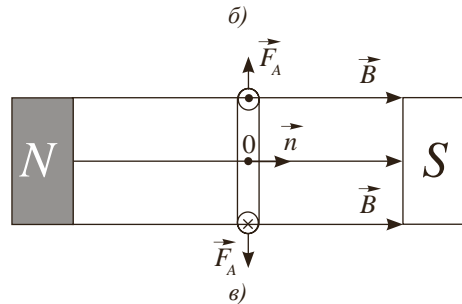
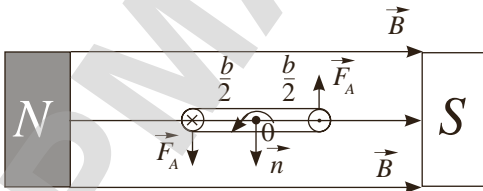
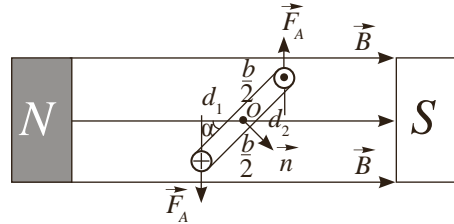
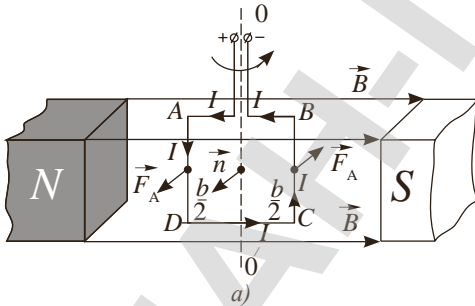
Рама ұзындығы мен енінің көбейтіндісін оның ауданымен ауыстырайық: $S = lb$, сонда: $M = BIS \sin \alpha$.



282-сурет. Біртекті емес магнит өрісіндегі тогы бар рама

Жауабы қандай?

Неліктен магнит өрісіндегі тогы бар рама тепе-теңдік күйінде айналуын тоқтатпайды?



283-сурет. Біртекті магнит өрісінде айналатын тогы бар раманың әртүрлі қалпында Ампер күшінің иіндері өзгереді

Бұрыш $\alpha = 90^\circ$, демек, $\sin\alpha = 1$ айналдырушы момент максимал мәнге ие болады:

$$M_{\max} = BIS.$$

2. Рама қайсыбір $\varphi = \omega t$ бұрышына бұрылған кездегі күш моментін анықтайық, мұндағы ω – рама айналуының бұрыштық жылдамдығы (283, б-сурет). Күш иіндері өзара тең болады:

$$d_1 = \frac{b}{2} \cos \varphi, \quad d_2 = \frac{b}{2} \cos \varphi, \quad \text{күштердің айналды-}$$

рушы моментін иіндерінің өзгерісін ескере отырып жазамыз:

$$M = Fbc\cos\varphi = BIS\cos\varphi$$

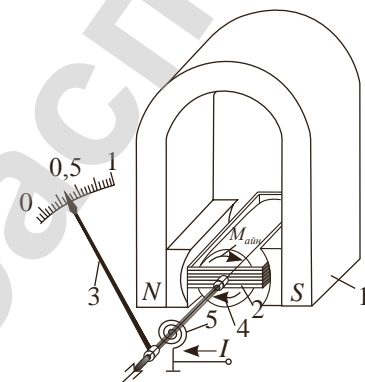
Раманың бұрылу бұрышын φ рама ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясы векторы B арасындағы бұрыш арқылы өрнектейік, оны α деп белгілейік, сонда $M = BIS\cos(90^\circ - \alpha)$ немесе $M = BIS\sin\alpha$.

3. Рамаға түсірілген нормаль бағыты магнит индукция векторының бағытымен сәйкес келген кезде күш иіндері және айналдырушы момент нөлге тең болады (283, в-сурет), раманың осындай күйі тепе-теңдік күйі болып табылады.



2-тапсырма

284-суреттегі магнитозэлектрлік жүйенің сұлбасына қараңдар. Аспаптың негізгі бөліктерін атаңдар және жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер. Қандай аспаптардың жұмыс істеу қызметі осыған негізделген?



284-сурет. Магнитозэлектрлік жүйенің өлшеуіш аспабы



Жауабы қандай?

1. Магнитозэлектрлік жүйе аспаптарындағы өзекшенің рөлі қандай?
2. Неліктен магнитозэлектрлік аспаптар тек тұрақты тоқты және кернеуді өлшеуге арналған?

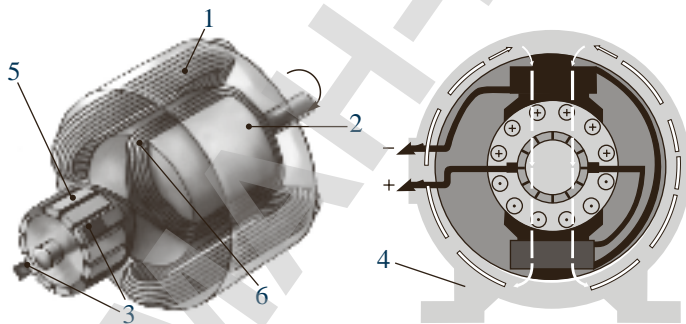


3-тапсырма

Электр қозғалтқыштың сұлбасын қараңдар. 285-суретте көрсетілген электрқозғалтқыштың негізгі бөліктерінің атауларын көрсетілген нөмірлерге сәйкестендіріңдер.

Қозғалтқыштың негізгі бөліктері: статор, коллектор, шөткелер, ротор орамасы, қоздыру орамасы, ротор өзекшесі.

Қозғалтқыштың жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



285-сурет. Электрқозғалтқыш



Жауабы қандай?

1. Неліктен тұрақты ток қозғалтқышының коллекторы жекеленген пластиналардан тұрады?
2. Неліктен қуатты қозғалтқыштарда тұрақты магниттердің орнына электромагниттерді қолданады?

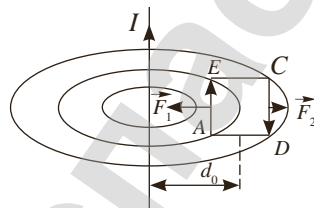
ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Шаршы рама $I = 10$ А ток ағып жатқан ұзын түзу өткізгіш сым жанына орналастырылған. Рама мен сым бір жазықтықта жатыр. Раманың қабырғасы $a = 10$ см, сымнан рама центріне дейінгі қашықтық $d_0 = 15$ см. Егер рама арқылы $I_0 = 0,1$ А ток өтетін болса, рамаға қандай күш әсер етеді?

Берілгені: $I = 10$ А $a = 10$ см $d_0 = 15$ см $I_0 = 0,1$ А $F = ?$	ХБЖ 0,1 м 0,15 м
---	-----------------------------------

Шешуі:

Сым тудырған өріс $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$ біртекті емес: AE қабырғасы CD қабырғасына қарағанда өте күшті магнит өрісінде орналасқан (суретті қараңдар):



$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \left(d_0 - \frac{a}{2}\right)}; \quad B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi \left(d_0 + \frac{a}{2}\right)}. \quad (1)$$

Раманың қабырғаларына әсер ететін Ампер күштері мынаған тең:

$$F_1 = I_0 B_1 a; \quad F_2 = I_0 B_2 a.$$

Рамаға әсер ететін күштер қарама-қарсы жақтарға бағытталған, магнит индукциясы векторы мен рамадағы ток күші өзара перпендикуляр, ендеше, олардың теңәсерлі күші мынаған тең:

$$F = (F_1 - F_2) = I_0 a (B_1 - B_2). \quad (2)$$

(1) формуланы (2) формулаға қойып, мынаны аламыз:

$$F = \frac{\mu_0 I \cdot I_0 a^2}{2\pi \left(d_0^2 - \frac{a^2}{4}\right)}.$$

Есептеулер жүргіземіз:

$$F = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2} \cdot 10 A \cdot 0,1 A \cdot 0,01 m^2}{2\pi \left(0,0225 m^2 - \frac{0,01 m^2}{4}\right)} = 10^{-7} H.$$

Жауабы: $F = 10^{-7}$ Н.

Бақылау сұрақтары

1. Ампер күшінің бағытын қалай анықтайды? Ампер күшінің мәнін қалай анықтайды?
2. Ток күшінің өлшем бірлігі қандай тәсілмен тағайындалған?

3. Тоғы бар рамаға біртекті магнит өрісі қалай әсер етеді? Біртекті емес магнит өрісі ше?
4. Магнит өрісіндегі тоғы бар рамаға әсер ететін айналдырушы момент неге тең?
5. Айналдырушы момент раманың магнит моментімен қалай байланысқан?



Жаттығу

46

1. Бойынан $I = 1,5$ А ток өтетін, ұзындығы $l = 1$ м тоғы бар түзу өткізгіш индукциясы $B = 0,1$ Тл магнит өрісінде орналасқан. Магнит өрісінің күш сызықтары өткізгіш осіне параллель болса, өткізгішке әсер ететін күшті анықтандар.
2. Түзу өткізгіш горизонталь магнит өрісінде көлденеңінен және магнит индукциясы сызықтарына перпендикуляр орналасқан. Өткізгішті оның сымдарындағы керілу күші нөлге тең болу үшін өткізгіш арқылы өтетін ток күшінің шамасы қандай болуы керек? Магнит индукциясы $B = 0,01$ Тл. Өткізгіш массасының оның ұзындығына қатынасы $m/l = 0,1$ кг/м.
3. Массасы $m = 0,1$ кг және ұзындығы $l = 0,25$ м өткізгіш өзек горизонталь бетте индукциясы $B = 0,2$ Тл біртекті горизонталь магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр орналасқан. Егер өзек (стержень) арқылы $I = 10$ А ток өтсе, оның бірқалыпты ілгерілемелі қозғалуы үшін өзек осіне перпендикуляр қандай горизонталь күш түсіру керек болады? Өзек пен бет арасындағы үйкеліс коэффициенті $\mu = 0,1$.
4. Түзу өткізгіш көлденеңінен бекітілген. Оған параллель осы вертикаль жазықтықта 1 м төмен массасы $m = 1$ кг және ұзындығы $l = 9,81$ м екінші түзу өткізгіш орналасқан. Оның бойына $I = 2$ А ток жібереді. Жоғарғы өткізгіш төменгі өткізгіштің салмағын теңгеруі үшін жоғары өткізгіштегі ток күшінің мәні неге тең болуы керек?
5. Ауданы $S = 400$ см² рама біртекті магнит өрісіне рамаға жүргізілген нормаль $B = 0,2$ Тл магнит индукциясымен $\alpha = 60^\circ$ бұрыш жасайтындай орналастырылған. Рамадағы ток күші $I = 4$ А. Рамаға әсер ететін айналдырушы моментті анықтандар.

§ 47. Лоренц күші. Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалысы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- адрондық коллайдердің, токамактың, магниттік тұзақтың, циклотронның жұмыс істеу принциптерін талдауды және полярлық сәулеленудің (иұғыланың) табиғатын түсіндіруді;
- қозғалыстағы зарядталған бөлшектің магнит өрісінің әсерін зерттеуді үйренесіңдер.



Хендрик Антон Лоренц (1853–1928) – голландиялық физик-теоретик. 1902 жылы магнетизмнің сәулеленуге әсерін зерттегені үшін физика бойынша Нобель сыйлығын алды. Париж және Кембридж университеттерінің құрметті докторы, Лондон Корольдік қоғамының және Неміс физикалық қоғамының мүшесі, 1881 жылдан бастап Нидерланд Корольдік Ғылым академиясының мүшесі. Х.Лоренц жарықтың электромагниттік теориясын және материяның электрондық теориясын дамыты.

I Лоренц күші

Ампер күші – тогы бар өткізгішке әсер ететін күш, ал ток зарядталған бөлшектердің реттелген қозғалысы болғандықтан, зарядталған бір бөлшекке әсер ететін күшті мына формуламен өрнектеуге болады:

$$F_L = \frac{F_A}{N}, \quad (1)$$

мұндағы N – зарядталған бөлшектердің саны.

Лоренц күші – магнит өрісі тарапынан онда қозғалып жүрген зарядталған бөлшекке әсер ететін күш.

Ампер заңына сәйкес:

$$F_A = BIl \sin \alpha, \quad (2)$$

өткізгіштегі ток күшін бір бөлшектің заряды өрнектейік:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 N}{t}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулаларды (1)-ге қойып, мынаны аламыз:

$$F_L = \frac{Bq_0 Nl \sin \alpha}{tN}.$$

$v = \frac{l}{t}$ екенін ескере отырып, Лоренц күшін есептеу формуласын аламыз, мұндағы v – зарядтардың реттелген қозғалысының жылдамдығы:

$$F_L = q_0 B v \sin \alpha, \quad (4)$$

мұндағы α – магнит өрісінің индукция векторы \vec{B} мен \vec{v} жылдамдығының арасындағы бұрыш.

Оң зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшінің бағытын сол қол ережесімен анықтайды. Теріс зарядталған бөлшектердің бағыты керісінше болады.

Лоренц күші өткізгіштегі тоқты тудыратын зарядталған бөлшектерге, сондай-ақ кеңістікте еркін қозғалатын зарядталған бөлшектерге де әсер етеді.

II Магнит өрісінде қозғалатын зарядталған бөлшек траекториясының қисықтық радиусы

Зарядталған бөлшек магнит өрісіне магнит индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кірсін делік. Бұл жағдайда Лоренц күші зарядтың қозғалыс жылдамдығы бағытына перпендикуляр болғандықтан, ол бөлшекке центрге тартқыш үдеумен беріледі. Лоренц күшінің



1-тапсырма

286-суретке қарандар. Лоренц күшінің бағыты дұрыс салынған ба? Тапсырманы орындау үшін қандай ережені қолдандыңдар?

әсерінен бөлшектер радиусы R шеңбер бойымен бір-қалыпты қозғалады (286-сурет).

Үдеумен қозғалатын зарядталған бөлшек үшін Ньютонның екінші заңы орындалады:

$$m\vec{a} = \vec{F}_L. \quad (5)$$

(5) теңдеуге Лоренц күшінің есептеу формуласын (4) қойып, үдеуді жылдамдық квадратының айналу радиусына қатынасымен $a_{ц.м.} = \frac{v^2}{R}$ алмастырып, мынаны аламыз:

$$\frac{mv^2}{R} = qBv \sin \alpha. \quad (6)$$

Қарастырылған жағдайда $\alpha = 90^\circ$, $\sin \alpha = 1$, осыдан (6) теңдеудегі траекторияның қисықтық радиусының мынаған тең екені шығады:

$$R = \frac{mv}{qB}. \quad (7)$$

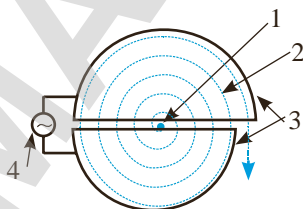
Бөлшек жылдамдығы неғұрлым үлкен болса, оның біртекті $B = const$ магнит өрісіндегі траекториясының қисықтық радиусы соғұрлым үлкен болады.

Зарядталған бөлшектердің үдемелі қозғалысы мен олардың соқтығысуы кезінде жаңа бөлшектердің пайда болуы бірқатар құрылғыларда мысалы, циклотронда (288-сурет), коллайдерде (289-сурет) кол-

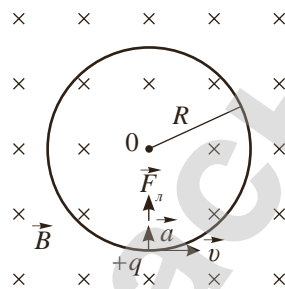


3-тапсырма

287-суретте көрсетілген циклотронның жұмыс істеу принципін түсіндіріңдер.



287-сурет. Циклотронның принциптік сұлбасы: 1 – протондар, иондардың кіру орны; 2 – үдетілген бөлшектердің траекториясы; 3 – электродтарды үдету; 4 – айналымы кернеу генераторы. Магнит өрісі суреттің жазықтығына перпендикуляр бағытталған.



286-сурет. Жылдамдығы біртекті магнит өрісінің күш сызықтарына перпендикуляр бөлшектердің траекториясы шеңбер болады



2-тапсырма

Циклотрондағы бөлшектің периодын және айналу жиілігін есептеу формулаларын қорытып шығарыңдар.



4-тапсырма

ҰАК құрылғысының принциптік сұлбасын қарастырыңдар (289-сурет).

ҰАК-тың негізгі блоктары мен бөліктерін атаңдар.



Жауабы қандай?

Бөлшектің жылдамдығы айналу периодына әсер ете ме?

даным тапты. Циклотронда өндірілетін негізгі радиоизотоптар: Cd-109, Ge-68, Tl-201, Co-57, Ga-67.



Бейнестер шотыры

288-сурет. Қазақстан Республикасы Энергетика министрлігінің Ядролық физика институтындағы У-150М изохрондық циклотрон

289-сурет. Үлкен адрондық коллайдер (YAK) құрылысының принциптік сұлбасы



290-сурет. Шағын мюондық соленоид – протондардың соқтығысу орны. Соленоидта цифрлық фотоаппараттарға арналған детекторлар орнатылған

Жауабы қандай?

1. Қарама-қарсы шоғырларда коллайдерді циклотрон деп атауымызға бола ма?
2. Үдеткіштердің үлкен және кіші сақиналары неге арналған деп ойлайсыңдар?
3. Зарядталған бөлшектер қандай өріспен үдетіледі? Олар орбитада қандай өріс ұстап отырады?
4. CERN (Европалық ядролық зерттеу орталығы) ғалым-физиктердің YAK-да өткізетін зерттеулерінің негізгі мақсаты қандай (290-сурет)?

III Зарядталған бөлшектің винттік траектория бойынша қозғалысы

Егер зарядталған бөлшек 90°-қа тең емес қандай да бір бұрышпен магнит өрісіне ұшып кірсе, онда ол өрістің кернеулік сызықтары түзетін винттік траектория бойымен қозғалады (291-сурет). Жылдамдық векторын магнит индукция векторы бағытына қатысты перпендикуляр және параллель құраушыларға жіктейміз:

$$v_{\perp} = v \sin \alpha,$$

$$v_{\parallel} = v \cos \alpha,$$

Бұл қызық!

YAK-әлемдегі ең алып тәжірибелік қондырғы. Оның құрылысы мен зерттеулеріне 100 мемлекеттен 10 мыңнан аса ғалымдар мен инженерлер қатысты.

мұндағы α – бөлшектің қозғалыс жылдамдығы \vec{v} мен магнит индукция векторы \vec{B} арасындағы бұрыш. Бөлшек Лоренц күшінің көлденең құраушысы әсерінен радиусы R -ға тең шеңбер сызатын болады:

$$R = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{qB} \quad (8)$$

Сонымен қатар бөлшек өріс бағыты бойымен инерция бойынша тұрақты \vec{v}_{\parallel} жылдамдықпен қозғалады. Бір айналым жасауға кеткен

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB} \quad (9)$$

уақытта бөлшек өріс бағытымен мынадай арақашықтыққа ығысады:

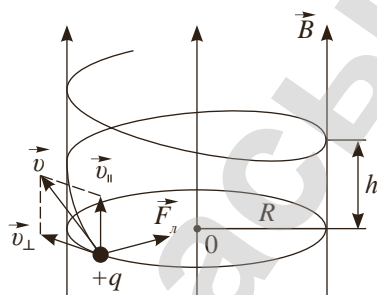
$$h = v_{\parallel} T = vT \cos \alpha \quad (10)$$

Теріс зарядталған бөлшек қозғалған кезде, айналымы қозғалыс бағыты қарама-қарсы болады.

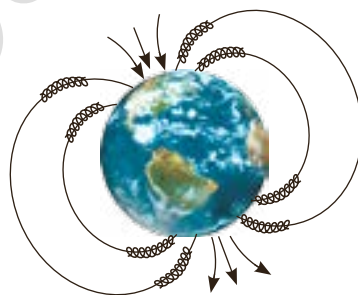
(9) теңдеуден айналу периоды бөлшек жылдамдығына тәуелді емес екенін көруге болады.

IV Лоренц күші және полярлық сәулелену (шұғыла)

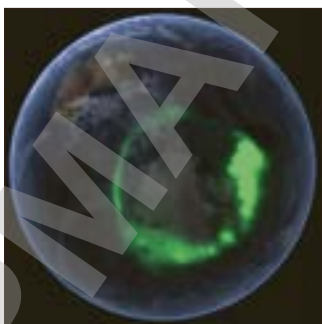
Жердің полюстері маңында полярлық сәулеленудің пайда болуы Жердің магнит өрісінің әсерімен түсіндіріледі. Ғарыштан ұшып келген зарядталған бөлшектер Жердің өрісінің бойы «орам» жасай орналасады (292-сурет). Бөлшектер Жерге полярлық аймақтарда жақындап, солғын разряд – полярлық шұғыла тудырады (293-сурет). Полярлық шұғыла тек Жер бетінде ғана болмайды. Чандра рентгендік обсерваториясы Юпитердің полярлық сәулеленуін фотосуретке түсірген (294-сурет).



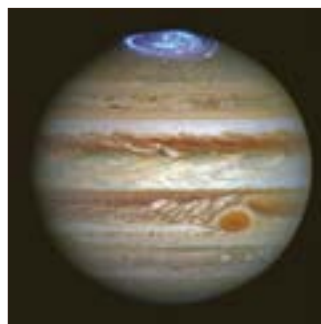
291-сурет. Біртекті магнит өрісіне α бұрыш жасай ұшып кіретін бөлшектің винттік траекториясы



292-сурет. Жердің магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалысы



293-сурет. Жердегі полярлық сәулелену. Ғарыштан түсірілген сурет



294-сурет. Юпитердегі полярлық сәулелену

V Магниттік тұзақ. Токамак

Кеңістіктің кейбір бөліктерінде зарядталған бөлшектердің қозғалысын шектеу үшін тудырылған магнит өрісін *магниттік тұзақ* деп атайды. Бұрын қарастырылған құрылғылар: циклотрон, ЯАК магниттік тұзақты зарядталған бөлшектерді өздерінің айналу орбиталарында ұстап тұру үшін пайдаланады. Термоядролық реакцияларды жүзеге асыру үшін «Токамак» құрылғыларында осындай принципті қолданады. Магниттік тұзақ плазманы ұстап тұрады, плазманың зарядталған бөлшектерімен өзара әрекеттесу нәтижесінде магнит өрісінің күш сызықтары бойымен айналатын термоядролық реактордың элементтерімен жанасатындықтан, оның температурасы миллион градусқа дейін жетеді. Магниттік тұзақтар, әдетте, аса қуатты электромагниттерден жасалады.

Термоядролық реактордың әрекет ету принципін қарастырайық. Ішінде сутек ядроларының өзара әрекеттесуі жүретін токамак камерасы трансформатордың екінші ретті орамасы болады (296-сурет). Камерадағы ауа сорып шығарылады, одан соң оны дейтерий мен тритий қоспасымен толтырады. Үлкен қуатты трансформатордың бірінші ретті орамасының көмегімен камерада құйынды электр өрісі пайда болады. Электр тогы токтың өтуі мен камерада дейтерий мен тритийден тұратын плазманың жануын тудырады.

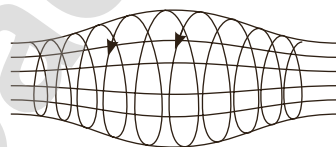


297-сурет. Қазақстандық «Токамак» термоядролық материалтану жобасы, ол ЭКСПО – 2017 көрмесі ашылған күні ШҚО-да іске қосылған

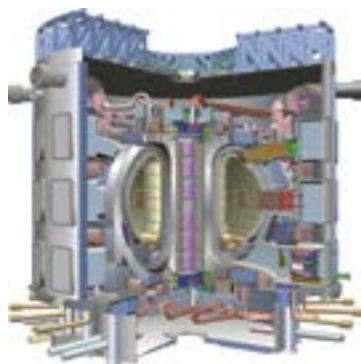


Жауабы қандай?

