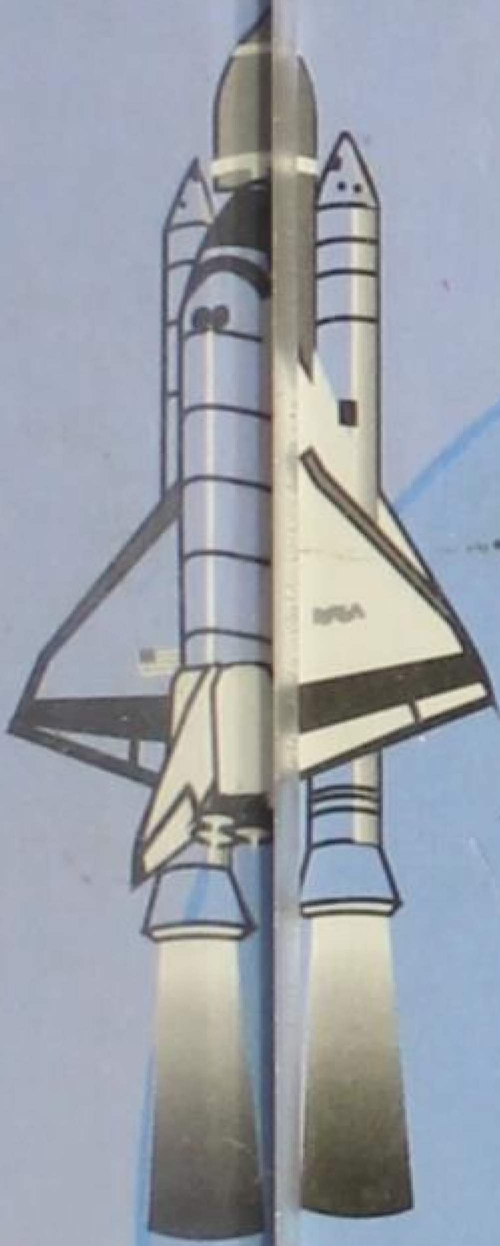
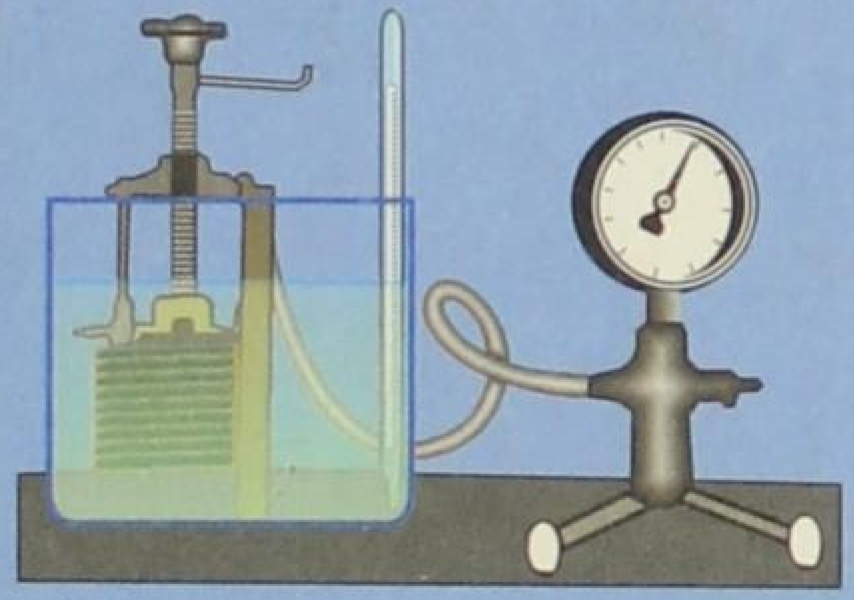
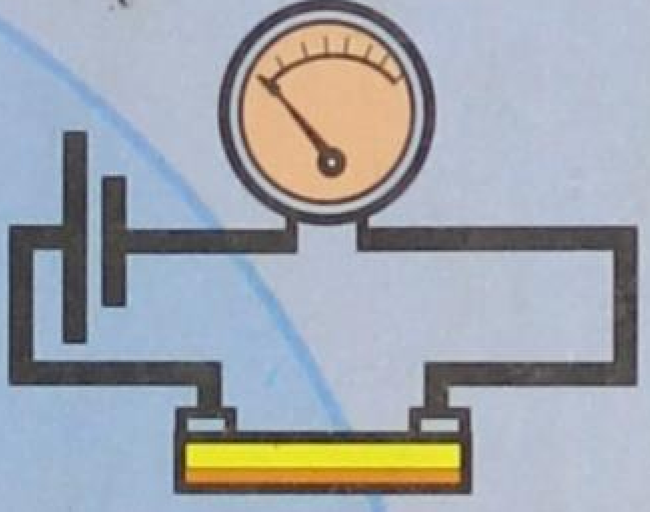
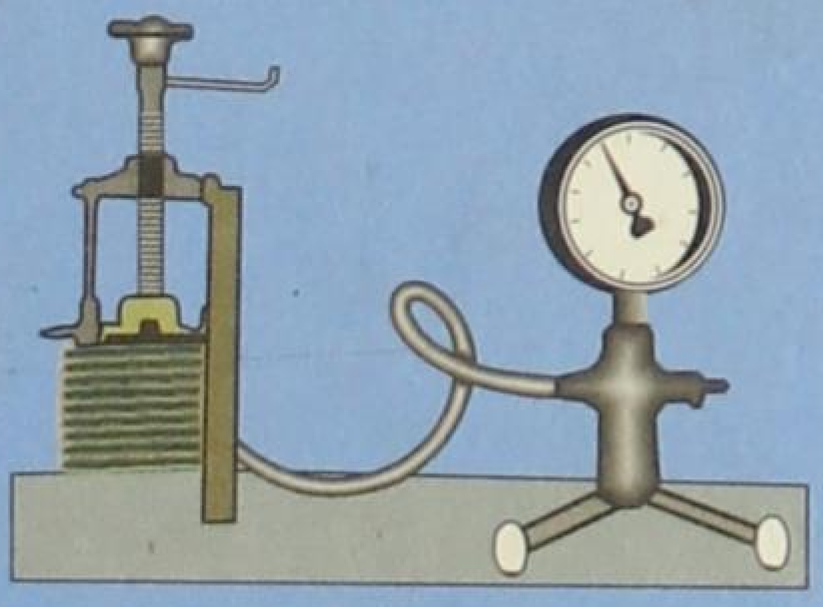
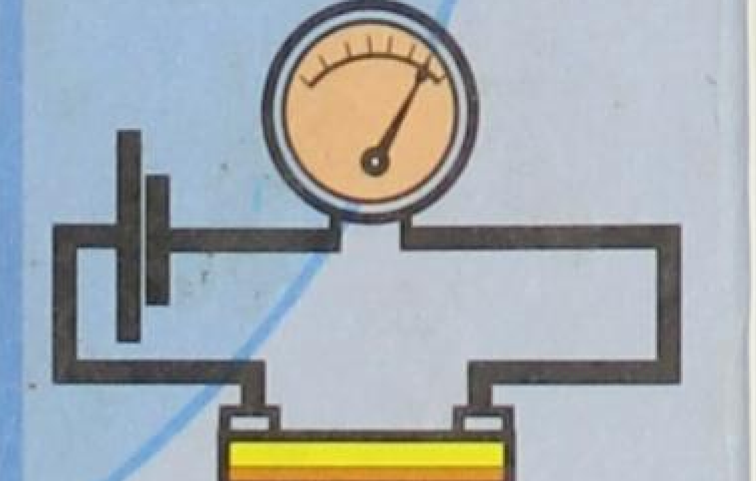
М. Койчуманов,
О. Сулайманова

ФИЗИКА

10

Зат	Буу пайда болуунун салыштырма жылуулугу, *кДж/кг*
Суу	2260
Спирт	860
Азот кислотасы	480
Эфир	360
Сымап	290
Керосин	210

Зат	Кризистик температура, ^{0}C
Гелий	–268
Суутек	–240
Азот	–147
Кычкылтек	–118
Хлор	146
Эфир	194
Сымап	1460

Суюктук	Беттик тартылуу коэффициенти, *Н/м*
Суу (20^0С)	$7,3 \cdot 10^{-2}$
Самындын эритиндиси (20^0С)	$4,0 \cdot 10^{-2}$
Этил спирти (20^0С)	$2,2 \cdot 10^{-2}$
Сымап	$4,70 \cdot 10^{-1}$
Алтын (1130^0С)	1,1

Зат	Сызыктуу кеңейүү коэффициенти, 10^{-6} *град*$^{-1}$
Алюминий	24
Вольфрам	4
Темир	12
Инвар (темир менен никелдин кошулмасы)	0,9
Латунь	18
Жез	17
Айнек	10
Фарфор	3

М. Койчуманов, О. Сулайманова

ФИЗИКА 10

Орто мектептердин 10-классы үчүн окуу китеби

Кыргыз Республикасынын Билим берүү жана илим министрлиги бекиткен

ГИМНАЗИЯ МЕКТЕБИ
город Бишкек шаары
ШКОЛА-ГИМНАЗИЯ № 68

БИШКЕК
«ИНСАНАТ» – 2008

УДК 373. 167.1
ББК 22.3 Я 721
К 60

Койчуманов М., Сулайманова О.

К 60 Физика: Орто мектептердин 10-классы үчүн окуу китеби. – 1-бас. – Б.: «Инсанат», 2008. – 256 б., ил.

ISBN 978-9967-24-680-5

Бул окуу китебине физика курсунун «Кинематиканын негиздери», «Ийри сызыктуу кыймыл», «Динамиканын негиздери», «Жаратылыштагы күчтөр», «Жумуш жана энергия», «Суюктуктардын (газдардын) механикасы», «Механикалык термелүүлөр жана толкундар», «Молекулалык физика», «Идеалдык газдын закондору», «Термодинамиканын негиздери», «Суюктуктар. Суюктуктардын түзүлүшү», «Катуу нерселер», «Электр-динамиканын негиздери», «Туруктуу электр тогу», «Түрдүү чөйрөлөрдөгү электр тогу» главалары боюнча маалыматтар, суроолор, көнүгүүлөр, лабораториялык иштер берилди.

Шарттуу белгилер:

? – суроолор

I – эрежелер

● – эң негизги түшүнүктөр

▲ – көнүгүүлөр

К 43 06021200-08

УДК 373.167.1
ББК 22.3 я 721

© Койчуманов М., Сулайманова О., 2008.
© КР Билим берүү жана илим министрлиги, 2008.
© «Инсанат» басма-полиграфиялык борбору, 2008.

ISBN 978-9967-24-680-5

КИРИШҮҮ

Силер 7–9-класстарда физиканын механикалык кубулуштары, заттардын түзүлүшү жана жылуулук кубулуштары, электр кубулуштары, электр магниттик термелүү жана толкундар, жарык кубулуштар жана квант физикасы бөлүмдөрүн окуп-үйрөнүү менен физика боюнча алгачкы билимдерге ээ болдуңар. Ал эми 10-класста механиканын жалпы закондорун, молекулалык физиканы, термодинамиканы окуп-үйрөнүп, жылуулук процесстери менен таанышып, электрдинамика бөлүмүнөн маанилүү процесстерди окуп-үйрөнөсүңөр.

Физиканын механика бөлүмү төмөнкү үч бөлүктөн турат: кинематика, динамика жана статика.

Кинематика гректин «kinema» (kinematos) – кыймыл деген сөзүнөн алынган.

Нерсенин кыймылынын физикалык себептери жана анын массасы эсепке алынбастан геометриялык жактан эле каралган механиканын бөлүгү кинематика деп аталат.

Динамика гректин «dinamicas» – күчтүү, күчкө тиешелүү деген сөзүнөн алынган.

Нерсенин кыймылынын ага аракет эткен күчкө көзкарандылыгын окутуп-үйрөтүүчү механиканын бөлүгү динамика деп аталат.

Статика гректин «statos» – тынч абалда дегенди билдирген сөзүнөн алынган.

Күчтүн аракети боюнча нерсенин тең салмактуулугун окутуп-үйрөтүүчү механиканын бөлүгү статика деп аталат.

I глава

КИНЕМАТИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ

§ 1. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл

Убакыттын өтүшү менен нерсенин абалынын башка нерсеге салыштырмалуу өзгөрүшү механикалык кыймыл деп аталаары белгилүү. Анын көп мисалдары да VII класста каралган. Механикалык кыймылдардын эң жөнөкөйү – түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл болуп эсептелет.

Убакыттын ар кандай барабар аралыгында нерсе бирдей узундуктагы жолду басып өтсө (же бирдей которулуш жасаса) анын кыймылын бир калыптагы кыймыл дейбиз. Эгерде траекториясы түз сызык болсо, анда ал бир калыптагы түз сызыктуу кыймыл болот.

Мисалы, үйүнөн мектепке түз келе жаткан окуучу түз жол менен 1 мүнөттө 20 *м*, ал эми 2 мүнөттө 40 *м*, 3 мүнөттө 60 *м* ж. б. аралыкты басып өтсө, же Бишкектен Нарынга бара жаткан автобус 1 *саат*та 60 *км*, 2 *саат*та 120 *км*, 3 *саат*та 180 *км* ж. б. аралыктарды түз жол боюнча басып өтсө, алардын кыймылдарын түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл деп эсептөөгө болот. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга мындан башка да мисалдарды келтирүүгө болот.

Ылдамдык. Кыймыл абалын мүнөздөө үчүн **кыймылдагы нерсенин ылдамдыгы** (ϑ) деп аталган физикалык чоңдук киргизилет. Ал багытка ээ болгондуктан вектордук чоңдук, ошондуктан ϑ тамгасынын үстүнө $\rightarrow$ белгиси коюлуп жазылат, б. а. $\vec{\vartheta}$. Ал t убакыт бирдигиндеги нерсенин $\vec{S}$ которулушун, же S басып өткөн жолун мүнөздөйт.

Убакыт бирдигинде нерсенин басып өткөн жолунун (же которулушунун) ошол жолду өтүүгө кеткен убакытка болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы деп аталат. Анда:

$$\boxed{\vec{\vartheta} = \frac{\vec{s}}{t}} \text{ же } \boxed{\vartheta = \frac{s}{t}} . \qquad (1.1)$$

Ылдамдыктын багыты которулуштун багыты менен дал келет. Убакыт скалярдык чоңдук экени белгилүү.

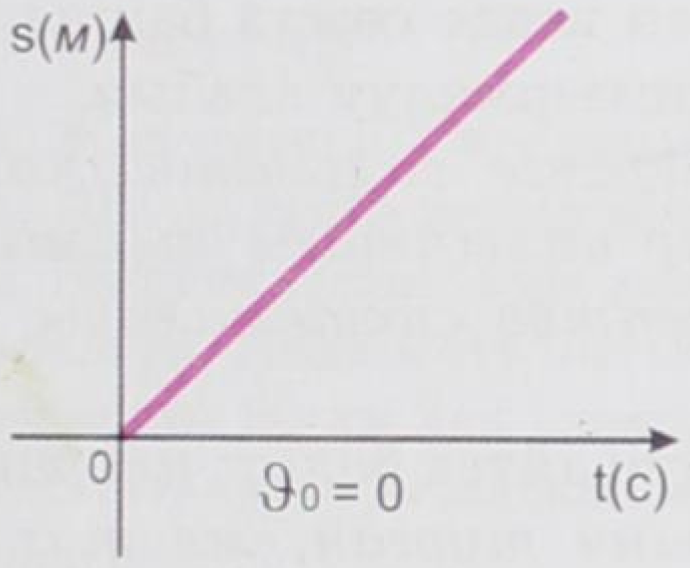
Эгер нерсенин ылдамдыгы ($\vec{\vartheta}$) белгилүү болсо, анда каалагандай t убакыттагы которулушту (жолду) табууга болот, б. а. (1.1) формуладан

$$\boxed{\vec{s} = \vec{\vartheta} \cdot t} \text{ же } \boxed{s = \vartheta \cdot t} . \qquad (1.2)$$

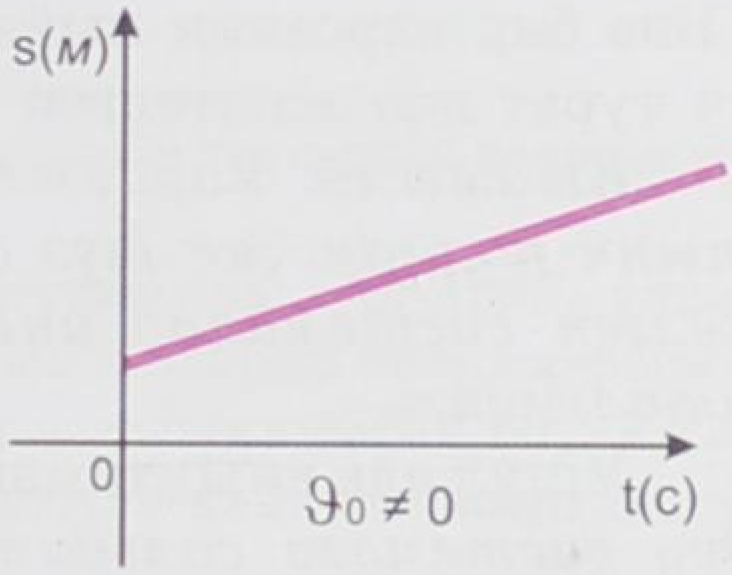
(1.2) формула түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын теңдемеси деп аталат.

Ылдамдыктын бирдигин (1.1) формула боюнча СИде жазсак: $[\vec{\vartheta}]=[1\ м/с]$.

(1.2) формулада $\vec{\vartheta}=const$ болгондуктан өтүлгөн жол, же которулуш убакытка гана көзкаранды. Ошондуктан түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл кезинде өтүлгөн жол, же которулуш убакытка түз пропорциялаш деп окуйбуз (1-, 2-сүрөттөрдө).



1-сүрөт.



2-сүрөт.

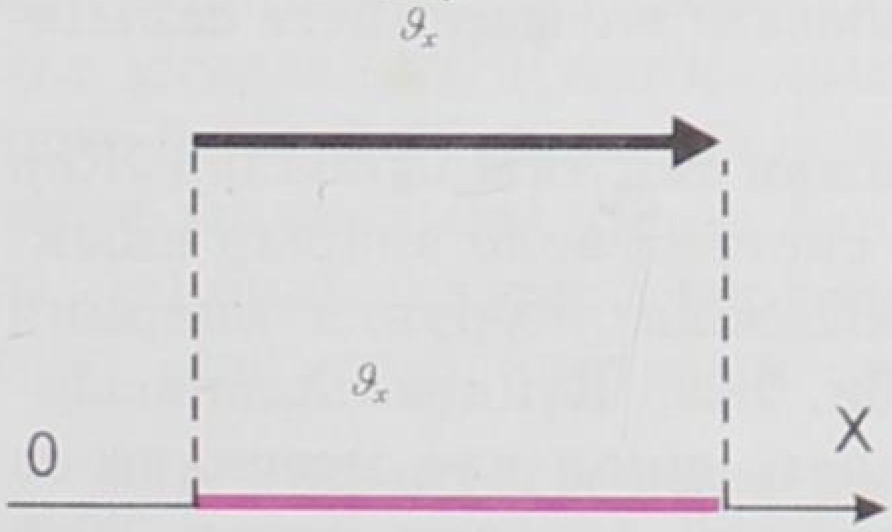
Эсептөөлөр векторлор менен эмес, алардын тигил же бул октогу проекциялары менен жүргүзүлгөндүктөн (себеби проекциялар менен алгебралык амалды аткарууга болот), ушул учур үчүн x огун тандап алган болсок:

$\vec{s} = \vec{\vartheta} \cdot t$ ны $s_x = \vartheta_x t$ деп, ал эми убакыттын ар кандай моментиндеги чекиттин координатасын

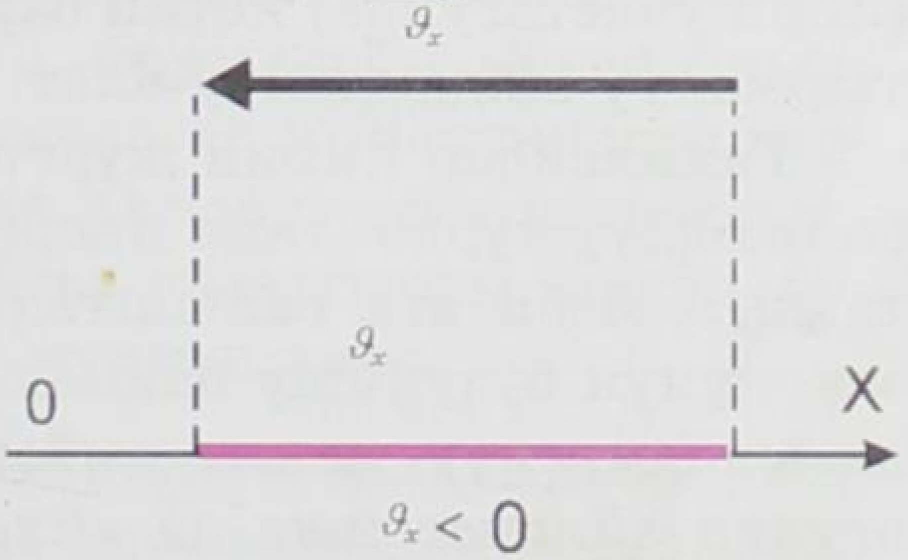
$$x = x_0 + s_x \quad же \quad x = x_0 + \vartheta_x \cdot t \qquad (1.3)$$

деп жазып эсептейбиз.

(1.3)төн $\vartheta_x = \frac{x - x_0}{t}$ келип чыгат. Демек ϑ_x деген t убакыттагы координатанын өзгөрүшүнө барабар. Ал эми (ϑ) ылдамдыктын x огундагы проекциялары (3-, 4-сүрөттөр).



3-сүрөт.



4-сүрөт.

Демек ϑ_x тин багыты оң да, терс да боло алат.

Бирок ылдамдыктын багыты дайыма оң сан болот. Демек, транспорттордогу спидометр ылдамдыктын модулун (сан маанисин) гана көрсөтөт. Спидометрдин көрсөтүүсү боюнча машиненин кыймыл багытын да, убакыттын ар кандай моментиндеги алган ордун да аныктоого мүмкүн эмес.

Инерциялдык жана инерциялдык эмес эсептөө системалары

Биз бир нерсенин кыймылын караган кезде сөзсүз башка бир тынч турат деп эсептелген нерсеге салыштырмалуу алабыз.

Кыймылы каралып жаткан нерсеге салыштырмалуу тынч турган, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келген системалар инерциялдуу эсептөө системалары деп аталышат.

Ушул эле аныктаманы төмөндөгүчө айтса болот: *инерциялдуу системага салыштырмалуу тынч турган, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келген системалардын бардыгы инерциялдуу системалар деп аталышат, же инерция закону аткарылган бардык эсептөө системалары деп аталат.* Мисалы, Галилейдин тажрыйбалары – Жердин инерциялдык эсептөө системасы экенин далилдейт. Бирок Жер жалгыз эле инерциялдык система эмес.

Инерциялдык эсептөө системалары эсепсиз көп. Мисалы, туруктуу ылдамдык менен түз жол боюнча кетип бара жаткан поезд, машине ж.б. да инерциялдуу эсептөө системасы болуп эсептелет.

Эгер кандайдыр бир эсептөө системасы инерциялдуу эсептөө системасына салыштырмалуу ылдамдануу менен кыймылга келсе, мындай системалар инерциялдуу эмес эсептөө системасы деп аталат.

Мисалы, Жерге салыштырмалуу тынч абалдагы нерсе (мисалы, дарактар) тормоздолгон поездге же жолдун бурулушунда (ийри участогунда) кетип бараткан поездге же машинеге салыштырмалуу ылдамдануу алат.

Галилейден кийин жүргүзүлгөн абдан так тажрыйбалар Жер болжолдуу түрдө гана инерциялдуу система боло аларын аныктады, себеби ага салыштырмалуу кыймыл учурунда инерция законунун бузулушу байкалат. Себеби, Жер Күндүн айланасында ылдамдануу менен кыймылга келет, ошол эле мезгилде өз огунун айланасында да айланат. Ошондой болгону менен Жер үчүн инерция законунун бузулушу абдан аз, ошондуктан Жер инерциялык эсептөө системасы болуп эсептеле берет. Так инер-

циялык эсептөө системасы болуп Күнгө жана жылдыздарга салыштырмалуу эсептөө системалары эсептелет.

? 1. Кандай кыймылды түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл дейбиз? Өз турмушуңдан мисал келтир. **2.** Ылдамдык деп кандай физикалык чоңдукту айтабыз? Ал эмнени үйрөтөт? **3.** Жол менен которулуштун окшоштугу жана айырмасы эмнеде? **4.** Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын теңдемеси кандай, аны кантип окуйбуз? Графиги кандай сызык? **5.** Спидометр эмне үчүн керек, ал эмнени көрсөтөт? 6. Эмне үчүн физикалык чоңдуктардын октогу проекцияларын алабыз?

1-көнүгүү

1. Жөргөмүш 0,2 *м/с* туруктуу ылдамдык менен түз сызык боюнча жөргөлөп, 10 *с* да канча жолду өтөт?

2. Бишкек шаары үчүн координатанын башталышы «Айчүрөк» универмагы болсун. Анда *x* огу чыгышка багытталсын. Шаарды тегерек формада деп радиусун 20 *км* деп алсак, анын четинен чыгышка карай 60 *км/саат* ылдамдыкта түз бара жаткан машиненин 2 *саат*тан кийинки координатасы *x* кандай болот?

3. Байкоочудан 1700 *км* аралыктагы чагылгандын күркүрөгөн үнүн байкоочу 5 *с*дан кийин укту. Күркүрөөнүн ылдамдыгы канчага созулат?

4. Як-40 самолету Оштон Бишкекке 40 *мүн* убакытта келип жетет. Эгерде Ош – Бишкек аба жолунун узундугу 462 *км* болсо, Як-40 тын ылдамдыгы канчалык?

§ 2. Түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймыл

Айлана-чөйрөбүздө, турмушта түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга караганда түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймылдар көп кездешет.

Убакыттын барабар аралыгында нерсе барабар эмес узундуктагы которулуш жасаса (барабар эмес жолду басып өтсө) бир калыптагы эмес кыймыл деп аталат.

Мисалы, адатта бардык эле транспорт: самолет, жеңил же оор машинелер жана адамдар бир калыпта эмес кыймылдашат. Бул учурда анын которулушун $\vec{s} = \vec{\vartheta} \cdot t$ формуласы менен аныктоого болбойт. Себеби убакыттын (t) каалаган моментиндеги нерсенин ылдамдыгы $(\vec{\vartheta})$ ар башка болот. Ошондуктан ылдамдыкты $(\vec{\vartheta})$ билбей туруп, нерсенин каалаган убакыттагы которулушун, же координатасын эсептөөгө мүмкүн эмес.

Бир калыптагы эмес кыймыл кезиндеги ылдамдык. Эгер кыймыл түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймыл болсо, анда нерсенин орточо жана кирпик каккычактагы деп аталган ылдамдыктары жөнүндө сөз кетет. Алардын маани-маңызын карайлы.

Орточо ылдамдык. Мисалы, автобус 300 *км* узундуктагы жолду 5 *саат*та басып өтсө, анын орточо ылдамдыгы ($\vec{\vartheta}_{орт}$) $\vec{\vartheta}_{орт} = \frac{s}{t}$ формуласы менен аныкталат. $\vec{\vartheta}_{орт} = \frac{300}{5}\left(\frac{км}{саат}\right) = 60\frac{км}{саат}$ бул, автобус орто эсеп менен саатына 60 *км* жолду басат дегенди түшүндүрөт. Бирок, автобус бул 300 *км* жолдун кайсы бир участогун 50 $\frac{км}{саат}$ ылдамдык менен өтүшү, же анын арасында бир нече убакыт токтоп турган болушу да мүмкүн. Дегинкиси, автобус 60 $\frac{км}{саат}$ ылдамдык менен такыр эле жүрбөгөн болушу да мүмкүн. Демек 60 $\frac{км}{саат}$ – бул автобустун бардык өткөн жолунун узундугун (300 *км*) ошол жолду өтүүгө жумшалган убакытка (5 *саат*) бөлүп тапкан маани болуп эсептелет.