1. Неліктен теріс зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшін анықтаған кезде, төрт саусағымыз бөлшектің қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытталады?
2. Неліктен біртекті емес өрісте зарядталған бөлшектің траекториясының қисықтық радиусы өзгереді (295-сурет)?



295-сурет. Зарядталған бөлшектің біртекті емес магнит өрісіндегі қозғалыс траекториясы



296-сурет. Токамак камерасы трансформатордың екінші ретті орамасы болып табылады



Есте сақтаңдар!

«Токамак» – ТОроидты КамераМАгнитті Катушканы.

Плазма – иондалған газ.



5-тапсырма

Электронды зарядталған бөлшек деп алып, 295-суреттен магнит өрісінің күш сызықтарының бағыттарын көрсетіңдер.



Жауабы қандай?

1. «Токамак» жобасының негізгі идеясы қандай (297-сурет)? Реактордың іске қосылуы неліктен ЭКСПО-2017 көрмесінің ашылуымен байланысты болды?
2. «Токамак» құрылғысының іске қосылуы Жер халқын энергиямен қамтамасыз ету мәселесіне қалай әсер етуі мүмкін? Ол біздің планетаның экологиясына қалай әсер етеді?



Есте сақтаңдар!

Лоренц күшінің жұмысы нөлге тең.

Кез келген күштің жұмысын мына формула бойынша анықтауға болады: $A = FScos\alpha$.

Себебі Лоренц күші әрқашан жылдамдыққа және бөлшектердің орын ауыстыруына перпендикуляр, $cos\alpha = 0$. Сондықтан Лоренц күші жұмыс жасамайды. Бөлшектің энергиясы өзгеріссіз қалады, ал жылдамдық тұрақты болады.

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Электрон ені $d = 30$ см біртекті магнит өрісі аймағына магнит индукциясы сызықтарына $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасай, ұшып кіреді. Электронның бастапқы орнынан экранға дейінгі арақашықтық $L = 40$ см. Экранға түскенге дейін электрон неше айналым жасайды? Электрон жылдамдығы $v = 10^4$ м/с, магнит өрісінің индукциясы $B = 10^{-4}$ Тл.

Берілгені:

$d = 30$ см
 $\alpha = 30^\circ$
 $L = 40$ см
 $v = 10^4$ м/с
 $B = 10^{-4}$ Тл

$N = ?$

ХБЖ

0,3 м
 0,4 м

Шешуі:

Электрон магнит өрісіне \vec{B} векторына α бұрыш жасай ұшып кіргенде, винттік сызық бойымен қозғалады (291-сурет). Электрон қозғалысын:

\vec{B} векторына перпендикуляр жазықтықта тұрақты $v_1 = v \sin\alpha$ жылдамдықпен және магнит индукциясы сызықтары бойымен тұрақты $v_2 = v \cos\alpha$ жылдамдықпен қозғалатын екі қозғалыстың қосындысы ретінде қарастыруға болады.

Шеңбер радиусы: $R = \frac{mv_1}{qB} = \frac{mv \cdot \sin\alpha}{qB}$, винт қадамы:

$h = v_2 T = (v \cos\alpha) T$, мұндағы T – электронның айналу периоды, ол мынаған тең: $T = \frac{2\pi R}{v_1} = \frac{2\pi \cdot m}{qB}$, онда винт

қадамы мынаған тең: $h = \frac{2\pi \cdot mv \cos\alpha}{qB}$, электронның

айналым саны: $N = \frac{L}{h} = \frac{qLB}{2\pi \cdot mv \cos\alpha}$.

Айналым санын есептейміз:

$$N = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 0,4 \text{ м} \cdot 10^{-4} \text{ Тл}}{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 10^{-4} \text{ м/с} \cdot 0,866} \approx 129.$$

Жауабы: $N = 129$ айналым.

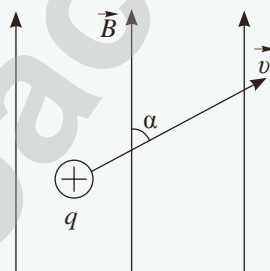
Бақылау сұрақтары

1. Қандай күшті Лоренц күші деп атайды?
2. Оң зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшін қалай анықтайды? Теріс зарядталған бөлшекке әсер ететін Лоренц күшін ше?
3. Егер а) қозғалыс жылдамдығы магнит индукция векторына параллель болса, б) жылдамдық магнит индукция векторына перпендикуляр болса, в) жылдамдық магнит индукция векторымен 90° -тан кем бұрыш құраса, онда бөлшек қандай траекториямен қозғалады?

★ Жаттығу

47

1. Шамасы $q = 2 \cdot 10^{-6}$ Кл нүктелік заряд индукциясы $B = 0,25$ Тл біртекті магнит өрісіне $v = 8$ м/с жылдамдықпен ұшып кіреді. Бөлшек жылдамдығы мен магнит индукциясы арасындағы бұрыш $\alpha = 30$ (298-сурет). Зарядқа әсер ететін күштің модулі мен бағытын анықтаңдар.
2. Электрон индукциясы $B = 0,01$ Тл біртекті магнит өрісінде шеңбер бойымен $v = 10^6$ м/с жылдамдықпен қозғалады. Электронға әсер ететін күшті және шеңбер радиусын анықтаңдар.
3. Электрон индукциясы $B = 1$ мТл біртекті магнит өрісіне магнит индукция сызықтарына перпендикуляр ұшып кіреді. Электронның айналу жиілігін анықтаңдар.
4. Массасы $m = 10^{-22}$ кг және заряды $q = 10^{-6}$ Кл бөлшек индукциясы $B = 0,1$ Тл магнит өрісінде радиусы $R = 1$ см шеңбер доғасымен қозғалып барады. Бөлшектің кинетикалық энергиясын анықтаңдар.
5. Индукциясы $B = 100$ мкТл біртекті магнит өрісінде винттік сызық бойымен электрон қозғалып жүр. Егер винттік сызықтық радиусы $R = 5$ см, ал қадамы $h = 20$ см болса, онда электрон жылдамдығын анықтаңдар.



298-сурет. 1-есенке

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

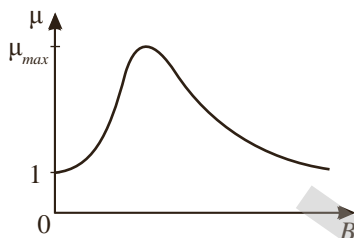
1. Зарядталған бөлшектер үдеткіштерінің жасалу тарихы.
2. Радиациядан қорғануда Жердің магнит өрісінің атқаратын рөлі.
3. Магнит өрістері жоқ планеталар.

§ 48. Заттардың магниттік қасиеттері. Кюри температурасы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- заттарды магниттік қасиеттеріне байланысты сұрыптауды және олардың қолдану саласын анықтауды;
- магнитті материалдарды (неодим магниті, датчиктер, сейсмографтар, металл детекторлар) пайдаланудың қазіргі заманғы бағыттарын талдап, оларды қолдану үрдістерін талқылауды үйренесіңдер.



299-сурет. Ферромагниттердің магнит өтімділігінің сыртқы өріске тәуелділік графигі

I Заттардың магниттік қасиеттері. Магнит өтімділік

Магниттік қасиеттеріне қарай барлық заттарды шартты түрде әлсіз магнитті және күшті магнитті деп бөледі. Заттардың магниттік қасиеттерінің негізгі сипаттамасы – магнит өтімділік болып табылады.

Магнит өтімділік – заттағы магнит өрісінің индукциясы вакуумдағы магнит өрісінің индукциясынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама.

$$\mu = \frac{B}{B_0},$$

мұндағы μ – магнит өтімділік, B – заттағы өрістің магнит индукциясы, B_0 – вакуумдағы өрістің магнит индукциясы.

Әлсіз магниттелген заттардың магнит өтімділігі бір санына жуық. *Магнит өтімділігі бірден үлкен $\mu > 1$ заттарды парамагнетиктер, ал $\mu < 1$ бірден кіші заттарды диамагнетиктер деп атайды.* Қосымшадағы 16-кестеде кейбір заттардың магнит өтімділігінің мәндері берілген. Күшті магниттелген ферромагнетик заттардың магнит өтімділігі жүздеген және мыңдаған бірліктерге жетеді, мысалы, темір үшін $\mu \approx 5000$, никель мен темір қоспасынан тұратын пермаллой үшін $\mu \approx 100000$. Ферромагнетиктердің магнит өтімділігі тұрақты емес, ол сыртқы өріске тәуелді, тәуелділік графигі 299-суретте көрсетілген. Сыртқы өрістің магнит индукциясын арттырғанда ферромагнетиктердің магнит өтімділігі ең үлкен мәніне дейін артады, содан кейін бірге жуық мәніне дейін кемиді: $\mu > 1$. Ферромагнетиктердің магнит өтімділігі кестесінде олардың максимал мәндері берілген.

II Ферромагнетизм табиғаты

Сыртқы магнит өрісі болмаған кезде ферромагнетиктердің ішінде өздігінен магниттелген аймақтар – *домендер* болады. Бұл аймақтардағы спиндер бір бағытқа бағытталған (300, а-сурет). Сыртқы магнит өрісі болған кезде домендердің шекаралары жоғалады,



Есте сақтаңдар!

Ферромагнетик химиялық элементтер – темір, никель, кобальт, гадолиний.

олардың магнит өрістері сыртқы өрістің магнит индукциясы векторы бойымен бағытталады, сонымен бірге сыртқы магнит өрісін біршама күшейтеді (300, ә-сурет).

Температураның жоғарғы мәндерінде ферромагнетиктер магниттік қасиеттері жоғалтады. Әрбір зат үшін бұл температура түрлі мәнге ие болады, осы температураны француз физигі П.Кюридің құрметіне *Кюри нүктесі* деп атайды. *Кюри нүктесінен жоғары температурада ферромагнетиктер парамагнетиктерге айналады, олардың магнит өтімділіктері бірге жуық $\mu > 1$ мәнге дейін азаяды.*

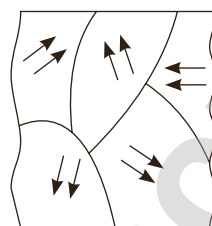
III Ферромагнетиктер және олардың қасиеттері

Ферромагнетиктердің негізгі ерекшелігі – олардың күшті магниттелу қабілеттілігі және магниттелуін ұзақ уақыт сақтай білуі.

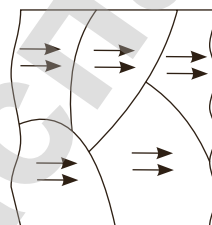
Ферромагнетиктердің магниттелуі сыртқы өрістің \vec{B}_0 магнит индукциясына тәуелді. Магниттелмеген темірді магнит өрісіне енгізейік, сыртқы өрістің индукциясы артқанда темірдің магниттелуі ең үлкен мәнге дейін артады. Бұл электрондардың орбиталдық айналуы тудырған барлық элементар токтар сыртқы өріспен қатаң белгілі бір бағытта бағытталғанын білдіреді (301-сурет). Магниттелген темір тудырған магнит өрісінің индукциясы \vec{B} ең үлкен мәнге ие болғанда, заттың магниттелуі қанығу мәніне жетеді. Сыртқы өрістің магнит индукциясының әрі қарай артуы заттың магнит өрісіне әсер етпейді, темірдің магнит өтімділігі бірге жуық болады: $\mu > 1$ (299-сурет). Барлық ферромагнетиктер жұмсақ магнитті және қатаң ферромагнетиктер болып, екі топқа бөлінеді.

IV Ферромагнетиктердің қолданылуы

Жылдам магниттелу қасиеттеріне байланысты жұмсақ магнитті материалдар трансформаторлардың өзекшелерін, қозғалтқыштар мен генераторлардың электромагниттерін жасауда, магнитоэлектрлік жүйелердің өлшеу құралдарында қолданылады. Қатаң магнитті ферромагнетиктерді тұрақты магниттерді дайындау үшін қолданады. Тұрақты магниттердің магниттелу қасиетін сақтау үшін олардың магниттік сызықтары тұйық болуы керек. Таға тәріздес магнит полюстерін пластинамен – магнит жұмсақ магнитті темірден жасалған зәкірмен жалғайды, осылайша, магнит ішіндегі молекулалардың белгілі бір тәртіппен орналасуын ұзақ уақыт ұстап сақтап тұрады. Жолақ магниттерді сақтау кезінде оларды



а)

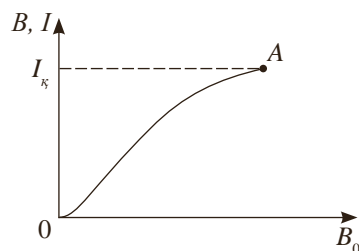


ә)

300-сурет.
Ферромагнетиктердің домендері

18-кесте. Кейбір заттар үшін Кюри нүктесі

Зат	Температура
Темір	767 °С
Никель	360 °С
Кобальт	1130 °С



301-сурет. Сыртқы өрістің магнит индукциясын арттырса, ферромагниттің магниттелуі максимал мәнге дейін артады

бір-біріне әр аттас полюстерімен қатарластырып жұптайды, магниттердің полюстерін жұмсақ темірден жасалған зәкірмен тұйықтайды.

V Неодим магниттер және олардың қолданылуы

Өлшемдері кішкентай болса да неодим магниттері ең үлкен тартылыс күшіне ие болады (302-сурет). Олар – энергиясы қарапайым магниттерден 18 есе артық күшті тұрақты магниттер. Магнитті ең алғаш 1982 жылы General Motors компаниясы мен оның серіктесі *Sumitomo Special Metals* жасап шығарды.

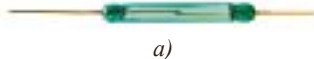
Неодим магниттерден магнит құлыптар, құрамындағы әртүрлі сусымалы өнімдерді металдардан тазалау үшін пайдаланылатын магниттік сепараторлар, әртүрлі процестерді, оның ішінде, гидравликалық пресс поршендері қозғалысын автоматтандыратын датчиктер жасайды (303, а-сурет). Есіктерге орнатылған қозғалыс датчиктері тиімді күзет жүйесін құруға мүмкіндік береді (303, ә-сурет). Неодим магниттердің пайда болуына байланысты тұрақты магниттері бар генераторлар мен қозғалтқыштарды жасау өзекті мәселеге айналды. Сонымен қатар неодим магниттерді кәдесыйлар мен зергерлік әшекейлер жасауда пайдаланады. Заманауи ілгектер, түймелер, тоназытқыштарға жапсырылатын магниттер пайда болды, құрастырғыш ойыншықтар, текшелер (304-сурет) сияқты ойыншықтар жасалды. Металіздегіштер үлкен сұранысқа ие болды. Олардың сым арқанға немесе арқанға арналған арнайы бекіткіштері бар. Олар құдықтардан, су қоймаларынан, шұңқыр мен жырақтардан темірден тұратын заттарды іздеу мен көтеру үшін пайдаланылады. Диаметрі 80 мм және биіктігі 40 мм болатын цилиндр 300 кг салмақты көтере алады (305-сурет).

? Жауабы қандай?

1. Неліктен жұмсақ магнитті ферромагнетиктер тұрақты магнит жасауға жарамсыз?
2. Неліктен электромагниттік кран көмегімен қызған темірді тасымалдау мүмкін емес?



302-сурет. Әртүрлі пішіндегі неодим магниттері



а)



ә)

303-сурет. Неодим магниттерінен жасалған датчиктер



304-сурет. Саусақ икемділігін дамытуға арналған ойыншық-текше



305-сурет. Неодим магниттен жасалған металіздегіш

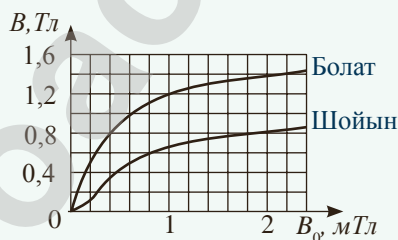
Бақылау сұрақтары

1. Заттарды олардың магниттік қасиеттеріне байланысты қандай түрлерге бөледі?
2. Диамагнетизм, парамагнетизм және ферромагнетизм құбылыстарының табиғаты қандай?
3. Ферромагнетиктердің магниттелуі сыртқы өрістің магнит индукциясына қалай тәуелді?
4. Жұмсақ және қатты магнитті ферромагнетиктердің айырмашылығы неде?
5. Ферромагнетиктер қайда қолданылады?

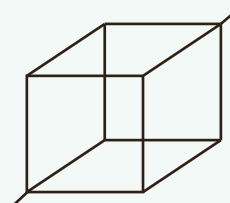
★ Жаттығу

48

1. 306-суретте көрсетілген график бойынша магниттеуші өріс B_0 индукциясының 0,4 және 1,2 мТл мәндеріндегі болаттың магнит өтімділігін анықтаңдар.
2. Егер соленоидтағы шойын өзекшені өлшемдері сондай болат өзекшемен алмастырса, магнит ағыны неше есе өзгереді? Жауап үшін графикті пайдаланыңдар (306-сурет).
3. Текше пішіндес қаркастың диагональдарының қарама-қарсы ұштарына тұрақты кернеу беріліп, текшенің қырлары арқылы ток жүреді (307-сурет). Текше центріндегі магнит өрісінің индукциясы неге тең? Егер қаркас ішіне шыны текше орналастырылса, магнит индукциясы қалай өзгереді?



306-сурет. 1 және 2-есепке



307-сурет. 3-есепке

Шығармашылық тапсырма

Тақырыптардың біріне хабарлама дайындаңдар:

1. Ұнтақты металлургия – тұрақты магниттер жасаудың заманауи технологиясы.
2. Магнитті материалдарды қолданылатын заманауи өндіріс салалары.

13-тараудың қорытындысы

Тоғы бар өткізгіш өрісінің магниттік индукциясы	Өзара әрекеттесу күштері	Тоғы бар контурдың айналмалы қозғалысын сипаттайтын шамалар
<p>Еркін өткізгіш үшін Био – Савар – Лаплас заңы</p> $ \vec{B} = \left \sum_{i=1}^n B_i \right = \frac{\mu_0}{4\pi} \sum \frac{I_i \Delta l_i \sin \alpha_i}{R_i^2}$ $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{H}{A^2}$ <p>Түзу өткізгіш үшін</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a}$ <p>Дөңгелек ток үшін</p> $B = \frac{\mu_0 I}{2R}$ <p>Соленоид үшін</p> $B = \mu_0 n I$ <p>Өрістердің суперпозиция принципі</p> $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n$	<p>Өткізгіштің магнит өрісі, Ампер күші</p> $F_A = B I l \sin \alpha$ <p>Зарядталған бөлшектің магнит өрісі, Лоренц күші</p> $F_L = \frac{F_A}{N}$ $F_L = q_0 B v \sin \alpha$ <p>Тоғы бар екі параллель өткізгіштің өзара әрекеттесу күші</p> $F_A = \frac{\mu_0 I_1 I_2 l}{2\pi r}$	<p>Айналдырушы момент</p> $M = B I S \sin \alpha$ <p>Раманың магниттік моменті</p> $P_m = I S$ <p>Траектория кисықтық радиусы</p> $R = \frac{mv}{qB}, R = \frac{mv \cdot \sin \alpha}{qB}$ <p>Винттік траектория қадамы</p> $h = v_{\parallel} T = v T \cos \alpha$ <p>Айналу периоды</p> $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi m}{qB}$
<p>Загтардың магнит өтімділігі</p>	$\mu = \frac{B}{B_0}$	

Заңдар, ережелер

Бұрғы ережесі:

Егер бұрғының ілгерілемелі қозғалысын өткізгіштегі ток бағытымен сәйкестендірсе, онда бұрғы тұтқасының айналмалы қозғалысы магнит өрісінің күш сызықтарының бағытын көрсетеді.

Оң қол ережесі:

Егер қолымызды шарғыға тигізбей, төрт саусағымыз оның орамдарындағы ток бағытын көрсететіндей етіп ұстасақ, онда 90°-қа бұрылған бас бармақ магнит өрісінің бағытын көрсетеді.

Ампер заңы:

Тоғы бар өткізгішке магнит өрісі тарапынан әсер ететін күш магнит индукциясының перпендикуляр құраушысының, ток күшінің және өткізгіш ұзындығының көбейтіндісіне тең.

Сол қол ережесі:

Егер сол қолымызды магнит индукция векторы алақанымызға кіретіндей, ал созылған төрт саусағымызды ток бағытын көрсететіндей етіп ұстасақ, онда 90°-қа бұрылған бас бармағымыз Ампер күшінің бағытын көрсетеді.

Глоссарий

Диамagnetиктер – магнит өтімділігі бірден кіші $\mu < 1$ заттар.

Магнит өрісі – қозғалыстағы электр зарядтарына, тогы бар өткізгішке, магниттік моменті бар денелерге әсер ететін материяның бір түрі.

Магнит өтімділік – заттағы магнит өрісінің индукциясы вакуумдағы магнит өрісінің индукциясынан неше есе артық екенін көрсететін физикалық шама.

Магнит өрісінің күш сызықтары – жанамалары кез келген нүктеде магнит индукция векторының бағытын көрсететін сызықтар.

Парамагнетиктер – магнит өтімділігі бірден үлкен $\mu > 1$ заттар.

Ампер күші – магнит өрісі тарапынан тогы бар өткізгішке әсер ететін күш.

Лоренц күші – магнит өрісі тарапынан онда қозғалып жүрген зарядталған бөлшекке әсер ететін күш.

Ферромагнетиктер – үлкен магнит өтімділікке ие заттар.

Магнит индукциясы – магнит өрісінің тогы бар өткізгішке күштік әсерін сипаттайтын физикалық шама.

ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНДУКЦИЯ

Электромагниттік индукция құбылысын 1831 жылы Майкл Фарадей ашты. Бұл электр тогы мен магнит өрісі арасындағы үздіксіз байланысты анықтады. XIX ғасырда электромагниттік индукция құбылысының ашылуынан кейін электротехника мен радиотехниканың қарқынды дамуына жол ашты. Электромагниттік индукция құбылысының негізінде электр энергиясының индукциялық генераторы, трансформаторлар жасала бастады. Электр энергиясын алыс қашықтықтарға жеткізу мүмкін бола бастады.

Тарауды оқып-білу арқылы сендер:

- электромагниттік аспаптардың (электромагниттік реле, генератор, трансформатор) жұмыс істеу принциптеріне талдау жасай аласыңдар;
- есептер шығару кезінде электромагниттік индукция заңын қолдана аласыңдар;
- механикалық және магнит өрісі энергияларының арасындағы ұқсастықтарды таба аласыңдар;
- электрқозғалтқыш моделін зерттей аласыңдар және алынған нәтижелерді Фарадей заңы мен Ленц ережесін пайдалана отырып, түсіндіре аласыңдар.

§ 49. Электромагниттік индукция құбылысы. Магнит ағыны. Ампер күшінің жұмысы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электромагниттік аспаптардың (электромагниттік реле, генератор, трансформатор) жұмыс істеу принциптеріне талдау жасай аласыңдар.



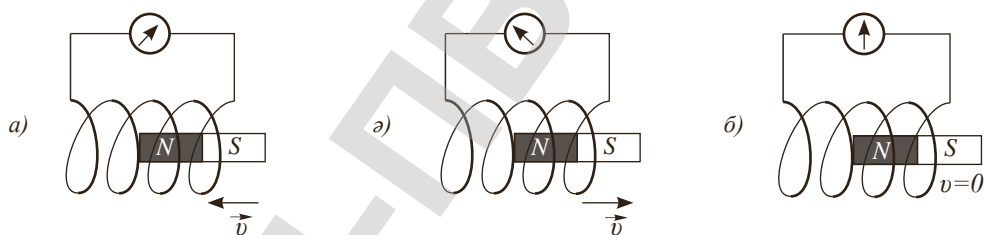
Өз тәжірибең

308-суретте көрсетілгендей шарғымен және тұрақты магнитпен тәжірибе жүргізіндер. Сонымен қатар электромагнитті қолданыңдар. Тәжірибе негізінде алынған қорытынды мен оқулықтағы қорытындыны салыстырыңдар.

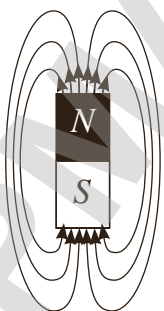
I Электромагниттік индукция құбылысы

Электромагниттік индукция құбылысының ашылуы тосыннан болған жоқ. М.Фарадей өткізгіштің айналасында магнит өрісі туындаса, онда кері процесс те болуы керек деп есептеді.

Заманауи құралдарды қолдана отырып, тұйықталған өткізгіште қандай жағдайда индукциялық ток пайда болатынын анықтау қиын емес. Гальванометрге жалғанған шарғыға енгізілген магнитті қозғасақ, гальванометр көрсеткішінің өзгергенін байқауға болады, бұл индукциялық токтың пайда болғанын білдіреді (308, а-сурет). Магнитті алған кезде тілше қарама-қарсы бағытқа ауытқиды, өткізгіштегі ток өзінің бағытын өзгертеді (308, ә-сурет). Егер магнит шарғыға қатысты қозғалмаса, гальванометр тілшесі нөлді көрсетеді, шарғыда ток болмайды (308, б-сурет).



308-сурет. Индукциялық токтың күші мен бағыты магниттің қозғалыс жылдамдығы мен бағытына тәуелді



309-сурет. Жолақ магниттің магнит өрісі біртекті емес

Магниттің шарғыға қатысты орын ауыстыруы оны тесіп өтетін күш сызықтары санының өзгеруіне алып келеді, магнит айналасында күш сызықтары тығызырақ болады (309-сурет). Демек, өткізгіш айнымалы магнит өрісінде болса ғана, онда индукциялық ток пайда болады.

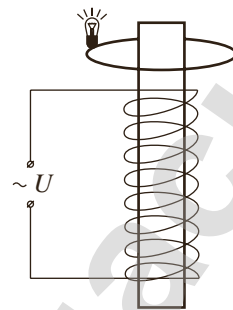
Тұйықталған өткізгіш контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі кезінде индукциялық токтың пайда болуы электромагниттік индукция құбылысы деп аталады.

Айнымалы тогы бар шарғыға қуаты аз шаммен тұйықталған өткізгіш контурды шарғы мен

контурдың осьтері бір сызықтың бойында жата-
тындай етіп жақындатамыз (310-сурет). Шам жар-
қырай бастайды, мұнда шарғы мен контурды бір-бі-
ріне қатысты қозғалтудың қажеті жоқ.

Тұйықталған өткізгіш контурда электромаг-
ниттік индукция құбылысы мынадай шарттар бол-
ғанда байқалады:

- 1) егер тұрақты магнит өрісіндегі контур қозға-
лысы нәтижесінде оны тесіп өтетін магнит
өрісінің күші сызықтарының саны өзгертін
болса;
- 2) егер контур айнымалы магнит өрісінде тыныш-
тықта тұрса.



310-сурет. Айнымалы маг-
нит өрісінде орналасқан
тұйықталған контурда индук-
циялық токтың пайда болуы

II Магнит ағыны.

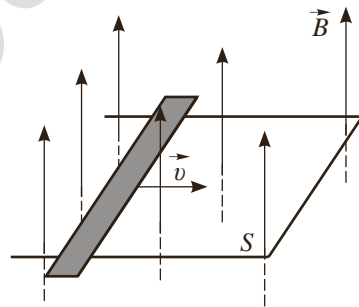
Магнит ағынын өзгерту тәсілдері

Магнит өрісі күш сызықтарының тығыз болуы
оның күштік сипатын, яғни магнит индукциясын
анықтайды. Контурды тесіп өтетін магнит өрісі
сызықтарының саны магнит ағынын сипаттайды.

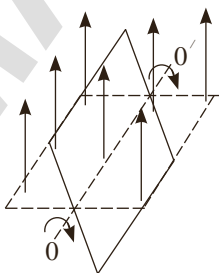
**Магнит ағыны – магнит өрісіне енгізілген
тұйықталған контурды тесіп өтетін магнит
индукциясы сызықтарының саны.**

Контурды тесіп өтетін магнит ағынын үш
тәсілмен:

- 1) жоғарыда айтылғандай өрістің магнит индук-
циясын кеміту және арттыру арқылы;
- 2) контурдың ауданын өзгерту арқылы, мысалы, ра-
маның қозғалмалы қабырғасының өзгеруі немесе
сыртқы күштердің әсерінен рама пішінінің өз-
геруі арқылы (311-сурет).
- 3) магнит өрісіндегі контурдың оны тесіп өтетін
сызықтар саны өзгертіндей айналуы арқылы
түрлендіруге болады (312-сурет).



311-сурет. Тұйықталған
контур ауданын өзгерту
арқылы магнит ағынын
өзгерту



312-сурет. Раманың айналу нәтижесінде тұйықталған
контур арқылы магнит ағынының өзгеруі



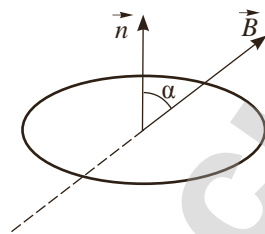
Есте сақтаңдар!

Айнымалы магнит өрісін
эртүрлі әдіспен – тұрақты
магниттің орнын ауыстыру
арқылы; электромагнитті
айнымалы ток көзіне
жалғап, электромагниті
бар тұрақты ток тізбегін
ажырату және қосу арқылы
алуға болады.

Магнит ағынын өзгерту тәсілдеріне байланысты, оны есептеу формуласын жазамыз:

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad (1)$$

мұндағы Φ – контурды тесіп өтетін магнит ағыны, B – өрістің магнит индукциясы, S – раманың ауданы, α – раманың ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясының арасындағы бұрыш (313-сурет).



313-сурет. Рама жазықтығына түсірілген нормаль магнит индукциясының векторымен α бұрыш құрайды

Магнит ағыны – контурды тесіп өтетін магнит өрісінің индукциясының контур ауданына және рама ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясы векторының арасындағы бұрыштың косинусына көбейтіндісіне тең физикалық шама.

(1) – формуладан шығатыны:

$$\Phi = B_n S_{\perp} \quad (2)$$

мұндағы $B_n = B \cos \alpha$ (3) – B векторының контур жазықтығына перпендикуляр құраушысы.

Магнит ағынының ХБЖ-дағы өлшем бірлігі *1 вебер*, ол электр және магнит өрістері саласында көп еңбек еткен неміс физигі Вильгельм Вебердің құрметіне аталған. $[\Phi] = 1 \text{ Вб} = 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2$.



Вильгельм Эдуард Вебер (1804–1891) – неміс физигі. Вебердің негізгі еңбектері электрмагнетизмге, акустикаға, жылулық құбылыстарына, молекулалық физикаға негізделген. 1840 жылдан бастап, Вебер электрстатикалық және магниттік бірліктер жүйесін құрумен және олардың арасындағы байланысты анықтаумен айналысқан. Магнит ағынының өлшем бірлігі оның есімімен аталады.

III Ампер күшінің жұмысы

Магнит өрісіндегі тогы бар раманың барлық қабырғаларына Ампер күші әсер етеді (314-сурет). Қозғалатын өткізгішке әсер ететін күш оңға бағытталған. Магнит индукциясының векторы рама ауданы түсірілген нормальға параллель болғандықтан, өткізгішке әсер ететін Ампер күші мынаған тең болады: $F_A = BIl$.

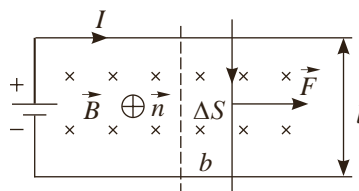
Өткізгіш өз-өзіне параллель b арақашықтыққа орын ауыстырды, осы кезде төменде көрсетілген формулаға тең жұмыс атқарылады:

$$A = F_A b = BIlb = BIl \Delta S$$

Магнит индукциясының өткізгіштің орын ауыстыруы кезіндегі пайда болған ауданға көбейтіндісі магнит ағынының өзгерісіне тең екенін ескереміз. Ампер күшін есептеу үшін мынадай формула қолданамыз: $A = I \Delta \Phi$.

Магнит өрісіндегі өткізгіштің орын ауыстыруы кезіндегі Ампер күшінің жұмысы магнит ағыны мен ток күшінің көбейтіндісіне тең.

Мынадай қарама-қайшылық туындайды: Лоренц күші жұмыс жасамайды, ал өткізгіштегі жекеленген зарядтарға әсер ететін Лоренц күштерінің қосындысына тең Ампер күші жұмыс жасайды. Бұл қарама-қайшылық Ампер күшін анықтауды Лоренц күшінің өткізгіш бойындағы зарядтың қозғалыс жылдамдығымен байланысты



314-сурет. Қозғалыстағы өткізгіштің орын ауыстыруы кезінде Ампер күші жұмыс жасайды: электр өрісінің энергиясы механикалық энергияға айналады.

тек бір ғана құраушысын алғандықтан туындап отыр. Лоренц күшінің екінші құраушысы өткізгіштің өзінің қозғалыс жылдамдығымен байланысты, ол өткізгіштің қозғалысына қарсы әсер етеді. Токты ұстап тұру үшін ток көзі осы жұмысты толықтырып отырады. Осылайша, Лоренц күштері ЭҚК көзінің энергиясын механикалық жұмысқа айналдырады.

Ток көзі болмаған жағдайда раманы жалғастырғыштардың қозғалысы сыртқы күштердің әсерінен болады. Бу немесе газ турбиналарының раманы қозғалысқа келтіретін индукциялық ток тудыратын генератордың жұмыс істеу принципі осыған негізделген.



1-тапсырма

Қозғалыстағы жалғастырғыш орналасқан оң зарядқа әсер ететін Лоренц күштерінің құраушыларын бейнелеңдер. Екі құраушының жасаған жұмыстарының қосындысы нөлге тең екенін дәлелдендер.

IV Электромагниттік аспаптардың жұмыс істеу принципі

Индукциялық ток генераторы, трансформатор, электромагниттік реле аспаптарының жұмыс әрекеті электромагниттік индукция құбылысына негізделген. 315–320-суреттерде олардың түрлері және принциптік сұлбалары көрсетілген.

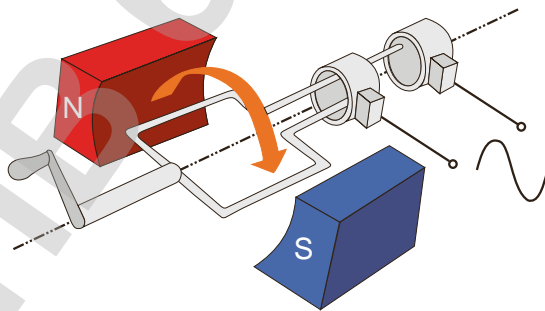


2-тапсырма

315–320-суреттердегі құрылғылардың жұмыс істеу принциптерін түсіндіріңдер.



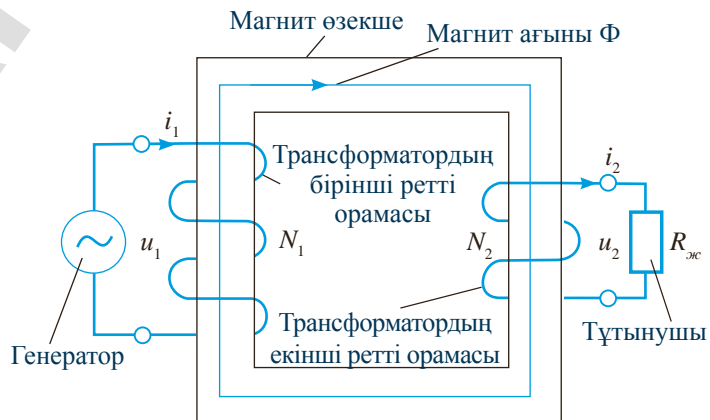
315-сурет. 4ППЭМ 55 тұрақты ток генераторы



316-сурет. Айнымалы ток генераторының принциптік сұлбасы



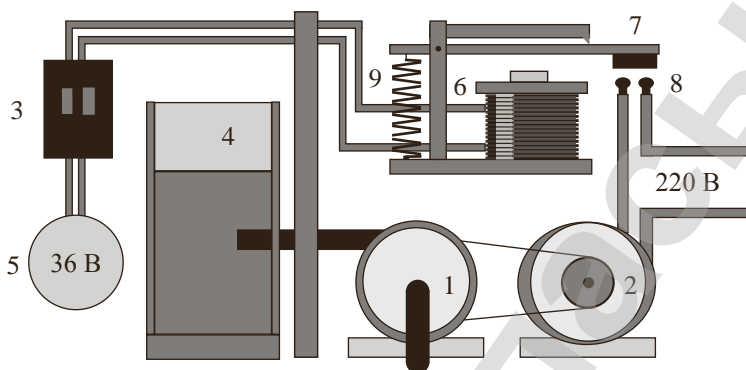
317-сурет. Трансформатор



318-сурет. Трансформатордың принциптік сұлбасы



319-сурет. Электромагниттік реле



320-сурет. Электромагниттік реленің принциптік сұлбасы:
 1 – сорғы, 2 – электрқозғалтқыш, 3 – кілт, 4 – бассейн,
 5 – ток көзі, 6 – электромагнит, 7 – болат пластина,
 8 – контактілер, 9 – серпінге.

Бақылау сұрақтары

1. Электромагниттік индукция құбылысы нені білдіреді?
2. Қандай шарт кезінде тұйықталған өткізгіш контурда индукциялық ток пайда болады?
3. Магнит ағынын не сипаттайды?
4. Электромагниттік индукция заңы дегеніміз не?

★ Жаттығу

49

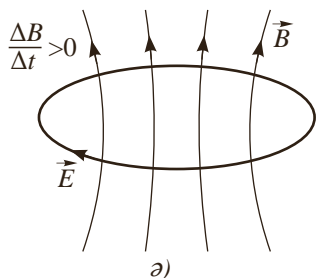
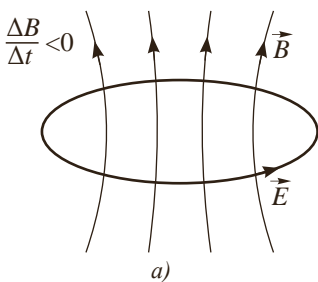
1. Сымнан жасалған сақина индукциясы $B = 0,5$ Тл біртекті магнит өрісінде сақина жазықтығы күш сызықтарымен $\alpha = 30^\circ$ бұрыш жасайтындай орналасқан. Сақина арқылы өтетін магнит ағыны $\Phi = 24$ Вб. Сақина радиусын анықтаңдар.
2. Радиусы $R = 0,1$ м сымнан жасалған сақина біртекті магнит өрісінде индукция сызықтары оның жазықтығына перпендикуляр болатындай, орналасқан. Магнит өрісінің индукциясы $B = 20$ мТл. Егер оны α : а) 180° ; ә) 360° -қа бұрсак, сақинаны тесіп өтетін магнит ағыны неше есе өзгереді?

§ 50. Электромагниттік индукция заңы. Ленц ережесі

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты оқығаннан кейін:

- есептер шығару кезінде электромагниттік индукция заңын қолдана аласыңдар.



321-сурет. Айнымалы магнит өрісі кеңістікте айнымалы электр өрісін тудырады



Назар аударыңдар!

Магнит өрісінің магнит индукциясы азайғанда құйынды электр өрісінің кернеулік векторы магнит өрісінің күш сызықтарымен оң винт құрайды. Бұл жағдайда кернеулік векторының бағытын бұрғы ережесімен немесе оң қол ережесімен анықтайды.

Магнит индукциясы көбейгенде кернеулік векторы магнит индукциясының векторларымен сол бағыттағы винті құрайды.

I Құйынды электр өрісі.

Электромагниттік индукция заңы

Тұйықталған өткізгіш контурда индукциялық токтың пайда болуы электр өрісінің белгілі бір ток көзінсіз пайда болғанын дәлелдейді. Бұл өрісті айнымалы магнит өрісі тудырады, оның күш сызықтарының басы не ұшы болмайды, мұндай өріс құйынды өріс деп аталады. Контурды тесіп өтетін магнит ағыны неғұрлым жылдам өзгерсе, ондағы ЭҚК-да соншалық көп болады:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \quad (1)$$

Электромагниттік индукция заңының мәні де осында:

Айнымалы магнит өрісі тудырған құйынды өрістің ЭҚК-ның индукциясы бірлік уақыт ішінде контурмен шектелген беттен өтетін магнит ағынының өзгерісіне тең.

Егер контур бірнеше орамнан тұрса, онда ЭҚК-і N есе өседі:

$$\varepsilon_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

мұндағы N – орам саны.

Минус таңбасы құйынды өрістің әсеріне ұшыраған индукциялық токтың бағытын анықтайды.

II Максвелл гипотезасы

Айнымалы магнит өрісіндегі қозғалмайтын контурда ЭҚК индукциясының пайда болуын құйынды электр өрісінің бар екенімен ғана түсіндіруге болады. Осындай өрістің болуы мүмкін екенін алғаш рет Максвелл болжады. Ол: айнымалы магнит өрісі кеңістікте айнымалы электр өрісін тудырады, оның кернеулік сызықтары магнит өрісінің индукция сызықтарын қамтиды (321, а, б-суреттер) деп санады. Құйынды электр өрісіне енгізілген контурдағы еркін зарядталған бөлшектер белгілі бір бағытта қозғалады. Контурда электр тогы пайда болады:

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R}, \quad (2)$$

мұндағы R – контурдың кедергісі, ε_i – құйынды ток индукциясының ЭҚК, I_i – индукциялық ток.



Есте сақтаңдар!

Кедергісі өте аз, бірақ көлемді тұтас өткізгіштердегі индукциялық токтар жоғарғы мәнге жете алады. Мұндай токтарды Фуко токтары деп атайды. Оларды металдарды балқытуға арналған индукциялық пештерде қолданады. Электр энергиясының шығындалуын және Фуко токтарын азайту үшін трансформатор өзекшелерін және генераторлар мен қозғалтқыштардағы электромагниттерді жеке оқшауланған пластиналардан құрайды.

III Магнит өрісінде қозғалатын өткізгіштің индукциясының ЭҚК

Контур магнит өрісінде қозғалыста болған жағдайда, индукция ЭҚК-сы пайда болуы ондағы Лоренц күшінің еркін зарядтарға әсерінен болады. Тұйықталған контурдың *MN* бөлігі магнит өрісінің сызықтарын кесіп өтіп, \vec{v} жылдамдықпен қозғалды делік (322-сурет). Осы бөліктегі электрондарға Лоренц күші әсер етеді, ол *M* ұшынан *N* ұшына қарай бағытталады. Электрондар орын ауыстырып, ұзындығы *l* болатын *MN* өткізгішінің ұштары арасындағы потенциалдар айырымын тудырады. Ол индукцияның ЭҚК-не тең:

$$\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -B\frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad (3)$$

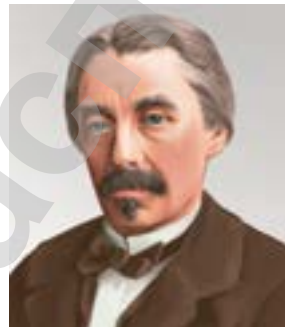
мұндағы $\Delta S = (v\Delta t)l$ (4) – контур ауданының Δt уақыт аралығындағы өзгерісі.

(4) формуланы (3) формулаға қойып, мынадай өрнек жазамыз:

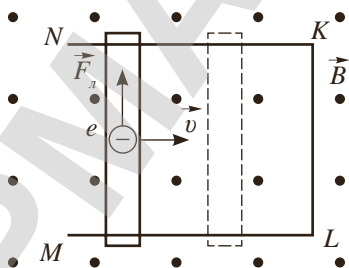
$$\varepsilon_i = Bvl. \quad (5)$$

Магнит индукциясы векторының бағыты жылдамдық векторымен α бұрышын құраған жағдайда, оның жылдамдыққа перпендикуляр құраушысын анықтау керек (323-сурет): $B_{\perp} = B\sin\alpha$, онда теңдік (5) мынадай түрде жазылады:

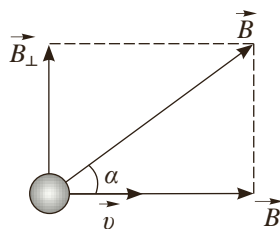
$$\varepsilon_i = Bv\sin\alpha. \quad (6)$$



Жан Бернар Леон Фуко (1819–1868) – француз физигі, механик және астроном, Париж және Берлин ҒА мүшесі. Фуко маятникін жасаушы ретінде танымал болған, гироскопты ойлап тапқан. Ауадағы және судағы жарық жылдамдығын анықтаған. Массалары үлкен металл өткізгіштердің магнит өрісінде жылдам айналу кезінде қызатынына алғаш назар аударған.



322-сурет. Магнит өрісінің күш сызықтарымен қиылысуы кезінде өткізгіш ұштарындағы потенциалдар айырымының пайда болуы



323-сурет. Магнит индукция векторының құраушыларға жіктелуі

Индукцияның ЭҚК-сы тұйықталмаған өткізгіштің ұштарында пайда болуы мүмкін, мұндай жайт өткізгіш магнит өрісінде оның күш сызықтарын «қиып өтіп» қозғалатын жағдайда орын алады (324-сурет). Лоренц күші мен өткізгіштің ұшындағы артық зарядтар тудырған электр өрісінің күші модульдері бойынша тең болғанда магнит өрісінде қозғалып жүрген өткізгіштегі электрондардың қозғалысы тоқтайды:

$$|F_{л}| = |F_{эо}| \text{ немесе } qvB \sin \alpha = qE.$$

$$E = \frac{U}{l} = \frac{\varepsilon_i}{l} \text{ болғандықтан, } vB \sin \alpha = \frac{\varepsilon_i}{l},$$

бұдан шығатыны: $\varepsilon_i = vB \sin \alpha$.

Өткізгіш күш сызықтары бойымен қозғалғанда оның ұштарында индукцияның ЭҚК-сы пайда болмайды.

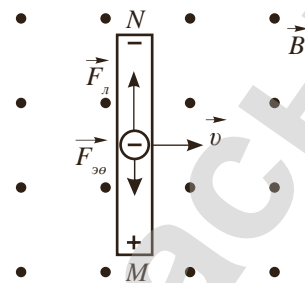
IV Энергияның сақталу заңы тұрғысынан тогы бар шарғы мен магниттің өзара әрекеттесуі

Жолақ магнитпен және гальванометрге жалғанған шарғымен жүргізілген тәжірибеде гальванометр тілшесі біресе бір жаққа, біресе екінші жаққа ауытқып отырды (308-сурет, § 49).

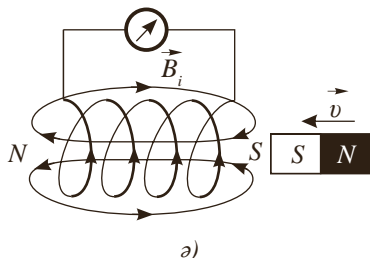
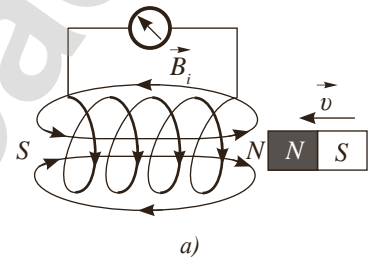
Магнит пен шарғыны жақындату үшін орындалған жұмыс – он, өйткені магниттің орын ауыстыруы мен оған түсірілген күштің бағыты бағытас. Энергияның сақталу заңына сәйкес индукциялық ток тудырған шарғының магнит ағыны магнитті итеруі керек. Тогы бар шарғы электромагнит бола алатындықтан, мынадай қорытындыға келу қиын емес: Шарғының магнитке қаратылған ұштарында индукциялық ток аттас полюсты құрайды (325-сурет). Осылайша, магнитті жақындатқанда индукциялық ток тудырған магнит өрісінің кері итеруші күштеріне қарсы жұмыс жасалады.