Жалпысынан орточо ылдамдыкты аныктоо үчүн төмөнкү формуланы пайдалануу ыңгайлуу:

$$\vec{\vartheta}_{орт} = \frac{\vec{\vartheta}_1 t_1 + \vec{\vartheta}_2 t_2 + \ldots + \vec{\vartheta}_n t_n}{(t_1 + t_2 + \ldots + t_n)}.$$

Орточо ылдамдык $\left(\vec{\vartheta}_{орт}\right)$ орточо арифметикалык ылдамдыктан $\bar{\vartheta}$ айырмалуу. Б. а., орточо арифметикалык ылдамдык $\bar{\vartheta} = \frac{\vec{\vartheta} + \vec{\vartheta}_0}{2}$ формуласы боюнча аныкталат, мында $\vec{\vartheta}$ – акыркы кыймыл кезиндеги ылдамдык, ал эми $\vec{\vartheta}_0$ – баштапкы кыймыл кезиндеги ылдамдык.

Орточо ылдамдыктын орточо арифметикалык ылдамдыктан айырмасы бар экенин түшүнүү үчүн төмөнкү мисалды карайлы.

Нерсе жолдун биринчи жарымын 40 $\frac{км}{саат}$, ал эми экинчи жарымын – 60 $\frac{км}{саат}$ ылдамдык менен өткөн. Нерсенин орточо жана арифметикалык орточо ылдамдыгы канча болот?

Берилди:	Чыгаруу:
$\vartheta_1 = 40\frac{км}{саат}$ $\vartheta_2 = 60\frac{км}{саат}$ $s_1 = s_2 = \frac{s}{2}$ ——— $\vartheta_{орт}$ – ? $\bar{\vartheta}$ – ?	Эгер нерсе жалпы t убактысында s жолду басып өтсө, анын орточо ылдамдыгы $\vartheta_{орт} = \frac{s}{t}$ формуласы менен аныкталат, бирок $t = t_1 + t_2$ болгондуктан, б. а. t_1 – жолдун биринчи жарымын ϑ_1 ылдамдыгы менен өткөндөгү убакыт, ал $t_1 = \frac{s_1}{\vartheta_1}$ же $t_1 = \frac{s}{2\vartheta_1}$ себеби, $s_1 = \frac{s}{2}$, анда

$t_2 = \frac{s}{2\vartheta_2}$ болот. Бул учурда $t = t_1 + t_2$ болгондуктан, $t = \frac{s}{2\vartheta_1} + \frac{s}{2\vartheta_2}$.

Анда $\vartheta_{орт} = \frac{S}{(s/2\vartheta_1 + s/2\vartheta_2)}$, мындан $\vartheta_{орт} = \frac{2\vartheta_1\vartheta_2}{\vartheta_1 + \vartheta_2}$ сан маанилерин коюп эсептөөнү жүргүзсөк:

$$\vartheta_{орт} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 60 \left(\frac{км}{саат}\right)^2}{100 \frac{км}{саат}} = 48 \frac{км}{саат}$$ болот, б.а. $\vartheta_{орт} = 48 \frac{км}{саат}$.

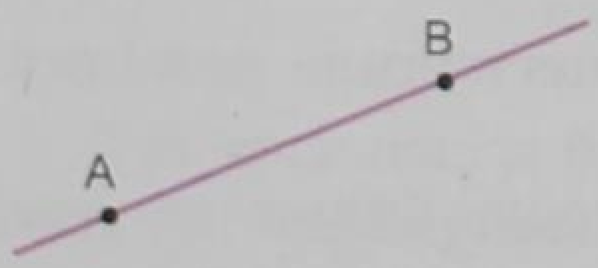
Ал эми $\bar{\vartheta} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$ боюнча $\bar{\vartheta} = 50 \frac{км}{саат}$. Демек айырма $2 \frac{км}{саат}$ экен. Эми $\vartheta_{орт}$ орточо ылдамдыкты билген соң $\vec{s} = \vec{\vartheta}_{орт} \cdot t$ формуласы менен которулушту аныктоого болот. Бирок кыймылдагы нерсенин ар кандай убакыт моментиндеги которулушун жана координатасын орточо ылдамдык менен аныктоого болбойт.

Кирпик каккычактагы ылдамдык. Механикалык кыймыл үзгүлтүксүз процесс. Мисалы, траекториянын *AB* участогунда кыймылдагы машине *A* чекитинде 5 *м/с*, кийинки *B* чекитинде 30 *м/с* ылдамдык менен жүрүшү мүмкүн (5-сүрөт). Ал эми *AB* нын аралыгында анын ылдамдыктары 5 менен 30дун аралыгында болушу да, болбошу да мүмкүн, кыскасы машине *AB*нын аралыгында бир чекитти секирип өткөн жок. Анын кыймылынын үзгүлтүксүздүгү ушунда. Демек траекториянын ар бир чекитинде, убакыттын ар бир моментинде нерсенин ылдамдыгы белгилүү бир мааниге ээ.

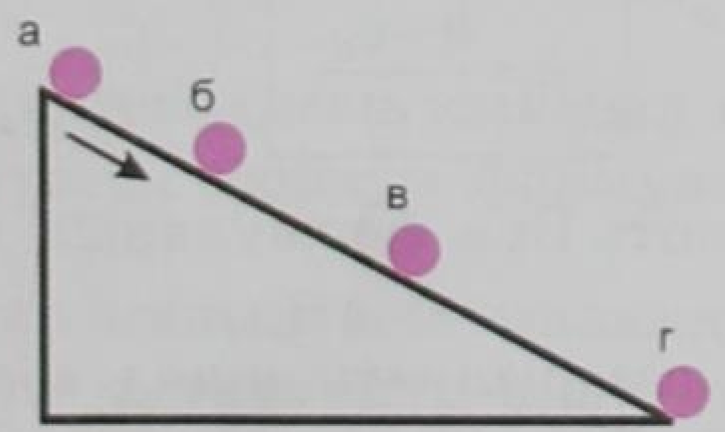
Убакыттын берилген моментиндеги, же траекториянын берилген чекитиндеги ылдамдык анын кирпик каккычактагы ылдамдыгы деп аталат.

AB траекториясынын аралыгын улам кичирейте берип (ага жараша убакыт да кыскара берет), чекитке чейин жеткирүүгө болот. Ошондо траекториянын берилген чекитиндеги, ошол чекитке жеткен убакыт моментиндеги ылдамдыкка жетебиз.

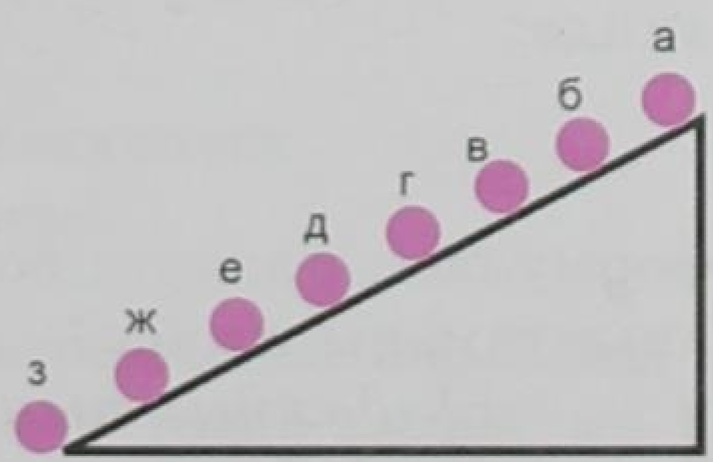
Кирпик каккычактагы ылдамдык – вектор. Транспорттогу спидометр – ылдамдыкты көрсөтүүчү курал так ошол кирпик



5-сүрөт.



6-сүрөт.
Шардын 0,1 секунддагы абалы.



7-сүрөт.
Шардын ар бир 0,02 с өткөндөгү абалы.

10-А Айдана К.

каккычактагы ылдамдыкты көрсөтөт. Мисалы, поезд светофордун жанынан 90 $\frac{км}{саат}$ ылдамдык менен өттү. Ок мылтыктан 700 $\frac{м}{с}$ ылдамдык менен учуп чыгат ж. б.

Кирпик каккычактагы кыймылды тагыраак түшүнүү үчүн төмөнкү тажрыйбаларды карап көрөлү.

Жантык ноочодон шардын 0,1 *с* жана 0,02 *с* убакыттагы абалдары чиймеде төмөнкүдөй абалда болоору белгилүү болгон (6–7-сүрөттөр).

Демек, убакыт канча кыска болсо, өтүлгөн жол ошончо кичине болот да, кирпик каккычактагы ылдамдыкты аныктаганга болот.

§ 3. Түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймыл. Ылдамдануу

Түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймыл кезинде нерсенин кирпик каккычактагы ылдамдыгы тынымсыз өзгөрүп турат. Ал өзгөрүүнү билиш үчүн убакыт бирдигиндеги ылдамдыктын өзгөрүшүн билүү керек.

Жөнөкөй болсун үчүн ар кандай барабар убакыт ичинде ылдамдыгы бирдей чондукка өзгөрүүчү кыймылдарды карайлы.

Убакыттын ар кандай барабар аралыгында ылдамдыгы бирдей чоңдукка арта берүүчү кыймылды нерсенин түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймылы дейбиз, тескерисинче ылдамдыгы бирдей чоңдукка кемий (кичирейе) берүүчү кыймылды түз сызыктуу бир калыптагы акырындатылган кыймыл дейбиз.

Эгерде $t = 0$ кезиндеги ылдамдыкты $\vec{\vartheta}_0$, ал эми t убакыттан кийинки ылдамдыгын $\vec{\vartheta}$ десек, анда убакыттын ар бир бирдигиндеги ылдамдыктын өзгөрүшү $\frac{\vec{\vartheta}-\vec{\vartheta}_0}{t}$ болот да, бул чондук ылдамдыктын өзгөрүшүнүн тездигин мүнөздөйт. Эгер ал катышты $\vec{a}$ тамгасы менен белгилесек, анда жогорку тактоонун негизинде:

$$\boxed{\vec{a}=\frac{\vec{\vartheta}-\vec{\vartheta}_0}{t}} \qquad (1.4)$$

формуласын алууга болот. Бул формуланын негизинде төмөнкү аныктаманы алабыз:

Ылдамдыктын өзгөрүшүнүн ошол өзгөрүү болуп өтүүгө кеткен убакытка болгон катышы менен ченелүүчү туруктуу чоңдук ылдамдануу деп аталат.

(1.4) формуладан $\vec{a}t=\vec{\vartheta}-\vec{\vartheta}_0$ болгондуктан, $\vec{\vartheta}=\vec{\vartheta}_0+\vec{a}t$ болот, бул

болсо баштапкы ылдамдык $\vec{\vartheta}_0$ менен ылдамдануу $\vec{a}$ белгилүү болсо, анда каалаган убакыт t моментиндеги ылдамдыкты табууга болот дегенди билдирет.

Демек, кирпик каккычактагы $\vec{\vartheta}$ ылдамдыгын эсептөө үчүн ылдамданууну билишибиз керек.

Ылдамдануунун $\vec{a}$ СИдеги бирдигин (1.4) формуласынын жардамы менен табабыз. Ылдамдануунун $\vec{a}$ бирдиги үчүн 1 *с* убакытта ылдамдыгы $1\frac{м}{с}$ га өзгөргөн ылдамдатылган кыймылдын ылдамдануусу кабыл алынат, б. а. $\vec{a} = \left[1(м/с)/с\right] = \left[1м/с^2\right]$.

Ал эми $\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 + \vec{a}t$ формуласынын x огундагы проекциясы төмөнкүдөй болот:

$$\vec{\vartheta}_x = \vec{\vartheta}_{0x} + \vec{a}_x t .$$

Эгер $\vec{a} > 0$ (он) болсо, кыймыл ылдамдатылган, ал эми $\vec{a} < 0$ (терс) болсо, кыймыл акырындатылган болот.

Ылдамдануу-векторунун багыты ылдамдык-векторунун багыты менен дал келет, себеби (1.4) формуласындагы $\frac{1}{t}$ – скалярдык чоңдук.

? 1. Түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймыл деп кандай кыймылды айтабыз? 2. Түз сызыктуу бир калыптагы акырындатылган кыймыл деп кандай кыймылды айтабыз? 3. Ылдамданууну эмне үчүн билишибиз керек? 4. Ылдамдануу деп кандай физикалык чоңдукту айтабыз? 5. Ылдамдануу-векторунун багыты кандай?

▲ **2-к ө н ү г ү ү**

1. 20 *с* убакыттын ичинде автомобилдин ылдамдыгы 20 $\frac{м}{с}$ дан 10 $\frac{м}{с}$ га азайса, ал кандай орточо ылдамдануу менен кыймылдаган болот?

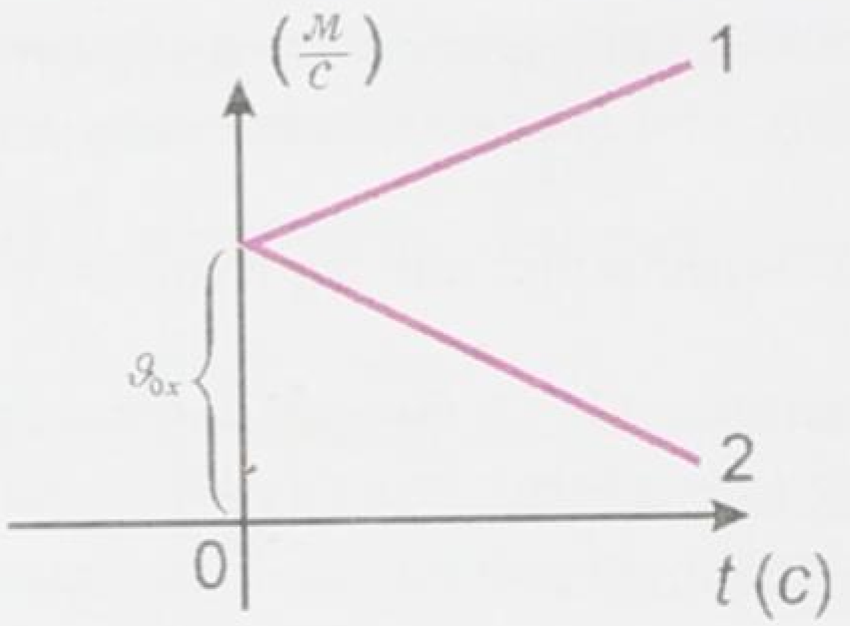
2. 0,8 $\frac{м}{с^2}$ ылдамдануу менен бара жаткан машине канча убакыттан кийин өзүнүн ылдамдыгын 24 $\frac{м}{с}$ дан 40 $\frac{м}{с}$ га чоңойтот?

3. Баштапкы ылдамдыгы нөлгө, ылдамдануусу 5 $\frac{м}{с^2}$ ка барабар болгон нерсе 0,5 *саат* түз сызыктуу бир калыпта кыймылдаса, ал кандай ылдамдыкка жетише алат?

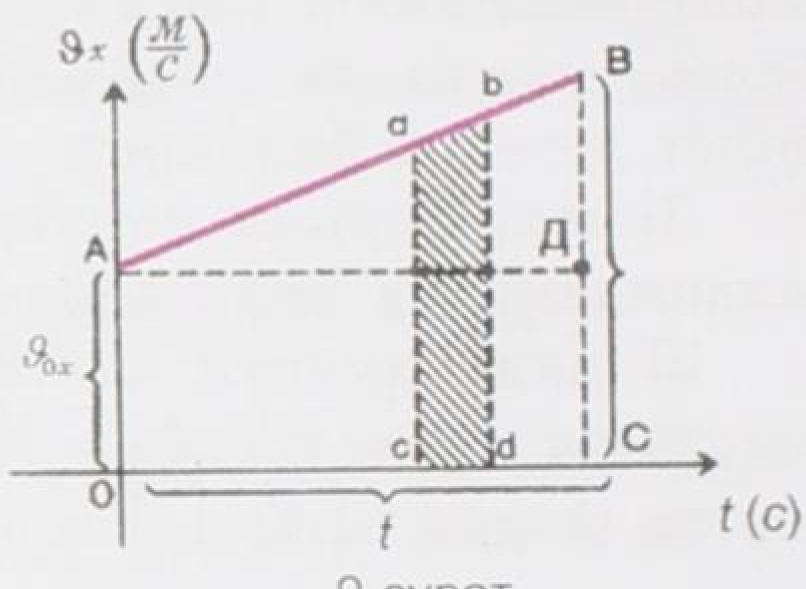
§ 4. Ылдамдатылган кыймыл кезиндеги өтүлгөн жолдун формуласы

Түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймылдын жолунун формуласын чыгаруунун оңой жолу графикалык методду пайдалануу болуп эсептелет (8-сүрөт).

Мурунку темада өтүлгөндөргө таянып, графиктеги 1-сызык түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган, ал эми 2-сызык



8-сүрөт.



9-сүрөт.

акырындатылган кыймылдардын ылдамдыктарынын проекцияларына туура келээрин билебиз. Эки учурда тең баштапкы ылдамдык ϑ_{0x}ке барабар болуп турат, бирок 1-де ылдамдануу оң, 2-де ылдамдануу терс болот.

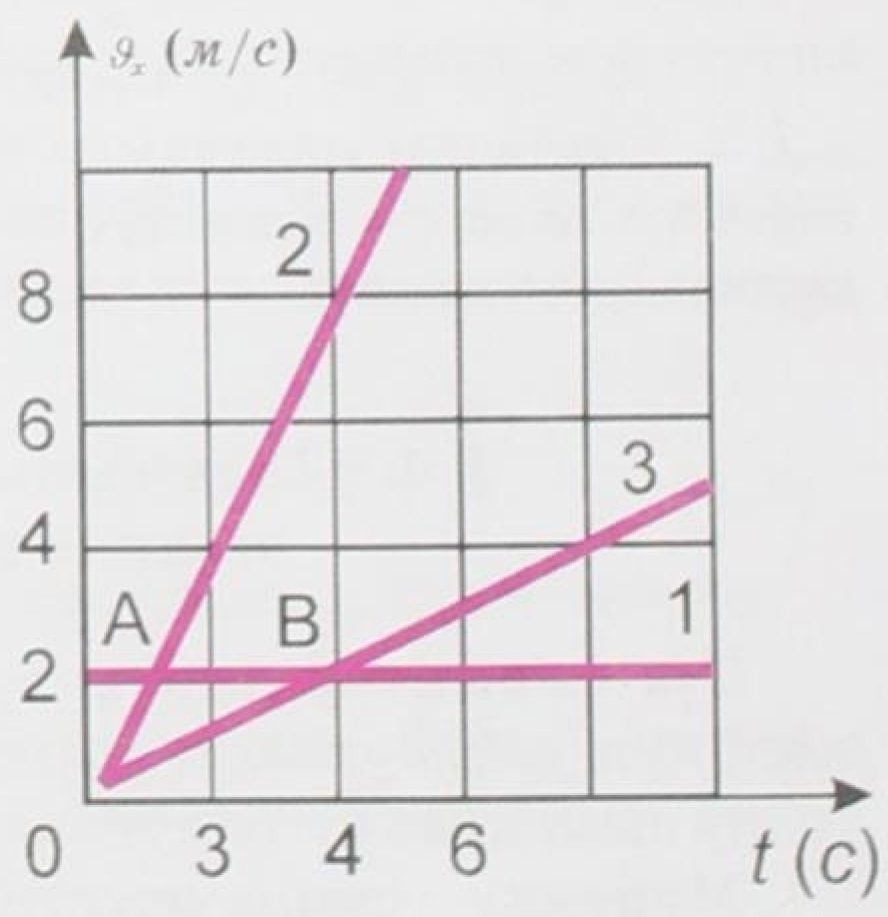
Эми мына ошол ылдамдатылган кыймылдын ылдамдыгынын графигин пайдаланып, каалагандай t убакытта өтүлгөн жолдун формуласын чыгарабыз.

9-сүрөттөгү графиктин жардамы менен *ОАВС* трапециясынын аянтын табалы. Бул үчүн *ОАДС* төрт бурчтугунун аянты менен *АВД* үч бурчтугунун аянтын кошуу жолу менен чыгарса жеңил болот. Анда: $s_x = s_{ОАДС} + s_{АВД}$, ал эми чийме боюнча:

$$s_{ОСДА} = \vartheta_{0x} \cdot t; \quad s_{АВД} = t \cdot \frac{at}{2} = \frac{a_x t^2}{2}, \text{ б. а. } s_x = \vartheta_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2};$$

Демек:
$$\boxed{s_x = \vartheta_{0x} \cdot t + \frac{a_x t^2}{2}}. \quad (1.5)$$

Бул формула сан жагынан түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймылдын өтүлгөн жолун (которулушун) эсептөөчү формула болуп эсептелет. Эгер баштапкы ылдамдык $\vartheta_{0x} = 0$ болсо, анда $s_x = \frac{a_x t^2}{2}$ түрүнө ээ болот. Ал эми $\vartheta_x = \vartheta_{0x} + a_x t$ формуласы болсо $\vartheta_x = a_x t$ болуп калат. Мындай кыймылдын графиги 10-сүрөттө көрсөтүлгөн.



10-сүрөт.

Эгер убакыттын (t) ар кандай моментинде координатаны (x) эсептөө керек болсо, анда баштапкы координатага (x_0) s_xти кошуу керек, б. а.

же $\boxed{x = x_0 + s_x}$ • $\boxed{x = x_0 + \vartheta_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}}$. (1.6)

Бул формуланын жардамы менен түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймыл кезинде убакыттын ар кандай моментиндеги нерсенин абалын аныктоого болот.

Демек, x ти табыш үчүн x_0 баштапкы координатаны, ϑ_0 баштапкы ылдамдыкты, a ылдамданууну билиш керек.

Которулушту табуунун башкача жолу да бар.

Эгер баштапкы жана акыркы ылдамдыктар берилсе, анда кыймыл башталгандан берки убакыт белгисиз болсо деле бир калыпта ылдамдатылган кыймылдагы нерсенин которулушун аныктоого болот. Ал үчүн графиктеги трапециянын аянтынын проекциясын пайдаланабыз:

$$\boxed{s_x = \left(\vartheta_{0x} + \vartheta_x\right) \cdot t} \tag{1.7}$$

болгондуктан $\vartheta_x = \vartheta_{0x} + a_x t$ формуласынан убакытты t таап $\left(t = \dfrac{\vartheta_x - \vartheta_{0x}}{a_x}\right)$, бул маанини (1.7) ге койсок: $s_x = \dfrac{\vartheta_x - \vartheta_{0x}}{2} \cdot \dfrac{\vartheta_x - \vartheta_{0x}}{a_x}$,

б. а.

$$\boxed{s_x = \frac{\vartheta_x{}^2 - \vartheta_{0x}{}^2}{2a_x}}, \tag{1.8}$$

мындан

$$\boxed{\vartheta_x{}^2 - \vartheta_{0x}{}^2 = 2a_x \cdot s_x}. \tag{1.9}$$

Демек, эгер нерсенин баштапкы жана акыркы ылдамдыктары, нерсе өткөн ар бир чекиттеги ылдамдануу белгилүү болсо, анда нерсенин которулушун аныктай турган (1.8) формуланы алабыз.

Эгер $\vartheta_{0x} = 0$ болсо, б. а. нерсенин баштапкы ылдамдыгы нөлгө барабар болсо, жогорудагы формулаларды төмөнкүдөй жазууга болот:

$$s_x = \frac{\vartheta_x{}^2}{2a_2} \quad \text{жана} \quad \vartheta_x{}^2 = 2a_x \cdot s_x .$$

$$\boxed{\vartheta_x = \vartheta_{0x} + a_x t}, \quad \boxed{s_x = \vartheta_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}} \; . \tag{1.10}$$

Ошентип биз түз сызыктуу бир калыпта ылдамдатылган кыймылдын теңдемелери деп аталган формулаларга ээ болобуз.

? 1. Түз сызыктуу бир калыптагы жана түз сызыктуу бир калыпта ылдамдатылган кыймылдардын графиктеринде кандай айырма бар? **2**. Эгер ылдамдатылган кыймылдын баштапкы ылдамдыгы нөлгө барабар болсо, анын ылдамдыгынын графиги кандай болот? **3**. Кыймылдын баштапкы ылдамдыгы нөлдөн айырмалуу болсо, ылдамдыгынын графиги кандай болот? **4**. Түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймылдын жолунун (которулушунун) формуласын чыгаруунун кандай жолу бар?

3-көнүгүү

1. Баштапкы ылдамдыгы $2\frac{м}{с}$, ылдамдануусу $0,5\ \frac{м}{с^2}$ болгон кыймылдын ылдамдыгынын графигин түзгүлө.

2. Баштапкы ылдамдыгы $\vartheta_0 = 0$, ылдамдануусу $20\frac{м}{с^2}$ болгон кыймылдын ылдамдыгынын графигин түзгүлө ошондой эле графикте 5 *с* убакытта өтүлгөн жолдун же которулуштун графигин түзгүлө.

3. Токтоп турган теплоход $0,1\frac{м}{с^2}$ ылдамдануу менен ылдамдатылган кыймылга келип 18 *км/саат* ылдамдыкты өөрчүтө алды. Бул ылдамдыкка ал канча убакытта жеткен? Ошол убакытта кандай жолду басып өткөн?

4. Мотоциклчен кыймылга келип, туруктуу $0,8\frac{м}{с^2}$ ылдамдануу менен жолдун 1 *км*ин өтөт. Бул жолду өтүүгө канча убакыт кеткен? Жолдун акырындагы мотоциклчендин ылдамдыгы канча болгон?

5. Самолет учаар алдында учуу тилкесин 15 *с* да өтөт да, жерден көтөрүлгөн моментте $100\ \frac{м}{с}$ ылдамдыкка ээ болот. Самолет кандай ылдамдануу менен кыймылдаган жана учуу тилкесинин узундугу канча болгон?

6. Нерсе тынч абалынан $5\ \frac{м}{с^2}$ ылдамдануу менен өз кыймылын баштаган. 10 секундадан кийин ал канча жолду өтөт?

7. Нерсе кыймылын тынч абалынан бир калыптагы ылдамдануу менен баштап, 15 *с* дан кийин 225 *м* аралыкты өтөт. Кыймыл башталгандан 4 *с* өткөндөн кийин кандай аралыкты өткөн?

8. Узундугу 50 *см* болгон автоматтын стволунан ок $600\ \frac{м}{с}$ ылдамдыкта учуп чыгат. Октун стволдун ичиндеги кыймылын бир калыпта ылдамдатылган деп эсептесек, анын ылдамдануусу эмнеге барабар болот?

9. Чабылып жүргөн ат чу дегенде 30 *м* аралыкты өткөндөн кийин $15\ \frac{м}{с}$ эң чоң ылдамдыкка ээ болоорун байкоолор көрсөттү. Ушул аралыкта ат кандай туруктуу ылдамдануу менен чуркайт?

10. Графикте үч нерсенин кыймылынын ылдамдыктарынын проекцияларынын графиктери көрсөтүлгөн. Бул нерселердин кыймылдарынын мүнөзү кандай? Графиктин *А* жана *В* чекиттериндеги ылдамдыктары жөнүндө эмне айтууга болот? Нерселердин ылдамдануударын аныктагыла. Бул нерселердин ылдамдыктары жана которулуштары үчүн туюнтмаларды (формулаларды) жазгыла.

§ 5. Векторлор. Векторлорду кошуу жана кемитүү

Сан мааниси гана эмес, багыты менен да аныкталган кесинди вектордук чоңдук деп аталат.

Векторлор кандайдыр бир чекиттен башталып учунда жебеси бар түз сызыктын кесиндиси менен сүрөттөлөт. Жебе – багытын, башталышы – тиркелген чекитти, ал эми сызыктын узундугу тандалып алынган масштабга ылайык сан маанисин

(модулун) көрсөтөт. Вектордук чондуктардын мисалдары: которулуш – $\vec{S}$, ылдамдык – $\vec{\vartheta}$, ылдамдануу – $\vec{a}$, күч – $\vec{F}$ ж. б. Демек, вектордук чондук үстүндө жебеси бар кесиндиге коюлган тамга менен белгиленет. Ал эми вектордук чондуктун модулу ошол эле, бирок үстүндө жебеси жок тамга менен белгиленет.

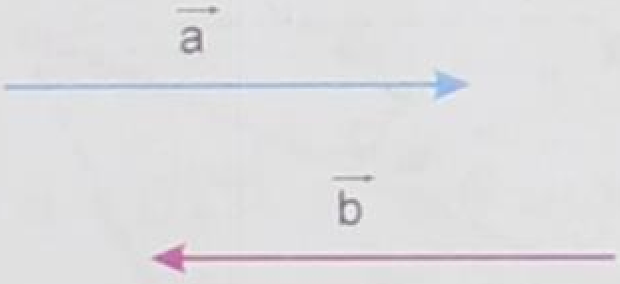
Сан мааниси менен гана аныкталган чоңдук скалярдык чоңдук деп аталат. Ага мисалдар: жол – s, масса – m, убакыт – t, температура – t°C, жумуш – A ж. б. кирет.

● Вектордук чондуктун модулу да скалярдык чондук болуп эсептелет.

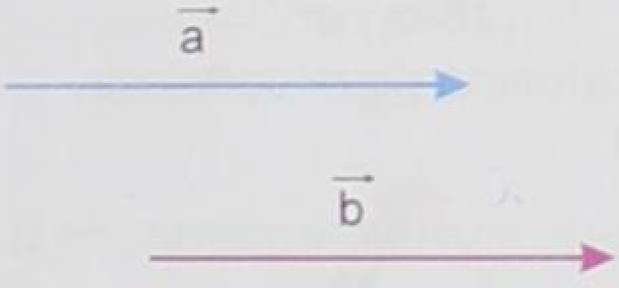
Векторлорду кошуу

Бир түз сызыкты бойлото жайгашкан же өзара параллель векторлор коллинеардык векторлор деп аталат (11–12-сүрөттөр).

Бирдей багыттагы (коллинеардуу) векторлорду кошуу үчүн бир вектордун учун экинчисинин башталышы менен бириктиребиз. Ошондо (13-*а*, сүрөт) $\vec{c}=\vec{a}+\vec{b}$, мында $\vec{c}$ – натыйжалоочу вектор, анын багыты $\vec{a}$ жана $\vec{b}$ векторлорунун багыты боюнча багытталат. $\vec{c}=\vec{a}-\vec{b}$, мында $\vec{c}$ вектору $\vec{a}$ жана $\vec{b}$ векторлорунун айырмасына барабар болуп, чоң вектордун багыты боюнча багытталып калат. Демек, $\vec{c}=\vec{a}-\vec{b}$ десек болот (13-*б*, сүрөт).



11-сүрөт.

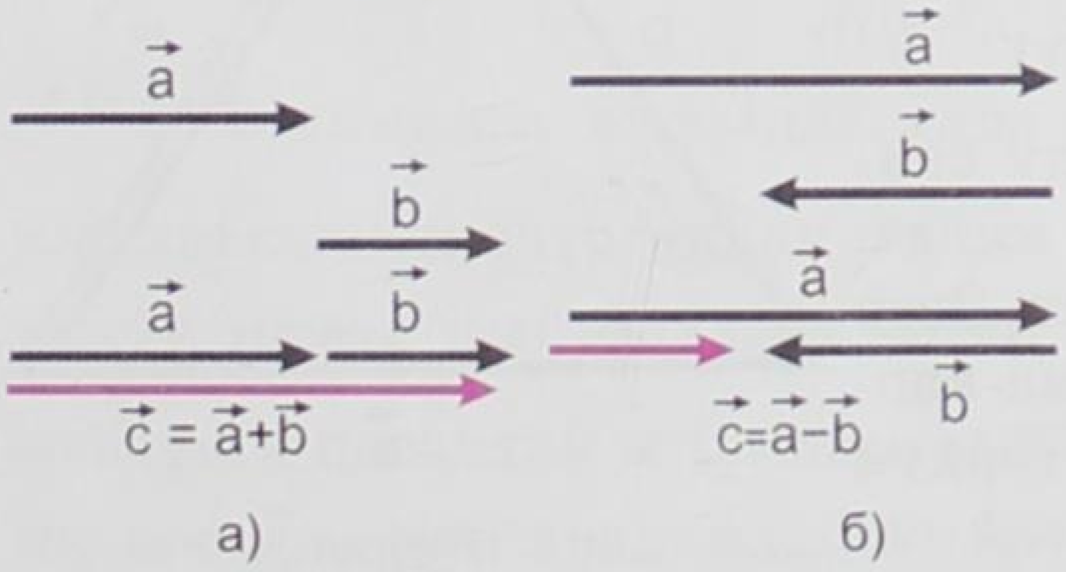


12-сүрөт

● Ошентип коллинеардуу эки вектордун натыйжалоочусу алардын суммасына барабар болуп, багыты экөөнүн багыты менен дал келет.

● Карама-каршы багытталган коллинеардуу эки вектордун суммасы алардын айырмасына барабар болуп, натыйжалоочусунун багыты векторлордун чонунун багыты менен дал келет.

Эгер векторлор өзара бурч боюнча багытталып калышса (мис., 14-сүрөт), бул эки векторду кошуу үчүн бир вектордун учун экинчинин башталышы менен бириктиребиз. Бул векторлорду кошуунун *үч бурчтук эрежеси* деп аталат.



13-сүрөт.

Каалаган векторду модулун өзгөртпөстөн өзүнө-өзүн жарыш кылып башка жак-

ка которууга болот. Биздин учурубузда, каалаган $\vec{a}$ векторун, каалаган $\vec{b}$ векторун которобуз (15-сүрөт).

Мисалы, $\vec{a}$ вектору ордунда, же $\vec{b}$ вектору ордунда десек, жогорку векторлорду кошуу эрежеси сакталат. Эми $\vec{a}$ векторунун башталышы менен $\vec{b}$ векторунун учун бириктирип, $\vec{c}$ натыйжалоочу векторун алдык. Анын багыты экөөнүн багыты менен дал келет. Б. а. $\vec{c}=\vec{a}+\vec{b}$ болот. Бул *үч бурчтук эрежеси деп аталат.*

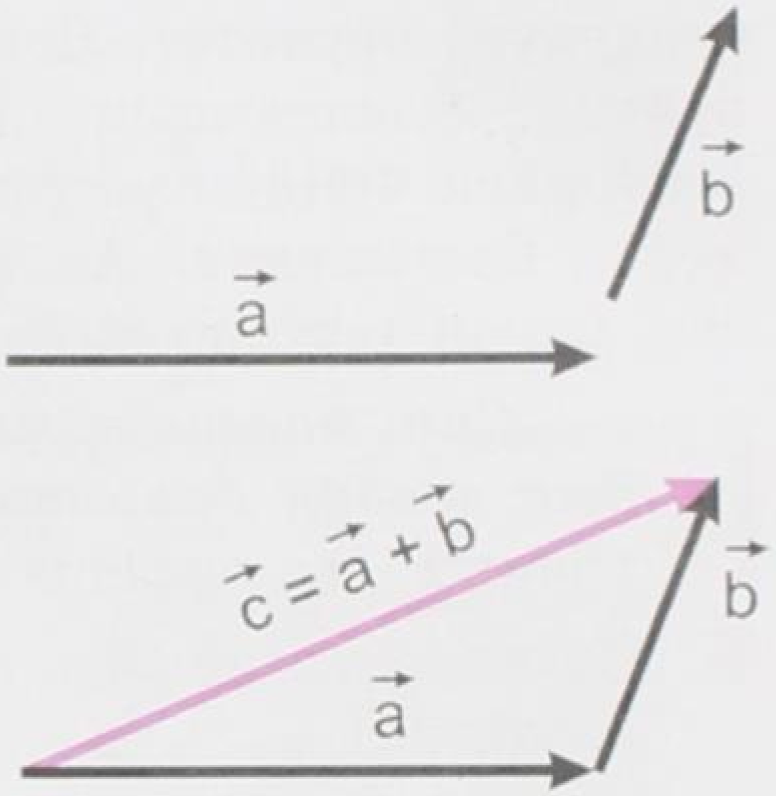
Эми, бул векторду бир чекиттен чыккандай кылып да көчүрүүгө болот.

● Каалаган экөөнү тең, каалаган бирөөнү ордуна калтырып, ыңгайына карата экинчисин көчүрүп алып келебиз. Мисалы, $\vec{a}$ жана $\vec{b}$ векторлору бир чекиттен чыгышсын.

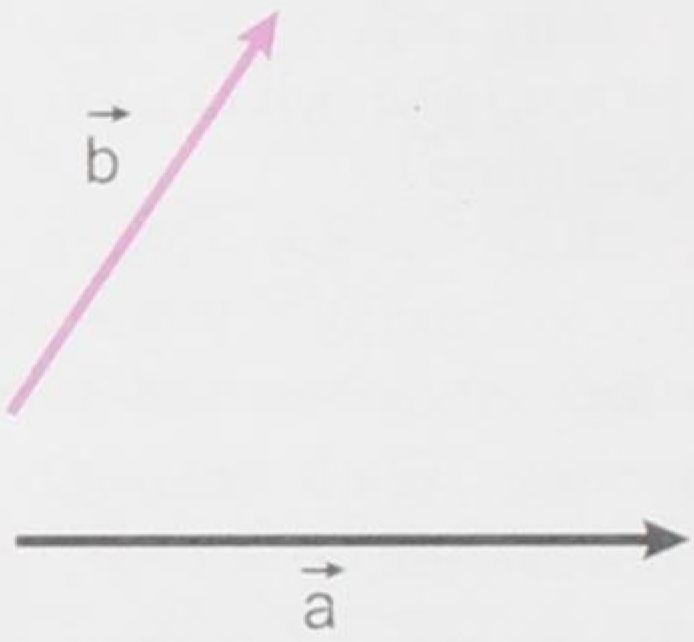
Эми аны параллелограммга чейин толуктап, анын диагоналы $\vec{c}$ ны жүргүзөбүз (16-сүрөт). Анда $\vec{c}=\vec{a}+\vec{b}$ болот.

● Бул векторлорду кошуунун *параллелограмм* эрежеси деп аталат.

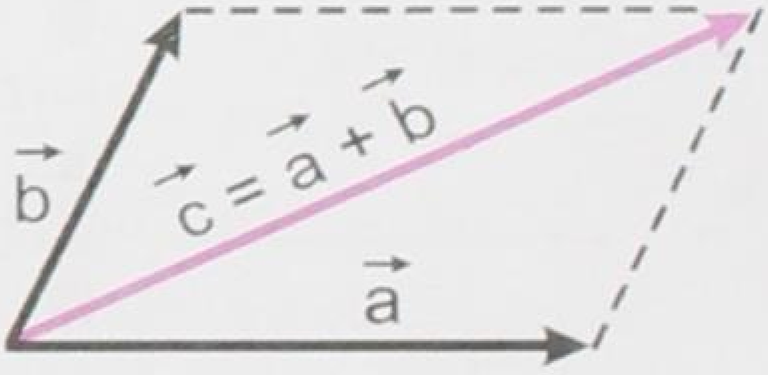
Векторлорду кемитүү үчүн эки векторду бир чекиттен чыккандай кылып көчүрүп келип, анан ал экөөнүн учтарын туташтырабыз да, вектордук белгини кемитүүчү вектордон кемүүчү векторду көздөй багыттап коёбуз. Ошол вектор эки вектордун айырмасы болот (17-сүрөт): $\vec{c}=\vec{a}-\vec{b}$, мында $\vec{c}$ – айырма вектор.



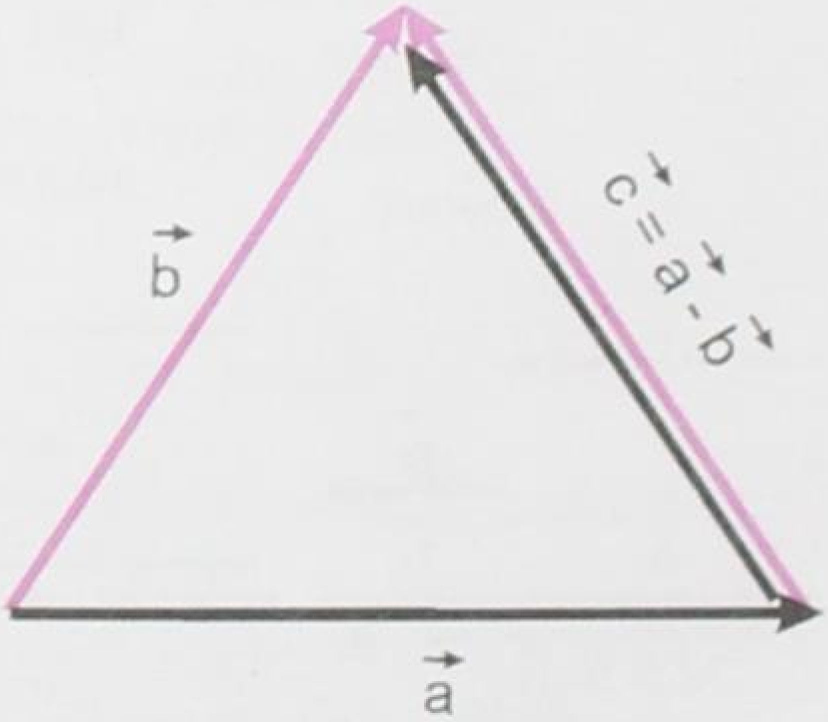
14-сүрөт



15-сүрөт



16-сүрөт.
Параллелограмм эрежеси.



17-сүрөт.
Векторлорду кемитүү.

Векторду скалярга көбөйтүү

Турмушта, көбүнчө векторду скалярга *(k)* га көбөйтүүгө туура келет. Натыйжада $k\vec{a}$– векторун алабыз. Эгер $k>0$ болсо, ал $\vec{a}$ векторуна карама-каршы багытталат. Бул жаңы вектордун модулу $\vec{a}$ векторунун модулуна k санынын модулун көбөйткөнгө барабар.

? 1. Вектордук чоңдук деп кандай кесинди аталат, мисал келтиргиле. 2. Скалярдык чоңдук, аларга мисал келтиргиле. 3. Вектордук чоңдук жана скалярдык чоңдуктардын кандай айырмасы бар? 4. Машинедеги спидометр кандай чоңдукту көрсөтөт? 5. Векторлорду кошуунун кандай эрежелерин билесиңер? 6. Коллинеардуу вектор деп кандай векторду айтабыз? 7. Машиненин километринин эсептегичи кайсы чоңдукту өлчөйт: вектордук чоңдуктубу, же скалярдык чоңдуктубу?

Кинематикага маселе чыгаруунун мисалдары

1. Эгер автомобилдин ылдамдыгы 20 *секунд* ичинде $20\frac{м}{с}$ дан $10\frac{м}{с}$ га азайса, анда автомобиль кандай орточо ылдамдануу менен кыймылга келген?

Берилди:

$t = 20\ с$

$\vartheta_1 = 20\frac{м}{с}$

$\vartheta_2 = 10\frac{м}{с}$

a – ?

Чыгаруу:

Эгер автомобиль бир калыпта кыймылга келбеген болсо, анда ал кандай ылдамданууга ээ болот?

Ылдамдануу $\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_0}{t}$ формуласы менен аныкталгандыктан, маселенин шарты боюнча ылдамдануу $\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta}_2 - \vec{\vartheta}_1}{t}$ болот, мында $\vartheta_2 < \vartheta_1$ болгондуктан кыймыл акырындатылган, демек $\vec{a} < 0$, б. а. терс чоңдук болот.

Маселеде берилген чоңдуктардын сан маанилерин ордуна коюп, эсептөөнү жүргүзсөк:

$$a = \frac{10\frac{м}{с} - 20\frac{м}{с}}{t} = -\frac{10\frac{м}{с}}{20\ с} = -0{,}5\frac{м}{с^2}\ ,\quad a = -0{,}5\frac{м}{с^2};$$

a – ылдамдануу терс чоңдук болсо, анда бир калыпта акырындатылган болот.

Жообу: $a = -0{,}5\frac{м}{с^2}$.

2. Станцияга жакындаганда машинист локомотивдин кыймылдаткычын өчүргөндөн кийин поезд $0{,}1\frac{м}{с^2}$ турактуу ылдамдануу менен кыймылдайт. Эгер кыймылдаткычты өчүргөн моменттеги поезддин ылдамдыгы $20\frac{м}{с}$ болсо, анда токтогонго чейин поезд канча аралыкка которулган? Канча убакыттан кийин поезд токтойт?

ГИМНАЗИЯ МЕКТЕБИ

Берилди:	Чыгаруу:
$a = 0{,}1\ \frac{м}{с^2}$ $\vartheta_0 = 20\ \frac{м}{с^2}$	Координата огун поезддин кыймыл багыты боюнча багыттайбыз. Убакытты эсептөөнүн башталышы ошол кыймылдаткыч өчүрүлгөн убакыттын моменти, ал эми координатанын башталышы ошол
s_x – ?, t – ?	моменттеги поезд турган чекит, мында ϑ_0 –

проекциясы ϑ_{0x} – оң, ал эми a ылдамдануусунуку терс, б. а. $\vartheta_0 = \vartheta_{0x}$; $a_x = -a$. s_x – которулушун (1.8) формуласы боюнча табабыз, б. а. $s_x = \frac{\vartheta_x^{\ 2} - \vartheta_{0x}^{\ 2}}{2a_x}$, мында $\vartheta_x = 0$, себеби поезд токтойт. Сан маанилерин коюп, эсептөөлөрдү жүргүзсөк:

$s_x = \frac{\left(-20\ \frac{м}{с}\right)^2}{2 \cdot 10\ \frac{м}{с^2}}$ =200 *м* =2 *км*, s_x = 2 *км*. Ал эми поезд токтогонго чейинки убакыт (1.10) $\vartheta_x = \vartheta_{0x} + at$ формуласынан $\vartheta_x = 0$, ал эми $\vec{a} < 0$, анда $0 = \vartheta_{0x} - a_x t$, же $-\vartheta_{0x} = -a_x t$

$$\vartheta_{0x} = a_x t\ , \quad t = \frac{\vartheta_{0x}}{a_x}\ , \quad t = \frac{20\ \frac{м}{с}}{0{,}1\ \frac{м}{с^2}} = 200\,с\ . \quad t = 200\ с.$$

Жооптору: s_x = 2 *км*; t = 200 *с*.

I главадагы эң негизги маалыматтар

Убакыттын барабар аралыгында барабар узундуктагы жолду басып өткөн кыймыл түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл деп аталат. Ылдамдыгы $\vec{\vartheta}$

$$\boxed{\vec{\vartheta} = \frac{\vec{s}}{t}}\ , \text{ мындан } \boxed{\vec{s} = \vec{\vartheta} \cdot t}\ .$$

Бул түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын теңдемеси деп аталат.

Эгер барабар убакытта барабар эмес которулуш жасаса түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймыл деп аталат. Анда ылдамдануу пайда болот:

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_0}{t}} \text{ же } \boxed{\vec{a} = \frac{\Delta\vec{\vartheta}}{t}}\ .$$

Эгер $\vec{a} > 0$ болсо, кыймыл ылдамдатылган болот, ал эми $\vec{a} < 0$ болсо, кыймыл акырындатылган болот.

Өтүлгөн жол $\boxed{s = \vartheta_0 t \pm \frac{at^2}{2}}$.

Ал эми $\boxed{\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 \pm \vec{a}t}$.

Бул эки формула тең түз сызыктуу бир калыпта эмес кыймылдын теңдемелери деп аталат.

Кыймыл салыштырмалуу, аны график түрүндө да көрсөтүүгө болот. Эгер кыймыл бир калыпта эмес болсо, анда орточо жана кирпик каккычактагы деген эки түрдүү ылдамдыктар болот.

Түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймылдын мисалы болуп бийиктиктен эркин түшкөн, б. а. вертикаль төмөн түшкөн нерсенин кыймылы эсептелет. Анда Sти h менен, ал эми $\vec{a}$ны $\vec{g}$ менен алмаштырсак, формулалар төмөнкүдөй түрдө жазылат:

$$\boxed{\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 + \vec{g}t}; \quad \boxed{h = \vartheta_0 t + \frac{gt^2}{2}},$$

мында $\vec{g} = 9{,}8\ м/с^2$ оордук күчүнүн ылдамдануусу. Ал турактуу чоңдук, б. а. турактуу мааниге ээ экендиги жөнүндө VII класста Г. Галилейдин тажрыйбасынан таанышкансыңар. Түз сызыктуу бир калыпта акырындатылган кыймылга мисал болуп вертикаль жогору ыргытылган нерсенин кыймылы эсептелет. Анда формулалар төмөнкү түрдө болуп калат:

$$\bullet\ \boxed{\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 - \vec{g}t} \qquad \bullet\ \boxed{h = \vartheta_0 t - \frac{gt^2}{2}}.$$

Булар жөнүндө VII класста таанышкансыңар. Бул формулалар кийинки темаларда жана маселе чыгарууда эң керектүүлөрдөн болуп эсептелет.

II глава

ИЙРИ СЫЗЫКТУУ КЫЙМЫЛ

§ 6. Ийри сызыктуу кыймыл

Биз буга чейин түз сызыктуу бир калыптагы, түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймылдарды карап өттүк. Бул учурда нерсеге аракет эткен күчтүн багыты ылдамдыктын багыты боюнча багытталган эле. Ошондой ылдамдык менен күчтүн багыттары дал келсе түз сызыктуу ылдамдатылган кыймыл, ал эми карама-каршы келсе, түз сызыктуу акырындатылган кыймылдар пайда болуп жаткан учурларын байкадык. Анын мисалдары болуп тик өйдө (акырындатылган) жана тик ылдый (ылдамдатылган) ыргытылган нерселердин кыймылдары эсептелет.

Биз эми кыймыл ылдамдыгынын багытына күч бурч боюнча багытталып калса, анда кандай кыймыл болорун карап көрөлү. Мисалы, стол үстүндө болот шарчасы түз сызыкта кыймылда келе жатсын. Эгер стол бетинин ортосунун каптал жагына магнит коюлса, анда шарча ага жакындаган сайын анын траекториясы ийрейе баштайт да, металл шары ийри сызык боюнча кыймылга келе баштайт (18-сүрөт).

Ошондуктан, ыргытылган ар кандай нерселер: атылган ок, снаряд, шлангадан аккан суу ж. б. бардыгы эле ийри сызыктуу траектория боюнча кыймылга келет. Анткени ылдамдыктын багытына оордук күчү бурч боюнча аракет этет. Ошентип кыймылдын ылдамдыгынын багытына күч бурч боюнча аракет эткен бардык учурларда траектория ийри сызыктуу болорун байкайбыз.

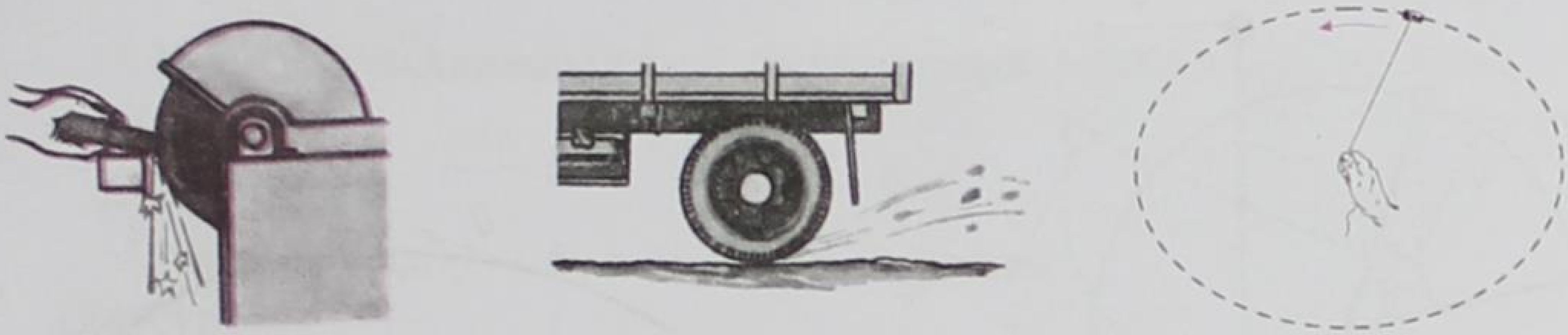
Траекториясы ийри сызык болгон кыймыл ийри сызыктуу кыймыл деп аталат.

Мындан ийри сызыктуу кыймылдын келип чыгуу себеби анын ылдамдыгынын багытына бурч боюнча багытталган күчтүн таасири деген жыйынтыкка келебиз.

18-сүрөт.
Шарчанын траекториясын магнит өзгөртөт.

Нерсеге таасир эткен күчтүн багытына жана чондугуна жараша ийри сызыктуу кыймылдар ар түрдүү болот. Ийри сызыктуу кыймылдын жөнөкөй түрлөрү болуп: айлана, парабола, эллипс боюнча болгон кыймылдар эсептелет.

Эми бул учурлардагы ылдамдыктын багыты жөнүндө сөзгө келели. Түз сызыктуу кыймыл учурунда ылдамдык



19-сүрөт.

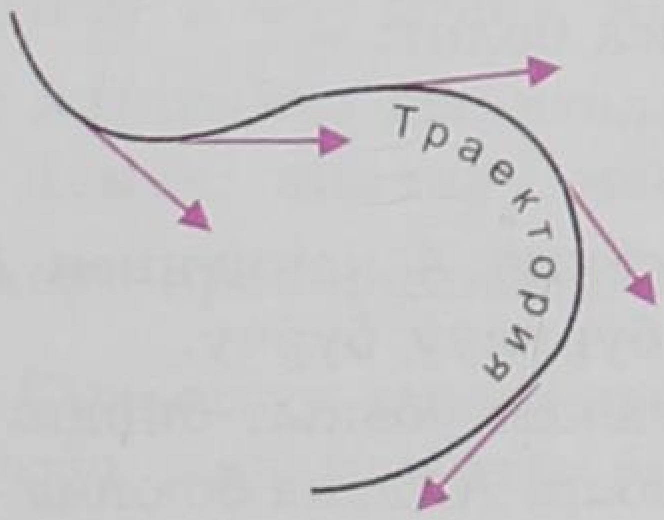
векторунун багыты, кыймылдын багытына дал келет. Ал эми ийри сызыктуу кыймыл учурунда кыймылдын (жылуунун) туруктуу багыты болбойт. Анда ылдамдыктын багыты үчүн кайсы багыт алынат? Баарынан оңоюраагы, нерсенин айлана боюнча болгон кыймыл учурундагысы. Мисалы, чарык ташка курчутулуучу бычак, кайчы ж. б. элестетсек, андан учкан учкундар ошол чарык менен курчутулуучу нерсенин тийишкен чекитине жаныма түрүндө учат (19-*а*, сүрөт). Ошондой эле баткакка тыгылып калган машиненин дөңгөлөгүнөн баткак ошол дөңгөлөккө жаныма боюнча учат (19-*б*, сүрөт). Жипке байланып айландырылып жаткан нерсе, кокус жип үзүлүп кетсе, ошол айланага жаныма боюнча учат (19-*в*, сүрөт).

Жогорку мисалдардан улам жана көп турмуштук байкоолордон төмөнкүдөй жыйынтыкка келебиз:

Ийри сызыктуу кыймыл учурунда ылдамдыктын багыты анын каалаган чекитинде ийри сызыкка жүргүзүлгөн жаныманын багыты менен дал келет.

Ийри сызыктуу кыймылда ылдамдык модулу боюнча траекториянын бардык чекиттеринде бирдей болушу мүмкүн (мисалы, айлана, тегерек траектория учурунда) жана бирдей эмес (башка бардык учурларда) болушу мүмкүн, ал эми багыты, траекториянын бардык чекиттеринде ар кандай, б. а. дал келбейт (20–21-сүрөттөр).

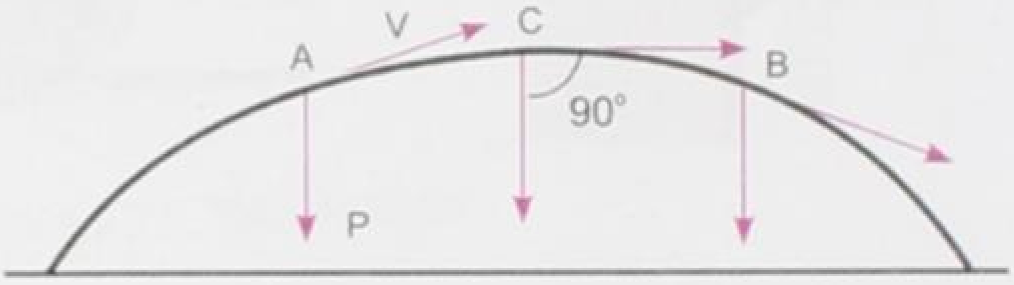
Эгер ылдамдык модулу боюнча туруктуу болсо, андай кыймылды бир калыптагы ийри сызыктуу кыймыл дейбиз. Мисалы, айлана боюнча кыймылда ылдамдыктын багыты менен ай-



20-сүрөт.
Ийри сызык – траектория.

21-сүрөт. Жебелүү сызыктар – ылдамдыктын багыттары.

22-сүрөт.



23-сүрөт.