V Магнит ағынының сақталу заңы

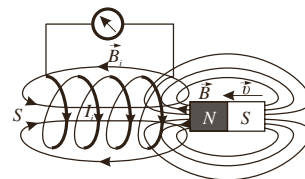
Магнитті шарғыға жақындатқанда магнит ағыны артады (326-сурет). Бұл жағдайда шарғы ішінде магниттің \vec{B} және шарғының \vec{B}_i магнит индукция векторлары бір-біріне қарама-қарсы бағытталады. Шарғыдағы индукциялық ток тудырған өріс магнит ағынының артуына кедергі келтіреді.



324-сурет. Өрістің күш сызықтарын кесіп өткен, өткізгіштің ұштарында ЭҚК пайда болады



325-сурет. Шарғының оған жақындатылған магнитке қараған ұшында индукциялық ток аттас полюс құрайды



326-сурет. Шарғының магнит өрісі оған жақындайтын магниттің магнит ағынының артуына қарсы әрекет етеді

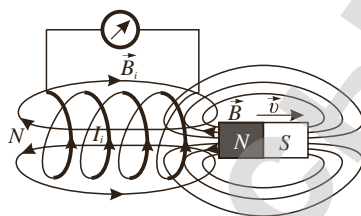


1-тапсырма

Индукциялық токтың магнит өрісінің күш сызықтарын бейнелеңдер және магнит алыстатылған жағдайда шарғының полюстерін көрсетіңдер.

Магнитті алыстатқанда оның күш сызықтарының тығыздығы және шарғыны тесіп өтетін магнит ағыны кемиді. Шарғының ішіндегі индукциялық токтың магнит сызықтары магниттің күш сызықтары сияқты бағытталады (327-сурет). Индукциялық ток өзінің өрісімен шарғыны тесіп өтетін ағынды күшейтіп, оны бастапқы күйінде сақтап қалуға тырысады.

Индукциялық токтың магнит өрісі мен айнымалы магнит өрісінің өзара әрекеттесуі кезінде магнит ағынының сақталу заңы орындалады. Электромагниттік индукция заңындағы «←» таңбасы – осы заңның орындалуын көрсетеді.



327-сурет. Шарғының магнит өрісі алыстап бара жатқан магнит тудырған магнит ағынының азаяуына қарсы әрекет етеді

VI Ленц ережесі

Гальванометрмен тұйықталған шарғы мен тұрақты магниттің өзара әрекеттесуі қарастырып отырған жағдайда Ленц ережесіне сәйкес жүреді:

Контурадағы индукциялық ток әрқашанда оның магнит өрісі осы токты тудырған магнит ағынының өзгерісіне кедергі жасайтындай бағытталады.

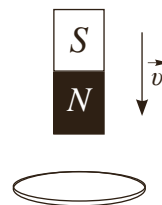
Индукциялық ток бағытын анықтауда Ленц ережесін пайдаланғанда төмендегідей алгоритмді қолдану керек:

1. Тұйықталған өткізгіш контурдың сыртқы өрісі үшін магнит индукциясының \vec{B} бағытын анықтау керек.
2. Контурды тесіп өтетін магнит индукциясының ағыны артатынын немесе азаятынын анықтау керек.
3. Ленц ережесіне сәйкес индукциялық ток тудырған өрістің \vec{B}_i магнит индукция сызықтарының бағытын анықтау керек:
 - егер ағын артса ($\Delta\Phi > 0$), онда индукциялық өрістің сызықтары сыртқы өрістің магнит индукциясы сызықтарына қарама-қарсы бағытталады ($\vec{B}_i \uparrow \downarrow \vec{B}$);
 - егер ағын азайса ($\Delta\Phi < 0$), онда индукциялық токтың және магнит индукциясының сызықтары бағыттас болуы керек ($\vec{B}_i \uparrow \uparrow \vec{B}$).
4. \vec{B}_i векторының бағыты бойынша бұрғы ережесін пайдалана отырып, I_i индукциялық токтың бағытын анықтандар.



2-тапсырма

Алгоритмді қолдана отырып, 328-суретте көрсетілген тұйықталған өткізгіш контурдағы индукциялық токтың бағытын анықтандар. Тұрақты магнит контурға жақындап келе жатыр.



328-сурет. Тапсырмаға



Есте сақтаңдар!

Сыртқы магнит өрісінің магнит ағыны артқан кезде немесе $\Delta\Phi > 0$ болғанда, құйынды электр өрісі индукциясының ЭҚК магнит ағынының артуына кедергі келтіреді, $\varepsilon_i < 0$.

Сыртқы магнит өрісінің магнит ағыны кеміген кезде немесе $\Delta\Phi < 0$ болғанда, индукцияның ЭҚК магнит ағынын арттыруға ұмтылады, $\varepsilon_i > 0$.



Өз тәжірибең

1. Егер екі демонстрациялық гальванометрлердің клеммаларын сыммен жалғап, одан соң аспаптардың бірін тербелту арқылы ондағы тілшені тербеліске алып келсе, онда тыныштықта тұрған аспаптың тілшесі де тербеле бастайды. Тәжірибені түсіндірңдер және тексеріп көрңдер.
2. Томсон тәжірибесін қалай түсіндіруге болады: темір өзекшеге үлкен көлемдегі мыс сыммен шарғы оралған. Өзекшеге мыстан жасалған массивті сақина еркін жүретіндей кигізілген. Шарғыны айнымалы тогы бар тізбекке жалғағанда сақина ырғып шығады.



Жауабы қандай?

1. Егер тұсбағардың корпусы жезден жасалса, неге оның тілшесінің тербелісі тез тоқтайды, ал корпус пластмассадан жасалса, баяу тоқтайды?
2. Неге құлап бара жатқан тұйық өткізгіш сақина жолақ магнитке жақындағанда өзінің қозғалысын баяулатады? Егер сақина тұйық болмаса, неліктен баяулау байқалмайды?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Тұйықталған тік төртбұрышты контур тогы бар түзу өткізгіштің жазықтығында орналасқан. Өткізгіштегі ток күші арта бастайды. Контурдағы индукциялық токтың бағытын және контурға әсер ететін Ампер күшін анықтандар.

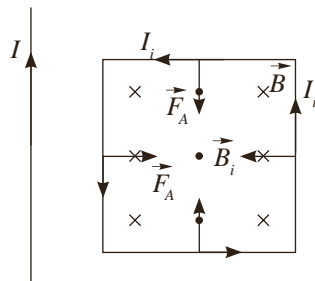
Шешуі:

Ленц ережесі бойынша индукциялық токтың бағытын анықтау алгоритмін қолданамыз.

1. Тогы бар өткізгіш сыртқы өрісті тудырады. Контур ішіндегі магнит өрісінің сызықтары рама жазықтығына перпендикуляр және бізден әрі қарай бағытталған (*суретті қараңдар*), оларды айқыш сызықтар түрінде бейнелейік.
2. Есептің шарты бойынша ток күші артады, ал ол ағынның артуына алып келеді $\Delta\Phi > 0$.
3. $\Delta\Phi > 0$, демек, \vec{B}_i сыртқы өрістің магнит индукциясы векторына қарама-қарсы бағытталады: $\vec{B}_i \uparrow \vec{B}$. \vec{B}_i векторын суретте рама жазықтығына перпендикуляр жоғары бағытталған нүкте – жебе ретінде саламыз.
4. Бұрғы ережесін қолдана отырып, \vec{B}_i векторының бағыты бойынша, I_i индукциялық токтың бағытын анықтаймыз.

Индукциялық ток сағат тіліне қарама-қарсы бағытталған.

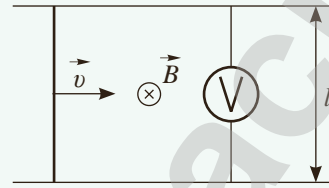
Раманың қабырғаларына әсер ететін Ампер күшінің бағытын сол қол ережесімен анықтаймыз. Ампер күші күшейгенде магнит ағынын әлсіретуге ұмтылып, раманы сығады.



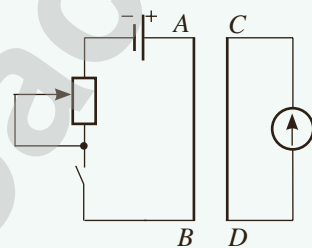
Бақылау сұрақтары

1. Жақындатылған магнит шарғы магнит өрісінде қандай полюс тудырады?
2. Тұйық контурдан магнитті алыстатып немесе жақындатып қандай күштерге қарсы жұмыс жасау керек?
3. Магнит ағынының сақталу заңының мәні неде?
4. Ленц ережесін тұжырымдаңдар.

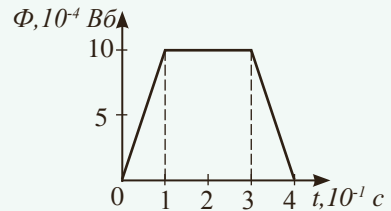
- Орам саны $N = 400$ соленоидтағы индукцияның ЭҚК-ның мәні $\mathcal{E}_i = 100$ В болғанда магнит ағыны жылдамдығының өзгерісін анықтандар.
- Үстелдің үстінде жатқан металл сақинаны аударды. Сақинаның радиусы $r = 10$ см, кедергісі $R = 2$ Ом. Егер Жердің магнит өрісі индукциясының вертикаль құраушысы $B = 5 \cdot 10^{-5}$ Тл болса, онда сақина арқылы қандай заряд өтеді?
- Екі параллель өткізгіш индукциясы $B = 1$ Тл біртекті магнит өрісінде өрістің күш сызықтары өткізгіштер орналасқан жазықтыққа перпендикуляр болатындай орналасқан. Өткізгіштермен перпендикуляр металл жалғастырғыш оларға перпендикуляр сырғанап, $v = 10$ м/с жылдамдықпен вольтметрге жақындап келеді. Өткізгіштердің арақашықтығы $l = 1$ м (329-сурет). Вольтметрдің көрсеткішін анықтандар.
- Мына жағдайларда CD өткізгішіндегі (330-сурет) индукциялық токтың бағытын анықтандар:
 - өткізгіш AB тізбегін тұйықтағанда;
 - өткізгіш AB тізбегінен ажыратылғанда;
 - тізбектегі AB өткізгішіне реостат тұйықталған тұтқасы жоғары және төмен орын ауыстырғанда;
 - AB және CD контурларының түзу сызықты бөліктерін жақындатқанда немесе алыстатқанда.
- Шарғыны тесіп өтетін магнит ағыны уақыт өтуімен 331-суреттегідей өзгереді. Шарғыдағы индукцияның ЭҚК өзгеріс графигін салындар. Егер шарғыда 400 орам болса, онда индукцияның ЭҚК максимал мәні қанша болады?



329-сурет 3-тапсырмаға



330-сурет. 4-тапсырма



331-сурет. 5-тапсырмаға

§ 51. Өздік индукция құбылысы. Индуктивтілік. Магнит өрісінің энергиясы

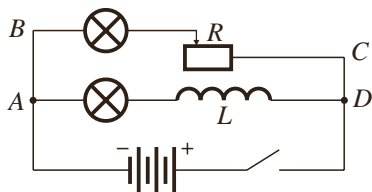
Күтілетін нәтиже:

- Параграфты оқып, сендер механикалық және магнит өрісі энергиялар ұқсастықтарын таба аласыңдар.

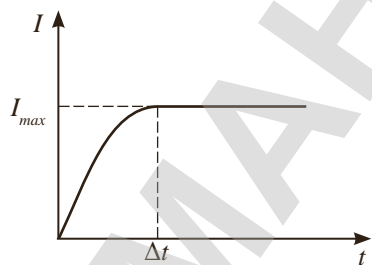
I Өздік индукция құбылысы

Өздік индукция құбылысы айнымалы тогы бар өткізгіштерде байқалады. Айнымалы ток өткізгіштің айналасында айнымалы магнит өрісін тудырады, ол өз кезегінде Максвелл гипотезасына сәйкес құйынды электр өрісін туғызады. Құйынды өрістің әсерінен өткізгіште индукциялық ток пайда болады, ол Ленц ережесі бойынша магнит ағынының өзгеруіне жол бермейді.

Өздік индукция – өткізгіш контур арқылы өтетін ток өзгергенде осы контурда индукциялық ЭҚК пайда болу құбылысы.



332-сурет. Аз актив кедергісі бар шарғыда өздік индукция құбылысы байқалады, А шамы кешігіп жанады



333-сурет. Шарғыдағы ток күшінің максимал мәнге жетуі үшін Δt уақыт қажет

Егер өткізгіш тұрақты ток көзіне жалғанған болса, онда электромагниттік индукция құбылысын тізбектің іске қосылған, өшірілген сәтінде бақылауға болады. 332-суретте екі шамның ток көзіне параллель жалғануының сұлбасы бейнеленген. Оның бірі реостат арқылы, екіншісі аз актив кедергісі бар шарғы арқылы жалғанған. Реостаттың көмегімен шамдардың біркелкі жарқырауына қол жеткізуге болады. Кілттің тұйықталуы кезінде шарғы арқылы жалғанған шам кешігіп жанады. Мұны шарғыда өздік индукция ЭҚК пайда болуымен және тармақтағы ток күшінің Δt уақыт аралығында максимал мәнге дейін өсуімен түсіндіруге болады (333-сурет).

Тізбек ажыратылған сәттегі өздік индукция құбылысын 334, а-суретте бейнеленген тізбекпен жасалған тәжірибе барысында бақылауға болады. Ленц ережесіне сәйкес, тізбекті ток көзінен ажыратқан кезде, шарғыда индукциялық ток пайда болады (334, ә-сурет). Оның бағыты ток көзі тудырған ток бағытымен бірдей болады (344, а-сурет).

Индукциялық ток шарғы мен гальванометрден тұратын тұйықталған контур бойымен өтеді де, гальванометр тілшесін қарсы жаққа бағыттайды. Гальванометр көрсеткіштері бойынша тізбектегі токтың біртіндеп өшетінін бақылауға болады (335-сурет).

II Шарғының индуктивтілігі

Өздік индукция құбылысы механикадағы инерция құбылысына ұқсас. *Шарғы инерттілік қасиетке ие.*

Шарғының инерттілік қасиетін сипаттайтын физикалық шама индуктивтілік деп аталады.

Өздік индукция құбылысын тудыратын индуктивтілік пен магнит ағынының арасында байланыс орнатамыз. Шарғыны тесіп өтетін магнит ағыны мынаған тең:

$$\Phi = BSN \cos \alpha, \quad (1)$$

мұнда N – шарғының орам саны.

Шарғы тудырған магнит өрісінің индукциясы:

$$B = \mu_0 n I, \quad (2)$$

мұндағы μ – өзектің магнит өтімділігі, n – бірлік ұзындықтағы орам саны, шарғының орам санының оның ұзындығына қатынасымен анықталады:

$$n = \frac{N}{l}. \quad (3)$$

(2) және (3) формулаларды (1) формулаға қоямыз, сонда:

$$\Phi = \mu \cdot \mu_0 \frac{N^2}{l} S I \cos \alpha. \quad (4)$$

Формуладағы (4) шарғының өлшемдері мен қасиеттерін сипаттайтын барлық шамаларды анықтап, L әрпімен белгілейміз:

$$L = \mu \cdot \mu_0 \frac{N^2}{l} S = \mu \cdot \mu_0 n^2 l S.$$

Шарғының индуктивтілігін есептеу формуласы алынды:

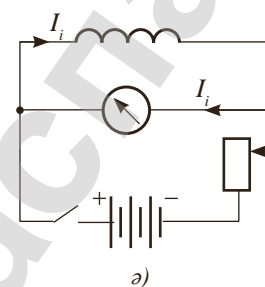
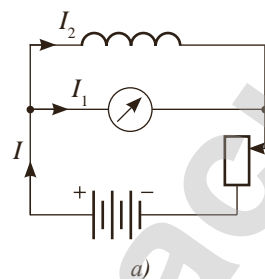
$$L = \mu \mu_0 n^2 l S. \quad (5)$$

Индуктивтілік шарғы өлшемдеріне l мен S , өзекшенің μ материалына және n орамның тығыздығына ғана тәуелді болады.

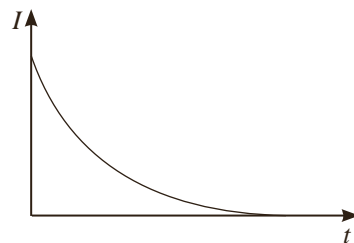
Ол шарғыдағы ток күшіне және одан өтетін ағынға тәуелді емес, ол мына шамалардың пропорционалдық коэффициенті болып табылады:

$$\Phi = LI. \quad (6)$$

ХБЖ-да индуктивтіліктің өлшем бірлігі америкалық физик Джозеф Генридің құрметіне *генри* деп аталған: $[L] = 1 \text{ Гн}$.



334-сурет. Ток көзінен ажыратылғаннан кейін шарғыдағы индукциялық ток гальванометрдің тілшесін қарама-қарсы жаққа ауытқытады



335-сурет. Шарғыдағы ток күші қандай да бір уақыт аралығында нөлдік мәнге дейін өзгереді



1-тапсырма

Шарғы индуктивтілігінің оның өлшемдеріне және орам санына тәуелділік графигін сызындар.

III Өздік индукцияның ЭҚК-сы

Электромагниттік индукция заңын және (5) формуланы қолданып, өздік индукцияның ЭҚК-сын есептеуге арналған мына өрнекті аламыз:

$$\varepsilon_{is} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\Delta t} = -\frac{LI_2 - LI_1}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Осыған байланысты, өздік индукцияның ЭҚК-сы:

$$\varepsilon_{is} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}. \quad (7)$$

Бұл формуладан шығатыны: $L = \frac{\varepsilon_{is}}{|\Delta I| / \Delta t}$,

демек: $1\text{Гн} = \frac{1\text{В}}{1\text{А} / \text{с}}.$

IV Магнит өрісінің энергиясы

Шарғының магнит өрісінің энергиясын, шарғының инерттілік қасиеттері мен кинетикалық энергиясы бар қозғалыстағы дененің ұқсастығын пайдаланып, былай жазуға болады:

$$W_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (8)$$

Шарғының магнит өрісінің энергиясын есептеу формуласы (8) формулаға ұқсас, мынадай түрге енеді:

$$W_{\text{м.ө.}} = \frac{LI^2}{2}. \quad (9)$$

Құйынды өрісті игеру үшін ток көзінің атқарған жұмысын графикалық әдіспен анықтаймыз. 336-суретте магнит ағынының шарғыдағы ток күшіне тәуелділігі бейнеленген, фигураның ауданы сандық мәні бойынша атқарылған жұмысқа тең, демек, шарғыдағы магнит өрісінің энергиясы:

$$W_{\text{м.ө.}} = \frac{I\Phi}{2} = \frac{LI^2}{2}. \quad (10)$$

V Магнит өрісі энергиясының тығыздығы

Магнит өрісі тогы бар өткізгішпен бірге кеңістіктің біраз бөлігін қамтиды. Магнит өрісінің энергетикалық сипаттамасы болып табылатын магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығын енгіземіз:

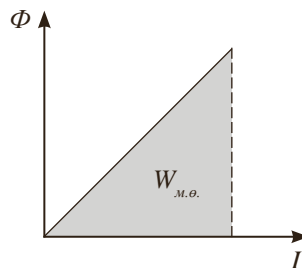
$$\omega_{\text{м.ө.}} = \frac{W_{\text{м.ө.}}}{V}, \quad (11)$$

мұндағы ω – магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы. (11) формулаға (10) және (5) формулаларды қойсақ:

$$\omega = \frac{LI^2}{2V} = \frac{\mu \cdot \mu_0 n^2 IS^2}{2IS} = \frac{\mu \cdot \mu_0 n^2 I^2}{2}. \quad (12)$$



Джозеф Генри (1797–1878) – Америка физигі, атақты ғалымдардың бірі, Смитсон институтының бірінші хатшысы. Магниттерді жасау барысында Генри электрмагнетизмде өздік индукция құбылысын ашты. Фарадейден тәуелсіз Генри өзара индукцияны ашты. Оның электромагниттік реле бойынша жасаған жұмыстары электрлі телеграфтың негізі болды.



336-сурет. Магнит ағынының шарғыдағы ток күшіне тәуелділік графигі



Жауабы қандай?

1. Шарғының индуктивтілігін қалай өзгертуге болады?
2. Бұл шарғының активті кедергісіне қалай әсер етеді?

(2) формуланы ескерсек:

$$\omega_{\text{м.ө.}} = \frac{B^2}{2\mu \cdot \mu_0} \quad (13)$$

Энергияның тығыздығы берілген ортаның магнит индукциясының квадратына тура пропорционал.

Жауабы қандай?

Магнит өрісі энергиясының тығыздығы неге магниттік қысым деп аталады?

Есте сақтаңдар!

Энергияның көлемдік тығыздығының ХБЖ-дағы өлшем бірлігі:

$$[\omega] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = 1 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$$

Жауабы қандай?

1. Неге қуатты электр қозғалтқыштарды ток көзінен реостаттың көмегімен бірқалыпты және баяу ажыратылады?
2. Неге қарама-қарсы бағытталған екі қабат орамасы бар шарғыда индукциялық ток пайда болмайды?

ЕСЕП ШЫҒАРУ ҮЛГІЛЕРІ

Кедергісі $R = 20 \text{ Ом}$ және индуктивтілігі $L = 0,01 \text{ Гн}$ шарғы айнымалы магнит өрісінде орналасқан. Осы өріс тудырған магнит ағыны $\Delta\Phi = 1 \text{ мВб}$ ұлғайған кезде, шарғыдағы ток күші $\Delta I = 0,05 \text{ А}$ өсті. Бұл уақытта шарғы бойымен қандай Δq заряд өтті?

<p>Берілгені: $R = 20 \text{ Ом}$ $L = 0,01 \text{ Гн}$ $\Delta\Phi = 1 \text{ мВб}$ $\Delta I = 0,05 \text{ А}$</p>	<p>ХБЖ</p> <p>10^{-3} Вб</p>	<p>Шешуі:</p> <p>Шарғыдағы ток $L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ өздік индукциясының ЭҚК-сына қарсы әсер ететін $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ индукцияның ЭҚК-сын тудырады. Демек, шарғысы бар тізбек бөлігі үшін Ом заңы мына түрде болады: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = IR$. Теңдеуді Δt уақытқа көбейтеміз: $\Delta\Phi - L\Delta I = IR\Delta t$, бұдан $\Delta q = I\Delta t = \frac{\Delta\Phi - L\Delta I}{R}$.</p> <p>Есептейміз: $\Delta q = \frac{10^{-3} \text{ Вб} - 0,01 \text{ Гн} \cdot 0,05 \text{ А}}{20 \text{ Ом}} = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$.</p> <p>Жауабы: 25 мкКл.</p>
---	--	--

Бақылау сұрақтары

1. Өздік индукция құбылысы нені білдіреді?
2. Индуктивтілік шарғысы қандай қасиеттерге ие?
3. Шарғы инерттілігін қандай шама анықтайды?
4. Магнит өрісінің энергиясы неге тең?