лананын радиусунун ортосундагы бурч тик (90°) болот (22-сүрөт). Ийри сызыктуу кыймыл бир калыпта эмес болгон учурда бурч ар кандай болот. Мисалы, горизонталдуу багытта горизонталь бурч боюнча ыргытылган нерселердин кыймылдары учурунда (23-сүрөт).

§ 7. Нерсенин айлана боюнча кыймылы. Бурчтук жана сызыктуу ылдамдыктар

Ийри сызыктуу кыймылдардын ичинен турмушта, жаратылышта көп кездешкени жана эң жөнөкөйү болуп нерсенин айлана боюнча бир калыптагы кыймылы эсептелет. Мисалы маховиктердин бөлүктөрү, Жердин суткалык айлануусундагы Жер бетиндеги чекиттердин, сааттын секундалык, минуталык жебелеринин чекиттеринин ж. б. кыймылдары айлана боюнча болот.

Эми радиусу R болгон айлана боюнча нерсе A чекитинен, t убакыт ичинде B чекитине келсин дейли, анда нерсе ошол t убакытта φ бурчуна (грекче «фи» деп окулат) бурулган болот да нерсенин айлануу тездигин $\frac{\varphi}{t}$ менен мүнөздөөгө болот.

Айлана боюнча жылган нерсени айлананын борбору менен бириктирүүчү радиустун бурулуу бурчунун, ошол бурулуу болуп өткөн убакытка болгон катышы менен өлчөнүүчү чоңдук бурчтук ылдамдык деп аталат.

Бурчтук ылдамдык гректин ω (омега) тамгасы менен белгиленет. Анда аны төмөнкүдөй жазса болот:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \tag{2.1}$$

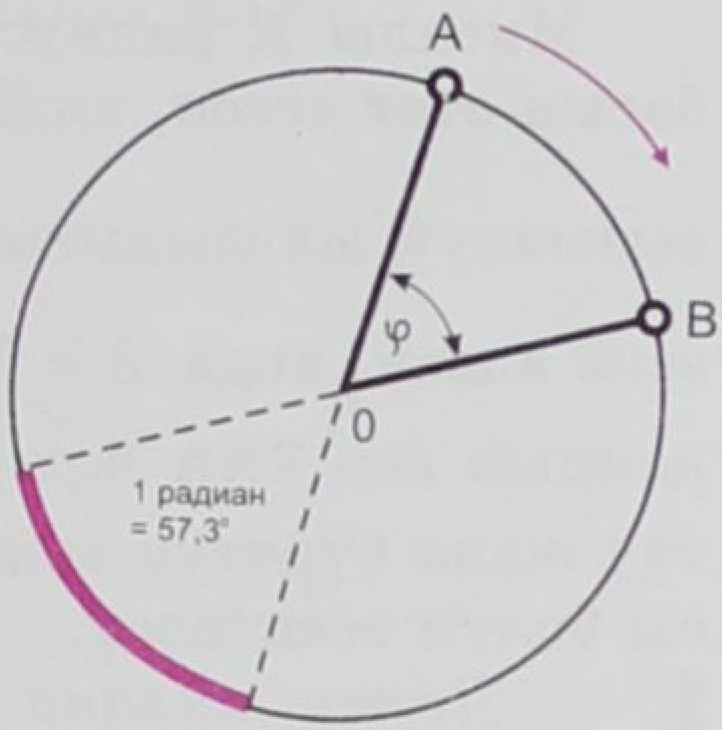
мында φ бурчу – t убакыт ичинде нерсенин A чекитинен B чекитине келген кездеги R радиусунун бурулуу бурчу.

Демек, бурчтук ылдамдык сан жагынан убакыт бирдигинде нерсенин бурулуп кеткен бурчуна барабар. Айлана боюнча кыймыл бир калыпта болгон кезде бурчтук ылдамдык турактуу чоңдук болот.

Бурчтук ылдамдыктын бирдиктери:

$\frac{рад}{с}$; $\frac{рад}{мүн}$; $\frac{айл}{с}$; $\frac{айл}{мүн}$ ж. б.

Радиан *(рад)* – бул бурчтун бирдиги (24-сүрөт).



24-сүрөт.

Жаасынын узундугу радиусуна барабар болгон борбордук бурч радиан деп аталат.

Демек, 1 $\frac{рад}{с}$ – бул 1 секундадагы 1 радиан деп окулат. Техникада көбүнчө $\frac{айл}{с}$ же $\frac{айл}{мүн}$ алынат.

$\frac{айл}{с}$ менен берилген бурчтук ылдамдыкты $\frac{рад}{с}$ менен туюнтууга болот. Ал үчүн 1 секундадагы айлануулардын n санын 2πге көбөйтүү керек, же $\omega = 2\pi n$ болот. $\pi = 3{,}14$ экендиги белгилүү. Мисалы, $\omega = 300\ \frac{айл}{с}$ болсо, анда 1 сгы айлануулардын санын тапсак, ал $\frac{300}{60\,с} = 5$ болот. Нерсе бир толук айланганда 360°ка бурулат, бул болсо 2π *рад*га туура келет, ал эми 5 жолу айланса, ал 2π *рад* $\cdot 5 = 10\pi$ *рад* бурчка айланат. Демек бурчтук ылдамдык:

$$\omega = 10\pi = 10 \cdot 3{,}14 = 31{,}4\ \frac{рад}{с}.$$

Нерсе (чекит) айлана боюнча жылган кезде, анын бир толук айлануусуна кеткен убакыт айлануу мезгили деп аталат.

Айлануу мезгили T тамгасы менен белгиленет жана секунд ($с$) менен өлчөнөт. Мисалы, чекит 1 $с$ да 10 жолу айланса, 1 толук айлануунун убактысы $\frac{1}{10}$ ($с$) болот.

Эгер чекит (нерсе) 1 $с$ да 10 жолу айланса, анда айлануу мезгили $T = \frac{1}{n}$ болот, мында n – айлануулардын саны, же айлануу жыштыгы деп аталат.

Демек, айлануу мезгили менен айлануу жыштыгы өзара тескери пропорциялаш болот, б. а. $T = \frac{1}{n}$ же $n = \frac{1}{T}$.

Сызыктуу ылдамдык. Айлануу кыймылын мүнөздөө үчүн бурчтук ылдамдыктан башка сызыктуу ылдамдык түшүнүгү киргизилет.

Чекиттин айлана боюнча жылгандагы ылдамдыгы сызыктуу ылдамдык деп аталат.

Мисалы R радиустуу айлананы чекит (нерсе) T убакытта басып өтөт десек, анда $2\pi R$ айлананын узундугу болот да, анын сызыктуу ылдамдыгы $\boxed{\vartheta = \frac{2\pi R}{T}}$ (2.2) болот. Эгер $T = \frac{1}{n}$ экенин эске алсак, анда $\vartheta = 2\pi Rn$ ...(2.3) болот. Ал эми бурчтук ылдамдык $\omega = 2\pi n$ болгондуктан $\vartheta = \omega R$ (2.4) чыгат. Бул сызыктуу жана бурчтук ылдамдыктардын байланышы (2.4) формуласы болуп эсептелет.

Демек, айлана боюнча бир калыпта жылган чекиттин сызыктуу ылдамдыгы айлананын радиусуна көбөйтүлгөн бурчтук ылдамдыкка барабар.

Сызыктуу ылдамдык *см/с, м/с* бирдиктери менен өлчөнөт.

?

1. Ийри сызыктуу кыймыл деп кандай кыймылды айтабыз? **2.** Ийри сызыктуу кыймылга мисалдар келтиргиле. **3.** Ийри сызыктуу кыймылдын пайда болуу себеби кандай? **4.** Ийри сызыктуу кыймылда ылдамдыктын багыты кандай? **5.** Бир калыптагы ийри сызыктуу кыймыл деп кандай кыймыл аталат? **6.** Бурчтук ылдамдык деп кандай ылдамдыкты айтабыз? **7.** Сызыктуу ылдамдык деп кандай ылдамдыкты айтабыз? **8.** Айлануу мезгили деп эмнени айтабыз? **9.** Айлануу мезгили менен айлануу жыштыгынын кандай байланышы бар? **10.** Сызыктуу жана бурчтук ылдамдыктардын байланышы кандай?

4-көнүгүү

1. Маховик дөңгөлөгү бир калыпта айланып, 300 айлануу минута (*айл/мүн*) жасайт. Маховиктин айлануу огунан 1 *м* аралыктагы чекиттердин сызыктуу ылдамдыгы эмнеге барабар?

2. Жердин радиусун 6400 *км* деп алып, анын суткалык айлануусундагы экватордун чекиттеринин бурчтук жана сызыктуу ылдамдыктарын эсепте.

3. Сааттын секунда жебесинин айлануу мезгили жана жыштыгы эмнеге барабар?

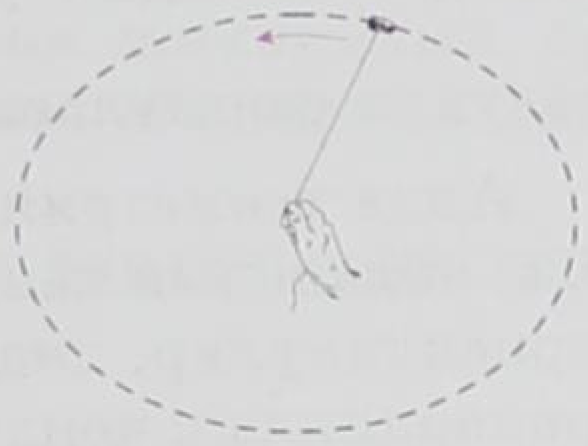
4. Маховик дөңгөлөктүн бир калыптагы айлануу мезгили 628 *с*. Анын борборунан 10 *м* аралыкта жайгашкан нерсенин сызыктуу ылдамдыгы эмнеге барабар?

5. Радиусу 1 *м* болгон дөңгөлөктүн айлануу жыштыгы $n=100\,\frac{айл}{с}$. Дөңгөлөктүн четки чекиттеринин сызыктуу жана бурчтук ылдамдыктары эмнеге барабар?

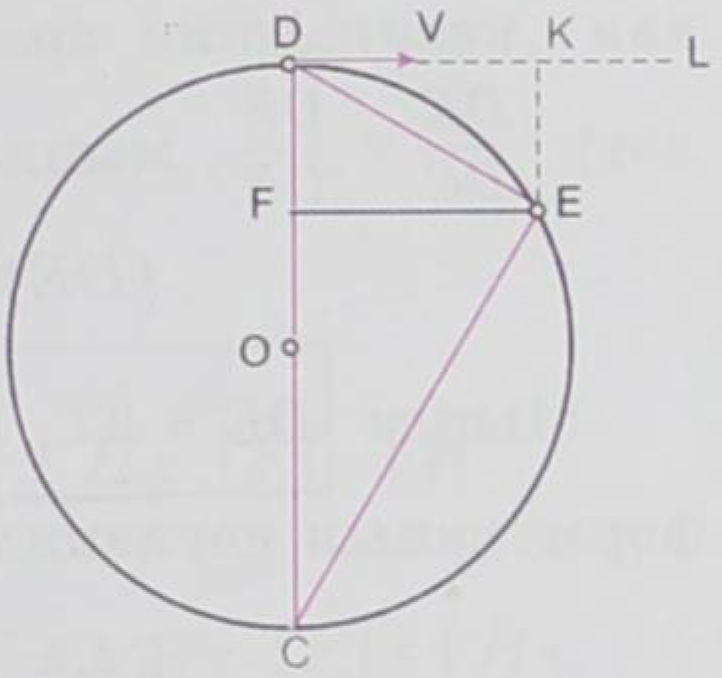
6. Радиусу 1 *м* болгон дөңгөлөктүн айлануу жыштыгы $n=100\,\frac{айл}{с}$. Дөңгөлөктүн радиусунун так ортосундагы чекиттердин сызыктуу ылдамдыктары эмнеге барабар?

7. Секунд жебесинин узундугу 0,8 *см*, мүнөт жебесиники 2 *см*, саат жебесинин узундугу 1,5 *см*. Жебелердин учтарынын сызыктуу жана бурчтук ылдамдыктарын тапкыла.

§ 8. Борборго умтулуучу ылдамдануу жана борборго умтулуучу күч



Айлана боюнча кыймыл ийри сызыктуу бир калыптагы кыймылга мисал боло алат. Айлана боюнча кыймыл учурунда ылдамдыктын багыты менен айлананын радиусунун ортосундагы бурч тик бурч (90°) болору мурун да айтылган, б. а. (25-сүрөт).



26-сүрөт.

Мисалы, жипке байланып айландырылып жаткан нерсени элестетсек, анда убакыттын каалагандай моментинде нерсенин ылдамдыгынын багыты, жип менен 90°тук бурчту түзөт да, нерсени айланада кармап турууучу жиптин керилүү күчү, ошол жипти бойлото айлананын борборун көздөй багытталган болот.

Айлананын радиусу боюнча анын борборун көздөй багытталган күчтү борборго умтулуучу күч дейбиз.

Демек, эгерде нерсеге борборго багытталган күч таасир этсе, анда VII класста каралган Ньютондун экинчи закону боюнча, ал күч ошол эле багытта, биздин учурда айлананын борборун көздөй багытталган ылдамданууну пайда кылат.

Радиус боюнча айлананын борборун көздөй багытталган ылдамдануу борборго умтулуучу ылдамдануу деп аталат.

Эми ошол борборго умтулуучу ылдамдануунун формуласын чыгаралы. Айлана боюнча кыймыл татаал кыймыл экенин эсте тутушубуз зарыл. Биричиден, борборго умтулуучу күчтүн таасири астында нерсе айлананын борборун көздөй жылат, экинчиден, ошол эле мезгилде инерция боюнча нерсе айланага жүргүзүлгөн жаныма сызык боюнча жылып, айлананын борборунан алыстайт (26-сүрөт). Анда t убакыт ичинде нерсе $\vec{\vartheta}$ ылдамдыгы менен кыймылдап Dдан Eге которулуп келди дейли. Эгер нерсе D чекитинде турган кезде ага борборго умтулуучу күч аракет этпей калды десек, анда нерсе ошол t убакытта DL жаныма сызыгында жаткан K чекитине келген болоор эле. Ал эми нерсе D чекитте турган алгачкы моментте жалаң эле борборго умтулуучу күчтүн таасиринде калса, анда нерсе бир калыпта ылдамдатылып жылып, ошол t убакыт ичинде DC түз сызыгында жаткан F чекитине келген болоор эле. Эгерде t убактысын эң эле кичине деп эсептесек, анда DE жаасын DE хордасы менен дал келет деп эсептөөгө болот, анда $DE = \vec{\vartheta} t$ болот.

Борборго умтулуучу ылдамдануусун $\vec{a}$ тамгасы менен белгилейли. Эгер нерсеге жалаң эле борборго умтулуучу күч таасир этти десек, анда t убакытта нерсе бир калыптагы кыймылдын жолунун формуласынын негизинде $DF = \frac{at^2}{2}$ болот.

Анда геометриядан белгилүү болгон теореманын негизинде (б. а. айлананын кандайдыр бир чекитинен диаметрге түшүрүлгөн перпендикуляр, диаметрдин кесиндилеринин арасындагы орто пропорциялаш чоңдук болот, ал эми ошол эле чекиттен диаметрдин учуна жүргүзүлгөн хорда диаметр менен ага жанаша жаткан кесиндинин арасындагы орто пропорциялаш чоңдук болот): $\frac{DE}{DC} = \frac{DF}{DE}$, мындан төмөнкүнү алабыз:

$$(DE)^2 = DC \cdot DF\,. \qquad (2.5)$$

Мында $\boxed{DE = \vec{\vartheta} t\,,\ DF = \frac{at^2}{2}; \quad DC = 2R}$ болгондуктан, (2.5) формуланын негизинде төмөнкүнү алабыз:

$$\vec{\vartheta}^2 t^2 = \frac{at^2}{2} \cdot 2R \qquad \vec{\vartheta}^2 = a \cdot R\,.$$

Мындан төмөнкү борборго умтулуучу ылдамдануунун формуласы келип чыгат:

$$\boxed{\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta}^2}{R}}\,, \qquad (2.6)$$

мында $\vec{\vartheta}$ – сызыктуу ылдамдык, $\vec{a}$ – борборго умтулуучу ылдамдануу, R – айлананын радиусу.

Ошентип, *нерсенин борборго умтулуучу ылдамдануусунун чоңдугу сызыктуу ылдамдыктын квадратын айлананын радиусуна бөлгөндөгү тийиндиге барабар.*

Эгер $\vec{\vartheta} = \vec{\omega} R$ экенин эске алсак, анда $\vec{a} = \frac{\vec{\omega}^2 R^2}{R} = \vec{\omega}^2 R$.

Демек, $\vec{a} = \vec{\omega}^2 R$ (2.7) формуласына ээ болобуз.

Бул боюнча *борборго умтулуучу ылдамдануу бурчтук ылдамдыктын квадратынын айлананын радиусуна көбөйткөн көбөйтүндүсүнө барабар* деген жыйынтыкка келебиз.

Анда борборго умтулуучу ылдамданууну пайда кылуучу борборго умтулуучу күчтүн формуласын Ньютондун экинчи законунун жардамы менен алабыз, б. а.

$$\boxed{\vec{F} = m\frac{\vec{\vartheta}^2}{R}} \ (2.8) \quad \text{же} \quad \boxed{\vec{F} = m\vec{\omega}^2 R}\,. \qquad (2.9)$$

Ошентип, борборго умтулуучу күчтүн чоңдугу нерсенин массасын сызыктуу ылдамдыктын квадратына көбөйтүп, айлананын радиусуна бөлгөндөгү тийиндиге барабар.

Же борборго умтулуучу күч нерсенин массасынын, бурчтук ылдамдыгынын квадратынын жана айлананын радиусунун көбөйтүндүсүнө барабар.

Ылдамдануунун жана күчтүн СИдеги бирдиктерин чыгарсак, ылдамдануулар үчүн: $[\vec{a}]=\left[\dfrac{\vartheta^2}{R}\right]=1\dfrac{\frac{м^2}{с^2}}{м}=1\dfrac{м}{с^2}$;

$$[\vec{a}]=\left[\omega^2 R\right]=\frac{1}{с^2}\,м=1\frac{м}{с^2};\quad [\vec{a}]=1\frac{м}{с^2};$$

күчтөр үчүн:

$$[\vec{F}]=\left[m\frac{\vartheta^2}{R}\right]=1\,кг\ \frac{\frac{м^2}{с^2}}{м}=1\,кг\ \frac{м}{с^2}=1\ Н;\ [\vec{F}]=1\,Н\ .$$

$$[\vec{F}]=\left[m\vec{\omega}^2 R\right]=1\,кг\ \frac{1}{с^2}\,м=1\,кг\ \frac{м}{с^2}=1\ Н;\ [\vec{F}]=1\,Н\ .$$

Жогорку (2.6), (2.7), (2.8) жана (2.9) формулаларын айлана боюнча кыймыл үчүн гана эмес, каалаган (27-сүрөт) ийри сызыктуу кыймылдарга колдонууга болот, себеби ар кандай ийри сызык борбору кандайдыр бир чекитте турган айлананын жаасы болуп эсептелет.

Борборго умтулуучу күчкө, борборго умтулуучу ылдамданууга турмуштан мисалдарды абдан көп келтирүүгө болот. Аларды VII–IX класстардын физика курстарында да окугансыңар. Мисалы, кыймылдагы нерселердин жолдун иймек жана томпок участкаларынан өткөн кездерин эске алсак, ал ийри сызыктуу кыймылдардын мисалдары боло алышат.

Суроо туулат, эмне үчүн чоң көпүрөнүн тирөөчтөрү иймек эмес, томпок жасалат? Себеби, анын так ортосу аркылуу өтүп бара жаткан мезгилде көпүрөгө кыймылдагы нерсенин салмагынан азыраак басым күчү туура келет. Ошондуктан, ал күчтү кыймылдагы адам, же транспорт айдоочулар эске алуулары тийиш. Жогорудагы жагдайлар темиржолдун бурулушундагы жолдун ийрилигинин ичин көздөй бир аз жантайышында, борбордон четтөөчү кургаткыч ма-

27-сүрөт.

шинелерде, сүт тарткан машинеде (сепаратордо), эгин тазалоочу ар кандай түзүлүштөрдө эске алынат.

? 1. Кандай учурда борборго умтулуучу ылдамдануу пайда болот? 2. Борборго умтулуучу күч деп кандай күчтү айтабыз? 3. Борборго умтулуучу ылдамдануунун аныктамасы кандай айтылат? 4. Жогоркулардын турмуштук колдонулуш мисалдарынан келтиргиле.

5-көнүгүү

1. Радиусу 0,5 *м* болгон дөңгөлөктүн четки чекиттеринин сызыктуу ылдамдыгы $3\,\frac{м}{с}$. Алардын борборго умтулуучу ылдамдануусу эмнеге барабар?

2. Радиусу 10 *м* болгон шар 31,4 *с* мезгили менен айланат. Шардын бетиндеги чекиттердин борборго умтулуучу ылдамдануусу эмнеге барабар?

3. Айлана боюнча $4\,\frac{м}{с}$ турактуу ылдамдык менен кыймылдаган нерсе $2\,\frac{м}{с^2}$ борборго умтулуучу ылдамданууга ээ. Бул айлананын радиусу эмнеге барабар?

4. Радиусу 5 *м* болгон айлана боюнча турактуу ылдамдык менен айланган нерсенин борборго умтулуучу ылдамдануусу $0{,}005\,\frac{м}{с^2}$. Анын айлануу мезгили эмнеге барабар?

5. Жерден 260 *км* бийиктикте учкан спутниктин айлануу мезгили 62,8 *мүн*. Спутниктин ылдамдыгы эмнеге барабар?

6. Жерден Күнгө чейинки аралык 15 млн. *км*, ал эми Жердин Күндү айлануу мезгили $T=1$ жыл. Орбита боюнча Жердин айлануу ылдамдыгы эмнеге барабар?

7. Автомобиль радиусу 100 *м* болгон томпок көпүрөдө 90 $\frac{км}{саат}$ ылдамдыкта баратат. Анын борборго умтулуучу ылдамдануусу эмнеге барабар?

8. Жердин өз огунун айланасында суткалык айлануусунун экватор чекиттеринин бурчтук жана сызыктуу ылдамдыктарын аныктагыла. Жер радиусун 6400 *км* ге барабар деп алгыла.

§ 9. Тик өйдө ыргытылган же төмөн түшкөн нерселердин кыймылынын негизги формулалары

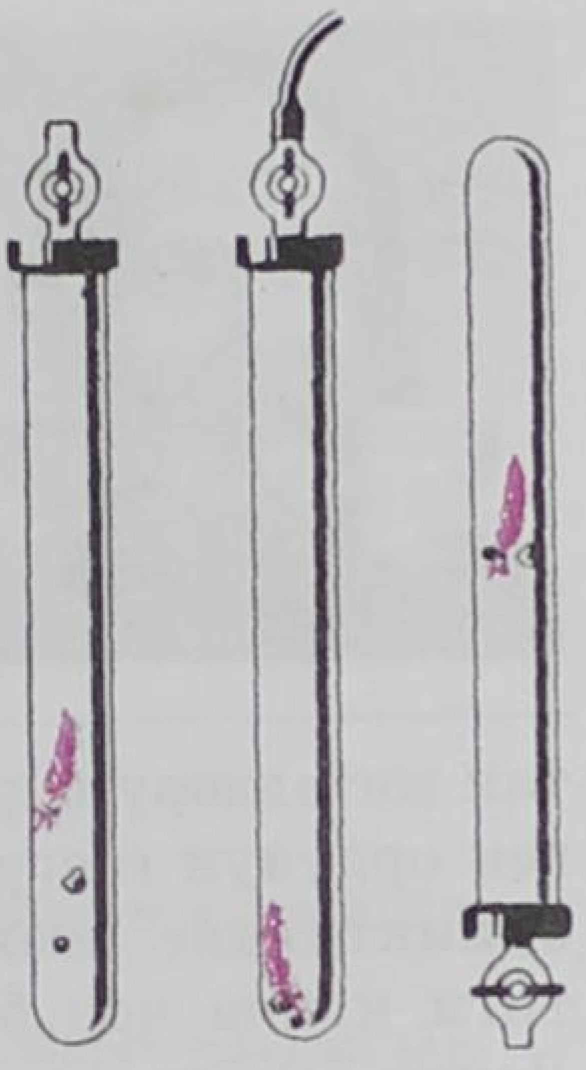
Нерселердин төмөн түшүү кыймылы болжол менен кайсы бир учурда, бир калыпта ылдамдатылган кыймылга жакын болот.

Жер бетинин шартында биз нерселердин абада түшүүсүн байкайбыз. Абанын каршылыгы нерселердин кыймылына кыйла таасир этип, алардын, өзгөчө куш канаты, кар бүртүкчөсү ж. б. өңдүү жеңил нерселердин ылдамдыктарын азайтат. Бул маселелерге, б. а. тик түшкөн нерселерге абанын, же башка нерселердин көрсөткөн каршылыктарына кийинчерээк, динамиканын закондорун окуган кезде кайрылабыз. Азырынча абасыз мейкиндиктеги (28-сүрөт) нерсенин төмөн түшүүсү кандайча өтөөрү жөнүндөгү маселени карайлы.

Узундугу 1 *м*ге жакын, бир учу туюк, экинчи учунда краны (бекиткичи) бар айнек түтүктү алалык. Анын ичинде быты-

ра жана куштун канаты бар. Айнек түтүктө аба болгон кезде (28-*а*, сүрөттөгү сыяктуу) адегенде бытыра, андан кийин куш канаты түшөт.

Эгер түтүктөн насос менен абаны сордуруп, вакуум (абасы сордурулган чөйрө) түзсөк жана түтүктү көңтөрүп нерсенин кыймылын байкасак, анда 28-*б*, сүрөттөгү сыяктуу, экөө бир убакта төмөн түшөт. Биздин ушул жана ушуга окшогон тажрыйбаларыбыз, вакуумда бардык нерселер бирдей төмөн түшөөрүн көргөзөт.



28-сүрөт.

Эгер нерселер анча чоң эмес, 1–1,5 *м* бийиктиктен түшүрүлсө, алардын түшүү убактысындагы айырма анча сезилбейт, нерселер бирдей эле убакта түшкөндөй сезилет. Нерселердин ушул өңдүү көп түшүүлөрүнө байкоо жүргүзүшүп, физиктер төмөнкүдөй жыйынтыкка келишкен.

Нерселердин түшүү бийиктиги түшүү убактысынын квадратына пропорциялаш.

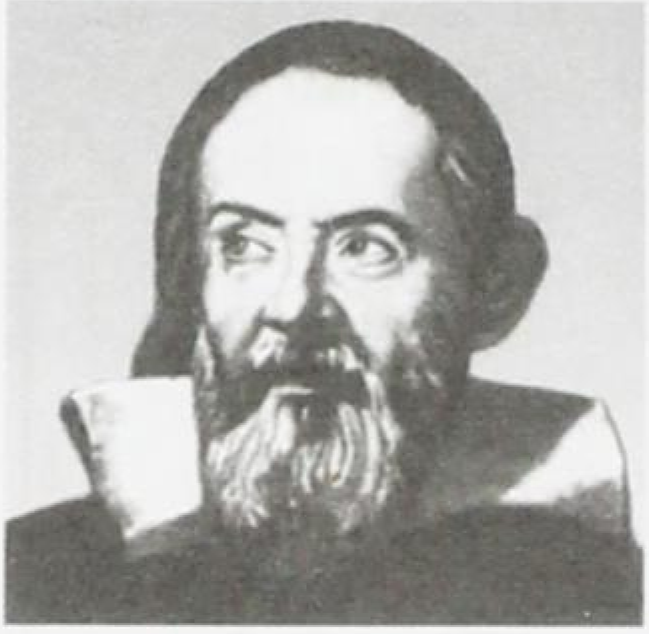
Мисалы, түшүү убактысы эки эсе чоңойсо, түшүү бийиктиги төрт эсе чоңоёт. Мындан, нерселердин төмөн түшүү кыймылы түз сызыктуу бир калыпта ылдамдатылган кыймыл болот деген жыйынтык келип чыгат, б. а. нерселердин төмөн түшүү кыймылы бардык нерселер үчүн турактуу ылдамдануудагы жогортодон төмөн багытталган кыймыл болот.

Эми тик жогору ыргытылган нерсенин кыймылы кандайча өтөт?

Бул учурда, көп тажрыйбалар көрсөткөндөй, нерсе бир калыпта акырындатылган кыймылга келет. Нерсенин ылдамдануусу нерсенин төмөн түшкөн кезиндегидей эле болот. Ошентип вертикаль жогору багытталган кыймылга келген нерселер деле жогортон төмөн багытталган бардык нерселердей эле бирдей турактуу ылдамдануу менен кыймылдашат.

Демек, Жер бетине жакынкы нерселердин түшүү кыймылынын негизги мүнөздөөчү чондугу бул нерсе ээ болгон ылдамдануу экен деген жыйынтыкка келебиз. Бардык ушул учурларда төмөн түшүүчү нерселер ээ болгон ылдамдануу Жердин тартылуу талаасынын таасири астында келип чыгарына ишенебиз. Ошондуктан төмөн түшүүчү нерселердин ылдамдануусу жер бетине жакын аралыктагы анын (Жердин) тартылуу талаасын мүнөздөйт деп айтсак болот.

Бул ылдамданууну эркин түшүүнүн ылдамдануусу деп айтабыз жана g тамгасы менен белгилейбиз. g ны аныктоонун көп



Галилео Галилей (1564–1642) – италиялык физик, астроном. Галилей нерсенин эркин түшүү жана маятниктин термелүү закондорун ачкан, инерция кубулушунун бар экенин биринчи көрсөткөн. Ал термоскопту – жылуулукту өлчөөчү куралды ойлоп чыгарган, астрономиялык изилдөөлөргө биринчи жолу телескопту колдонгон, ал Юпитердин спутниктерин, Күн тактарын жана Чолпондун фазаларын ачкан.

так методдору бар. Эсептөөлөр g нын маанисин Жердин берилген ордунун географиялык кеңдигине жана деңиз деңгээлинин бийиктигине көзкаранды экенин көрсөтөт. Байкоонун бийиктиги канча чоң болсо, g нын мааниси ошончо кичине болот. Деңиз деңгээлинен бирдей бийиктикте g нын мааниси Жердин уюлдарында чоң – 983 $\frac{см}{с^2}$, ал эми экватордо кичине – 978 $\frac{см}{с^2}$ орточо кеңдикте $g = 980\ \frac{см}{с^2}$. Биз көбүнчө g нын орточо маанисин: $g = 980\frac{см}{с^2}$, же $9{,}8\frac{м}{с^2}$ колдонобуз.

Ошентип, тик төмөн, же тик жогору ыргытылган нерселер үчүн түз сызыктуу бир калыптагы эмес (акырындатылган жана ылдамдатылган) кыймылдардын негизги формулаларын пайдалана беребиз. Анда тек гана $\vec{a}$ ны $\vec{g}$ менен, ал эми s ти h менен алмаштырып коёбуз.

Ылдамдыктары үчүн: $\boxed{\vec{\vartheta} = \vec{\vartheta}_0 \pm \vec{g}\,t}$. (2.10)

Эгер $\vec{\vartheta}_0 = 0$ болсо, $\boxed{\vec{\vartheta} = \pm\vec{g}\,t}$. (2.11)

Төмөн түшүү же жогору көтөрүлүү бийиктиги үчүн (өтүлгөн жолу үчүн):

$$\boxed{h = \vec{\vartheta}_0 t \pm \frac{\vec{g}t^2}{2}}. \quad (2.12)$$

Эгерде $\vec{\vartheta}_0 = 0$ болсо, анда $\boxed{h = \frac{\pm\vec{g}t^2}{2}}$. (2.13)

Же башка формулалары: $\boxed{\vec{\vartheta}^2 - \vec{\vartheta}_0{}^2 = 2\vec{g}\,h}$. (2.14)

Ал эми $\vec{\vartheta}_0 = 0$ болгондо $\boxed{\vec{\vartheta}^2 = 2\vec{g}\,h}$, (2.15)

же $\boxed{h = \frac{\vec{\vartheta}^2}{2\vec{g}}}$ ж. б. (2.16)

Формулалардагы (+) белгиси ылдамдатылган, ал эми (–) белгиси акырындатылган кыймылга туура келет. g ылдамдануусу

a ылдамдануусу сыяктуу эле вектордук чоңдук, демек, анын үстүнө да жебелүү сызыкча белгиси коюлат.

Жогорудагы (2.10; 2.12; 2.14) формулалары тик өйдө ыргытылган же төмөн түшкөн нерселердин кыймылынын негизги формулалары болуп эсептелет.

? **1.** Тик төмөн түшкөн нерсенин кыймылы кайсы кыймылга мисал болот? **2.** Тик жогору ыргытылган нерсенин кыймылы кайсы кыймылга мисал болот? **3.** «g» нын ылдамдануусунун болушу кандай жагдайга байланыштуу? **4.** Эмне үчүн бир эле физикалык чоңдук – ылдамдануу бир учурда a, экинчи учурда g болуп калат?

6-көнүгүү

1. Таштын төмөн түшүүсү 1,5 *с* га созулду. Ал таш Жерге кандай ылдамдык менен келип түшкөн?

2. Спортсмен 2,4 *м* бийиктиктен секирип түшөт. Ал Жерге кандай ылдамдык менен жеткен?

3. Таш вертикаль жогору ыргытылган. Ал 2 *м* ге барабар максималдуу бийиктикке жеткен мезгилде, ошол эле ылдамдык менен экинчи таш ыргытылган. Бул таштар кандай бийиктикте кездешет?

4. Шарик $7\frac{м}{с^2}$ ылдамдык менен вертикаль жогору ыргытылган. Ал канча бийиктикке көтөрүлөт?

Ийри сызыктуу кыймылга маселе чыгаруунун мисалдары

1. Маховик дөңгөлөк бир калыпта айланып, мүнөтүнө 300 айланат. Маховиктин айлануу огунан 1 *м* аралыкта болгон чекиттин сызыктуу ылдамдыгы жана бурчтук ылдамдыгы эмнеге барабар?

Берилди:	Чыгаруу:
$\omega = 300\ \frac{айл}{мүн} = 300\ \frac{айл}{60\ с} = 5\ \frac{айл}{с}$ $R = 1\ м$	Чекит радиусу 1 *м*ге барабар болгон айлана сызып кыймылга келген кездеги анын сызыктуу ылдамдыгы $-\vartheta$: $\vartheta = \frac{\ell}{T}$; l – айлананын узундугу. $\ell = 2\pi R$.
$\vec{\vartheta} - ?\ \ \vec{\omega} - ?$	

Ал эми n – айлануу жыштыгынын айлануу мезгили менен болгон байланышы: $n = \frac{1}{T}$; $T = \frac{1}{n}$. Бул маанилерди ордуна коюп, СИде эсептейбиз. Ал эми бурчтук ылдамдык (ω) менен сызыктуу ылдамдыктын байланышы: $\vartheta = \omega R$. $\vartheta = 2\pi R n$.

Анда: $\vartheta = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1\,м\ 5\frac{айл}{с} = 31{,}4\frac{м}{с}$; $\omega = \frac{\vartheta}{R} = \frac{31{,}4\frac{м}{с}}{1\,м} = 31{,}4\frac{1}{с}$.

Жооптору: $\vartheta = 31{,}4\frac{м}{с}$; $\omega = 31{,}4\frac{1}{с}$.

2. Жер өз огунун айласында 1 суткада айланып чыккан к... деги жер бетинин экватордук чекиттеринин бурчтук жана с... зыктуу ылдамдыктарын аныктагыла? Жер радиусун 6400 *км* ... барабар деп алгыла.

Берилди:

T =1 сутка = 243600 *с*
R = 6400 *км* = $64 \cdot 10^5$ *м*

ϑ – ? ω – ?

Чыгаруу:

Бир суткада 24 *саат*, ал эми 1 *саа*... та 3600 *с* болгондуктан Жердин ... огунда толук бир айланып чыгышы... дагы экватор чекиттеринин айлан... мезгили $T = 24 \cdot 3600\ с = 86400\ с$ боло...

Ийри сызыктуу кыймылдагы сызыктуу ылдамдык $\vartheta = \frac{2\pi ...}{T}$ ал эми бурчтук ылдамдыгы –«ω»

$$\omega = \frac{\vartheta}{R}; \quad \omega = \frac{2\pi R}{TR} = \frac{2\pi}{T}; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}.$$

Сан маанилерин ордуна коюп, сызыктуу жана бурчтук ы... дамдыктарды эсептейбиз:

$$\omega = \frac{23{,}14}{86400} = 0{,}00007\,\frac{1}{с}; \quad \vartheta = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 64 \cdot 10^5\ м}{6400\ с} = 465\,\frac{м}{с}.$$

Жооптору: $\vartheta = 465\,\frac{м}{с}; \quad \omega = 7 \cdot 10^{-5}$ ...

II главадагы эң негизги маалыматтар

Траекториясы ийри сызык болгон кыймылдар ийри сызы... туу кыймылдар деп аталат.

Анын келип чыгуу себеби: кыймылдын багытына күч бу... боюнча аракет этип калат.

Мында ылдамдыктын багыты ийри сызыктын каалаган ч... китинде ага жүргүзүлгөн жаныманын багыты менен да дал к... лет, демек, анын багыты үзгүлтүксүз өзгөрүп турат, модулу т... рактуу да, өзгөрмөлүү да болот.

Ийри сызыктуу кыймылда сызыктуу жана бурчтук ылда... дыктар болот.

$$\boxed{\vec{\vartheta} = \frac{S}{T}}; \qquad \boxed{\vec{\omega} = \frac{\varphi}{t}}.$$

Сызыктуу жана бурчтук ылдамдыктардын байланышы:

$$\vec{\vartheta} = \vec{\omega}\,R.$$

Ар кандай ийри сызыктуу кыймылда борборго умтулуу... жана борбордон четтөөчү күч, ылдамдануулар болушат:

$$\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta}^2}{R}; \quad \vec{a} = \vec{\omega}^2 R; \quad \vec{F} = m \cdot \vec{\omega}^2 R.$$

Айлануу мезгили – T, жыштыгы – n, $T = \frac{1}{n}$; $n = \frac{1}{T}$.

Ийри сызыктуу кыймылдар турмушта абдан көп.

III глава

ДИНАМИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ

«Кинематиканын негиздери» бөлүмүндө ар кандай кыймылдарды мүнөздөөчү чоңдуктар менен таанышканбыз. Кыймылдын түрлөрүнө жараша, ал чоңдуктардын турактуу же өзгөрмө болоорун, багытка ээ (вектордук) же багытка ээ эмес (скалярдык) экенин байкадык. Нерселердин кыймылы качандыр бир кезде башталат же токтойт, алар өтө тез, же жай болуп өтөт. Бул учурда ылдамдык өзгөрөт, демек, ылдамдануу пайда болот. Ылдамданууну таба билүү маанилүү, ал үчүн ал кандайча жана качан келип чыгаарын билүү керек. Бул суроолордун бардыгына механиканын динамика бөлүгү жооп берет.

Динамиканын закондору Г. Галилей баш болгон көп окумуштуулар тарабынан ачылган жана изилденген. Бирок ал закондорду топтогон, тактаган жана ирээтке келтирген англиялык окумуштуу И. Ньютон болгон. Ошондуктан динамика закондору Ньютон закондору деп аталат.

§ 10. Ньютондун 1-закону

Бул бөлүмдө биз нерселердин кыймыл закондорун окуп-үйрөнөбүз, б. а. эмне үчүн нерселер бир учурда тынч абалда болот, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келишет, ал эми башка учурда – ылдамдатылган, же акырындатылган кыймылга келишет.

Эң жөнөкөй учурдан баштайлы. Кандай шартта тынч турган нерсе кыймылга келет, б. а. ал нерсенин ылдамдыгы нөлдөн баштап кандайдыр бир чоңдукка жетет?

Бул суроого күндөлүк байкоолор, же тажрыйбалар жооп берет. Мисалы, жерде тынч жаткан топту алалык. Ал топту бирөө тепмейинче, же ал топко кыймылдагы башка топ келип урунмайынча, же ал топту бирөө таяк менен чапмайынча, же ага шамал таасир этмейинче ж. б. кыймылга келбейт, тынч тура берет. Ал топ өзүнөн-өзү эле кыймылга келбейт. Демек, тынч турган нерсе, ага башка нерсе таасир этмейин өз ылдамдыгын өзгөртпөйт.

Ошол сыяктуу эле нерсенин ылдамдыгынын азайышы, же ал нерсенин токтоп калышы да өзүнөн өзү эле келип чыкпайт. Мисалы, учуп келе жаткан ок жыгачка келип тийсе, ал ылдам-

дыгын азайтып отуруп, ошол жыгачтын тоскоолдугу астында токтойт. Тоголонуп келе жаткан топ, шар, педалын айландырбай түз жолдо келе жаткан велосипедист ж. б. акыры жол менен, же пол менен сүрүлүүнүн натыйжасында токтошот. Жол бурулушундагы кыймыл багытынын өзгөрүшү деле ага башка нерселердин таасир этүүсүнөн келип чыгат. Мисалы, ыргытылган топ Жердин тартуу күчүнүн таасиринен, же шамалдын таасиринен, же дубалга келип тийсе, дубал тарабынан таасир эткен күчтүн натыйжасында өз кыймыл багытын өзгөртөт. Тез чуркап келе жаткан адам зымкарагайды айланып өтүү үчүн аны колу менен кармап туруп, өз кыймылынын багытын өзгөртөт.

Ошентип, ар кандай нерселерге анын ылдамдыгынын багытын да, чоңдугун да сактоого умтулуу касиети таандык. Нерсе өз ылдамдыгын башка нерсенин таасири астында гана өзгөртө алат.

Нерселердин өз ылдамдыгынын чоңдугун жана багытын сактоого умтулуу касиети инерция деп аталат.

Башка нерселердин таасирине дуушар болбогон нерсе өзүнүн тынч абалын, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактайт, бул инерция закону деп аталат.

Ньютон Исаак (1643–1727) – англиялык физик жана математик. Ал тарабынан нерселердин кыймылынын негизги закондору жана тартылуу закону, жарыктын көп касиеттери изилденген жана ачылган, жогорку математиканын маанилүү бөлүмдөрү иштелип чыккан.

Инерция закону XVII кылымда эле италиялык физик Г. Галилей тарабынан изилденип, ошол эле кылымда англиялык физик жана математик Исаак Ньютон тарабынан механиканын негизги закондорунун бири катары ачылган.

Эгер нерсеге башка нерселер аракет этпесе, же ал аракеттер бирин-бири компенсациялап турса, анда ал нерсе өзүнүн тынч абалын, же түз сызыктуу бир калыпта кыймылындагы абалын сактай алат.

Бул закон Ньютондун биринчи закону деп аталат. Ньютондун 1-закону инерция закону деп да аталат.

Эки, же андан көп нерсенин аракеттери бири бирин компенсациялашат, б. а. нерселердин биргелешкен аракети нерселер жок кездегидей болот.

Жогоруда айтылгандардын жана турмуштук мисалдардын негизинде төмөнкүдөй жыйынтыкка келебиз:

эгер нерселердин аракеттери бири-бирин компенсациялашса, анда ал нерселердин таасири астындагы нерсе тынч абалын сактайт.

Бирок бул жерде кыймылдын да, тынчтыктын да салыштырмалуу экендигин унутпашыбыз керек.

Тынч абал сыяктуу эле, түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдагы абалда нерсенин табигый абалы болуп эсептелет.

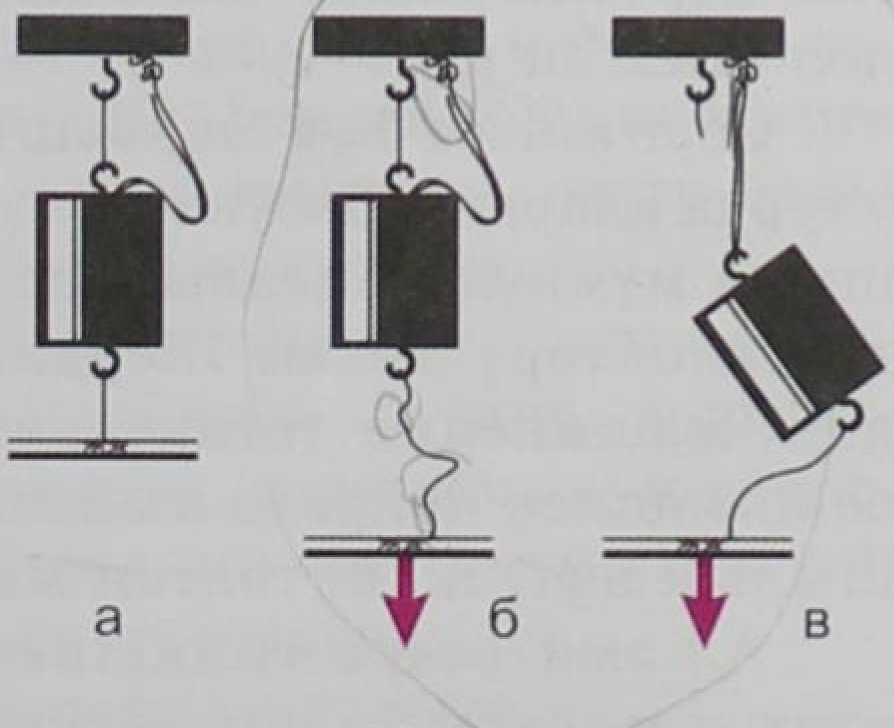
Нерсе ылдамдануусуз, б. а. турактуу ылдамдыкта кыймылдаса, анда аны инерция боюнча кыймылдап жатат деп эсептейбиз. Ал эми нерселер өзара аракеттенишкен учурда алардын ар бири өз ылдамдыгын өзгөртөт. Демек, алардын ар бири ылдамданууга ээ болот да, ал ылдамдануулар ар бир нерседе ар башка чоңдукта болушу мүмкүн.

Ал эми ылдамдануу убакыт бирдигиндеги ылдамдыктын өзгөрүшү экени белгилүү. Бул өзгөрүү канчалык аз болсо, ылдамданууда ошончолук кичине болот.

$\vec{a} = \dfrac{\vec{\vartheta} - \vec{\vartheta}_0}{t}$, же $\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{\vartheta}}{t}$, мындан $\Delta\vec{\vartheta}$ – канча кичине болсо, $\vec{a}$ да ошончо кичине болот. Өзара аракеттенишкен нерселердин кайсынысынын ылдамдануусу кичине болсо же ылдамдыгы жай өзгөрсө ошонусу инерттүүрөөк болот. Ал эми өзара аракеттешүүдө нерсе ылдамдыгын такыр өзгөртпөсө, анда ал инерция боюнча, б. а. түз сызыктуу жана бир калыптагы кыймылдаган болот.

Инерттүүлүк – бул бардык нерселерге тиешелүү касиет. Ал нерсенин ылдамдыгын өзгөртүш үчүн кандайдыр бир убакыт талап кылынат дегенди билдирет. Ылдамдыкты өзгөртүү үчүн канчалык көп убакыт талап кылынса, нерсе ошончолук инерттүү болуп эсептелет. Б. а. ылдамдыгы жайыраак өзгөргөнү инерттүүрөөк болот.

Тажрыйбаны карайлы: ичке жипке цилиндр илинген, анын төмөн жагында ичке жип байланган (29-*а*, сүрөт). Эгер төмөнкү жиптен кармап, кыска мөөнөттө булкуп тартсак (29-*б*, сүрөт), ылдыйкы жип үзүлөт. Ал эми жай, узакка тартсак, анда жогорку жип үзүлөт (29-*в*, сүрөт).



29-сүрөт.

Бул кырдаал мындайча түшүндүрүлөт: төмөнкү жипти жулкуп, кыска мөөнөттө тартканда, цилиндрге аракет этүү убактысы кыска,

эң аз болгондуктан, цилиндр өз ылдамдыгын өзгөртүүгө жана төмөн көздөй байкалаарлык которулуш жасоого бул аз убакытта үлгүрбөй калат. Ошондуктан, жогорку жип үзүлбөй, төмөнкү жип үзүлөт. Төмөнкү жиптин инерттүүлүгү аз болуп, жулкуп тартканда анын которулушу үзүлүүгө жетишээрлик болот.

Ал эми төмөнкү жипти жай, узак убакытка тартканда, ал цилиндрге узак убакыт бою аракет этет. Бул убакытта цилиндр жетиштүү ылдамдыкка ээ болуп, ансыз деле чоюлуп турган жогорку жип үзүлүүгө жетиштүү которулуш жасайт.

? 1. Ньютондун биринчи законунун аныктамасын айтып бергиле. 2. Инерция деп эмнени айтабыз? 3. Эки бирдей машиненин бирине оор жүк салынган, экинчиси бош. Жолдун кесилишине жакындаганда экөө бир мезгилде кыймылдаткычтарын өчүрдү. Булардын кайсынысы тез токтойт? Кайсынысы инерттүү дейбиз? 4. Нерсенин кандай абалдарын табигый абал дейбиз? 5. Инерциянын колдонулушуна турмуштан мисалдар келтиргиле.

§ 11. Күч. Масса – инерттүүлүктүн чени

Нерсенин ылдамдыгы өзүнүн чоңдугун жана багытын, ага экинчи бир нерсе аракет эткен учурда гана өзгөртөөрүн билдик. Эгер ылдамдык өзгөрсө, анда ылдамдануу пайда болот.

Ылдамдыкты өзгөртүп, ылдамданууну пайда кылуучу бир нерсенин экинчи нерсеге жасаган аракетин мүнөздөөчү чоңдук күч деп аталат.

Күчтү «F» тамгасы менен белгилейбиз. Бардык күчтөрдү негизинен эки түргө бөлүүгө болот: өзара тийишип турган нерселердин күчү жана кандайдыр бир аралыктан таасир этүүчү күчтөр.

Биринчисин карайлы. Мисалы, топту кол менен урган кезде колдун булчуңдары кысылып же созулушу керек. Балдар пистолетинин пробкасына абанын же пружинанын кысылышы менен аракет жасалат. Ушул же ушуга окшогон учурларда нерсе созулат, кысылат, чоюлат, ийилет, б. а. деформацияланат.

Демек, деформация учурунда пайда болуп, деформацияланган нерсени кайта калыбына келтирүүчү күч – серпилгич күчү деп аталган күч.

Серпилгич күчтөн башка нерселер өзара аракет этишкен учурда алардын бөлүктөрүнүн ортосунда сүрүлүү күчү пайда болушу да мүмкүн. Мисалы, бардык эле транспорт каражаттарынын дөңгөлөктөрү менен Жердин, адамдын тамандары менен Жердин, машиненин тетиктеринин бири-бирине сүрүлүү күчү. Нерсе илээшкек чөйрөдө кыймылга келген учурдагы чөйрөнүн каршылык күчү ж. б. толгон мисалдарды келтирүүгө болот.

Ал эми өзара тийишпеген нерселердин, б.а. аракет эткен күчтүн мисалы болуп, бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү эсептелет.

Анын бир көрүнүшү болгон оордук күчү – Жердин тартуу күчү. Жерден кандайдыр бир бийиктикте турган нерсенин өз алдынча түшүшү – Жердин ал нерсени тартып тургандыгынын далили болот.

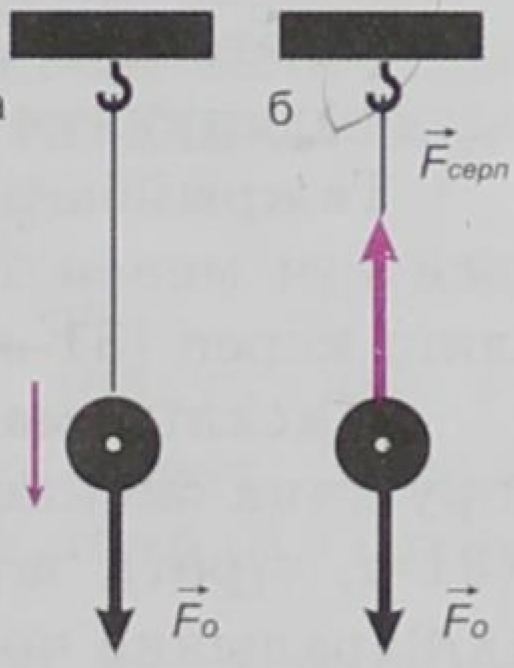
Күч вектордук чоңдук, демек, ал сан мааниси менен гана эмес, багыты менен да аныкталуучу чоңдук болуп эсептелет.

Мисалы, **оордук күчү** дайыма Жерди көздөй тик багытталгандыктан, ал вертикаль күч деп аталат (30-сүрөт).

Ал эми сүрүлүү күчү дайыма кыймылдын багытына карама-каршы багытталат.

Андан сырткары күч жумшалган тиркелген чекит менен да мүнөздөлөт. Мисалы, биз кандайдыр бир нерсени жипке байлап, сүйрөсөк, анын кай жерине жип байланганына жараша кыймыл да ар кандай болушу мүмкүн. Ошондуктан күчтү чиймеде көрсөткөн кезде, вектордук белгини – жебеси бар түз сызыктын кесиндисин, тандап алган масштабга ылайык, күч жумшалган жерден баштоо керек.

Мисалы, күчтү өлчөө үчүн, негизги бөлүгү пружина болуп эсептелген динамометр колдонулат. Анда пружинанын серпилгич күчү күчтүн эталону катары пайдаланылат. Себеби күч жумшалган кезде пружина деформацияланат (чоюлат, же кысылат), күчтү алып салган кезде ал дээрлик баштапкы абалына келет. Мына ошол касиет күчтү ченөөгө мүмкүндүк берет. Динамометрлер анын пружинасынын катуулук коэффициентине жараша ар кандай күчтөрдү өлчөөгө арналып, ар кандай өлчөмдө жана формада болоору физиканын мурунку курстарынан белгилүү. Күч да вектордук чоңдук болгондуктан, күчтөрдү кошуу же кемитүү кадимки эле векторлорду кошуу жана кемитүүнүн амалы менен жүргүзүлөт. Күчтүн СИдеги бирдиги жөнүндө кийинчерээк айтабыз.



30-сүрөт .

Масса. Ньютондун биринчи законунан белгилүү болгондой, ар түрдүү нерселер ар кандай өлчөмдө инерциялык касиетке ээ.

Эгер бири жүктөлгөн, экинчиси бош бирдей машинелерге бир мезгилде тормоз берсек, анда бошу тезирээк, жүгү бары кечирээк – бир топ аралыкты өтүп барып анан токтойт.

Демек жүктөлгөнү өз ылдамдыгын жайыраак, бошу тезирээк өзгөрттү. Жүктөлгөнүнүн ылдамдануусу кичине, бошунуку – чоңураак, б. а. жүгү бары инерттүүрөөк, жүгү жогунун инерттүүлүгү салыштырмалуу кичине. Нерсенин инерттүүлүгүн сан жагынан мүнөздөө үчүн «масса» түшүнүгү киргизилет.

Масса деп нерсенин инерттүүлүк ченин айтабыз.

Демек, жүктүү машинанын массасы чоң, бош машиненин массасы кичине.

● Массаны M же m тамгалар менен белгилейбиз.

Ошентип, масса нерсеге аракет эткен күч менен ал ээ болгон ылдамдануунун ортосундагы байланышты мүнөздөөчү чоңдук болуп эсептелет.

● Масса скалярдык чоңдук, демек, ал сан мааниси менен гана аныкталат.

Массаны ченөөчү курал рычагдуу тараза экени башталгыч класстан белгилүү.

Ошондой эле **«масса»** деп нерседеги заттын санын айтабыз деген аныктама да башталгыч класстан белгилүү.