★ Жаттығу

51

1. Контурдың индуктивтілігі $L = 0,04$ Гн. Контурдағы ток күші $\Delta I = 0,4$ А шамаға артты. Контурдағы ток тудыратын магнит ағыны қалай өзгерді?
2. Контурдың индуктивтілігі $L = 20$ мГн. Егер $\Delta t = 0,02$ с ішінде ондағы ток күші $\Delta I = 0,04$ А шамаға кемісе, контурдағы өздік индукцияның орташа ЭҚК-сы неге тең?
3. Индуктивтілігі $L = 6$ мГн соленоидтың $N = 400$ орамы бар. Орама арқылы өтетін ток күші $I = 10$ А. Соленоидта пайда болатын магнит ағынын анықтаңдар.
4. Тізбекте электр қозғаушы күші $\varepsilon = 1,2$ В ток көзі, кедергісі $R = 1$ Ом реостат және индуктивтілігі $L = 1$ Гн шарғы тізбектей жалғанған. Тізбектен I_0 тұрақты ток өтеді. Қандай да бір уақыттан кейін ток реостаттың кедергісін ток $\Delta I / \Delta t = 0,2$ А/с тұрақты жылдамдықпен кемитіндей өзгерте бастайды. Ток өзгере бастағаннан $t = 2$ с өткеннен кейін тізбектің R_1 кедергісі неге тең болады?
5. Ұзын соленоид арқылы энергиясы $W = 0,5$ Дж магнит ағынын тудыратын $I = 10$ А ток күші өтеді. Соленоид орамдарын тесіп өтетін магнит ағынын анықтаңдар.

§ 52. Электрқозғалтқыш және тұрақты токтың электргенераторы

Күтілетін нәтиже:

Осы параграфты игергенде:

- электрқозғалтқыш моделін зерттей аласыңдар және алынған нәтижелерді Фарадей заңы мен Ленц ережесін пайдалана отырып, дәлелді түрде түсіндіре аласыңдар.

I Электрқозғалтқыш және генератордың құрылғысы

1-тапсырма. Мектеп зертханасына арналған қозғалтқыш пен генератор модельдерін қарастырып, олардың негізгі бөліктерін жазыңдар, ұқсастықтары мен айырмашылықтарын көрсетіңдер (337–338-суреттер).

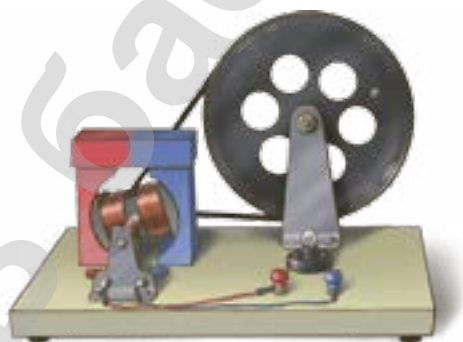


Жауабы қандай?

Электрқозғалтқыш моделін генератор ретінде қолдануға бола ма?



337-сурет. Мектеп зертханасына арналған электрқозғалтқыш моделі



338-сурет. Мектеп зертханасына арналған генератор моделі



339-сурет



340-сурет



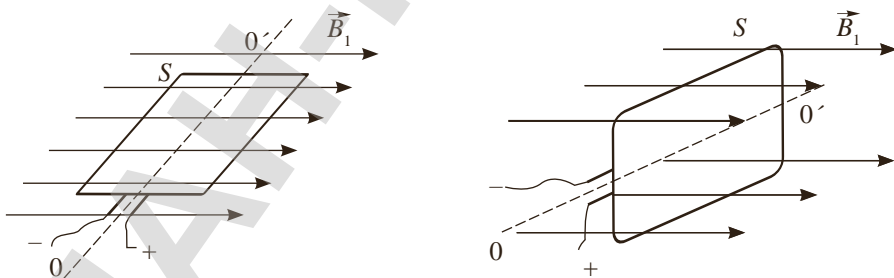
341-сурет

2-тапсырма. 339–341-суреттерде көрсетілген құрылғыларды атаңдар. Құрылғыларды қандай белгілеріне қарап анықтағандарыңды түсіндіріңдер.

II Электрқозғалтқыштың жұмыс істеу принципі

3-тапсырма: Қозғалтқыштың жұмыс істеу принципін зерттеу

- 1) Электр қозғалтқыш моделін ток көзіне жалғаңдар. Модельге қажетті ток көзін алдын ала анықтап алыңдар.
- 2) Қозғалтқышты және қолда бар материалдарды пайдаланып, желдеткіш, жеделсаты (лифт), миксер, дрель сияқты электр аспаптарының моделін құрастырыңдар.
- 3) Магнит полюстерінің арасындағы қозғалтқыш рамаларының бірін бейнелеңдер. Раманың қабырғаларын көрсетіңдер. Оның бойындағы токтың бағытын көрсетіңдер. Раманың әрбір қабырғасына әсер ететін Ампер күшінің бағытын анықтаңдар (342-сурет).



342-сурет. Магнит өрісіндегі тогы бар рама

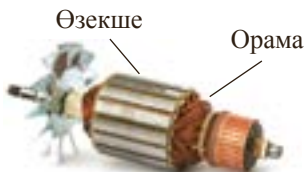


Жауабы қандай?

1. Ампер күшінің бағытын анықтау үшін қандай ережені пайдаландыңдар?
2. Раманың қарама-қарсы қабырғаларына әсер ететін күштер нөлiктен тең болады?
3. Олар нөлiктен бірiн-бiрi теңгермейдi?
4. Айналу моментi максимал болу үшін рама қандай күйде болуы керек?



343-сурет. Қозғалтқыш статоры



344-сурет. Қозғалтқыш роторы



345-сурет. Жартысақина

4-тапсырма. 343–345-суреттерде көрсетілген қозғалтқыштардың негізгі бөліктерін қарастырыңдар.

? Жауабы қандай?

1. Қозғалтқыш моделіне қарағанда статор мен роторда орам санының көп болуы себебі неде?
2. Неге өткізгіш сымды металл пластиналарға орайды?
3. Өзекшені неліктен металдан емес пластинадан жасайды?
4. Жартысақина не үшін қажет? Олар қандай қозғалтқыш роторына бекітіледі?

5-тапсырма. Тұрақты ток қозғалтқышының пайдаланылуына бірнеше мысал келтіріңдер.

III Қозғалтқыштарды пайдалану

Тұрақты ток қозғалтқыштарын теміржол көліктерінің дөңгелектерін іске қосу үшін және автокөлік жолдары мен теміржолдың тоғысқан жерлеріндегі шлагбаумдарды іске қосу үшін қолданады. Қоғамдық көліктерде (трамвай, троллейбус, метро) олар тарту күшін тудырады. Қойма шаруашылығында тұрақты ток қозғалтқыштарын электркарларды және тиімді әрі қауіпсіз электртриегіштерді іске қосу үшін қолданады.

Металл өңдеу саласында тұрақты ток қозғалтқыштарын металкескіш станоктарға орнатады.

6-тапсырма. Қарастырылған құрылғыларға – қозғалтқыш пен генераторға анықтама беріңдер.

? Жауабы қандай?

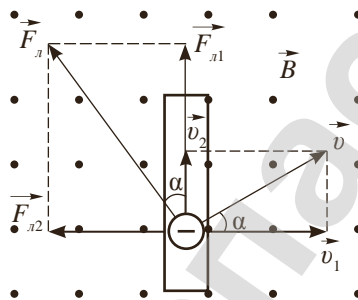
- Судың құлау энергиясынан немесе қыздырылған будың қысымының әсерінен ротордың айналуы кезінде генераторларда Лоренц күшінің өткізгішке перпендикуляр құраушысына қарсы механикалық жұмыс атқарылады дегенге сенесіңдер ме?

IV Тұрақты ток генераторы



Естеріңізге түсіріңдер!

Генератор роторының орамаларындағы зарядтардың орын ауыстыру жұмысын орам бойымен бағытталған Лоренц күші атқарады. Лоренц күшінің өткізгіштің жылдамдығына қарсы бағытталған, орамға перпендикуляр құраушысы теріс жұмыс жасайды (346-сурет). Лоренц күшінің перпендикуляр құраушысы өткізгіштегі зарядталған бөлшектердің бағытталған қозғалысынан пайда болады.



346-сурет. Магнит ағынындағы өткізгіштің қозғалысы кезіндегі Лоренц күші құраушыларының жұмысы



Жауабы қандай?

1. Тұрақты ток генераторының жұмысы қандай құбылысқа негізделген?
2. Генераторға жалғанған электр шамы одан да жарығырақ жануы үшін не істеу керек? Бұл электромагниттік индукция заңына сәйкес келе ме?
3. Генератор моделінің рамасын төсіп өтетін магнит ағыны қандай әдіспен өзгереді?
4. Қозғалтқыш жұмысы мен генератор жұмысының негізгі айырмашылықтары неде?
5. Қозғалтқышты генератор ретінде қолдануға бола ма? Ол үшін не істеу керек?



Өз тәжірибең

Тұрақты ток генераторы моделін іске қосыңдар.

Шығармашылық тапсырма

1. ppt-презентация дайындаңдар:
 - Тұрақты ток қозғалтқыштарының және генераторларының ҚР өндіріс саласындағы рөлі.
 - Электрқозғалтқыштар және көліктер.
 - Тұрақты ток генераторын қолданудың перспективалары.
2. Электрқозғалтқыш моделін құрастырыңдар

14-тараудың қорытындысы

Магнит ағыны	Электромагниттік индукция заңы	Шарғының магнит өрісі
$\Phi = BS\cos\alpha$ $\alpha - \vec{B}$ және \vec{n} векторлары арасындағы бұрыш	Контурдың ЭҚК-сы $\varepsilon_i = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\varepsilon_i = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	Индуктивтілік $L = \mu\mu_0 n^2 l S$ Энергия $W_{м.в.} = \frac{LI^2}{2}$
$\Phi = LI$	Өткізгіштің ЭҚК-сы $\varepsilon_i = Bvlsin\alpha$ Өздік индукцияның ЭҚК-сы $\varepsilon_{iS} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$	Энергия тығыздығы $\omega_{м.в.} = \frac{W_{м.в.}}{V}$ $\omega_{м.в.} = \frac{B^2}{2\mu \cdot \mu_0}$

Заңдар, ережелер

Электромагниттік индукция заңы

Айнымалы магнит өрісі тудырған құйынды өрістің ЭҚК-ның индукциясы бірлік уақыт ішінде контурмен шектелген беттен өтетін магнит ағынының өзгерісіне тең.

Ленц ережесі

Контурдағы индукциялық ток әрқашанда оның магнит өрісі осы токты тудырған магнит ағынының өзгерісіне кедергі жасайтындай бағытталады.

Глоссарий

Индуктивтілік – шарғының инерттілік қасиетін сипаттайтын физикалық шама.

Магнит ағыны – магнит өрісіне енгізілген тұйықталған контурды тесіп өтетін магнит индукциясы сызықтарының саны.

Магнит ағыны – контурды тесіп өтетін магнит өрісінің индукциясының контур ауданына және рама ауданына түсірілген нормаль мен магнит индукциясы векторының арасындағы бұрыштың косинусына көбейтіндісіне тең физикалық шама.

Магнит өрісі энергиясының көлемдік тығыздығы – магнит өрісінің энергетикалық сипаттамасы, магниттік қысымы.

Өздік индукция – өткізгіш контур арқылы өтетін ток өзгергенде осы контурда индукциялық ЭҚК пайда болу құбылысы.

Электр генераторы – механикалық энергияны электр энергиясына айналдыратын машина.

Электромагниттік индукция құбылысы – тұйықталған өткізгіш контурды тесіп өтетін магнит ағынының өзгерісі кезінде индукциялық токтың пайда болуы электромагниттік индукция құбылысы деп аталады.

ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЖҰМЫСТАР ЖӘНЕ КЕСТЕЛЕР

- Зертханалық жұмыстарда оларды жүргізу мақсаты, қажетті құрал-жабдықтар көрсетілген, жұмыс барысы суреттермен, кестелермен және есептеу формулаларымен берілген.

1-қосымша. Зертханалық жұмыстар

№1 зертханалық жұмыс.

Көлбеу науа бойымен қозғалатын дененің үдеуін анықтау

Жұмыстың мақсаты: көлбеу науа бойымен домалаған кішкене шардың үдеуін өлшеу.

Құрал-жабдықтар: муфтасы және қысқышы бар штатив, металл науа, шар, цилиндр дене, өлшеуіш таспа, секундомер.

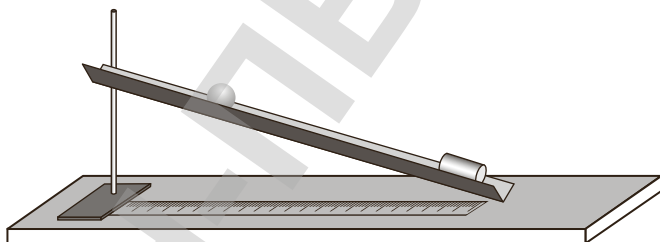
Қысқаша теория: Дене көлбеу науа бойымен үдемелі қозғалып келеді, дененің орын ауыстыруы мынаған тең: $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$.

Бастапқы жылдамдықтың нөлге тең болғанда: $s = \frac{at^2}{2}$.

Есептеу формуласын аламыз: $a = \frac{2s}{t^2}$. (1)

Жұмыстың орындалу реті:

- 1-суретте көрсетілген қондырғыны жинаңдар, науаның төменгі жағына цилиндрлік денені қойыңдар.
- Науаның жоғарғы жағынан шарды домалатып, секундомердің көмегімен науа бойымен домалау уақытын есептеңдер.
- Арақашықтықты өлшейтін таспа арқылы шардың цилиндрге дейін жүріп өткен жолын анықтаңдар.
- Өлшеу нәтижелерін 1-кестеге толтырыңдар.



1-сурет

1-кесте

№ п/п	Өлшенді		Есептелді	
	Арақашықтық s , м	Қозғалыс уақыты t , с	Үдеу a , м/с ²	Үдеудің орташа мәні a , м/с ²
1				
2				
3				
4				
5				

- Науаның көлбеу бұрышын өзгертпей, тәжірибені 5 рет қайталаңдар.
- Әрбір тәжірибе жүргізу барысында шардың үдеуін есептеу үшін (1) формуланы қолданыңдар, нәтижесін кестеге толтырып отырыңдар.

7. Үдеудің орташа мәнін мына формуламен есептендер: $a_{opt} = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5}{5}$
8. Әр өлшеу үшін абсолют қателікті: $\Delta a = |a_{opt} - a|$,
- абсолюттік қателіктің орташа мәнін: $\Delta a_{opt} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3 + \Delta a_4 + \Delta a_5}{5}$,
- салыстырмалы қателікті: $\varepsilon = \frac{\Delta a_{opt}}{a_{opt}} \cdot 100\%$ анықтап, өлшеу қателігін статистикалық әдіспен бағаландар.
9. Зерттеу нәтижесін мына түрде жазыңдар: $\varepsilon = \dots \cdot 100\%$ болғанда $a = a_{opt} \pm \Delta a_{opt}$.
10. Алынған нәтижені $a = g \sin \alpha$ формуласымен есептелген үдеудің мәнімен салыстырыңдар, мұндағы α – жазықтықтың көлбеу бұрышы.

Қорытынды:

Науадан домалап түскен шар үдеуінің пайда болу себебі туралы қорытынды жасандар. Үдеуді өлшеуде жіберілген қателікті бағаландар. Өлшеудегі негізгі қателікті атандар. Қандай қателіктің түріне жатады: кездейсоқ па немесе жүйелік пе? Тәжірибе нәтижесін жақсарту үшін не істер едіңдер?

№ 2 зертханалық жұмыс. Дененің ұшу қашықтығының лақтыру бұрышына тәуелділігін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене қозғалысының негізгі заңдылықтарын тексеру. Лақтыру бұрышының қандай мәндерінде ұшу қашықтығы максимал болатынын анықтау.

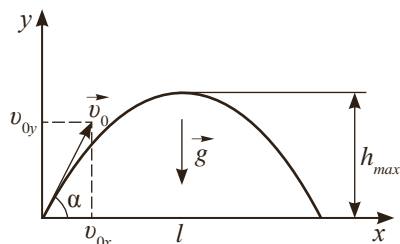
Құрал-жабдықтар: зертханалық баллистикалық тапанша, өлшеуіш таспа, 2 бет парақ, 1 бет көшірме қағазы, жабысқақ таспа. Көшірме қағаз болмаған жағдайда еленген құмды пайдалануға болады.

Қысқаша теория: көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің ұшу қашықтығы мына формуламен өрнектеледі (2-сурет):

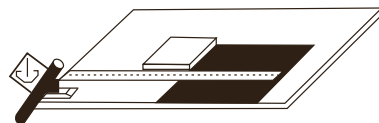
$$l = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{g} \quad (1)$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Баллистикалық тапаншаның құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысыңдар.
2. 3-суреттегідей қондырғы жинаңдар.
3. Сынақ кезінде 45° бұрышпен атылған шар ақ қағаздың шеткі бұрышына түсетіндей қағазды жабысқыш таспамен бекітіндер.
4. Көшірме қағазды қара жағымен бекітілген бетке қойыңдар (көшірме қағаз жоқ болған жағдайда құмы бар жәшікті қойыңдар).



2-сурет



3-сурет

5. Тапаншаны 20° , 30° , 40° , 45° бұрышпен орналастырып, әр жағдайда бес рет атындар. Шардың түсу ізін қарындашпен жүргізіп, жанына лақтыру бұрышын белгілеңдер.
6. Өлшеу нәтижелерін кестеге толтырындар.

Шардың ұшу бұрышы α_0		20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	90°
Ұшу қашықтығы, см	l_1								
	l_2								
	l_3								
	l_4								
	l_5								
Ұшу қашықтығының орташа мәні, см	$l_{\text{орт}}$								

7. Парақты ауыстырып, 50° , 60° , 70° , 90° бұрышпен бес рет атындар.
8. Ұшу қашықтығының орташа мәнін мына формуламен есептеңдер:

$$l_{\text{орт}} = \frac{l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5}{5}$$

9. Бақылау сұрақтарына жауап беріңдер.
 - а) Бұрыштардың қандай мәндерінде ұшу қашықтықтары шамамен бірдей болды? Алынған нәтижені ұшу қашықтығын есептеу формуласын қолдана отырып тексеріңдер. Шардың бастапқы жылдамдығының модулін барлық бұрыштар үшін бірдей деп алындар.
 - ә) Бұрыштың қандай мәнінде ұшу қашықтығы максимал болды? Оны теориямен байланыстыр.
10. Жүргізілген тәжірибеге қорытынды жасаңдар.

№ 3 зертханалық жұмыс.

Көлбеу науамен домалайтын дененің қозғалысын оқып үйрену

Жұмыстың мақсаты: айналмалы дененің инерция моментін анықтау, жанама өлшеулер кезінде нәтижелерді өңдеу қабілетін қалыптастыру.

Құрал-жабдықтар: муфтасы және қысқышы бар штатив, доға тәрізді науа, диаметрі $1,5 - 2$ см шар, көшірме қағаз, салмағы әртүрлі тастары бар таразы, екі кесек.

Қысқаша теория: Айналмалы дененің кинетикалық энергиясын және оның бұрыштық жылдамдығын білсек, онда шардың инерция моментін анықтай аламыз:

$$W_{\text{айн}} = \frac{J\omega^2}{2}, \quad J = \frac{2W_{\text{айн}}}{\omega^2}. \quad (1)$$

A нүктесіндегі шар (4-сурет) B горизонталь деңгейге қатысты mgh потенциалдық энергияға ие. Науа бойымен домалап түскен шардың потенциалдық энергиясы ілгерілемелі қозғалыстың $W_{\text{іне}}$ кинетикалық энергиясына және айналмалы қозғалыстың кинетикалық энергиясына айналады. B нүктесіндегі шар үшін энергияның сақталу заңына сәйкес мына теңдеу орындалады:

$$mgh = W_{\text{іне}} + W_{\text{айн}}$$

бұдан

$$W_{a\ddot{u}n} = mgh - \frac{mv^2}{2};$$

демек,

$$J = \frac{2W_{a\ddot{u}n}}{\omega^2} = \frac{m(2gh - v^2)}{\omega^2},$$

мұндағы v – шардың массалар центрінің сызықтық жылдамдығы, ω – оның B нүктесінде айналуының бұрыштық жылдамдығы. Науаға қатысты массалар центрінің сызықтық жылдамдығы және шардың бетінде айналу осінен максимал алыс қашықтықтағы нүктенің массалар центріне қатысты сызықтық жылдамдығы өзара тең, онда мына өрнекті жазуға болады:

$$\omega = \frac{v}{R},$$

мұндағы R – шардың радиусы.

Онда шардың инерция моменті үшін мына өрнекті жазамыз:

$$J = mR^2 \left(\frac{2gh}{v^2} - 1 \right). \quad (2)$$

Егер де үстелдің бетіне дейінгі l қашықтықты және t уақытты білсек, шардың массалар центрінің B нүктесіндегі v сызықтық жылдамдығын анықтауға болады:

$$v = \frac{l}{t}.$$

Ұшу уақытын мына қатынастан анықтаймыз: $H = \frac{gt^2}{2}$ бұдан: $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

Демек, жылдамдық:

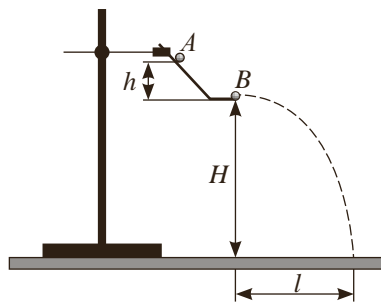
$$v = \frac{l}{\sqrt{\frac{2H}{g}}}. \quad (3)$$

Алынған (3) өрнекті (2) формулаға қойсақ, мына теңдеуді аламыз:

$$J = \frac{mR^2(4hH - l^2)}{l^2}. \quad (4)$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Доға тәрізді науаны штативке қысқышпен бекітіндер. Науаның төменгі жағы үстел бетіне параллель болу қажет. h және H биіктіктерін өлшеп, нәтижені кестеге жазыңдар (4-сурет):



4-сурет

Тәжірибе №	Өлшенді					Есептелді		
	m , кг	R , м	h , м	H , м	l , м	J , кг/м ²	$J_{орт}$, кг/м ²	ΔJ , кг/м ²
1								
2								

2. Таразының көмегімен шардың массасын өлшеңдер, нәтижесін кестеге жазыңдар.

- Шарды екі кесектің арасына орналастырып, оның d диаметрін анықтаңдар, $R = \frac{d}{2}$ радиусын есептеңдер, нәтижесін кестеге толтырыңдар.
- h биіктіктен шарды домалатып, оның ұшу қашықтығын өлшеңдер, тәжірибені 5 рет қайталаңдар.
- Әр жүргізілген тәжірибе үшін (4) формула бойынша инерция моментін анықтаңдар.
- Инерция моментінің орташа мәнін анықтаңдар: $J_{opt} = \frac{J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5}{5}$.
- Әр тәжірибе үшін абсолют қателікті $\Delta J_i = |J_{opt} - J_i|$, абсолют қателіктің орташа мәнін: $\Delta J_{opt} = \frac{\Delta J_1 + \Delta J_2 + \Delta J_3 + \Delta J_4 + \Delta J_5}{5}$, салыстырмалы қателікті $\varepsilon_J = \frac{\Delta J_{opt}}{J_{opt}} \cdot 100\%$ тауып, өлшеу қателігін статикалық әдіспен анықтаңдар.
- Шардың инерция моментін мына формуламен есептеңдер: $J_2 = \frac{2}{5} mR^2$.
Бір рет өлшегендегі қателікті бағалаңдар: $\varepsilon_J = 2 \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta m}{m}$, $\Delta J_2 = J_2 \cdot \varepsilon_J$
- Өлшеу нәтижелерін былайша жазыңдар: $\varepsilon = \dots\%$ болғанда $J = J_{opt} \pm \Delta J_{opt}$; $\varepsilon = \dots\%$ болғанда $J = J_2 \pm \Delta J_2$
- Түзу аймақта жоспарлау екі әдіспен алынған шардың инерция моментінің мәндерін бейнелеп, алынған нәтижелерді салыстырыңдар.
- Жүргізілген жұмыс бойынша қорытынды жасаңдар.