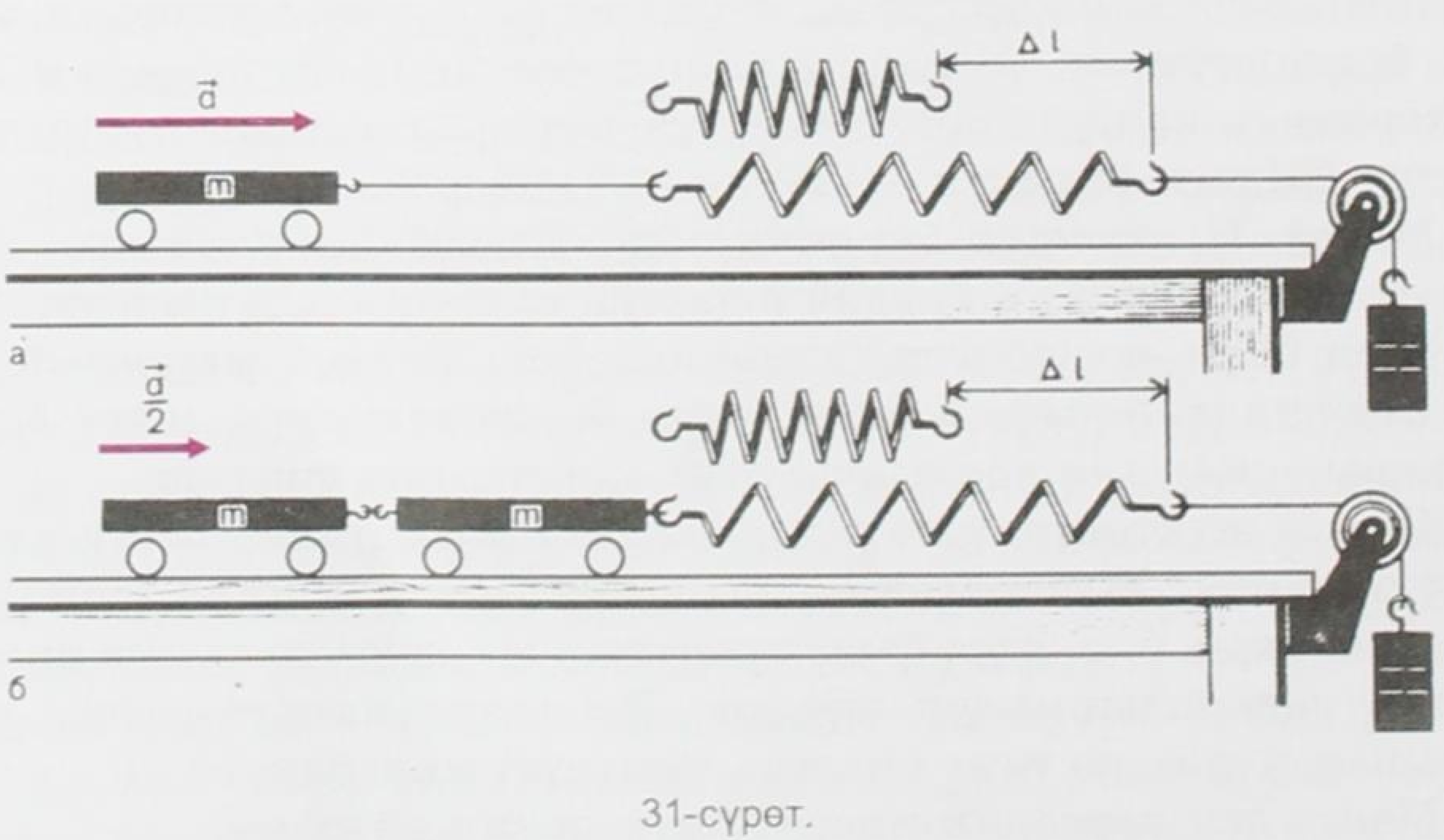
? **1.** Нерсенин массасы деп эмнени айтабыз? **2.** Массанын бирдиктери кайсылар? **3.** Массаны кандай курал менен ченейбиз? **4.** Күч деп эмнени айтабыз? **5.** Күчтү кайсы курал менен ченейбиз?

§ 12. Ньютондун 2-закону

Ньютондун 2-законунда үч физикалык чоңдуктун: массанын, ылдамдануунун жана күчтүн байланышы каралат.

Тажрыйбага кайрылалы. Түрдүү массадагы нерселерге бирдей күч менен таасир этилип, алардын ылдамдануулары ченелиш керек (31-*а*, *б* сүрөттөр).

Мисалы, массасы m болгон арабага пружина бекитилип, пружина блокко арта салынган жиптеги жүккө бириктирилген (31-*а*, сүрөт), жүк оордук күчүнө ээ болгондуктан, пружинаны $\Delta\ell$ аралыкка чоюп, төмөн карай кыймылга келет. $\Delta\ell$ узундугуна чоюлган пружинанын серпилгич күчү арабачага $\vec{a}$ ылдамда-



31-сүрөт.

нуусун берет (ал стробоскоптук ыкма менен ченелет, б. а. $\vec{a}$ ылдамдануусу ченелет).

Эми m массалуу арабачадан экөөнү бириктирип, б. а. массасын эки эсе чоңойтуп, ылдамдануусун ченеген кезде (жүк мурдагыдай эле эки учурда бирдей болгондуктан пружина мурункудай эле $\Delta\ell$ узундугуна чоюлат) (31-*б*, сүрөт), ылдамдануу эки эсе азайганы байкалган. Эгер арабачалардан 3, 4, 5 ж. б. чиркештирип, массасын 3, 4, 5 ж.б. эсе чоңойтсок, ылдамдануу 3, 4, 5 ж. б. эсе азаяры тажрыйбадан байкалган.

Бул арабачанын массасынын анын ылдамдануусуна болгон көбөйтүндүсү бирдей болот деген жыйынтыкты берет.

Ушуга окшогон тажрыйбаны нерсенин айлана боюнча кыймылы кезинде да жана башка көптөгөн учурлар үчүн жасап көргөн кезде деле жогоркудай жыйынтыкты берген.

Жогоркудай эле көп тажрыйбалардын негизинде Ньютон механиканын негизги закондорунун бири болгон өзүнүн экинчи законун төмөнкүчө формулировкалаган:

Нерсеге таасир эткен күч ал нерсенин массасы менен ошол күч берген ылдамдануунун көбөйтүндүсүнө барабар.

Нерсеге таасир эткен күчтү F тамгасы менен белгилеп, Ньютондун экинчи закону үчүн төмөнкүдөй математикалык туюнтманы алабыз:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \tag{3.1}$$

мында m – скалярдык чоңдук, $\vec{a}$ – вектордук чоңдук, күч $\vec{F}$ да вектордук чоңдук экени формуладан көрүнүп турат. Күчтүн багыты ылдамдануунун багыты менен дал келет. Эгер (3.1) формуласынан $\vec{a}$ ны тапсак: $\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m}$. (3.2)

Демек, *аракет эткен күчтүн таасири астында нерсенин алган ылдамдануусу ал күчтүн чоңдугуна түз, ал эми массасына тескери пропорциялаш экендиги көрүнүп турат.*

Эгер нерсеге бир эмес бир нече күчтөр аракет этсе, ал күчтөрдүн тең аракет этүүчүсүн – геометриялык суммасын табабыз, анда $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ формуласындагы $\vec{F}$ – күчү ошол көп күчтөрдүн геометриялык суммасы, анын өзү тең аракет этүүчү күч болуп эсептелет да Ньютондун экинчи законунун аныктамасы төмөнкүчө айтылат.

Нерсеге аракет эткен бардык күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү нерсенин массасы менен ошол тең аракет этүүчү күч берген ылдамдануунун көбөйтүндүсүнө барабар.

Анда күч түшүнүгүн пайдаланып, Ньютондун 1-законунун аныктамасын төмөнкүчө берсе болот.

Эгерде нерсеге аракет эткен бардык күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар болсо, анда салыштырмалуу алга

умтулуучу кыймылдагы нерсе өз ылдамдыгын туруктуу сактай ала турган эсептөө системалары бар болот.

Мындай эсептөө системалары инерциялык эсептөө системасы болот.

Ньютондун 2-закону инерциалдык гана эсептөө системасында аткарылат.

Эми Ньютондун 2-законунун формуласын пайдаланып, күчтүн бирдигин чыгарабыз. Бирдиктердин Эларалык системасы СИде күчтүн бирдиги үчүн массасы 1 *кг* болгон нерсеге $1\frac{м}{с^2}$ ылдамдануу бере турган күч кабыл алынган. Бул бирдик ньютон деп аталып, *Н* – тамгасы менен белгиленет, б. а. массасы 1 *кг* болгон нерсеге $1\frac{м}{с^2}$ ылдамданууну берген күч.

$$[\vec{F}] = [m \cdot \vec{a}] = 1\ кг \cdot 1\frac{м}{с^2} = 1\frac{кг \cdot м}{с^2} = 1H. \quad [\vec{F}] = 1H.$$

Массасы 1 *г* болгон нерсеге $1\frac{см}{с^2}$ ылдамдануу бере турган күч 1*дина* (*дин*) деп аталат. «*Н*» менен «*дин*» дин байланышы төмөнкүдөй: $1H = 1\frac{кг \cdot м}{с^2} = 10^3 г \cdot 10^2 \frac{см}{с^2} = 10^5 дин$. Демек, $1Н = 10^5 дин$.

Күчтүн системага кирбеген, бирок көп колдонулуучу бирдиктери: 1 *кг*, 1 *г*, 1 *т*, 1 *ц* ж. б. $1\ кг \approx 10H$, $1\ кг = 10^6\ дин$ ж. б.

Күчтү өлчөөчү куралдын «динамометр» деп аталган себеби да ошол «дина» – «метрео» – динаны өлчөйм деген сөздөрдөн келип чыккан.

Ньютондун экинчи законун $\vec{P} = m\vec{g}$ түрүндө да жазууга болот, мында $\vec{P}$ – салмак, $\vec{g}$ – нерсенин оордук күчүнүн таасиринде ээ болгон ылдамдануусу. Бул формула нерсе оордук күчүнүн натыйжасында кыймылга келген мезгилде пайдаланылат.

? 1. Ньютондун экинчи законунда кайсы физикалык чоңдуктардын байланышы каралат? 2. Ньютондун экинчи законун айтып бергиле. 3. Ньютондун экинчи законунун математикалык туюнтмасы (формуласы) кандай жазылат? 4. Күчтүн бирдиги – 1*Н* дун физикалык мааниси кандай? 5. Дина деп эмнени айтабыз? 6. Дина менен ньютондун байланышын билесиңби? 7. Күчтүн дагы кандай бирдиктерин билесиң? 8. Күчтү кайсы курал менен ченейбиз? 9. Эмне үчүн күчтү ченөөчү куралдын негизги бөлүгү болот пружинасы болот?

§ 13. Ньютондун 3-закону

Мурунку темалардан жана көп тажрыйбалардан нерселердин өзара аракеттенүүсү кезинде алар ээ болгон ылдамдануулары ал нерселердин массаларына тескери пропорциялаш экендигин байкадык, б. а. (3.2) формуласынын ($\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$) негизинде эки нерсенин өзара аракеттешүүсүн карап көрөлү.

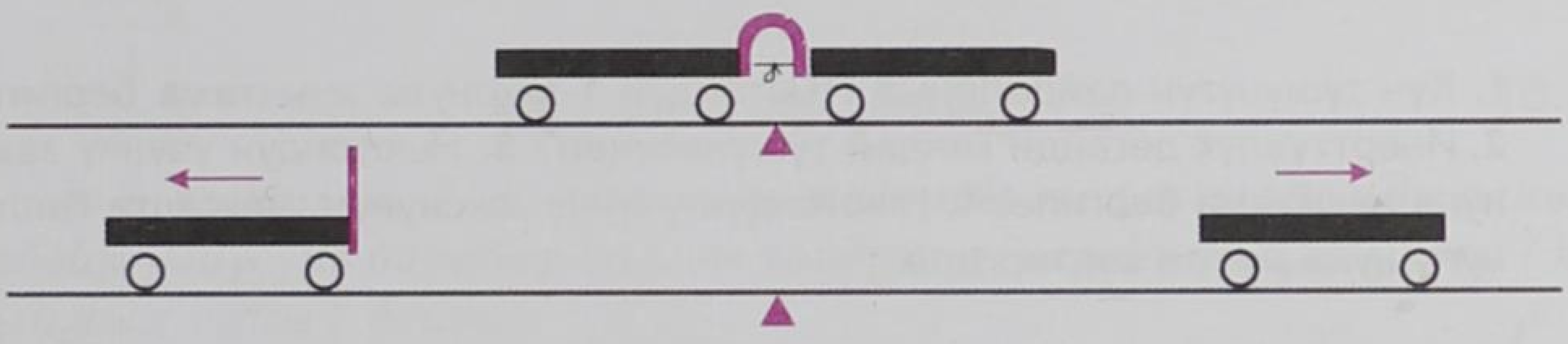
Ылдамдануулары $\vec{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m_1}$, $\vec{a}_2 = \frac{\vec{F}_2}{m_2}$ болсун дейли. Эгерде $F_1 = -F_2$ болсо, анда $\vec{a}_1 m_1 = -m_2 \vec{a}_2$ ни алабыз.

Эки нерсенин өзара аракеттешүүсүндө ылдамдануулар карама-каршы багытталган. Ошондуктан $\vec{a}_1 m_1 = -m_2 \vec{a}_2$ деп жазабыз же $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$. (3.3)

Бул барабардык Ньютондун 3-законунун математикалык формуласын туюнтат да төмөнкүчө окулат:

Эки нерсенин өзара аракеттешүү күчтөрү модулдары боюнча барабар, ал эми багыттары боюнча карама-каршы болушат.

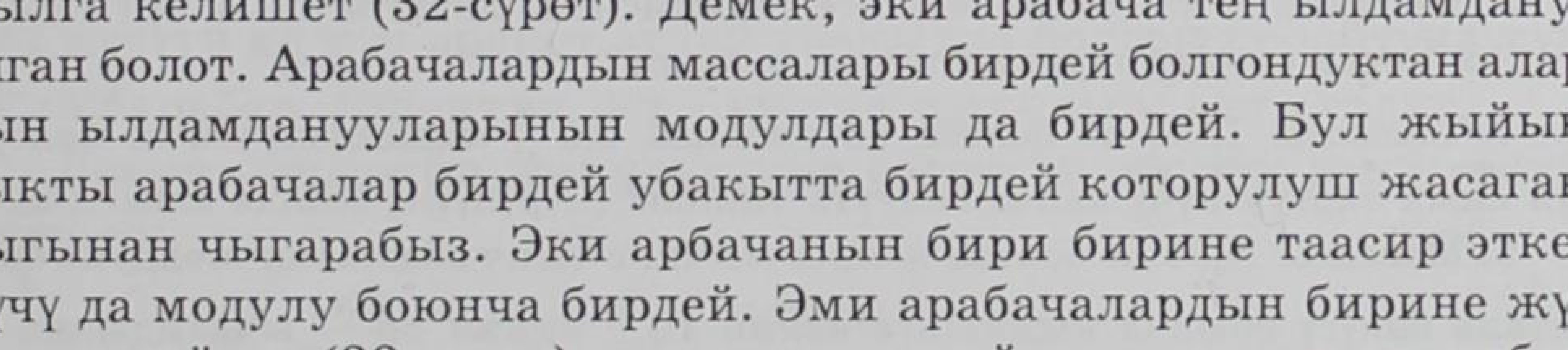
Же нерселер бир эле түз сызыкты бойлото багытталган модулдары боюнча барабар жана багыттары боюнча карама-каршы күчтөр менен бири бирине аракет этишет.



32-сүрөт

Ньютондун үчүнчү законун түшүнүү үчүн төмөнкү тажрыйбаны карайлы.

Массасы бирдей эки арабачаны алып, анын бирине серпилгич пластинка бекитилет да аны жип менен ийип байлайт (32-сүрөт). Эгер жипти кесип же күйгүзүп жиберсек, болот пластинка серпилип түзөлгөндө эки арабача тең эки жакка жылып кыймылга келишет (32-сүрөт). Демек, эки арабача тең ылдамдануу алган болот. Арабачалардын массалары бирдей болгондуктан алардын ылдамдануларынын модулдары да бирдей. Бул жыйынтыкты арабачалар бирдей убакытта бирдей которулуш жасагандыгынан чыгарабыз. Эки арбачанын бири бирине таасир эткен күчү да модулу боюнча бирдей. Эми арабачалардын бирине жүк салып койсок (33-сүрөт), анда жипти күйгүзүп же кесип жибергенден кийин, алардын которулуштарынын бирдей эместигин



33-сүрөт.

байкайбыз. Бул кырдаал алардын ылдамдануулары да, демек ылдамдыктары да бирдей эместигин далилдейт. Б. а. жүгү эки эсе көп арабачанын ылдамдануусу эки эсе аз дегенди билдирет. Натыйжада $\vec{a}_1 m_1 = -m_2 \vec{a}_2$ же $F_1 = -F_2$ барабардыгы орундалат.

Ньютондун 3-законуна ылайык, эки нерсенин өзара аракеттешүүсү учурунда ал эки күчтүн жаратылышы бирдей болоорун белгилей кетүү маанилүү. Мисалы, эгер бир нерсе экинчисине серпилгич күчү менен таасир этсе, анда экинчи нерсе да биринчисине ошондой эле серпилгич күчү менен аракет этет.

Бирок нерселердин өзара аракеттешүүсү учурунда таасир эткен күчтөр ар кандай нерселерге аракет этишет, ошондуктан алар бири-бирин тең салмакташтыра албайт.

Муну дайыма эсте тутуу керек. Бир гана нерсеге (же туюк системада) аракет эткен күчтөр гана бирин-бири тең салмактай алат.

? **1.** Күч түшүнүгүн пайдаланып Ньютондун 1-законуна аныктама бергиле. **2.** Инерттүүлүк дегенди кандай түшүнөсүңөр? **3.** Ньютондун үчүнчү законуна аныктама бергиле. **4.** Ньютондун үчүнчү законунун турмушта колдонулушуна мисал келтиргиле.

▲ **7-к ө н ү г ү ү.**

1. Массасы 1 *кг* болгон нерсе $10\,\frac{м}{с^2}$ турактуу ылдамдануу менен Жерге түшүп келе жатат. Ага таасир эткен күч (оордук күчү) эмнеге барабар?

2. Массасы 9,8 *г* болгон ок стволунун узундугу 67,7 *см* болгон мылтыктан $865\,\frac{м}{с}$ ылдамдык менен учуп чыгат. Октун стволдун ичиндеги кыймылын бир калыпта ылдамдатылган деп эсептеп, ошол ылдамдатуучу күчтүн чоңдугун эсептегиле.

3. Салмагы 3 *кг* болгон нерсеге горизонталь багытта 40 *Н* күч таасир этсе, ал нерсе кандай ылдамданууга ээ болот?

4. Салмагы 1350 *кг* болгон автомобиль $0{,}5\,\frac{м}{с^2}$ ылдамданууга ээ болсун үчүн анын тартуу күчү канча болууга тийиш? (Сүрүлүүнү эсепке албагыла.)

5. Массасы 1800 *кг* болгон жеңил машине тынч абалынан жолдун горизонталь бөлүгү боюнча кыймылга келип 10 *с* кийин $30\,\frac{м}{с}$ ылдамдыкка ээ болду? Сүрүлүүнү эске албастан жеңил машинени өөрчүткөн тартуу күчүн аныктагыла.

6. Массасы 12 *т* болгон троллейбус кыймыл башталгандан 5 *с* убакыттан кийин горизонталь жол боюнча 10 *м* аралыкты өтөт. Эгер кыймылга көрсөтүлгөн каршылык коэффициенти 0,02 болсо, троллейбустун тартуу күчүн тапкыла.

7. Массасы 2 *кг* жүк динамометрге илинип коюлган. Эгер жүк $2\,\frac{м}{с^2}$ ылдамдануу менен бир калыпта көтөрүлсө, динамометрдин көрсөтүүсү кандай болоор эле?

§ 14. Импульс. Импульстун сакталуу закону

§ 12 та Ньютондун 2-законунан (3.2) $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ (3.4) формуланын келип чыкканын көрдүк, б. а. (3.4) формулага ылайык, эгер m массадагы нерсеге турактуу $\vec{F}$ күчү аракет эте берсе, анда нерсе ээ болгон ылдамдануу ($\vec{a}$) да турактуу болоору белгилүү.

Убакыттын баштапкы моментиндеги нерсенин ылдамдыгын $\vec{\vartheta}_0$, ал эми күч аракет эткен убакыттын (t) акырындагы ылдамдыгы $\vec{\vartheta}$ болсун десек, анда ал нерсе ээ болгон ылдамдануу $\vec{a} = \frac{\vec{\vartheta}-\vec{\vartheta}_0}{t}$ (3.5) болот.

Бул формуланы (3.4) менен салыштырып төмөнкүнү алабыз:

$\frac{\vec{F}}{m} = \frac{\vec{\vartheta}-\vec{\vartheta}_0}{t}$

же $\vec{F}t = m\vec{\vartheta} - m\vec{\vartheta}_0$ (3.6)

$m\vec{\vartheta}$ чоңдугун, б. а. нерсенин массасы менен ылдамдыгынын көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдукту нерсенин импульсу (же кыймыл саны) дейбиз.

Нерсенин импульсу вектордук чоңдук. Анын багыты кыймыл ылдамдыгынын багыты менен дал келет.

СИде импульстун бирдиги үчүн 1 $\frac{м}{с}$ ылдамдык менен кыймылдаган, массасы 1 *кг* болгон нерсенин импульсу 1 *кг* $\frac{м}{с}$ кабыл алынган.

(3.6) формуласындагы $(m\vec{\vartheta} - m\vec{\vartheta}_0)$ чоңдугу импульстун өзгөрүшү деп аталат. Анда импульстун өзгөрүшү нерсеге аракет эткен күчтүн ал күч аракет эткен убакытка болгон көбөйтүндүсүнө ($\vec{F}t$) барабар. Ошентип $\vec{F}t$ – күчтүн импульсу деп аталат.

Демек, нерсенин импульсунун өзгөрүшү күчтүн импульсуна барабар:

$$\vec{F} \cdot t = m \cdot \Delta\vec{\vartheta}, \tag{3.7}$$

мындан $\vec{F} = \frac{m\Delta\vec{\vartheta}}{t}$ келип чыгат. (3.8)

Бул (3.8) формулага ылайык, импульс түшүнүгүн колдонуу менен төмөнкүдөй аныктама берүүгө болот:

Күч деп импульстун өзгөрүшүнүн ошол өзгөрүү болуп өткөн убакытка болгон катышына барабар болгон чоңдукту айтабыз.

Жаратылыштын маанилүү закондорунун бири – импульстун сакталуу закону. Бул законду нерселерди бириктирүүчү түз сызыкты бойлото кыймылга келген эки чекиттик нерселердин учуру үчүн чыгаралык. m_1 жана m_2 массалуу нерселердин ыл-

дамдануулары $\vec{a}_1$ жана $\vec{a}_2$ болсун. Ньютондун 2-закону боюнча аларга аракет этүүчү күчтөр – $m_1\vec{a}_1$ жана $m_2\vec{a}_2$. Ал эми Ньютондун 3-закону боюнча төмөнкүдөй жазылат:

$$m_1\vec{a}_1 = -\vec{a}_2 m_2 . \quad (3.9)$$

Эгер эки нерсенин өзара аракет эткенге чейинки ылдамдыктары $\vec{\vartheta}_1$ жана $\vec{\vartheta}_2$, ал эми аракет этишкенден кийинки ылдамдыктары $\vec{\vartheta}_1'$ жана $\vec{\vartheta}_2'$ болсо, анда:

$$\vec{a}_1 = \frac{\vec{\vartheta}_1' - \vec{\vartheta}_1}{t}; \quad \vec{a}_2 = \frac{\vec{\vartheta}_2' - \vec{\vartheta}_2}{t}.$$

Бул маанилерди жогорку (3.9) формулага койсок, анда

$$\frac{m_1\left(\vec{\vartheta}_1' - \vec{\vartheta}_1\right)}{t} = -\frac{m_2\left(\vec{\vartheta}_2' - \vec{\vartheta}_2\right)}{t}.$$

Бул барабардыкты tга көбөйтүп, кашааны ачып, мүчөлөрүнүн ордун индекстери боюнча алмаштырып, төмөнкүгө ээ болобуз:

$$m_1\vec{\vartheta}_1' + m_2\vec{\vartheta}_2' = m_1\vec{\vartheta}_1 + m_2\vec{\vartheta}_2 . \quad (3.10)$$

Бул барабардыктан көрүнүп тургандай, өзара аракеттешкенге чейинки импульстардын суммасы аракеттешкенден кийинки импульстардын суммасына барабар.

Мына ушунун өзү импульстун сакталуу закону болуп эсептелет. Бул закон эки нерсе үчүн гана эмес, туюк системада өзара аракеттешкен каалаган сандагы нерселер үчүн да туура болот.

Туюк системаны түзгөн нерселердин импульстарынын геометриялык суммасы бул системанын нерселери өзара каалагандай аракеттенишсе да турактуу бойдон калат.

? **1.** Импульс же кыймыл саны деп эмнени айтабыз? **2.** Нерсенин импульс вектору кандай багытталган? **3.** Күчтүн импульсу деп эмнени айтабыз? **4.** Импульс аркылуу күчкө кандай аныктама беребиз? **5.** СИдеги импульс бирдиги кайсы? **6.** Күчтүн импульсу менен нерсенин импульсу кандай байланышкан? **7.** Импульстун сакталуу законуна аныктама бергиле. **8.** Нерселердин туюк системасы деп эмнени түшүнөсүңөр?

8-көнүгүү

1. Массасы 10 *кг* болуп, 4 $\frac{м}{с}$ ылдамдык менен кыймылдаган нерсенин импульсун эсептегиле.

2. Массасы 2000 *т* болгон поезд түз сызыктуу кыймылдап, ылдамдыгын 36 $\frac{км}{саат}$ тан 72 $\frac{км}{саат}$ ка өзгөрттү. Импульстун өзгөрүшүн тапкыла.

3. Массасы 4 *т* суу чачуучу машиненин цистернасында 2 $м^3$ суу бар. Төмөнкү учурларда:

а) машине суу чачыла турган жерге 18 $\frac{км}{саат}$ ылдамдык менен жүрүп бара жатканда;

$m_1 \vartheta_1 = (m_1 + m_2)\vartheta'$

$(3\cdot10^4 кг + 2\cdot10^4 кг) = 5\cdot10 кг = 7,5$

б) машине суусунун бардыгын чачып бүтүп, 54 $\frac{км}{саат}$ ылдамдык менен бара жатканда импульстары эмнеге барабар?

4. Массасы $3\cdot10^4$ *кг* болгон вагон, горизонталь жол боюнча 1,5 $\frac{м}{с}$ ылдамдык менен келе жатып, массасы $2\cdot10^4$ *кг* болгон кыймылсыз турган вагонго урунуп, автоматтык чиркешүүдөн кийин алар кандай ылдамдык менен кыймылдап калышат?

5. Массасы 60 *кг* адам 60 $\frac{м}{с}$ ылдамдык менен чуркап келе жатып, массасы 30 *кг* болгон рельсте кыймылсыз турган арабачага келип жеткен ылдамдыгын тапкыла.

6. Массасы 200 *г* болгон шарик 150 $\frac{м}{с}$ ылдамдык менен келе жатып, массасы 100 *г* болгон кыймылсыз шарикке урунат. Урунушуудан кийин ошол эле багытта шарик 250 $\frac{м}{с}$ ылдамдыкка ээ болсо, анда биринчи шариктин ылдамдыгы канчага барабар болуп калган?

7. Массасы 100 *г* болгон шарик 40 *см* бийиктиктен столдун бетине келип түшүп, 30 *см* бийиктикке көтөрүлсө, ал столго кандай импульс берген?

§ 15. Бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү. Тартылуунун турактуулугу

Динамиканын же кыймылдын закондору болуп эсептелген Ньютондун закондорунун негизинде нерсеге таасир эткенде гана ал ылдамдануу менен кыймылга келе тургандыгына күбө болдуңар. Мисалы, төмөн түшүп келе жаткан нерсеге Жер тарабынан оордук күчү таасир этет ж.б.

Эми Жер гана өзүнө тартуу касиетине ээ болобу деген суроо туулат.

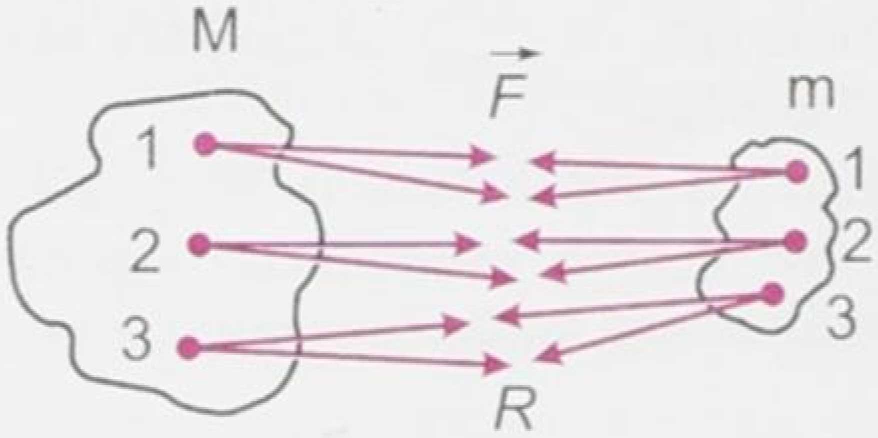
Бул суроого 1667-жылы И. Ньютон жооп берген. Ал бардык нерселер өзара тартылуу күчтөрү аркылуу бири бирине таасир этишээрин айткан. Бул күчтү Ньютон бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү деп атаган. Ошондой эле И. Ньютон бул күчтүн нерселердин массаларына жана алардын ортосундагы аралыкка көзкаранды болоорун далилдеген. Ал көп тажрыйбалардын негизинде төмөнкүдөй корутундуга келген:

Ар кандай эки нерсе, же нерсенин эки бөлүкчөсү алардын массаларынын көбөйтүндүсүнө түз, арасындагы аралыктын квадратына тескери пропорциялаш күч менен тартылышат.