№ 4 зертханалық жұмыс.

Бір-біріне бұрыш жасай бағытталған күштерді қосу

Жұмыстың мақсаты: тәжірибе арқылы күштің шамасын анықтау және тәжірибе жүзінде күштерді қосу ережесін тексеру.

Құрал-жабдықтар және материалдар: екі динамометр, екі штатив, кесек, транспортир, ілмегі бар жіп.

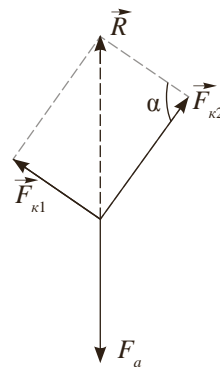
Қысқаша теория: Теңәсерлі күш денеге түсірілген барлық күштердің векторлық қосындысына тең:

$$\vec{R} = \vec{F}_{\kappa 1} + \vec{F}_{\kappa 2}.$$

Теңәсерлі күшті құраушыларына байланысты үшбұрыш немесе параллелограмм әдісі бойынша анықтайды (5-сурет). Сан мәнін косинустар теоремасы арқылы есептейді.

Теңәсерлі күштердің модулі мынаған тең:

$$R = \sqrt{F_{\kappa 1}^2 + F_{\kappa 2}^2 - 2F_{\kappa 1}F_{\kappa 2} \cos \alpha}.$$



5-сурет

Жұмыстың орындалу реті:

1. Кесекке әсер етуші ауырлық күшін анықтандар.
2. Кесекті жіпке іліп, штативке белгілі бір бұрышпен бекітілген ілмек соңына екі динамометрді іліндер. Штативтерді керілген жіптер динамометрлердің өзектерімен бір түзу құрайтындай етіп орналастырыңдар.
3. Динамометрлердің көрсеткіштерін жазыңдар.
4. Керілген жіптердің арасындағы бұрыштарды өлшеңдер.
5. Динамометрлердің көлбеу бұрышын өзгертіп, тәжірибені қайталаңдар.

Тәжірибе №	Өлшенді				Есептелді
	Ауырлық күші, Н	Керілу күші, F_{k1}	Керілу күші, F_{k2}	Бұрыш, α	Теңәсерлі күш, R, Н

6. Алынған нәтижені өңдеңдер.
 - Өздерің таңдаған масштабта бірінші тәжірибеде кесекке әсер ететін күштердің векторларын бейнелеңдер, содан кейін осы әрекетті екінші тәжірибе үшін қайталаңдар, векторлардың басын кесектің ілінунүктесіне орналастырыңдар. Параллелограмм ережесі бойынша жіпті керетін теңәсерлі екі күштің векторын тұрғызыңдар.
 - Ол вектордың ұзындығын сызғышпен өлшеңдер. Масштабты ескеріп, күшті есептеңдер, оны ауырлық күшімен салыстырыңдар.
 - Жіптің керілу күштерінің алгебралық қосындысын есептеңдер, алынған нәтижені ауырлық күшімен салыстырыңдар.
 - Теңәсерлі күшті косинустар теоремасы арқылы есептеңдер, оны ауырлық күшімен салыстырыңдар.
 - Керілген жіптердің арасындағы бұрыш әртүрлі болған жағдайлар үшін керілген күштерінің мәндерін салыстырыңдар. Бұрыштың өзгерісі керілу күшінің шама-сына қалай әсер етеді?
7. Жүргізілген зерттеулер бойынша қорытынды жасаңдар.
8. Нәтижені жақсарту үшін тәжірибеде нені өзгертетін едіңдер?
9. Зертханалық жұмысты жүргізу туралы өз нұсқаларыңды ұсыныңдар. Сендерге қандай аспаптар қажет болатын еді?

№5 зертханалық жұмыс.

Тұтқыр сұйықта қозғалатын кішкене шар жылдамдығының оның радиусына тәуелділігін зерттеу

Жұмыстың мақсаты: тәжірибе нәтижесіне әсер ететін факторларды анықтау және олардың алдын алу жолдарын ұсыну.

Құрал-жабдықтар: диаметрлері әртүрлі, биіктігі 15–20 см, әрбір 1 см-ден кейін белгі қойылған сынауықтар, сынауыққа арналған тұғыр, әртүрлі маркалы мотор майлары құйылған ыдыстар, диаметрлері 0,5 мм, 1 мм, 1,5 мм және 2 мм шарлар, секундомер, қыздырғыш (электрпеш).

Қысқаша теория: Тұтқыр ортада құлайтын шарға үш түрлі күш әсер етеді: ауырлық күші, Архимед күші және кедергі күші. Қозғалыстың түсу жылдамдығы тұрақты, теңәсерлі күш нөлге тең: $\vec{F}_a + \vec{F}_A + \vec{F}_k = 0$.

Күш бағыттарын ескерсек: $F_a = F_A + F_K$.

Күштердің алынған арақатынасына мына формулаларды қоямыз:

$$F_a = mg = \rho_{ш} \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g; \quad F_A = \rho_c \cdot \frac{4}{3} \pi R^3 \cdot g; \quad F_K = 6\pi\eta Rv.$$

Теңдеуді жылдамдыққа қатысты шешіп, жылдамдықты есептеу формуласын аламыз:

$$v = \frac{2(\rho_{ш} - \rho_c) \cdot g \cdot R^2}{9\eta},$$

мұндағы $\rho_{ш}$ – шардың тығыздығы, ρ_c – сұйықтың тығыздығы, R – шардың радиусы, v – шардың жылдамдығы, η – сұйықтың тұтқырлығы.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Шар жылдамдығының оның радиусына тәуелділігін зерттеу.

Шардың түсу жылдамдығын анықтау үшін жүрілген жолдың уақытқа тәуелділік графигін тұрғызындар. Графиктен қозғалыс сызығын тандандар, түзудің көлбеу бұрышы арқылы шардың сұйыққа құлау жылдамдығын анықтандар. Тәжірибе нәтижелері шардың тұтқыр ортадағы құлау жылдамдығын есептеудің теориялық формуласымен қандай қатынаста болады?

2. Тұтқыр ортада шардың құлау жылдамдығына әсер ететін факторларды анықтау:

а) диаметрі 2 мм шардың басқа сұйыққа құлау жылдамдығын анықтандар;

б) диаметрі 2 мм шардың температурасы жоғары бірінші ортада құлау жылдамдығын анықтандар;

в) диаметрі 2 мм шардың кенірек сынауыққа құлау жылдамдығын анықтандар.

3. Жүргізілген тәжірибе бойынша қорытынды жасаңдар.

4. Тәжірибені жақсарту үшін жұмыс барысына қандай өзгеріс енгізер едіңдер?

№6 зертханалық жұмыс. Өткізгіштерді аралас жалғауды зерделеу

Жұмыс мақсаты: өткізгішті шунт, қосымша кедергі, кернеу бөлгіш ретінде жалғауды үйрену.

Өткізгіштер аралас жалғанған тізбек бөліктерінде кернеудің бөлінуін зерттеу.

Құрал-жабдықтар: 4 В тұрақты ток көзі, 3,5 В (2,5 В) екі шам.

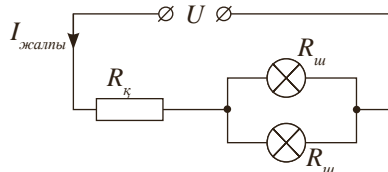
15–50 Ом айнымалы резистор, үш вольтметр.

Қысқаша теория. Егер тізбек тізбектей де, параллель де жалғанған болса, онда ол аралас жалғанған деп аталады.

Өткізгіш қолданылу мақсатына қарай әртүрлі жалғануы мүмкін:

1. Қосымша кедергі.

Егер кедергі ток көзінің түйіндеріндегі кернеуден төмен кернеумен жұмыс істеуге арналған өткізгіштерге тізбектей жалғанған болса, онда ол қосымша кедергі деп аталады (6-сурет). Қосымша кедергі осы кернеулердің айырымы және тізбектегі рұқсат етілген ток күшімен есептеледі.



6-сурет

2. Шунт.

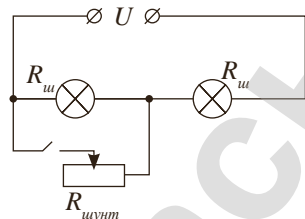
Егер кернеуі ескермеуге болатындай аз өткізгішпен электр аспабының контактілерін тұйықтасақ, онда бұл нүктелердің потенциалдары бірдей болады (7-сурет). Өткізгіштердің ұштарындағы кернеу нөлге тең болады. Электр аспабында ток болмайды. Барлық заряд тасымалдаушылар өткізгіш арқылы өтеді. Мұндай өткізгіш шунт болып табылады.

Шунтпен тізбектей жалғанған кілт тізбекті оңай басқаруға мүмкіндік береді. 7-суретте сұлбасы берілген электр тізбегіне бір немесе екі шамды жалғауға болады. Тізбекті өшіріп-қосқыш немесе реостат көмегімен басқаруға болады.

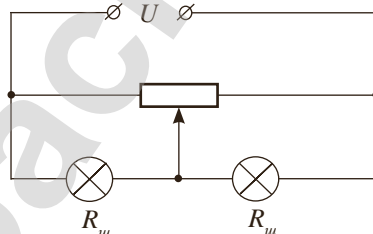
3. Кернеу бөлгіш (потенциометр).

Айнымалы кедергі өткізгіші ток көзі түйіндеріндегі кернеуді белгілі қатынаста тізбектің екі тармағына бөлуге мүмкіндік береді. Ол үшін аспаптарды 8-суретте көрсетілгендей жалғау керек.

Ток көзі түйіндеріндегі кернеу мен электр аспаптарындағы кернеудің қатынасын 9-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинап, анықтауға болады.



7-сурет



8-сурет

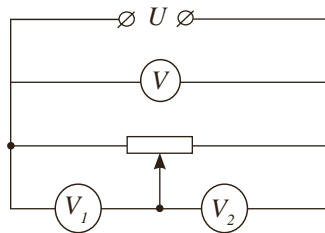
Жұмыстың орындалу реті:

1-тапсырма. Қосымша кедергі ретінде айнымалы резисторды жалғау.

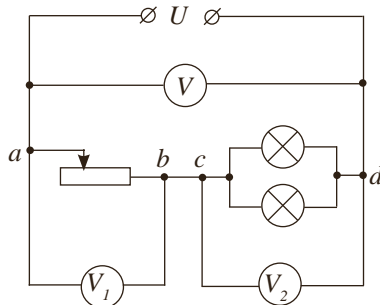
- 10-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек құрастырындар.
- Тізбектегі айнымалы резистордың міндетін анықтаңдар.
- Реостат сырғытпасының әртүрлі жағдайында амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар.
- Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тажірибе	Өлшенді			Есептелді
	$U_1, В$	$U_2, В$	$U, В$	$U_1 + U_2, В$
1				

- Ток көзінің түйіндеріндегі кернеулердің қосындысын ab және cd бөліктеріндегі кернеулердің қосындысымен салыстырындар.
- Резистор сырғытпасын жылжыту кезінде шамның жарқырауының өзгеру себебін түсіндіріңдер.
- Қорытынды жасандар.



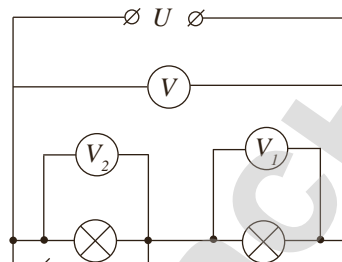
9-сурет



10-сурет

2-тапсырма. Айнымалы резисторды уақытша шунт ретінде жалғау.

- 11-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинаңдар.
- Тізбектегі айнымалы резистордың міндетін анықтандар.
- Кілт ашық және жабық болған кездегі амперметр мен вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.



11-сурет

№ тәжірибе	Кілттің күйі	Өлшенді			Есептелді
		$U_1, В$	$U_2, В$	$U, В$	$U_1 + U_2, В$
1	Жабық				
2	Ашық				

- Кілт жабық болған кезде, резистор сырғытпасы шеткі және ортаңғы нүктеде орналасқан кезде вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар. Шамның жарқырауын бақылаңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тәжірибе	Резистор сырғытпасының орналасуы	Өлшенді			Есептелді
		$U_1, В$	$U_2, В$	$U, В$	$U_1 + U_2, В$
1	Сол жақ шетте				
2	Ортада				
3	Оң жақ шетте				

- Ток көзі түйіндеріндегі кернеуді тізбек бөліктеріндегі кернеулердің қосындысымен салыстырыңдар.
- Бірінші вольтметрдегі кернеудің мәні нөлге тең болатын жағдайды көрсетіңдер.
- Қорытынды жасаңдар.

3-тапсырма. Айнымалы резисторды кернеу бөлгіштері ретінде жалғау.

- 9-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинаңдар.
- Резистор сырғытпасын бір шеткі нүктеден екінші шеткі нүктеге жылжытып, сырғытпаның үш түрлі орналасуы үшін вольтметрдің көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тәжірибе	Өлшенді			Есептелді
	$U_1, В$	$U_2, В$	$U, В$	$U_1 + U_2, В$
1				

- Тізбектегі жалпы кернеу сырғытпаның кез келген орналасуында айнымалы резистордың оң және сол бөліктеріне жалғанған вольтметрлердің көрсеткіштерінің қосындысына тең екеніне көз жеткізіңдер.
- Тізбектегі айнымалы резистордың міндетін анықтаңдар.
- Қорытынды жасаңдар.

№7 зертханалық жұмыс.

Ток көзінің электр қозғаушы күші мен ішкі кедергісін анықтау

Жұмыстың мақсаты: ток көзінің ЭҚК-сы мен ішкі кедергісін анықтау.

Құрал-жабдықтар: ток көзі – гальвани элементінің 4,5 В батареясы, амперметр, вольтметр, 6 Ом реостат, өткізгіш сымдар.

Қысқаша теория: сұлбасы 12-суретте көрсетілген тізбек бөлігі үшін $I = \frac{U}{R}$ және толық тізбек үшін $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ Ом заңдарын қолданып, ток көзінің ЭҚК-сын өрнектейміз:

$$\varepsilon = U_1 + I_1 r. \quad (1)$$

Реостат көмегімен тізбектегі ток күшін өзгертеміз, сонда (1) формула мына түрге келеді:

$$\varepsilon = U_2 + I_2 r. \quad (2)$$

(1) және (2) формулалардан шығатыны:

$$U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r,$$

демек:

$$r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}. \quad (3)$$

(3) формуланы (1) формулаға қойсақ, мына өрнекті аламыз:

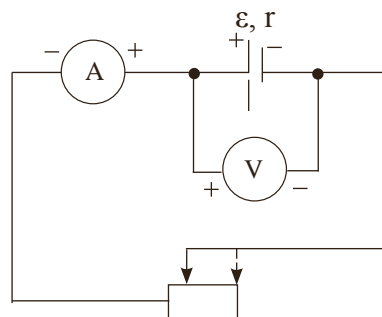
$$\varepsilon = \frac{U_2 I_1 - U_1 I_2}{I_1 - I_2}. \quad (4)$$

Жұмыстың орындалу реті:

1. Сұлба бойынша тізбек жинаңдар (12-сурет).
2. Реостат сырғытпасын аспаптың ортасына орналастырыңдар.
3. Тізбекті тұйықтап, амперметр I_1 мен вольтметр U_1 көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

№ тәжірибе	Өлшенді				Есептелді				
	I_1, A	U_1, B	I_2, A	U_2, B	ε, B	r, OM	$\varepsilon, \%$	$\Delta\varepsilon$	Δr

4. Реостаттың кедергісін арттырып, сырғытпаны жаңа орынға орналастырыңдар да, амперметр I_2 мен вольтметр U_2 көрсеткіштерін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
5. (3) және (4) формулалар бойынша ток көзінің ішкі кедергісі мен ЭҚК мәндерін есептеңдер.
6. Өлшеу аспаптарының дәлдік класы бойынша өлшеу қателіктерін есептеңдер.
7. Жауапты өлшеу қателіктерін ескеріп жазыңдар.
8. Ток көзінің ЭҚК-сын тура өлшеу арқылы анықтандар, нәтижелерді салыстырыңдар.



12-сурет.

№8 зертханалық жұмыс.

Қыздыру шамының, резистордың, жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамасы

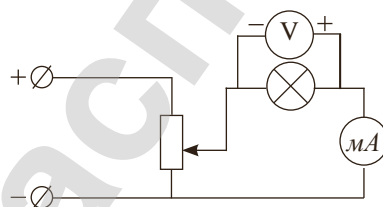
Жұмыстың мақсаты: қыздыру шамының, резистордың және жартылай өткізгіш диодтың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

Құрал-жабдықтар: 12 В тұғыры бар қыздыру шамы, 15 Ом реостат, вольтметр, 50 мА миллиамперметр, 6 В ток көзі, 100 Ом кедергі, диод, кілт, өткізгіш сымдар.

Жұмыстың орындалу реті

1-тапсырма. Қыздыру шамының вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

- 13-суретте көрсетілген сұлба бойынша тізбек жинаңдар.
- Дәптерлеріңе өлшеулер мен есептеулер нәтижелерін жазатын кесте сызыңдар.



13-сурет

$U, В$																			
$I, мА$																			
$R, Ом$																			

- Шамдағы кернеуді 0,5 В қадаммен 0 вольттан 6 вольтқа дейін арттырыңдар.
- Вольтметр мен миллиамперметрдің көрсеткіштерін кестеге енгізіңдер.
- Шамның вольт-амперлік сипаттамасының графигін сызыңдар. Алынған нәтижені түсіндіріңдер.
- Ток күші мен кернеудің әртүрлі мәндерінде шамның қыздыру қылының кедергісін анықтаңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
- Шамның қыздыру қылының кедергісінің табылған мәндерін талдаңдар.

2-тапсырма. Резистордың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

- Электр тізбегіндегі шамды 100 Ом кедергімен алмастырыңдар.
- Дәптерлеріңе өлшеу нәтижелерін жазатын кесте сызыңдар.

$U, В$																			
$I, мА (R = 100 Ом)$																			
$I, мА (R = 50 Ом)$																			

- Резистордағы кернеуді 1 В қадаммен 0 вольттан 6 вольтқа дейін арттырыңдар. Вольтметр мен миллиамперметрдің көрсеткішін кестеге енгізіңдер.
- Резисторды 50 Ом резистормен алмастырыңдар. Кернеудің мәнін өзгертпей, миллиампердің көрсеткішін жазыңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.

5. Резистордың вольт-амперлік сипаттамаларын бір координаталық жазықтықта салындар. Қыздыру шамы мен резистордың вольт-амперлік сипаттамаларының айырмашылығы неде?
6. Резисторлардан алынған вольт-амперлік сипаттамалар негізінде $I = f(U)$ тәуелділік теңдеуін жазындар. Олардың ұқсастықтары неде? Айырмашылықтары ше?

3-тапсырма. Жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамаларын зерттеу.

1. Ұсынылған жартылай өткізгіш диодтың шектік параметрлерін жазындар.
2. Тізбектегі резисторды диодқа алмастырып, тура жалғанған диодтың параметрлерін ескеріп, өлшеу аспаптарындағы шектік мәндерді таңдаңдар. Диодтың тура жалғануының параметрлері шамамен 1,5 В және 300 мА екенін ескеріп, өлшеу аспаптарының шектерін таңдаңдар.
3. 0,3 В қадаммен диодтың тура жалғануының вольт-амперлік сипаттамаларын алындар. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге енгізіңдер.

U, В						
I, мА						
R, Ом						

4. Диодқа кері жалғанған электр тізбегін жинаңдар. Өлшеу шегін шамамен 15 В және 3 мА деп алындар.
5. 1 В қадаммен диодтың кері жалғануының вольт-амперлік сипаттамаларын алындар. Өлшеу және есептеу нәтижелерін кестеге енгізіңдер.

U, В						
I, мА						
R, Ом						

6. Координаталық жазықтықтың бірінші ширегінде тура жалғану үшін, төртінші ширегінде кері жалғану үшін ток күшінің кернеуге тәуелділік графигін сызындар. Алынған нәтижелерді түсіндіріңдер.
7. Ток күші мен кернеудің әртүрлі мәндерінде диодтың кедергісін анықтаңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
8. Диод кедергісінің алынған мәндерін талдаңдар.

№9 зертханалық жұмыс.

Бір валентті ионның электр зарядын өлшеу

Жұмыстың мақсаты: тәжірибе жүзінде электролиз процесіндегі электрон зарядын анықтау.

Құрал-жабдықтар: мыс ерітіндісі бар электролиттік ванна, тұрақты ток көзі, амперметр, реостат, кілт, таразы, секундомер, электрпеш, өткізгіш сымдар.

Қысқаша теория. Фарадей заңдары электрон зарядын жоғары дәлдікпен анықтауға мүмкіндік береді. Фарадейдің біріккен заңынан электрон зарядын есептеу формуласын өрнектейік:

$$e = \frac{MIt}{mN_A n},$$

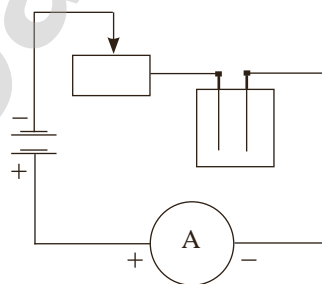
мұндағы m – электродта бөлінген зат массасы, электролизге дейінге және одан кейінгі электрод массаларының айырымымен анықталады, M – мольдік масса, n – иондардың валенттілігі, I – электролит арқылы өтетін ток күші, t – электролиз уақыты.

Жұмыстың орындалу реті:

1. Катод ретінде қолданылатын мыс электродты тазалап, массасын анықтаңдар. Өлшенген масса шамасын m_1 кестеге енгізіңдер.

$m_1, \text{кг}$	$m_2, \text{кг}$	$m, \text{кг}$	$I, \text{А}$	$t, \text{с}$	$e, \text{Кл}$

2. Электролиттік ваннаға электролит пен мыс электродтар – анод пен катодты орналастырыңдар. Реостат арқылы катодты ток көзінің теріс таңбалы ұшына, анодты – оң таңбалы ұшына жалғаңдар (*14-сурет*).
3. 30 минутқа созылатын эксперименттің басталу уақытын анықтап, ток көзіне жалғаңдар. Тәжірибе барысында реостат сырғытпасын жылжитпай, ток күшін тұрақты шама ретінде ұстап тұрыңдар.
4. Эксперимент уақыты аяқталғанда, ток көзін өшіріңдер. Катодты ажыратыңдар, электр пешінде кептіріп, таразының көмегімен массасын m_2 анықтаңдар. Нәтижелерді кестеге енгізіңдер.
5. Мыстың мольдік массасын $M = 63,5 \cdot 10^{-3}$ кг/моль деп алып және мыстың екі валентті $Z = 2$ екенін ескеріп, электрон зарядын анықтаңдар.
6. Алынған шамаларды кестелік мәндермен салыстырыңдар. Өлшеу қателігін анықтаңдар.