Эгер өзара аракеттенишкен нерселердин массалары M жана m десек (34-сүрөт) алардын борборлорунун арасындагы аралыкты R, ал эми эки нерсенин өзара тартылышуу күчүн F деп белгилесек, анда ал эки нерсенин тартылышуу күчүнүн математикалык туюнтмасы төмөнкүчө жазылат:

$$\vec{F} = G\frac{M\cdot m}{R^2}, \qquad (3.11)$$

мында G – жаратылыштагы бардык нерселер үчүн бирдей бол-



34-сүрөт

гон пропорциялаштык коэффициенти. Бул чоңдук бүткүл дүйнөлүк тартылуу турактуулугу, же гравитациялык турактуулук деп аталат. (3.11) бүткүл дүйнөлүк тартылуу законунун формуласы деп аталат. Кээде ал Ньютондун 4-закону деп да аталат, мында Gнын сан мааниси тажрыйбадан алынат (35-сүрөт). $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\left(\frac{Н \cdot м^2}{кг^2}\right)$.

Планеталардын Күндүн айланасында, Ай жана спутниктердин (жасалма жандоочулардын) Жердин айланасында айланып жүрүшү бул закондун негизинде түшүндүрүлөт.

35-сүрөт.

Бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү, качан гана нерселер арасындагы аралык өтө чоң болуп, нерселер материалдык чекит катары каралган учурда гана туура болот. Бул күчтүн багыты ошол нерселерди бириктирүүчү түз сызыкты бойлото багытталган.

Бул күчтүн өтө эле кичине экени көрүнүп турат. Ошондуктан бизди курчап турган нерселердин өзара тартылышып жатканын байкай албайбыз.

? **1.** Бүткүл дүйнөлүк тартылуу законунун аныктамасын айтып бергиле. **2.** Бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчүнүн формуласын жазгыла. **3.** Планеталарды Күндүн айланасында айланууга мажбурлаган кайсы күч? **4.** Гравитациялык турактуулуктун сан мааниси канчага барабар, ал эмнени туюнтат (физикалык мааниси?) **5.** Гравитациялык турактуулуктун бирдиктери кандай?

§ 16. Тартылуу күчүнүн аракеттери. Эркин түшүү жана анын ылдамдануусу. Оордук күчү. Салмак

Бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчүнүн бир түрү оордук күчү.

Нерселердин Жердин борборуна тартылуу күчүн оордук күчү дейбиз.

Эгер Жердин массасын M, анын радиусун R, ал эми жер бетиндеги нерсенин массасын m десек, анда бүткүл дүйнөлүк тартылуу законуна ылайык, б. а. (3.11) формуланын негизинде ал күч Жердин борборун көздөй багытталат. Ал нерсеге таасир эткен оордук күчү Ньютондун экинчи законунун негизинде

төмөнкү формула менен аныкталат: $\vec{F}_o = m\vec{g}$ (3.12), мында $\vec{F}_o$ – оордук күчү, m – масса, $\vec{g}$ – эркин түшүүнүн, же нерсенин оордук күчүнүн таасириндеги ылдамдануусу.

Оордук күчүнөн башка салмак түшүнүгү да киргизилет.

Оордук күчүнүн натыйжасында асмага же таянычка таасир эткен күчтү нерсенин салмагы дейбиз.

Эгер нерсенин салмагын $\vec{P}$ тамгасы менен белгилесек, анда Ньютондун экинчи закону боюнча $\vec{P} = m\vec{g}$ (3.13). Салмак да оордук күчү сыяктуу эле вертикаль төмөн (Жердин борборун көздөй) багытталат. Формулалардан көрүнүп тургандай салмак да, оордук күчү да массадан (m), оордук күчүнүн ылдамдануусунун ($\vec{g}$) чоңдугунчалык айырмаланаары көрүнүп турат.

Нерсенин тынч абалдагы салмагы анын тынч абалдагы оордук күчүнө барабар. Бирок айырмасы: оордук күчү нерсенин өзүнө жумшалган, ал эми салмак же асмага, же таянычка жумшалган.

Оордук күчүн да, салмакты да динамометрдин жана таразанын жардамы менен өлчөөгө болот.

Бирдиктери:

СИде:

$$\left[\vec{F}_o\right] = \left[m\vec{g}\right]; \quad \left[\vec{F}_o\right] = \left[1\,кг \cdot \frac{м}{с^2}\right] = 1H \qquad \left[\vec{P}\right] = \left[m\vec{g}\right]; \quad \left[\vec{P}\right] = 1\,H.$$

Мындан тышкары системага кирбеген башка көп бирдиктери да бар.

Эгер нерсеге бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү же оордук күчү гана аракет этсе, анда ал нерсе эркин түшөт.

Нерсенин оордук күчүнүн (салмагынын) гана натыйжасындагы кыймылы эркин түшүү кыймылы деп аталат.

Эркин түшүү кыймылы жөнүндө «нерсенин төмөн түшүү» кыймылын, б. а. ылдамдатылган кыймыл жөнүндө айтканда, анын мисалы катарында айткан элек.

Эркин түшүү кыймылы италиялык атактуу окумуштуу Галилео Галилей тарабынан кеңири изилденип, анын оордук күчүнүн ылдамдануусу $\vec{g}$ – Жердин берилген ордунда ар кандай массадагы нерселер үчүн турактуу чоңдук экендиги аныкталган. Анын математикалык чыгарылышы төмөнкүчө:

Ньютондун экинчи закону боюнча: $\vec{F} = m\vec{g}$ $\vec{g} = \dfrac{\vec{F}}{m}$, эми бүткүл дүйнөлүк тартылуу закону боюнча $\vec{F} = G\dfrac{Mm}{R^2}$ ти ордуна койсок, $\vec{g} = G\dfrac{M}{R^2}$ (3.14) болот.

Нерсенин массасынын (m) акыркы (3.14) формулада болбой калгандыгынын өзү оордук күчүнүн же эркин түшүүнүн ылдам-

дануусунун Жердин берилген ордунда нерсенин массасынан (m) көзкаранды эмес экендигин көрсөтөт. Бирок gнын сан мааниси Жердин ар кандай орундарында (уюлдарында, экватордо, орто кеңдикте) ар башка экендигинин негизинде нерсеге таасир эткен оордук күчү да, салмак да ар башка болот.

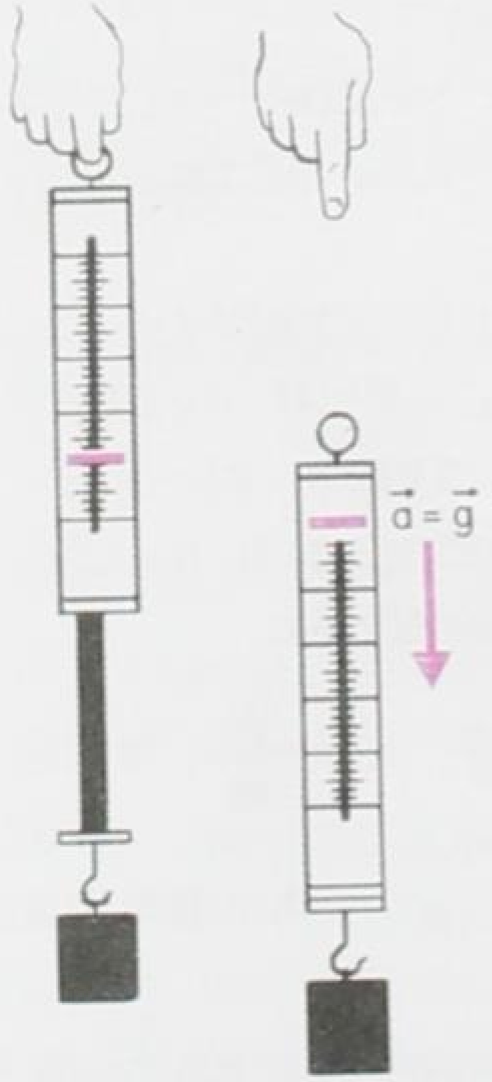
Мисалы, $g_{уюлда} = 9{,}83\ \frac{м}{с^2}$; $g_{экв} = 9{,}78\ \frac{м}{с^2}$; $g_{45°кенд.} = 9{,}8\ \frac{м}{с^2}$ маанилерин алабыз. Маселе иштөөдө, анча так эмес эсептөөлөрдө $g = 9{,}8\ \frac{м}{с^2}$ ордуна $g = 10\ \frac{м}{с^2}$ маанилерин алабыз.

gнын маанилеринин түрдүү себептери: Жердин шар формасында эмес, эллипске жакыныраак формада экендигинде; Жер астындагы кен байлыктардын (металл, нефть, газ ж. б.) тыгыздыгына жараша болот. gнын сан маанисине жараша оордук күчү да, салмак да түрдүүчө болгону ошол себептен болот.

Салмаксыздык. *Нерсенин салмагы – бул оордук күчүнүн (жерге тартылуунун) натыйжасында асмага же таянычка таасир эткен күч.* Ал $\vec{P} = m\vec{g}$ формуласы боюнча аныкталат. Оордук күчү нерсеге жумшалган гравитациялык күч, ал эми салмак бул асмага аракет эткен серпилгич күч.

Тажрыйбага көңүл буралы:

Динамометрге (36-*а*, сүрөт) жүк илинген. Пружина чоюлуп, жүктүн салмагын көрсөтөт. Эгер динамометр жүгү менен эркин түшсө (36-*б*, сүрөт), анда анын жебеси «0» – нөлдө турат да пружина чоюлбайт, демек ал деформацияланбайт, б. а. серпилүү күчү ($\vec{F}_{серп.} = 0$) нөлгө барабар болот. Бул абалда салмак жоголот. Жүк салмаксыз болуп калды. Бул учурда нерсе оордук күчүнүн гана, же жалпы алганда бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчүнүн гана таасири менен кыймылга келет. Бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү гана таасир эткен ар кандай нерселер салмаксыз абалда болушат. Ушундай шартта гана нерсе эркин түшөт. Бул учурда нерсенин сызыктуу ылдамдануусу ($\vec{a}$), эркин түшүүнүн ылдамдануусуна ($\vec{g}$) барабар болуп калат, б. а. $\vec{a} = \vec{g}$ болот.



36-сүрөт.

Демек салмаксыздыктын негизги шарты

$$\boxed{\vec{a} = \vec{g}}\ . \qquad (3.15)$$

Кошумча салмак. Мурунку темалардан, эгер нерсе тынч абалда болсо, анда анын салмагы оордук күчүнө барабар болоорун билдиңер.

Практикада нерсенин салмагы оордук күчүнөн кичине да, чоң да болгон учурлар кездешет. Эгер нерсе таянычы же асмасы менен бирге кандайдыр бир ылдамдануу менен ($\vec{a} \neq \vec{g}$) кескин төмөн түшсө, анда анын салмагы тынч абалдагы салмагынан аз болот, б. а. $\boxed{\vec{P} = m(\vec{g} - \vec{a})}$ (3.16) барабардыгы орундалат.

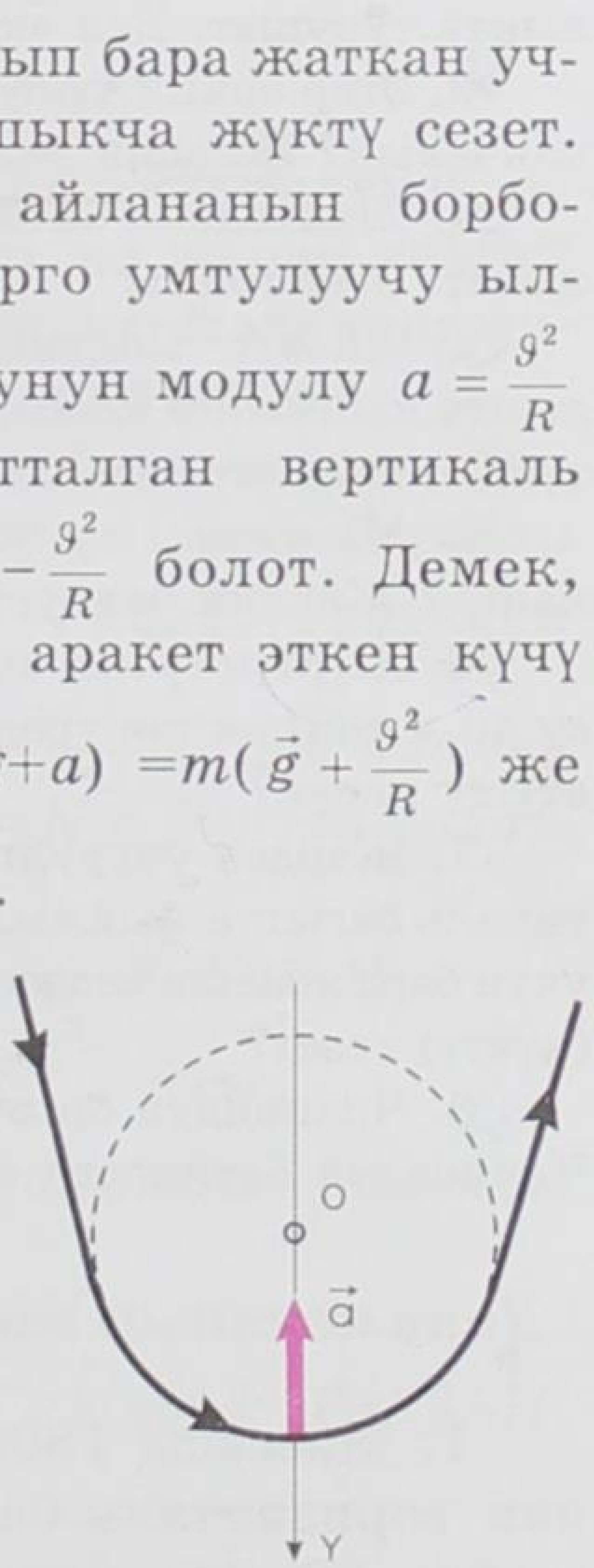
Демек, *нерсе (таянычы, же асмасы менен бирге) эркин түшүүнүн ылдамдануусунун багыты боюнча ылдамдануу менен кыймылга келсе, анда анын салмагы тынч турган кездеги салмагынан кичине болот.*

Эгер *эркин түшүүнүн ылдамданусуна карама-каршы багытта ылдамдануу менен кыймылга келсе, анда анын салмагы тынч абалдагы салмагынан чоң болот.* Б. а. $\boxed{\vec{P} = m(\vec{g} + \vec{a})}$ (3.17) барабардыгы орундалат.

Буга мисал катары жолдун томпок жана иймек бөлүктөрүндөгү машиненин кыймылын, «мертвая петля» (37-сүрөт) жасаган кездеги илмектин жогорку жана төмөнкү чектериндеги самолеттун кыймылын ж. б. келтирсек болот. Эми 37-сүрөткө кайрылып көрөлү.

Самолётту типтик ылдый учуудан чыгарып бара жаткан учкуч траекториянын төмөнкү бөлүгүндөгү ашыкча жүктү сезет. Траекториянын төмөнкү чегиндеги самолёт айлананын борборун көздөй тик жогору багытталган борборго умтулуучу ылдамдануу менен кыймылдайт. Ылдамдануунун модулу $a = \frac{\vartheta^2}{R}$ болот. Бул ылдамдануунун төмөн багытталган вертикаль октогу проекциясы терс, б. а. $a_y = -a = -\frac{\vartheta^2}{R}$ болот. Демек, учкучтун салмагы, таянычка (отургучка) аракет эткен күчү траекториянын төмөнкү чекитинде $P = m(g+a) = m(\vec{g} + \frac{\vartheta^2}{R})$ же $P = m\left(\vec{g} + \frac{\vartheta^2}{R}\right)$ (3.18) болот, б. а. $P > mg$ болот.

Ошентип, учкучтун салмагы mg эмес, $\left(mg + m\frac{\vartheta^2}{R}\right)$ болот, б. а. $m\frac{\vartheta^2}{R}$ ге чоң болуп кетет.



37-сүрөт.

Эгер борборго умтулуучу ылдамдануу $\frac{\vartheta^2}{R}$ эркин түшүүнүн ылдамдануусу gдан n эсе ашып кетсе $\left(\left(\frac{\vartheta^2}{R}\right) = ng\right)$, анда учкучтун салмагы $P = mg(n+1)$ болот, б. а. учкучтун өзүнүн «нормалдуу» (mg) салмагынан $(n+1)$ эсе чоң болот.

Ашыкча жүк (перегрузка) учурунда учкучтун, космонавттын ички организминин салмагы көбөйөт, алардын бири бирине, скелетине аракет этүүчү күчү да чоңоёт. Натыйжада организм ооруп кетет да, өтө чоң ашыкча жүк денсоолукка зыян келтирет.

Ошондуктан учкучтар, же космонавттар атайын даярдыктан өтүшөт. Каалаган эле киши учкуч же космонавт боло албаган себептердин бири да ошол. Такшалган учкучтар (космонавттар) 10 mg га чейинки ашыкча жүккө чыдай алышат.

?

1. Оордук күчү деп эмнени айтабыз? **2.** Салмак деп эмнени айтабыз? **3.** Оордук күчү менен салмактын окшоштугун жана айырмасын көрсөт. **4.** Нерсе Жерден алыстаса салмагы, оордук күчү өзгөрөбү? 5. Тартылуу күчүнүн аракеттерин кайсы күчтөр көрсөтөт? **6.** Салмаксыздыктын негизги шарты кайсыл? **7.** Ашыкча күч. Ага кимдер дуушар болушат? 8. Эмне үчүн каалаган эле адам учкуч, же космонавт боло албайт?

9-көнүгүү

1. Ай менен Жердин ортосундагы тартышуу күчүн эсептегиле. $m_A=6\cdot10^{24}$ *кг*. Ай менен Жердин ортосундагы аралык $4\cdot10^8$ *м*. $M_{жер}\approx6\cdot10^{24}$ *кг*.

2. Массалары 50 000 *т* дан болгон эки корабль бири биринен 1 *км* аралыкта турушат. Бул эки кораблдин тартылышуу күчү канчага барабар?

3. Эгер эркин түшүүнүн ылдамдануусу 9,8 $м/с^2$ болсо, Жердин массасы канчалык? Жердин радиусу 6370 *км* ге барабар.

4. Шахтадагы көтөргүч машиненин (клеть) ичинде массасы 100 *кг* жүк жатат. Эгер клеть:

а) 0,3 $м/с^2$ ылдамдануу менен вертикаль боюнча көтөрүлсө; б) бир калыпта кыймылга келсе; в) 0,4 $м/с^2$ ылдамдануу менен төмөн түшсө; г) эркин түшсө, анда жүктүн салмагы кандай?

5. Массасы 1 *кг* болгон нерсенин уюлдагы жана экватордогу салмагы канча? Жердин радиусу 6400 *км* деп алгыла.

6. Жүргүнчү көз ачып жумганча салмаксыз абалда болсун үчүн радиусу 40 *м* томпок көпүрөнүн орто жерин автомобиль кандай ылдамдык менен өтүшү керек?

7. Жерден учурулган космос ракетасы 20 $м/с^2$ ылдамдануу менен вертикаль багытта кыймылдайт. Эгер космонавттын массасы 80 *кг* болсо, анын учуп бара жаткан кездеги салмагы канча? Космонавт канчалык ашыкча жүктү (күчтү) сезет?

8. Чолпондун орточо тыгыздыгы 5200 $кг/м^3$, ал эми радиусу 6100 *км*. Чолпондун бетиндеги эркин түшүүнүн ылдамдануусун эсепте?

Динамиканын закондоруна маселе чыгаруунун мисалдары

1. Массасы 1800 *кг* болгон автомобиль тынч турган абалынан горизонталь багытта кыймылга келет да, 10 *с* убакыттан кийин 30 *м/с* ылдамдыкты өөрчүтөт. Кыймылдаткычтын тартуу күчүн аныктагыла? Сүрүлүүнү эске албагыла.

Берилди:	Чыгаруу:
$m=1800$ *кг*	
$\vartheta_0 = 0$	
$t = 10$ *с*	
$\vartheta = 30$ *м/с*	
$F_т$ – ?	

Автомобиль адегенде тынч тургандыктан, анын баштапкы ылдамдыгы $\vartheta_0 = 0$. Ал эми 10 *с* убакытта ылдамдыгы 0дөн баштап 30 *м/с*га жеткен. Демек, ал ылдамданууга ээ. Ылдамдануу $a = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{t}$; $\vartheta_0 = 0$ болгондуктан $a = \frac{\vartheta}{t}$ болуп калат.

Кыймылдаткычтын тартуу күчү Ньютондун 2-закону боюнча ылдамдануу берип, массаны да жеңет. Ошондуктан $F_т = ma$, ал эми a нын маанисин ордуна койсок:

$F_т = m\frac{\vartheta}{t}$, буга сан маанилерин коюп эсептөө жүргүзсөк:

$$F_т = 1800\ кг \cdot \frac{30\ \frac{м}{с}}{10\ с} = 5400\ кгм/с^2 = 5400Н = 5,4\ кН;$$

Жообу: 5,4 *кН*.

2. Салмагы 70 *кг* болгон адам лифт менен 0,5 $м/с^2$ ылдамданууда өйдө көтөрүлүп бара жатат. Лифттин полун ал адам кандай күч менен басат?

Берилди:	Чыгаруу:
$P = 70\ кг = 700\ Н$	
$a = 0,5\ м/с^2$	
$1кг = 10\ Н$	
F – ?	

Бул учурда адамга: Жерге тартылуу күчү, же салмагы P таасир этип, ал жерди көздөй тик төмөн багытталган; ошондой эле таяныччтын реакция күчү N таасир этет.

Ал вертикаль жогору багытталып, биз издеп жаткан басым күчүнүн өзүнө барабар болот. Бул эки күчтүн теӊ аракет этүүчүсү: $(N - P)$ болот, анткени лифт көтөрүлүп бара жатат.

Ньютондун 2-закону боюнча ал теӊ аракет этүүчү күч лифтке ылдамдануу (a) берет, б. а. $N - P = ma$ же $F = N = P + ma$ болот.

Ордуна коюп, эсепти СИге чыгарсак:

$F = 700\ Н + 70\ кг \cdot 0,5\ м/с^2 = 735\ Н;$ $F = 735\ Н.$

$P = mg,$ $m = \frac{P}{g} = \frac{700\ \frac{кгм}{с^2}}{10\ \frac{м}{с^2}} = 70\ кг.$ Биз салмактан массаны таптык, ал ≈70 *кг*. Ордуна коюп эсептеп, 735*Н*ду алдык.

Жообу: $F = 735Н$.

§ 17. Жердин жасалма жандоочулары (спутниктери). Биринчи жана экинчи космос ылдамдыктары

Жер бетинен кандайдыр бир h бийиктигинде горизонталь багытта ыргытылган ар кандай нерсе парабола боюнча кыймылдайт да, акыры жерге келип түшөт. Жерге түшүүнүн аралыгынын чоңдугу нерсенин баштапкы ыргытылган моменттеги ылдамдыгына жараша болот. Баштапкы ылдамдыгы канча чоң болсо, нерсенин Жерге келип түшүү аралыгы да ошончо алыс болот.

Эгер ошол нерсеге кандайдыр бир чоң ылдамдыкты берсек, анда аны Жерге түшүрбөй эле Жерден белгилүү аралыкта аны айланып учуп жүрүүгө да болот. Бул кайсы учурда мүмкүн болот?

Бул качан гана нерсенин оордук күчү пайда кылган ылдамдануусу борборго умтулуучу ылдамданууга барабар болуп, нерсе ошол тегерек орбитада кармалып тургандай ылдамдыкка ээ болгон мезгилде ишке ашат, б. а. нерсенин Жерге тартылуу күчү борборго умтулуучу күчү болуп калган мезгилде.

Эгер нерсенин массасын m, Жердикин M, ал эми нерседен Жердин борборуна чейинки аралыкты r деп белгилесек, анда (2.8) жана (3.11) формулалардын негизинде төмөнкүдөй барабардыкты жаза алабыз:

$$\boxed{\frac{m\vartheta^2}{r} = \gamma\frac{mM}{r^2}}, \qquad (3.19)$$

мында $\frac{m\vartheta^2}{r}$ – борборго умтулуучу күч, $\gamma\frac{mM}{r^2}$ – нерсенин Жердин борборуна тартылуу күчү. (3.19) барабардыгын m ге жана r ге кыскартып төмөнкү формулага ээ болобуз:

$$\vartheta^2 = \gamma\frac{M}{r}, \quad \boxed{\text{же} \quad \vartheta = \sqrt{\gamma\frac{M}{r}}} \quad . \qquad (3.20)$$

Эгер Жердин массасы $M = 6 \cdot 10^{24}$ *кг*, ал эми радиусу $r =$ 6400 *км* болсо, анда (3.20) формуланын негизинде чоңдуктардын сан маанилерин коюп төмөнкүнү алабыз.

$$\vartheta = \sqrt{\frac{6{,}68\cdot 10^{-11}\cdot 6\cdot 10^{24}}{6400\cdot 10^3}}\left(\frac{км}{с}\right) \approx 7{,}8\,\frac{км}{с} \approx 8\,\frac{км}{с},$$ б. а. $\vartheta_1 = 8\,\frac{км}{с}$ ылдамдыгына ээ болобуз. Бул ылдамдык **биринчи космос ылдамдыгы** деп аталат. Бул ылдамдыкка ээ болгон нерсе Жердин жасалма жандоочусу (спутниги) болуп калат. Биринчи космос ылдамдыгы менен учкан нерсе Жердин айланасында тегерек орбита боюнча учат. Жогорудагы (3.20) формуланы төмөндөгү түрдө да жазса болот, б. а. тамыр ичиндеги $\gamma\frac{M}{r}$ ди $\gamma\frac{M}{r^2}r$ десек жана

$\gamma \frac{M}{r^2} = g$ экендигин эске алсак, анда (3.20) формуладан төмөнкүнү алабыз:

$$\vartheta = \sqrt{\gamma \frac{M}{r}} \boxed{= \sqrt{gr}}\text{, б.а. } \vartheta = \sqrt{gr} \ . \qquad (3.21)$$

Бул формулага $g = 9{,}8\ \frac{м}{c^2}$ жана $r = 6{,}4 \cdot 10^6\ м$ маанилерин коюп, төмөнкүнү алабыз:

$$\vartheta = \sqrt{9{,}8\frac{м}{c^2} \cdot 6{,}4 \cdot 10^6 м} \approx 8 \cdot 10^3\ \frac{км}{c} \approx 8\frac{км}{c}.\ \text{Демек, } \vartheta \approx 8\frac{км}{c}.$$

Космос **кораблдерин (кемелерин)** жана **спутниктерди (жердин жасалма жандоочуларын)** учуруу үчүн атайын ракеталар колдонулуп, вертикаль багыт берилет. Кийин тиешелүү бийиктикке жеткен соң берилген белгилүү программага ылайык вертикалга карата тиешелүү бурчка бурулуп, Жер бетине параллель уча баштайт. Кыймылдаткычы өчүрүлгөн соң ал эркин учууга ээ болот. Айлануу мезгили T (Жерди бир айланып чыгууга кеткен убакыты) төмөнкү формула менен эсептелет:

$T = \frac{2\pi r}{\vartheta}$. (3.22) Биздин жогорку эсептөөбүздө: T=91 *мүн.*

Ракетанын учурулуу ылдамдыгы канчалык чоң болсо, жандоочунун орбитасы созулуңку болуп эллипс формасына ээ.

Ылдамдык чоңоюп отуруп, бир кезде Жерге тартылуу күчүн жеңип, космос кемеси экинчи космос ылдамдыгына ээ болот. Эсептөөлөр анын $\vartheta_2 = 11{,}2\frac{км}{c}$ экенин көрсөтөт.

Мындан чоңураак ылдамдыкта учурулган космостук ракеталар Жердин «туткунунан» бошонуп, Күндүн спутнигине айланат. Эгер ракетага $\vartheta_3 = 16{,}7\frac{км}{c}$ үчүнчү космос ылдамдыгын бере алсак, анда ал Күндүн да тартылуу күчүнүн таасиринен чыгып, башка жылдыздык дүйнөгө учуп кетиши да мүмкүн. Бул келечектин иши.