14-сурет

2-қосымша. Физикалық шамалар кестесі

1-кесте. Физикалық тұрақтылар

Физикалық тұрақты	Белгіленуі	Тұрақтының мәні
Вакуумдағы жарық жылдамдығы	c	$\approx 3 \cdot 10^8$ м/с
Элементар заряд (электрон заряды)	e	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Электронның тыныштық массасы	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Протонның тыныштық массасы	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг
Больцман тұрақтысы	k	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Универсал газ тұрақтысы	R	8,31 Дж/(моль К)
Гравитациялық тұрақты	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ Нм ² /кг
Планк тұрақтысы	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с
Фарадей тұрақтысы	F	9 648 4,56 Кл/моль
Идеал газдың қалыпты жағдайдағы мольдік көлемі ($t = 0$ °С, $p = 101,325$ кПа)	V_m	$2,24 \cdot 10^{-2}$ м ³ /моль
Авогадро тұрақтысы	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Абсолют нөлдік температура	T_0	0 К = -273,15 °С
Қалыпты атмосфералық қысым	$P_{атм}$	101325 Па
Ауаның қалыпты жағдайдағы тығыздығы	$\rho_{ауа}$	1,293 кг/м ³

2-кесте. Заттардың тығыздығы

Зат	Тығыздық		Зат	Тығыздық	
	$\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \text{ немесе } n \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$			$\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \text{ немесе } n \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$	
Алюминий	2,7		Никель	8,9	
Қола	8,7–8,9		Қалайы	7,3	
Вольфрам	19,34		Платина	21,6	
Темір, болат	7,8		Қорғасын	11,4	
Алтын	19,3		Күміс	10,5	
Жез	8,7		Титан	4,5	
Мыс	8,9		Мырыш	7,18	

3-кесте. Заттардың меншікті жылусыйымдылығы

Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Алюминий	920	Құм	880
Су	4200	Платина	140
Ауа	1000	Сынап	130
Темір	460	Қорғасын	140
Керосин	2100	Күміс	250
Кірпіш	880	Спирт	2500

Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Зат	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Жез	380	Болат	500
Мұз	2100	Шыны	840
Мыс	380	Мырыш	380
Никель	460	Шойын	540
Қалайы	250	Эфир	3340

4-кесте. Меншікті балқу жылуы, балқу температурасы

Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$\lambda, 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Алюминий	658	39	Қалайы	232	5,9
Темір	1539	27	Платина	1774	11
Алтын	1063	6,7	Сынап	-39	1,0
Мұз	0	34	Қорғасын	327	2,5
Мыс	1083	21	Күміс	960	10
Нафталин	80	15	Мырыш	420	12

5-кесте. Меншікті булану жылуы және заттардың қалыпты атмосфералық қысымда қайнау температурасы

Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$L, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Зат	$t, ^\circ\text{C}$	$L, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Су	100	2,3	Спирт	78	0,9
Сынап	357	0,3	Эфир	35	0,4

6-кесте. Отынның меншікті жану жылуы

Зат	$q, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Зат	$q, 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Бензин	46	Таскөмір	30
Қоңыр көмір	17	Керосин	46
Сутегі	120	Мұнай	44
Дизель	42,7	Оқ-дәрі	3,8
Ағаш* (қайың)	13	Табиғи газ	44
Ағаш* (қарағай)	13	Спирт	27
Ағаш көмір	34	Шымтезек	14

7-кесте. Қаныққан булардың қысымы мен тығыздығының температураға тәуелділігі

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$
0	0,61	4,84	20	2,34	17,32	40	7,38	51,2
1	0,66	5,18	21	2,49	18,14	41	7,78	53,8
2	0,71	5,54	22	2,64	19,22	42	8,21	56,5
3	0,76	5,92	23	2,81	20,35	43	8,65	59,4

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{кПа}$	$\rho, \text{г/м}^3$
4	0,81	6,33	24	2,99	21,54	44	9,11	62,3
5	0,87	6,76	25	3,17	22,80	45	9,59	65,4
6	0,94	7,22	26	3,36	24,11	46	10,10	68,6
7	1,0	7,70	27	3,57	25,49	47	10,62	72,0
8	1,07	8,21	28	3,78	26,93	48	11,17	75,5
9	1,15	8,76	29	4,01	28,45	49	11,75	79,1
10	1,23	9,33	30	4,25	30,04	50	12,34	82,8
11	1,31	9,93	31	4,50	31,70	55	15,75	104,0
12	1,40	10,57	32	4,71	33,45	60	19,93	129,5
13	1,50	11,25	33	5,03	35,27	65	25,02	160,1
14	1,60	11,96	34	5,27	37,18	70	31,18	196,4
15	1,71	12,71	35	5,63	39,18	75	38,56	239,3
16	1,82	13,50	36	5,95	41,30	80	47,37	289,7
17	1,94	14,34	37	6,28	43,50	85	57,82	348,7
18	2,06	15,22	38	6,63	45,80	90	70,12	417,3
19	2,20	16,14	39	6,99	48,20	100	101,32	588,5

8-кесте. Кризистік температура

Зат	Кризистік температура $t, ^\circ\text{C}$	Зат	Кризистік температура $t, ^\circ\text{C}$
Сынап	1700	Көмірқышқыл газы	31
Су	374	Оттегі	-118
Этил спирті	243	Азот	-146
Эфир	197	Сутегі	-240
Хлор	146	Гелий	-263

9-кесте. Психрометрлік кесте

Құрғақ термометрдің көрсеткіші $t, ^\circ\text{C}$	Құрғақ және ылғал термометр көрсеткіштерінің айырымы $^\circ\text{C}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Салыстырмалы ылғалдылық, %									
1	91	80	67	53	36	18				
2	90	81	69	56	41	24	4			
3	90	79	72	59	45	29	11			
4	91	81	69	62	49	34	17			
5	92	82	71	59	52	39	23	5		
6	92	83	73	62	49	43	28	12		
7	93	84	75	64	52	38	33	18	1	
8	93	86	77	67	55	42	28	24	8	
9	94	86	78	69	58	46	33	17	14	
10	94	87	80	71	61	50	37	23	7	

Құрғақ термометрдің көрсеткіші t , °C	Құрғақ және ылғал термометр көрсеткіштерінің айырымы °C									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Салыстырмалы ылғалдылық, %									
11	94	88	81	73	64	53	41	28	13	
12	95	89	82	75	66	56	45	33	19	4
13	95	90	83	76	68	59	49	38	25	10
14	95	90	84	78	70	62	52	42	30	16
15	96	91	85	79	72	64	55	45	34	22
16	96	91	86	80	74	67	58	49	39	27
17	96	92	87	82	76	69	61	52	43	32
18	96	92	88	83	77	71	63	55	46	36
19	97	93	89	84	79	73	66	58	50	40
20	97	93	89	85	80	74	68	61	53	44
21	97	94	90	86	81	76	70	63	56	48
22	97	94	91	87	82	77	72	66	59	51
23	97	94	91	87	83	79	73	68	61	54
24	98	95	92	88	84	80	75	70	64	57
25	98	95	92	89	85	81	77	71	66	59
26	98	95	93	90	86	82	78	73	68	62
27	98	96	93	90	87	83	79	75	70	64
28	98	96	93	91	88	84	80	76	72	66
29	98	96	94	91	88	85	82	78	73	68
30	98	96	94	92	89	86	83	79	75	70
31	98	97	94	92	90	87	84	80	76	72
32	98	97	95	93	90	88	85	81	78	74
33	99	97	95	93	91	88	85	82	79	75
34	99	97	95	93	91	89	86	83	80	77
35	99	97	96	94	92	90	87	84	81	78
36	99	97	96	94	92	90	88	85	82	79
37	99	98	96	94	93	91	88	86	83	80
38	99	98	96	95	93	91	89	87	84	81
39	99	98	96	95	93	92	90	88	85	83
40	99	98	97	95	94	92	90	88	86	83

10-кесте. 20 °C температурада сұйықтардың беттік керілу коэффициенті

Зат	$\sigma, \frac{мН}{и}$	Зат	$\sigma, \frac{мН}{и}$
Су	73	Сүт	46
Бензин	21	Мұнай	26
Глицерин	59	Сынап	487
Керосин	24	Спирт	22
Сабын ерітіндісі	40	Сірке қышқылы	28

11-кесте. Қатты денелердің механикалық қасиеттері

Зат	Созылудың беріктік шегі $\sigma_{бш}$, МПа	Серпімділік модулі E , ГПа	Зат	Созылудың беріктік шегі $\sigma_{бш}$, МПа	Серпімділік модулі E , ГПа
Алюминий	100	70	Мәрмәр	140	70
Бетон	48	20	Қалайы	20	50
Вольфрам	3000	415	Қорғасын	15	16
Гранит	150	49	Күміс	140	80
Алтын	140	79	Болат	500	200
Кірпіш	17	3	Шыны	90	50
Мұз	1	10	Фарфор	650	150
Мыс	400	120	Мырыш	150	80

12-кесте. Ортаның диэлектрлік өтімділігі

Зат	Диэлектрлік өтімділік	Зат	Диэлектрлік өтімділік
Су	81	Парафин	2,1
Керосин	2,1	Слюда	6
Май	2,5	Шыны	7

13-кесте. Металдар мен қоспалардың меншікті кедергісі

Зат	ρ , Ом·м	Зат	ρ , Ом·м
Алюминий	$2,7 \cdot 10^{-8}$	Нихром	$1,05 \cdot 10^{-6}$
Вольфрам	$5,3 \cdot 10^{-8}$	Қалайы	$1,13 \cdot 10^{-7}$
Темір	$9,9 \cdot 10^{-8}$	Осмий	$9,5 \cdot 10^{-8}$
Алтын	$2,2 \cdot 10^{-8}$	Платина	$1,05 \cdot 10^{-7}$
Константан	$4,7 \cdot 10^{-8}$	Сынап	$9,54 \cdot 10^{-7}$
Жез	$6,3 \cdot 10^{-8}$	Қорғасын	$2,07 \cdot 10^{-7}$
Магнанин	$3,9 \cdot 10^{-8}$	Күміс	$1,58 \cdot 10^{-8}$
Мыс	$1,68 \cdot 10^{-8}$	Фехраль	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Никелин	$4,2 \cdot 10^{-8}$	Мырыш	$5,95 \cdot 10^{-8}$
Никель	$7,3 \cdot 10^{-8}$	Шойын	$5 \cdot 10^{-7}$

14-кесте. Кедергінің температуралық коэффициенті

Зат	α , K^{-1}	Зат	α , K^{-1}
Вольфрам	$5 \cdot 10^{-3}$	Никелин	10^{-4}
Константан	$5 \cdot 10^{-6}$	Нихром	$2 \cdot 10^{-4}$
Магнанин	$8 \cdot 10^{-5}$	Фехраль	$2 \cdot 10^{-4}$

15-кесте. Электрохимиялық эквивалент

Зат	$k, \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$	Зат	$k, \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$
Алюминий	$9,32 \cdot 10^{-8}$	Натрий	$2,38 \cdot 10^{-7}$
Сутек	$1,04 \cdot 10^{-8}$	Никель (екі валентті)	$3,04 \cdot 10^{-7}$
Алтын	$6,81 \cdot 10^{-7}$	Никель (үш валентті)	$2,03 \cdot 10^{-7}$
Калий	$4,05 \cdot 10^{-7}$	Сынап	$2,07 \cdot 10^{-6}$
Кальций	$2,08 \cdot 10^{-7}$	Қорғасын	$1,07 \cdot 10^{-6}$
Оттек	$8,29 \cdot 10^{-8}$	Күміс	$1,12 \cdot 10^{-8}$
Магний	$1,26 \cdot 10^{-7}$	Хлор	$3,67 \cdot 10^{-7}$
Мыс	$3,29 \cdot 10^{-7}$	Мырыш	$3,39 \cdot 10^{-7}$

16-кесте. Парамагнетиктер мен диамагнетиктердің магнит өтімділігі

Парамагнетик заттар	μ	Диамагнетик заттар	μ
Азот (газ тәрізді)	1,000013	Сутек (газ тәрізді)	0,999937
Ауа (газ тәрізді)	1,000038	Су	0,999991
Оттек (газ тәрізді)	1,000017	Шыны	0,999987
Оттек (сұйық)	1,0034	Мырыш	0,999991
Эбонит	1,000014	Күміс	0,999981
Алюминий	1,000023	Алтын	0,999963
Вольфрам	1,000175	Мыс	0,999912
Платина	1,000253	Висмут	0,999824

17-кесте

Грек алфавиті						Латын алфавиті					
A a	альфа	I i	йота	P p	ро	A a	а	J j	жи	S s	эс
B b	бета	K k	каппа	Σ σ	сигма	B b	бе	K k	ка	T t	тэ
Г γ	гамма	Λ λ	лямбда	Т τ	тау	C c	це	L l	эль	U u	у
Δ δ	дельта	Μ μ	мю	Υ υ	ипсилон	D d	де	M m	эм	V v	вэ
E ε	эпсилон	N ν	ню	Φ φ	фи	E e	э	N n	эн	W w	дубль-вэ
Z ζ	дзета	Ξ ξ	кси	Χ χ	хи	F f	эф	O o	о	X x	икс
Η η	эта	Ο ο	омикрон	Ψ ψ	пси	G g	же	P p	пэ	Y y	игрек
Θ θ	тета	Π π	пи	Ω ω	омега	H h	аш	Q q	ку	Z z	зет
						I i	и	R r	эр		

Пәндік көрсеткіш

Абсолют қателік	11	Идеал сұйық	80
Абсолют қатты дене	48	Идеал машина	139
Ағын элементі	80	Изобаралық процесс	121
Ағын сызықтары	81	Изопроцесс	120
Ағын түтігі	81	Изотермалық процесс	120
Адиабаталық процесс	135	Изотпроптық	85
Аморфты дене	158	Изохоралық процесс	122
Ампер күші	264	Инерция моменті	49
Анизотроптық	158	Импульс моменті	53
Ауаның абсолют ылғалдылығы	147	Импульстің сақталу заңы	55
Ауаның салыстырмалы ылғалдылығы	148	Кедергінің температуралық коэффициенті	234
Ауырлық центрі	60	Кенздейсоқ қателік	10
Аэродинамика	80	Кернеулік	172
Беріктік	159	Кинематика	5
Беттік керілу күші	153	Кинематиканың негізгі міндеті	15
Беттік керілу коэффициенті	153	Клапейрон теңдеуі	117
Бүкіләлемдік тартылыс заңы	43	Конденсатор	198
Бұрыштық үдеу	27	Кюри температурасы	277
Бойль – Мариотт заңы	120	Қаныққан бу	146
Бірінші ретті мәңгі қозғалтқыш	136	Қанықпаған бу	146
Вискозиметр	90	Қаттылық	87
Галилей түрлендірулері	21	Қозғалыс заңы	16
Гальваностегия	244	Кристалдық тор	86
Гей-Люссак заңы	121	Кулон заңы	168
Гидродинамика	80	Күш импульсі	107
Гироскоп	55	Қатынас ыдыстар	48
Гигрометр	146	Ламинарлық ағыс	81
Гидростатикалық қысым	153	Ленц ережесі	292
Диаметриктер	277	Лездік жылдамдық	34
Динамика	37	Лоренц күші	270
Диэлектрлік өтімділік	169	Магнит ағыны	285
Дөңгелек процесс	107	Магнит өрісі	257
Екінші ретті мәңгі қозғалтқыш	140	Магнит өрісінің күш сызықтары	260
Еркін түсу	8	Магнит өтімділік	277
Жанама үдеу	26	Магнит индукциясы	258
Жартылай өткізгіштер	237	Макроскопиялық параметрлер	101
Жүйелік қателік	10	Маңдайлық кедергі күші	90
Абсолют қатты дене	43	Массалар центрі	60
Жылу машинесі	138	Менделеев – Клапейрон теңдеуі	116
Жылу мөлшері	130	Мениск	156
Зат мөлшері	98	Моль	98
Заттың салыстырмалы молекулалық массасы	98	Мольдік масса	98
Зарядтың сақталу заңы	168	Микроскопиялық параметрлер	83
Идеал газ күйінің теңдеуі	116	Меншікті өткізгіштік	237

Ньютонаң I заңы	39	Термоэлектрондық эмиссия	251
Ньютонаң II заңы	39	Ток жұмыс	225
Ньютонаң III заңы	40	Ток күші	208
Орнықты тепе-теңдік	66	Ток қуаты	226
Орнықсыз тепе-теңдік	66	Ток тығыздығы	208
Өздік индукция	295	Толық тізбек үшін Ом заңы	217
Өлшеу қателігі	10	Турбуленттік ағыс	81
Өріс потенциалы	43	Тұтқырлық	89
Паскаль заңы	107	Тізбек бөлігі үшін Ом заңы	209
Парамагнетиктер	277	Фарад	197
Парциалдық қысым	123	Фарадейдің I заңы	246
Психрометр	146	Фарадейдің II заңы	246
Реактивті қозғалыс	9	Ферромагнетиктер	277
Рекомбинация	244	Фоторезистор	238
Салыстырмалы жылдамдық	23	Үдеу	15
Сокқы иондалу	248	Шарль заңы	122
Статика	59	Шеттік бұрыш	156
Стационар ағыс	82	Шық нүктесі	147
Стокс формуласы	89	Электростатика	165
Сыйымдылық	134	Электр қозғаушы күш	213
Салыстырмалы қателік	11	Электр өрісі	172
Талғаусыз тепе-теңдік	66	Электр өрісінің кернеулігі	174
Тасымал жылдамдық	23	Электр өрісінің күш сызықтары	201
Температура	102	Электр өрісінің энергиясы	284
Тепе-теңдік	66	Электромагниттік индукция	202
Термистор	237	Электролиз	244
Термометр	102	Электролиттік диссоциация	243
Термодинамика	95	Электрохимиялық эквивалент	246
Термодинамикалық параметрлер	101	Электр сыйымдылық	196
Термодинамикалық тепе-теңдік	102	Энергетикалық температура	109
Термодинамиканың бірінші заңы	127	Эквипотенциал бет	186
Термодинамиканың екінші заңы	138	Центрге тартқыш үдеу	26

Жаттығулардың жауаптары

2-жәтт. 1. $2,8 \pm 0,2$ В; $2,80 \pm 0,1$ В

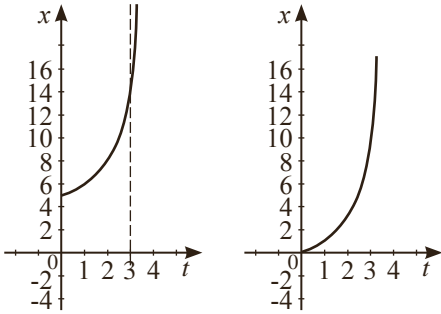
2. $14,0 \pm 0,4$ Ом

3-жәтт. 1. $0,07$ м/с². 2. 2 м/с. 3. -1 м/с².

4. 1) 2 м/с²; 0 ; 1 м/с²; -4 м/с²; 99 м;

99 м; 2) $x_1 = 5 + t^2$; $x_2 = -4 + 6t$. 3) 1-су-

рет. 5. $3,24$ м.



1-сурет.

4-жәтт. 1. $\approx 8,3$ м/с; $\approx -8,3$ м/с; 2.

20 с. 3. 4 м/с. 4. 90 с, 81 м, $\approx 115,6$ с.

5. а) 144 км/сағ; б) 0 ; в) 102 км/сағ.

5-жәтт. 1. 25 м/с². 2. 25 м/с; $0,71$ м/с².

3. $-0,314$ рад/с². 4. 5 с. 5. $\approx 0,49$ м/с;

$\approx 0,015$ рад/с; $\approx 0,007$ м/с²; 0 .

6-жәтт. 1. $\approx 0,87$ м. 2. $19,8$ м. 3. 45° .

4. 540 м. 5. $5,3$ м/с.

7-жәтт. 1. $2,5$ Н. 2. $-0,1$ м/с²; $10,1$ м/с².

3. $0,025$. 4. $5,4$ Н. 5. $90,4$ Н.

8-жәтт. 1. ≈ 1497 км; 2. Ай центрінен

$$6R_{\text{ж}}. \quad 3. F = G M m \left(\frac{1}{L^2} - \frac{1}{2(2L - R^2)} \right).$$

4. 3200 км, ≈ 2133 км, 6400 км.

5. 4 есе, 9 есе, 16 есе. 6. $\approx 9,4$ МДж/кг;
 $\approx 12,2$ ГДж;

$$7. T = 2\pi \sqrt{\frac{R_3}{g}}$$

9-жәтт. 1. $2 \cdot 10^{-3}$ кг \cdot м²; 7 рад/с.

2. $4 \cdot 10^4$ Н \cdot м. 3. $\approx 10^{34}$ кг \cdot м²;

$\approx 3,6 \cdot 10^{22}$ Дж. 4. 24 Дж.

5. $4,08 \cdot 10^{-3}$ кг \cdot м²; $5,71 \cdot 10^{-3}$ кг \cdot м².

10-жәтт. 1. $0,8\pi$ кг \cdot м²/с. 2. $2,512$ Н \cdot м.

3. 6 Н \cdot м. 4. $2,8$ м/с²; 14 Н; $12,6$ Н.

5. 3 м/с²

11-жәтт. 1. 120 кг. 2. Ауыр жүгі бар

ұшынан $0,1$ м қашықтықта. 3. Болат

өзектің ұшынан $11,4$ см қашықтықта

4. $0,96$ м. 6. $x_c = -R/6$.

12-жәтт. 1. 1) орнықты тепе-теңдік;

2) талғаусыз тепе-теңдік; 3) пен

4) орнықсыз тепе-теңдік; 5) орнықты

тепе-теңдік; 6) орнықсыз; 7) талғаусыз

тепе-теңдік. 2. Бөрене потенциалдық

энергиясы минимал күйге түседі.

3. Ергерек сырғи бастайды.

13-жәтт. 1. 10 м/с. 2. 1470 м. 3. 5 м/с,

10 м/с. 4. 7000 Дж, -2100 Дж.

5. $5,24$ см; 6. $-5,37 \cdot 10^{10}$ Дж;

$2,68 \cdot 10^{10}$ Дж; $-2,68 \cdot 10^{10}$ Дж.

7. $\approx 11,2$ км/с.

14-жәтт. 1. $8,8$ м/с. 2. $\approx 1,55$ мН, 1032 Па.

3. $\approx 8,9$ м/с, $\approx 5,3$ Н.

15-жәтт. 1. $4,5$ м/с. 2. $4,33$ м/с. 3. $\approx 2,3$ л.

$$4. v = \sqrt{\frac{8Fd^4}{\pi \rho D^2 (D^4 - d^4)}}.$$

16-жәтт. 1. $0,84$ см². 2. $0,28$ м. 3. $1,38$ м³.

4. 3 есе. 5. $\approx 4,1$ м/с. 6. 2 Па с.

17-жәтт. 1. Неон, $\approx 2 \cdot 10^{-2}$ кг/моль.

2. 316 моль. 3. $4,18 \cdot 10^{-9}$ м. 4. 10^5 моль.

5. 201 м/с.

18-жәтт. 1. 297 К, 300 К, 200 К, 373 К. 2.

-269 °С, -73 °С, 167 °С, 27 °С. 3. 29 °С,

27 °С, 22 °С. 4. 86 °F, 77 °F, 68 °F

19-жәтт. 1. $\approx 106,7$ кПа. 2. $16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

3. $2 \cdot 10^6$ Па, $4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. 4. 500 К.

5. $2,4 \cdot 10^{25}$ м³.

20-жәтт. 1. $286,4$ К. 2. $1,2$ моль.

3. $1,2$ кг/м³. 4. $9,03 \cdot 10^{25}$. 5. 100 кПа.

6. $1,7$ есе.

21-жәтт. 1. $0,7$ МПа. 2. 225 К. 3. 70 К.

4. $2,5$. 5. 3.

22-жәтт. 1. $15,58$ кДж-ға азаяды.

2. $18,7$ кДж. 3. Жоқ, 900 Дж. 4. 5.

5. $245,3$ Дж/кг \cdot К.

23-жәтт. 1. $3,3$ МДж; $6,1$ МДж. 2. 6% .

3. $373,95$ кДж. 4. $0,49$ м³. 4. 3 кДж.

5. -400 Дж.

24-жәтт. 1. 20 Дж, 20% . 2. 10^2 кДж.

3. $\eta = 9,3\%$. 4. $38,7\%$; $2,7$. 5. 27% ;

274 кДж

25-жәтт. 1. $82,8$ г/м³. 2. 2400 Па, қанық-

паған. 3. $53,6$ г/м³. 4. 50% . 5. 35% .

26-жәтт. 1. $1,6 \cdot 10^{-3}$ Н, май жағына.

2. 78 мН/м. 3. $1,6$ мДж. 4. 7 мм.

5. 22 мН/м.

27-жәтт. 1. 1,9 кН. 2. $3,6 \cdot 10^5$ Па.

3. $F \geq 2,2 \cdot 10^2$ Н; $\varepsilon \geq 10^{-3}$. 4. $4 \cdot 10^7$ Па, $2 \cdot 10^{11}$ Па. 5. $2 \cdot 10^{-5}$ м²; $2,4 \cdot 10^7$ Па, шыдайды.

28-жәтт. 1. 540 мкН. 2. $\approx 10^{-8}$ Кл.

3. -5 мкКл; -5 мкКл; 22,5 Н. 4. Шардың астында $2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, шардың үстінде $-2,8 \cdot 10^{-8}$ Кл. 5. 1,3 г.

29-жәтт. 1. $1,76 \cdot 10^{12}$ м/с². 2. а) 576 кВ/м, 432 кВ/м. 3. 3^о-қа азаяды. 4. $4 \cdot 10^{-6}$ В/м, $\approx 1,8 \cdot 10^{-15}$ Кл. 5. $1,2 \cdot 10^4$ В/м.

30-жәтт. 1. -9 нКл. 2. $E_A = 0$,

$$E_B = k \frac{\sigma \cdot 4\pi r^2}{R_B^2}, E_C = k \frac{\sigma \cdot 4\pi(r^2 + R^2)}{R_C^2}.$$

3. $r < R$ болғанда $E(r) = 0$. $R < r < R_1$

болғанда $E(r) = k \frac{\sigma \cdot 4\pi R^2}{r^2}$.

$R_1 < r < R_2$ болғанда $E(r) = 0$. $R_2 < r$

болғанда $E(r) = k \frac{\sigma \cdot 4\pi R^2}{r^2}$. 4. $0 < x < d$

болғанда $E(x) = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

5. $-1,77 \cdot 10^{-7}$ Кл/м². 6. $1,73 \cdot 10^{-6}$ Кл/м².

31-жәтт. 1. $\approx 1,8 \cdot 10^{-6}$ Дж.

$$2. A = \frac{aq}{4\pi\varepsilon_0} \left[\frac{q_1}{(d+l)(d+l+a)} + \frac{q_1}{l(l+a)} \right]$$

3. $\approx 1,73 \cdot 10^{-19}$ Кл. 4. 25 В.

5. $\approx 1,13 \cdot 10^{-4}$ Дж

32-жәтт. 1. 50 кВ/м. 2. $\approx 4 \cdot 10^{42}$.

3. $3 \cdot 10^{-5}$ Дж, $-3 \cdot 10^{-5}$ Дж, 6000 В.

4. $-0,126$ мкДж.

33-жәтт. 1. -4 нКл, 4 нКл, $E = 0$.

$$2. \Delta F = \frac{2kq_1^2(2r_1 - 3l)r_1}{l^2(3l - 4r_1)^2}. 3. 3,56 \text{ Н};$$

0,14 м. 4. 0,27 м. 5. 8,84 мН.

34-жәтт. 1. $5 \cdot 10^{-9}$ Кл. 2. 100 В. 3. 6 мкФ,

3 мкФ. 4. 165 В, 55 В. 5. $3,2 \cdot 10^{-5}$ Кл.

35-жәтт. 1. 0,625 мкДж 2. 10^{-8} Кл,

$5 \cdot 10^{-6}$ Дж. 3. 2 есе; 4. ≈ 220 мкДж

5. 97 мДж/м³ 6. 0,25 Дж, 500 В, 0.

36-жәтт. 1. 0,17 А; 6 мин. 2. 10^9 А/м²;

$5 \cdot 10^5$ А/м². 3. $5 \cdot 10^{-4}$ Ом·м. 4. 2,5 Ом;

4 Ом; 6 Ом; 10 Ом; 13,5 Ом; 25 Ом;

26,7 Ом; 40 Ом. 5. 2,5 Ом.

37-жәтт. 1. 0,3 А. 2. 0,1 А. 3. 9,7 В.

4. $\approx 0,1$ Ом 5. 2 А

38-жәтт. 1. 0,5 А; 3,5 В. 2. 3,5 А. 3. 0,47 А.

4. 2 В. 5. 5,12 А; 6. 6,14 В;

7. 0,2 А; 180 Дж; 168 Дж; 12 Дж.

39-жәтт. 1. 13,5 Ом; 2. 6,7 Ом. 3. 0,25 Ом.

4. 1,4 А. 5. 0,06 А.

40-жәтт. 1. ≈ 1680 Дж. 2. 3,18 мин.

3. $\approx 1,22$ есе артады. 4. 24,2 Ом.

5. 20 мин; 3,75 мин. 6. 4, тізбектей.

7. 60 %

41-жәтт. 1. $5,7 \cdot 10^{-11}$ кг·м/с. 2. 0,82 мм/с.

3. 0,42 В/м. 4. $\approx 12,5$. 5. 0,0045 К⁻¹.

6. 7,9 %-ке кемиді.

42-жәтт. 1. $6,7 \cdot 10^{-10}$. 2. $2,3 \cdot 10^{-7}$ %.

3. $9,6 \cdot 10^{-5}$ %. 4. 3 есе кемиді. 5. 10 есе.

43-жәтт. 1. 53,5 мг. 2. $2,35 \cdot 10^{21}$.

3. 4,1 кг. 4. $5,68 \cdot 10^{17}$. 5. 10 мин;

4,6 мкм.

44-жәтт. 1. 4,15 В. 2. 80 нА. 3. 3 мВ/м,

4. 4 нс. 5. 3,2 кВ

45-жәтт. 1. Бөлшектерді Т әрпі түрінде

жинау, егер магнит ұшы басқа бөл-

шекке қаратылған бөлшек болса,

онда олар бір-біріне тартылады. Кері

жағдайда әрекеттесу орындалмайды.

2. $4 \cdot 10^{-5}$ Тл. 3. $\approx 1,67 \cdot 10^{-4}$ Тл.

4. ≈ 12 А.

46-жәтт. 1. 0. 2. 98 А. 3. $F_1 = 0,148$ Н;

$F_2 = 0,048$ Н. 4. 250 кА. 5. ≈ 277 мН·м.

47-жәтт. 1. $2 \cdot 10^{-8}$ Н. 2. $1,6 \cdot 10^{-15}$ Н;

0,569 мм. 3. $2,8 \cdot 10^4$ с⁻¹. 4. $5 \cdot 10^{17}$ Дж.

5. $1,04 \cdot 10^6$ м/с

48-жәтт. 1. 2000, 1000. 2. 1,75-ке артады.

3. 0.

49-жәтт. 1. 5 м. 2. $-1,36$ мВб; 0.

50-жәтт. 1. $-0,25$ Вб/с. 2. $3,14 \cdot 10^{-6}$ Кл.

3. 10 В. 4. а) D-дан C-ға дейін б) C-дан

D-ға дейін в) D-дан C-ға дейін г) C-дан

D-ға дейін. 5. 4 В

51-жәтт. 1. 16 Вб. 2. 0,04 В. 3. $1,5 \cdot 10^{-4}$ Вб.

4. 1,75 Ом. 5. 0,1 Вб.

Пайдаланылған әдебиеттер

1. Жалпы орта білім беру деңгейінің жаратылыстану-математикалық бағытындағы 10-11-сыныптары үшін «Физика» пәнінен жаңартылған мазмұндағы үлгілік оқу бағдарламасы.– Астана: Ы.Алтынсарин атындағы ҰБА, 2017
2. Ванеев А. А., Корж Э.Д., Орехов В.П. Преподавание физики в 9 классе. Москва: Просвещение,1980.
3. Ванеев А.А., Дубицкая З.Г., Ярунина Е.Ф. Преподавание физики в 10 классе средней школы. Москва: Просвещение,1978.
4. Орехов В.П., Усова А.В., Турышев И.К. и др. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы. Москва: Просвещение, 1980.
5. Кабардин О.Ф., Кабардина С.И., Орлов В.А. и др. Методика факультативных занятий по физике: пособие для учителей.– М.:Просвещение, 1980.–191 с.
6. М. М. Балашов Физика. Пробный учебник для 9 класса средней школы. – Москва:Просвещение, 1993.
7. Тарасов Л.В., Тарасова А.Н. Вопросы и задачи по физике (Анализ характерных ошибок поступающих во вузы): Учебное пособие.–4-е изд., стереотип.–М.:Высш. шк.,1990.–256 с.
8. Физика. Перевод с английского Ахматова А.С. и др. – Москва: Наука, 1965.
9. Л.Эллиот, У.Уилкокк Физика. Перевод с английского под редакцией проф. Китайгородского А.И.. Москва, Главная редакция физико-математической литературы издательства Наука,1975.
10. Кикоин И. К., Кикоин А. К. Физика. Учебник для 9 класса средней школы. – М.:Просвещение, 1992 .
11. Мякишев Г. Я., Буховцев Б. Б. Физика. Учебник для 11 класса общеобразовательных учреждений. – М.:Просвещение, 1995 .
12. Шахмаев Н. М. и др. Физика. Учебник для 11 класса средних школ. – М.: Просвещение, 1991.
13. Элементарный учебник физики под ред. акад. Ландсберга, том I. –Издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы. – Москва, 1975.
14. Элементарный учебник физики под ред. акад. Ландсберга, Т.2. Электричество и магнетизм. – 13-е изд.– М.:ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 480 с.
15. Балашов М.М., Гомонова А.И., Долицкий А.Б. и др.; Под ред. Мякишева Г.Я. Физика: Механика: Учеб. Пособие для шк. И классов с углубл.изуч. физики/ – М.: Просвещение, 1995.– 480 с.
16. Грабовский Р.И. Курс физики: Учебное пособие. 11-е изд., стер.– СПб.: Издательство «Лань», 2009.– 608 с.
17. Кабардин О.Ф. Физика: справ. материалы: Учеб.пособие для учащихся.– 3-е изд. – М.: Просвещение, 1991.–367 с.
18. Б.Кронгарт, В.Кем, Н.Койшибаев. Физика: Учебник для 10 классов естественно-математического направления общеобразовательных школ. – Алматы:Мектеп», 2006. –352 с.
19. Рымкевич А.П., П.А. Рымкевич Сборник задач по физике. – Москва «Просвещение», 1984.
20. Сборник задач по физике: Для 10-11 кл. общеобразовательных учреждений/ Сост. Г.Н.Степанова. М.: Просвещение, 2001.

21. Гладкова Р.А., Добронравов В.Е., Жданов Л.С., Цодиков Ф.С.. Сборник задач и вопросов по физике для средних специальных учебных заведений.– изд.2.исправл. М.: Наука, 1974.
22. Сборник задач по физике. 10-11 классы: пособие для учащихся общеобразовательных учреждений: базовый и профил. уровни/ Парфентьева Н.А.– 3-е изд.– М.: Просвещение, 2010.– 206 с.
23. Парфентьева Н.А. Задачи по физике. Для поступающих в вузы, – М.: Классик Стиль, 2005.–480 с.
24. Физика в задачах для поступающих в вузы/ Турчина Н.В.– М.: ООО Издательство «Оникс»; ООО «Издательство «Мир и образование»», 2008. – 768 с.
25. Сборник задач по физике: Учебное пособие/Баканина Л.П., Белонучкин В.Е., Козел С.М., Мазанько И.П.: Под ред.Козела С.М. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 288 с.
26. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1976.–464 с.
27. Зубов В.Г., Шальнов В.П.. Задачи по физике. –М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1975.–280 с.
28. Вертельник В.И., Позднеева Э.В. и др. Физика. Тренинговые задания: в 2 ч.– Томск. Том.политехн. ун-т, 2006.–ч.1.–170 с
29. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики: Дидакт. материалы: 9-11 кл./ Дик Ю.И., О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов и др.– М.: Просвещение, 1993
30. Буров В.А., Дик Ю.И., Зворыкин Б.С и др Практикум по физике в средней школе: дидакт. материал.– М.: Просвещение, 1987.
31. Қазақша-орысша. Орысша-қазақша терминологиялық сөздік. Физика және астрономия. – Алматы: «Қазақпарат» баспа корпорациясы, 2014. –388 б. Мемлекеттік терминологиялық комиссия бекіткен.
32. Орысша-қазақша сөздік. А. Байтұрсынов атындағы Тіл білімі институты, – Алматы. Дайк-пресс – 2005.
33. Физика: Еженедельник Издательского дома «Первое сентября». Адрес сайта: <http://fiz.1september.ru/>.
34. Классная физика: Образовательный сайт. Адрес сайта: <http://class-fizika.narod.ru>
35. Гельфер Я.М. Законы сохранения.–М.: «Наука», 1967.
36. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М., Теоретическая физика. Механика. –М.: «Наука», 1988.

Иллюстрациялық-материалдар сілтемелері

1. voxpopuli.kz
2. ethnosport.kz
3. popmech.ru
4. kazteleradio.kz
5. olympic.kz
6. kolpino.ru
7. liter.kz
8. naukatv.ru
9. aliexpress.com
10. tengrinews.kz
11. ukkz.com
12. saiman.kz
13. pinterest.com.au
14. ademi-ai.kz
15. paranormal-news.ru
16. thegolfclub.info
17. nutreaunnino.com
18. citytravel.livejournal.com
19. mirkosmosa.ru
20. informburo.kz
21. s-project.com.ua
22. neomagnet.by
23. labbox.ru
24. elektrik-a.su

Мазмұны

Алғы сөз.....	4
1 БӨЛІМ. МЕХАНИКА	5
1-ТАРАУ. Кинематика	5
§ 1. Физиканың қазіргі замандағы рөлі.....	6
§ 2. Физикалық шамалардың қателіктері. Өлшеу нәтижелерін өңдеу.....	10
§ 3. Теңудемелі қозғалатын дене кинематикасының негізгі түсініктері мен теңдеулері.....	15
§ 4. Инвариантты және салыстырмалы физикалық шамалар. Галилейдің салыстырмалылық принципі.....	21
§ 5. Қисықсыздықты қозғалыс кинематикасы.....	26
§ 6. Көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дененің қозғалысы.....	31
2-ТАРАУ. Динамика	37
§ 7. Күштер. Күштерді қосу. Ньютон заңдары.....	38
§ 8. Бүкіләлемдік тартылыс заңы.....	43
§ 9. Абсолют қатты дененің инерция моменті.....	48
§ 10. Импульс моменті. Импульс моментінің сақталу заңы мен оның кеңістік қасиеттерімен байланысы. Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі.....	53
3-ТАРАУ. Статика	59
§ 11. Массалар центрі.....	60
§ 12. Тепе-теңдік түрлері.....	66
4-ТАРАУ. Сақталу заңдары	71
§ 13. Импульстің және механикалық энергияның сақталу заңдары, олардың кеңістік пен уақыттың қасиеттерімен байланысы.....	72
5-ТАРАУ. Сұйықтар мен газдардың механикасы	79
§ 14. Гидродинамика. Сұйық пен газдардың ламинарлық және турбуленттік ағыстары.....	80
§ 15. Үзіліссіздік теңдеуі. Бернулли теңдеуі. Көтергіш күш.....	84
§ 16. Тұтқыр сұйық ағыны. Стокс формуласы. Денелерді қапталдай ағу.....	89
2 БӨЛІМ. ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ	95
6-ТАРАУ. Молекулалық-кинетикалық теория негіздері	95
§ 17. Газдардың молекулалық-кинематикалық теориясының негізгі қағидалары және олардың тәжірибелік дәлелдемелері.....	96
§ 18. Термодинамикалық жүйелер мен термодинамикалық параметрлер. Термодинамикалық жүйелердің тепе-теңдік және тепе-теңдік емес күйлері. Температура – зат бөлшектерінің жылулық қозғалысының орташа кинетикалық энергиясының өлшемі ретінде.....	101
§ 19. Идеал газ. Газдардың молекулалық-кинетикалық теориясының негізгі теңдеуі.....	107
7-ТАРАУ. Газ заңдары	115
§ 20. Идеал газ күйінің теңдеуі.....	116
§ 21. Изопроцестер. Изопроцестердің графиктері. Дальтон заңы.....	120

8-ТАРАУ. Термодинамика негіздері	127
§ 22. Идеал газдың ішкі энергиясы. Термодинамикалық жұмыс. Жылу мөлшері, жылуsыйымдылық.....	128
§ 23. Термодинамиканың бірінші заңы. Термодинамиканың бірінші заңын изопроцестерге қолдану. Адиабаталық процесс, Пуассон теңдеуі.....	133
§ 24. Қайтымды және қайтымсыз процестер. Энтропия. Термодинамиканың екінші заңы. Айналмалы процесс және оның пайдалы әсер коэффициенті, Карно циклі.....	138
9-ТАРАУ. Сұйық және қатты денелер	145
§ 25. Қаныққан және қанықпаған булар, ауаның ылғалдылығы. Фазалық диаграммалар. Үштік нүкте. Заттың кризистік күйі.....	146
§ 26. Сұйықтың беткі қабатының қасиеттері. Жұғу, капиллярлық құбылыстар.....	153
§ 27. Кристалл және аморфты денелер. Қатты денелердің механикалық қасиеттері.....	158
3 БӨЛІМ. ЭЛЕКТР ЖӘНЕ МАГНЕТИЗМ	165
10-ТАРАУ. Электростатика	165
§ 28. Электр заряды. Зарядтың беттік және көлемдік тығыздығы. Зарядтың сақталу заңы. Кулон заңы.....	166
§ 29. Электр өрісі. Біртекті және біртекті емес электр өрісі. Электр өрісінің кернеулігі. Электр өрістерінің суперпозиция принципі.....	172
§ 30. Электр өрісінің кернеулік векторының ағыны. Гаусс теоремасы.....	177
§ 31. Зарядтың орнын ауыстырғандағы электр өрісінің жұмысы. Электр өрісінің потенциалы және потенциалдар айырымы.....	182
§ 32. Эквипотенциал беттер. Біртекті электр өрісі үшін потенциалдар айырымы мен кернеулік арасындағы байланыс.....	187
§ 33. Электр өрісіндегі өткізгіштер мен диэлектриктер.....	191
§ 34. Электрсыйымдылық. Конденсаторлар. Конденсаторларды жалғау.....	196
§ 35. Электр өрісінің энергиясы.....	201
11-ТАРАУ. Тұрақты ток	207
§ 36. Электр тогы. Тізбек бөлігіне арналған Ом заңы. Өткізгіштерді аралас жалғау.....	208
§ 37. Ток көзінің электр қозғаушы күші және ішкі кедергісі.....	212
§ 38. Толық тізбек үшін Ом заңы.....	216
§ 39. Кирхгоф заңдары.....	220
§ 40. Электр тогының жұмысы және қуаты. Джоуль – Ленц заңы. Ток көзінің пайдалы әсер коэффициенті.....	225
12-ТАРАУ. Әртүрлі ортадағы электр тогы	231
§ 41. Металдардағы электр тогы. Асқынөткізгіштік.....	232
§ 42. Жартылай өткізгіштегі электр тогы. Жартылай өткізгіш құралдар.....	237
§ 43. Электролиттердің балқытпасы мен ерітіндісіндегі электр тогы. Электролиз заңдары.....	243
§ 44. Газдардағы электр тогы. Вакуумдағы электр тогы. Электронды-сәулелік түтікше.....	248

13-ТАРАУ. Магнит өрісі	257
§ 45. Токтың өткізгішпен әрекеттесуі, Ампердің және Эрстедтің тәжірибелері. Магнит индукция векторы. Тоғы бар шексіз түзу және дөңгелек өткізгіштің магнит өрісінің индукциясы. Бұрғы ережесі.....	258
§ 46. Ампер күші. Сол қол ережесі.....	264
§ 47. Лоренц күші. Магнит өрісіндегі зарядталған бөлшектердің қозғалысы.....	270
§ 48. Заттардың магниттік қасиеттері. Кюри температурасы.....	277
14-ТАРАУ. Электромагниттік индукция	283
§ 49. Электромагниттік индукция құбылысы. Магнит ағыны. Ампер күшінің жұмысы.....	284
§ 50. Электромагниттік индукция заңы. Ленц ережесі.....	289
§ 51. Өздік индукция құбылысы. Индуктивтілік. Магнит өрісінің энергиясы.....	295
§ 52. Электрқозғалтқыш және тұрақты токтың электргенераторы.....	300
Қосымшалар. Зертханалық жұмыстар және кестелер	305
1-қосымша. Зертханалық жұмыстар.....	306
№ 1 зертханалық жұмыс. Көлбеу науа бойымен қозғалатын дененің үдеуін анықтау.....	306
№ 2 зертханалық жұмыс. Дененің ұшу қашықтығының лақтыру бұрышына тәуелділігін зерттеу.....	307
№ 3 зертханалық жұмыс. Көлбеу науамен домалайтын дененің қозғалысын оқып үйрену.....	308
№ 4. зертханалық жұмыс. Бір-біріне бұрыш жасай бағытталған күштерді қосу.....	310
№ 5 зертханалық жұмыс. Тұтқыр сұйықта қозғалатын кішкене шар жылдамдығының оның радиусына тәуелділігін зерттеу.....	311
№ 6 зертханалық жұмыс. Өткізгіштерді аралас жалғауды зерделеу.....	312
№ 7 зертханалық жұмыс. Ток көзінің электр қозғаушы күші мен ішкі кедергісін анықтау.....	315
№ 8 зертханалық жұмыс. Қыздыру шамының, резистордың, жартылай өткізгішті диодтың вольт-амперлік сипаттамасы.....	316
№ 9 зертханалық жұмыс. Бір валентті ионның электр зарядын өлшеу.....	317
2-қосымша. Физикалық шамалар кестесі.....	319
Пәндік көрсеткіш.....	326
Жаттығулардың жауаптары.....	328
Пайдаланылған әдебиеттер.....	330



Назар аудар

Электронды қосымша жүктелген CD қолжетімсіз болған жағдайда, қосымшаны *arman-pv.kz* сайтынан тауып, өз компьютеріңе жүктеп алуыңа болады

Оқу басылымы

Назифа Анваровна Закирова
Руслан Рауфович Аширов

ФИЗИКА

Жалпы білім беретін мектептің 10-сыныбының
жаратылыстану-математикалық бағытына арналған оқулық

Бас редакторы	К. Қараева
Әдіскер-редакторы	Т. Базарханова
Редакторы	Ж. Құлдарова
Техникалық редакторы	В. Бондарев
Көркемдеуші редакторы	Е. Мельникова
Бильд редакторы	Ш. Есенкулова
Суретші-бездіруші	О. Подопригора
Мұқабаның дизайны	В. Бондарев, О. Подопригора
Беттегендер	Л. Костина, С. Сулейменова, Г. Илишева, Т. Макарова, А. Кейикбойва, Н. Нержанова

Сатып алу үшін мына мекенжайларға хабарласыңыздар:

Нұр-Сұлтан қ., 4 м/а, 2 үй, 55 пәтер.

Тел.: 8 (7172) 92-50-50, 92-50-54. E-mail: astana@arman-pv.kz

Алматы қ., Ақсай-1А м/а, 28Б үй.

Тел.: 8 (727) 316-06-30, 316-06-31. E-mail: info@arman-pv.kz

«Арман-ПВ» кітап дүкені

Алматы қ., Алтынсарин к/сі, 87 үй. Тел.: 8 (727) 303-94-43.

Теруге 15.08.18 берілді. Басуға 05.07.19 қол қойылды. Пішімі 70 x 100 ¹/₁₆. Қағазы офсеттік.

Қаріп түрі «Times New Roman». Офсеттік басылыс. Шартты баспа табағы 27,09.

Таралымы 40000 дана.

Артикул 810-007-002к-19