Биринчи космос ылдамдыгы $\vartheta_1 = 8\frac{км}{c}$ – бул саатына дээрлик 29 миң *км*ди басат деген сөз! Бул жөнөкөй иш эмес. 1957-жылы 4-октябрда советтик окумуштуулар кубаттуу ракетанын жардамы менен массасы 84 *кг*га жакын нерсеге адамзат тарыхында биринчилерден болуп, биринчи космос ылдамдыгын беришкен. Ушул нерсе Жердин жасалма спутниги (ЖЖС).

Жер айланасында спутниктер бир гана күчтүн – бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчүнүн таасири астында кыймылдашат. Бул күч спутникке да, анын ичиндеги жандуу, жансыз нерселердин бардыгына бирдей ылдамдануу берет. Салмаксыз абал деген кандай болот? Бул абал учурунда ар кандай деформация болбойт, демек, серпилгичтүүлүк күчү да болбойт. Салмаксыз-

дыктын бир топ ыңгайсыздыгы бар. Ошондуктан, азыркы окумуштуулардын көйгөйлүү маселесинин бири болуп жасалма салмакты түзүү эсептелет.

? 1. Кайсы кезде нерсе Жердин жасалма спутниги болуп калат? 2. Биринчи, экинчи, үчүнчү космос ылдамдыктары кайсылар? 3. Дүйнөдө биринчи жасалма спутник качан, кайда учурулган, массасы канча болгон? 4. Салмаксыз абал жөнүндө эмне билесиңер?

Бүткүл дүйнөлүк тартылууга маселе чыгаруунун мисалдары

1. Жер айланасында спутниктин тегерек орбита боюнча айлануу мезгили T=240 *мин*, массасы m=1,2 т болсо, спутниктин орбитасынын Жер бетинен бийиктигин жана кинетикалык энергиясын эсептегиле. Жер радиусу $R_{ж}=6{,}4\cdot10^{6}$ *м*.

Берилди:

$T = 240$ *мүн* $= 1{,}44 \cdot 104$ *с*
$m = 1{,}2$ т $= 1{,}2 \cdot 10^{3}$ *кг*
$g = 9{,}8$ *м/с*^{2}
$R_{ж} = 6{,}4 \cdot 10^{6}$ *м*

H –? $E_{к}$ – ?

Чыгаруу:

Спутниктин орбита боюнча кыймылында ага Жердин гана тартуу күчү таасир этет да (башка планеталардыкы эске аларлык эмес, кичине), аны орбитада кармап турат. Ошондуктан ага ылдамдануу бергенде төмөнкү шарт аткарылат: $F_{т.к.}=F_{б.у.к.}$, (1)

мында $F_{т.к.} = \gamma \frac{mM}{R^2}$ – борборго тартылуу күчү (2) жана $F_{б.у.к.} = \frac{m\vartheta^2}{R}$ – борборго умтулуу күчү, ал эми $\vartheta = \frac{2\pi R}{T}$ болгондуктан

$$F_{б.у.к.} = \frac{m4\pi^2 R}{T^2}, \quad (3)$$

же

$$\gamma \frac{mM}{R^2} = \frac{m4\pi^2 R}{T^2}. \quad (4)$$

Мында $R=R_{ж}+H$ орбиталык радиус болгондуктан

$$\gamma \frac{MT^2}{4\pi^2} = R^3. \quad (5)$$

Бул барабардыктын сол жагынан алымын жана бөлүмүн $R^2_{ж}$ ка көбөйтүп, төмөнкүнү алабыз: $\frac{\gamma MT^2 R_{ж}^{2}}{4\pi^2 R_{ж}^{2}} = R^3$. (6)

Ал эми $\gamma \frac{M}{R_{ж}^{2}} = g$ экенин эске алсак, анда $\frac{gT^2 R_{ж}^{2}}{4\pi^2} = R^3$.

Мындан R ди таап, сан маанилерин коюп, эсептесек: $R = \sqrt[3]{\frac{gT^2 R_{ж}^{2}}{4\pi^2}} \approx 1{,}28\cdot10^7$ *м*, б. а. $R = 1{,}28\cdot10^7$ *м*. Анда

$$H = R - R_{Ж} = (12{,}8 - 6{,}4)\cdot10^6 = 6{,}4\cdot10^6 м.$$

Демек, $H = 6{,}4 \cdot 10^6$ *м*, б. а. спутник жер бетинен $6{,}4 \cdot 10^6$ *м* бийиктикте учурулган, бул Жер радиусуна барабар. Спутниктин кинетикалык энергиясын төмөнкү формула менен табабыз: $E_к = \frac{m\vartheta^2}{2}$.

$\vartheta = \frac{2\pi R}{T}$ болгондуктан $E_к = \frac{m4\pi^2R^2}{2T^2} = \frac{2\pi^2R^2m}{T^2}$, б. а. $E_к = \frac{2\pi^2R^2m}{T^2}$.
Чоңдуктардын сан маанилерин ордуна коюп СИде эсептесек:

$$E_к = \frac{2\cdot(3{,}14)^2\cdot(1{,}28\cdot10^7)^2\cdot1{,}2\cdot10^3}{(1{,}44\cdot10^4)^2} = 1{,}9\cdot10^{10}\,Дж.$$

Жообу: $E_к = 1{,}9\cdot10^{10}\,Дж = 1{,}9\cdot10^4\,МДж$; $H = 6{,}4\cdot10^6\,м$.

III главадагы эң негизги маалыматтар

Күч бул ылдамдыктын өзгөрүшү, ылдамдануунун пайда болушунун себепкери.

Күч аракетти мүнөздөйт.

Ылдамдануу массага көзкаранды. Масса инерттүүлүктүн чени.

Көп тажрыйбалык фактылар XVII кылымдын акырында Ньютон ачкан кыймылдын же динамиканын үч законунун негизин түзөт. Инерциялык эсептөө системасында бул закондор:

эгер нерсеге таасир эткен күчтөрдүн суммасы нөлгө барабар болсо, анда эсептөө системасына салыштырмалуу алга умтулуу кыймылындагы нерсенин ылдамдыгы өзгөрбөй турган эсептөө системасы болот.

Нерсеге таасир эткен күч, өзүнүн жаратылышына көзкаранды болбостон, нерсенин массасы менен ал күч берген ылдамдануунун көбөйтүндүсүнө барабар: $\vec{F} = m\vec{a}$.

Нерселер бири бирине жаратылышы боюнча бирдей, абсолюттук маанилери боюнча барабар, багыттары боюнча карама-каршы күчтөр менен аракеттенишет: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

Ньютондун механикасы физиканын тарыхында, илимде кубулуштардын бүтүндөй бир кеңири классын – нерселердин кыймылдарын туура аныктай ала турган теория болуп саналат. Ньютондун закондору негизинен механиканын бардык маселелерин чечүүгө мүмкүнчүлүк берет. Эгер нерсеге аракет эткен күчтөр белгилүү болсо, анын траекториянын ар кандай чекитиндеги ылдамдануусун аныктоого болот. Масса менен нерсеге аракет этүүчү күчтөр белгилүү болсо, ылдамданууну табууга болот, андан ары анын ылдамдыгы, убакыттын каалаган маанисиндеги которулушун, акырында убакыттын каалаган моментиндеги нерсенин координатасын аныктоого болот.

Практикада көп учурларда нерсенин ылдамдыгын, ылдамдануусун жана ага таасир эткен күчтү ж.б. чоңдуктарды эсептеп чыгаруу талап кылынат.

Ньютондун закондору инерциялдык эсептөө системасында аткарылат жана жогорудагы сыяктуу жөнөкөй маселелерди чыгарууга мүмкүндүк берет.

IV глава

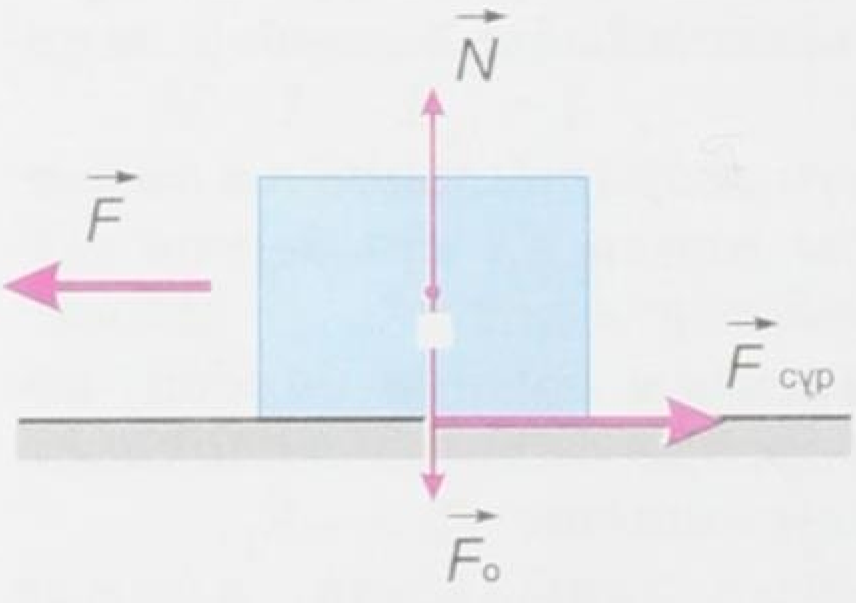
ЖАРАТЫЛЫШТАГЫ КҮЧТӨР

§ 18. Сүрүлүү күчү. Сүрүлүү коэффициенти. Сүрүлүүнүн түрлөрү

Нерселер бири-бири менен түздөн-түз тийишкен учурда алардын тийишкен беттеринин ортосунда сүрүлүү күчү деп аталган күч пайда болот.

Сүрүлүү күчүнүн мүнөздүү белгилеринин бири – бул тийишкен беттердин бири бирине салыштырмалуу кыймылга келишине «каршылык» көрсөткөндүгүндө, б. а. бир нерсеге салыштырмалуу экинчисинин кыймылга келишине каршылык жолтоо болгондугунда.

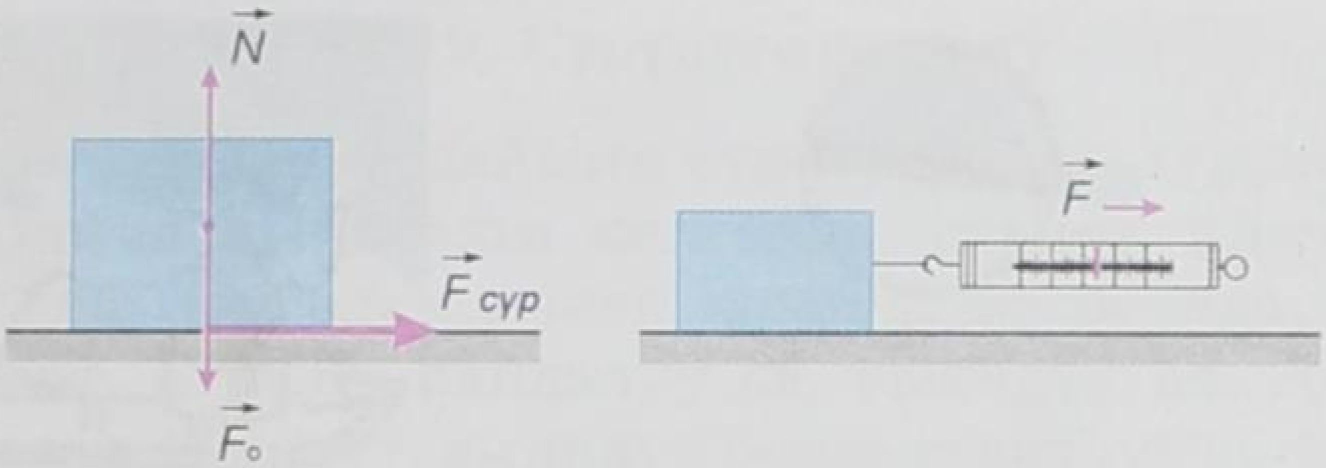
Сүрүлүүнүн үч түрү бар: тынч абалдагы сүрүлүү, сыйгаланып сүрүлүү жана тоголонуп сүрүлүү. Сүрүлүү күчү нерселер бири-бири менен түздөн-түз тийишип турган кезде пайда болот да, тийишкен беттерди бойлото, кыймылдын багытына карама-каршы багытталат (38-сүрөт).



38-сүрөт.

Сүрөттө нерсеге бир нече күч таасир этип жатат. $\vec{F}_0$ – нерсенин оордук күчү төмөн көздөй вертикаль багытталган, $\vec{N}$ таянычтын, демек, стол бетинин реакция күчү, $\vec{F}$ – стол менен нерсенин тийишүү бетине параллель багытталган күч, б. а. бул нерсени динамометрге илип сүйрөгөн кездеги динамометрдин көрсөтүүсү, эгер $\vec{F}$ күчү анча чоң болбосо, нерсе тынч абалда кала берет. Мунун өзү ошол $\vec{F}$ күчүнө модулу боюнча барабар, багыты боюнча карама-каршы багытталган $\vec{F}_{сүр}$ сүрүлүү күчү аракет этет дегендик, б. а. $\boxed{\vec{F} = -\vec{F}_{сүр}}$. (4.1)

Ушунун өзү сүрүлүү күчү болот, аны **тынч абалдагы сүрүлүү күчү** деп айтабыз. Эгер нерсени катуу тартсак, динамометр $\vec{F}$ күчүнүн чоңойгондугун көрсөтөт (39-сүрөт). Нерсе тынч абалда кала берет. Демек, сүрүлүү күчү да чоңоёт. Эгер динамометрге илинген жүктү дагы эле тарта (сүйрөй) берсек, $\vec{F}$ тин кандай-



39-сүрөт.

дыр бир маанисинде нерсе козголуп, жылмыша баштайт. Нерсе бир калыпта жылган кездеги динамометрдин бул көрсөтүүсүнүн өзү $\vec{F}_{сүр}$ болуп эсептелет. Ал эми $\vec{F} > \vec{F}_{сүр}$ болгондон баштап нерсе ылдамданып кыймылга келе баштайт.

Тынч абалдагы сүрүлүү күчү оор буюмдарды: шкафты, столду, жашикти, роялды ж. б. ордунан жылдырууга жолтоо болуучу күчтүн дал өзү.

Эгер жүктү, б. а. столго перпендикуляр аракет эткен күчтү чоңойтсок, анда ага жараша аны (жүктү) тарткан кезде $\vec{F}$ күчү да чоңоёт.

Столго тик багытталган күчтү басым күчү дейбиз. Демек, тынч абалдагы сүрүлүүнүн максималдуу күчү басым күчүнө пропорциялаш. Ньютондун 3-закону боюнча басым күчү модулу боюнча таянычтын реакция күчүнө барабар.

Муну математикалык түрдө төмөнкүчө жазууга болот:

$$\boxed{\vec{F}_{сүрү\,max} = \mu \cdot \vec{N}} \quad (4.2)$$

Буга салыштырмалуу серпилгич күчү $\vec{F}_{сүр} = -kx$ формуласы менен аныкталат.

Мындагы $\vec{N}$ – басым күчү, μ (мью) – сүрүлүү коэффициенти деп аталган пропорциялаштык коэффициент, (4.2) формуласынан сүрүлүү коэффициентин аныктасак болот, б. а.

$$\boxed{\mu = \frac{\vec{F}_{сүрү\,max}}{\vec{N}}} \quad (4.3)$$

Демек, *сүрүлүү коэффициенти деп сүрүлүү күчүнүн басым күчүнө болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук аталат.*

Сүрүлүү күчүнүн пайда болгон себептеринин бири сүрүлүшкөн беттердин жылмакай эмес, бодуракай болушунда (40-*а*, *б* сүрөттөр). Нерселердин бири бирине салыштырмалуу кыймылында бир нерсенин бетинин урчуктары экинчинин ойдуңдарына илинишип, кыймылга көбүрөөк каршылык көрсөтөт.

Сүрүлүү коэффициенти μ сүрүлүшкөн беттердин сапатына (жылмакайлыгына), нерселердин тегине (материалына) ж. б. факторлорго көзкаранды болот. Ал коэффициенттин бирдиги бол-

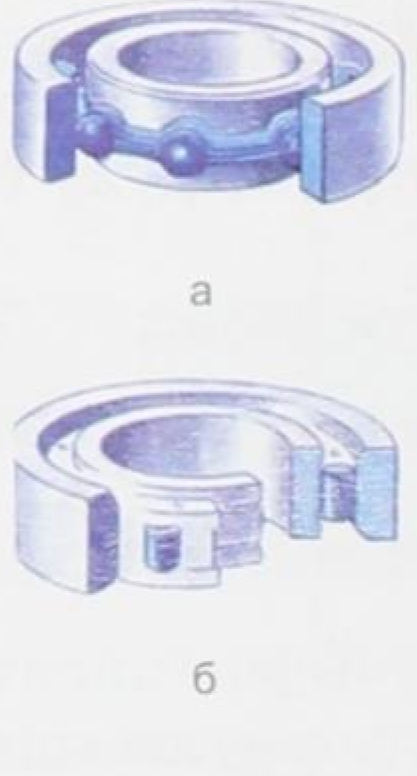
40-сүрөт.

41-сүрөт.

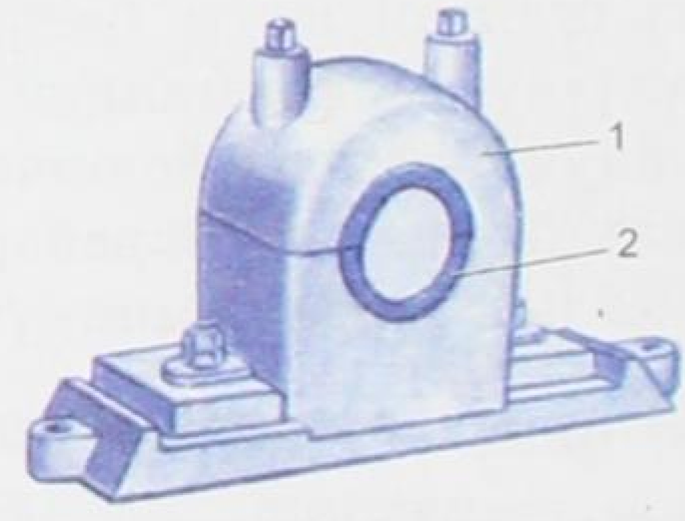
бойт, жөн гана эселик сан μ. Ал берилген эки нерсе үчүн туруктуу чоңдук жана ар кандай нерселерде ар башка.

Сыйгаланып (жылмышып) сүрүлүүгө чананын, лыжанын кар, конькинин муз боюнча кыймылы, кыскасы бир нерсени экинчи нерсенин бети боюнча сүйрөгөн учурда пайда болот (41-сүрөт).

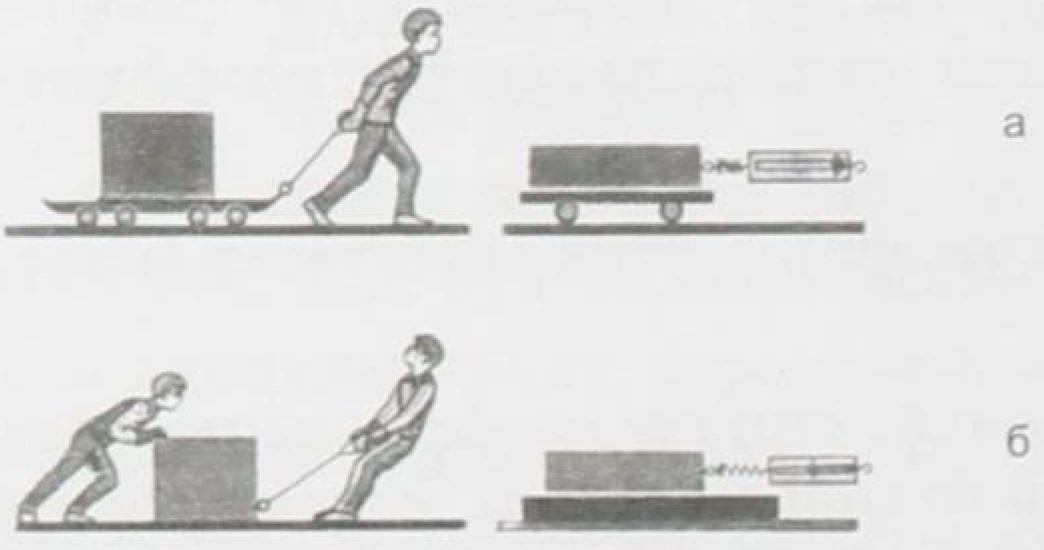
Ал эми жумуру нерселер, мисалы, дөңгөлөктөр, шыргый же карагай, топ, шар, цилиндр ж.б. нерселер тоголонгон учурда тоголонуп сүрүлүү пайда болот (42-сүрөт).



43-сүрөт



42-сүрөт



44-сүрөт.

Тоголонуп сүрүлүү күчү сыйгаланып сүрүлүү күчүнөн кичине экендигин турмуш көрсөтүп жатат. Ошол себептүү дөңгөлөк, подшипник (43-*а*, *б* сүрөт), оор нерселердин алдына жумуру шыргый төшөп же дөңгөлөк боюнча жылдыруу келип чыккан (44-а, б сүрөт).

§ 19. Сүрүлүүнүн ролу

Биз турмушубузда дайыма сүрүлүүнүн ар түрүнө дуушар болобуз. Машине кыймылга келгенде, станок иштегенде анын тетиктери, же дөңгөлөк менен жолдун ортосунда, азбы, көппү сүрүлүү болот. Сүрүлүү пайдалуу да, зыяндуу да. Демек, пайдалуу болсо аны көбөйтүү, зыяндуу болсо азайтуубуз керек. Сүрүлүү күчү дайыма эле кыймылга каршылык көрсөтөт дегенибиз анча туура болбой калат. Эгер сүрүлүү (тынч абалдагы) болбосо, анда орундан жылуу да мүмкүн болмок эмес. Биздин колубузга же үстүбүзгө эч нерсе токтомок эмес, үйдү курган кыштар кыналып, кагылган мык кармалып турмак эмес ж. б.

45-сүрөт.

● Сүрүлүүнү көбөйтүү максатында жолдорго кум, таарынды, отундун күлү, шагыл төгүлөт. Машине тыгылып калганда дөңгөлөктөрдүн алдына бир нерсе төшөлөт, сыйгалакта дөңгөлөктөргө чынжыр байланат, шиналардын, гөлөш, өтүктүн таманынын бодурлуу болушуна кам көрүлөт (45-сүрөт).

● Сүрүлүү зыяндуу болсо, анда майлоо, жылмалоо роликтүү же шариктүү подшипниктерди колдонуу жолдору менен азайтуунун камын көрүшөт.

Эгер катуу нерсе суюктукта же газда болсо, анда ага анын кыймылына карама-каршы багытталган чөйрөнүн каршылык күчү таасир этет.

Бул учурда деле каршылык күчү пайдалуу болсо (парашют менен түшүрүүдө) көбөйтүү керек, зыяндуу болсо азайтуу максатында нерселерге жылмакай – жеңил айланып өтүүчү – ышкылбас форма берилет. Мисалы, самолеттун канатынын формасы, кайыктын, суу астында жүрүүчү кеменин, жарышууга арналган машиненин, космоско учурулуучу аппараттын, ракетанын формаларын алсак болот.

Суюктук менен газдарда тынч абалдагы сүрүлүү күчү пайда болбойт. Акырында сүрүлүү күчүнүн жаратылышы толук окуп-үйрөнүлө электигин эскертебиз.

? **1.** Сүрүлүү күчү качан пайда болот? **2.** Сүрүлүү күчүнүн түрлөрү кайсылар? **3.** Сүрүлүүнүн түрүнө мисалдар келтиргиле? **4.** Сүрүлүү коэффициенти деп эмнени айтабыз? **5.** Сүрүлүүнүн келип чыгуу себебин айткыла. **6.** Сүрүлүү коэффициенти эмнелерге көзкаранды? **7.** Сүрүлүүнүн зыяндуу учуруна мисалдар келтиргиле? **8.** Сүрүлүү кайсы кезде пайдалуу? **9.** Ышкылбас форма эмне үчүн берилет? **10.** Эмне үчүн машине тыгылат?

▲ 10-көнүгүү

1. Эгер Балыкчыга барчу поезддин паровозунун тартуу күчү $16 \cdot 10^4 H$, сүрүлүүү коэффициенти 0,2 болсо, паровоздун дөңгөлөктөрүнө жасалган басым күчү канчалык?

2. Салмагы 2000 H болгон жыгач жашигин цемент пол боюнча бир калыпта жылдыруу үчүн канча күч керек? Сүрүлүү коэффициенти 0,18.

3. Чоң атам 5 *км* алыстыктагы токойдон чанасы менен толтура 12000 H (чананын салмагын кошкондо) отун жүктөп келди. Чоң атамдын аты канча жумуш аткарган? Сүрүлүү коэффициенти 0,04.

4. Эмне үчүн белкурчоодон келген сууда чуркагандан көрө сүзүү жеңил?

5. Оор жүк тартуучу тукумдагы аттардын мелдеши учурунда бир ат массасы 23 m жүктү бир калыпта сүйрөп жеткирет. Эгер аттын тартуу күчү 2,3 $кH$ болсо, сүрүлүү коэффициентин эсептегиле.

Жаратылыштагы күчтөргө маселе чыгаруунун мисалдары

1. Эгер жер бетине жакынкы орунда эркин түшүүнүн ылдамдануусу $g = 9{,}8\ м/с^2$ болсо, Жердин массасы канчалык? Жер радиусу $R = 6370\ км$.

Берилди:

$g = 9{,}8\ м/с^2$

$R = 6370 км = 6{,}4 \cdot 10^6\ м$

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

$M - ?$

Чыгаруу:

Жердин массасын тараза менен өлчөө эч мүмкүн эмес. Бирок эркин түшүүнүн ылдамдануусун аныктоочу формула менен эсептөөгө болот, б. а. $P = mg$ жана $g = \gamma \frac{Mm}{R^2}$ формулаларынан $P = F$ болгондуктан $\vec{F} = \gamma \frac{M}{R^2}$ ты алабыз, мында γ – тартылуу турактуулугу, M – Жердин массасы, R – анын радиусу. Жогорку формуладан $M = \frac{gR^2}{\gamma}$ сан маанилерин коюп эсептеп табабыз:

$$M = \frac{9{,}8\ \frac{м}{с^2} \cdot 6{,}37 \cdot 10^6\ м}{6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}} \approx 6 \cdot 10^{24}\ кг.$$

Жообу: $M_ж \approx 6 \cdot 10^{24}\ кг$.

2. Жүк тарткан ат 600 H го чейинки күчтү пайда кылат. Эгер чананын таманынын кар менен сүрүлүү коэффициенти 0,05ке барабар. Анда массасы 100 *кг* келген чана менен канча жүктү тартат? Чананын жан жыгачы жолго параллель деп эсептегиле.

Берилди:

$F = 600 H$

$\mu = 0{,}05$

$m_ч = 100\ кг$

$g = 9{,}8 м/с^2$

$m_ж - ?$

Чыгаруу:

Сүрүлүү коэффициенти μ – сүрүлүү күчү оордук күчүнөн канча эсе чоң экенин туюнтат. Ошондуктан $\mu = \frac{F_0}{N}$, ал эми $N = mg$, мында $m = m_ч + m_ж$, $m_ч$ – чананын массасы, $m_ж$ – жүктүн массасы. Анда: $\mu = \frac{F}{(m_ч + m_ж)g}$ же $\mu\, m_ч g + m_ж\, \mu\, g = F$.

Мындан $\mu m_ж g = F - m_ч \mu g$; $m_ж = \dfrac{F - \mu m_ж g}{\mu g}$. Сан маанилерин коюп, эсептеп, төмөнкү жоопту алабыз: $m_ж = 1100$ *кг*.

Жообу: Жүктүн массасы: $m_ж = 1100$ *кг*.

3. Жогорку учу бекитилип вертикаль жайланышкан пружинанын бир учуна массасы 0,1 *кг* жүк илинген. Термелүү токтогондон кийин пружина 2 *см*ге узарган. Пружинанын катуулук коэффициентин аныктагыла?

Берилди:	Чыгаруу:
$m = 0{,}1$ *кг* $x = 2$ *см* $= 0{,}02$ *м* $g = 10$ *м/с*^{2}	Пружинанын катуулук коэффициенти k, ал пружинанын материалына көзкаранды. Серпилгич нерсе үчүн Гук закону
k –?	боюнча: $F_{серп} = -kx$, $F_{серп} = mg$, мында x –

созулуу аралыгы. Ордуна койсок: $mg = -kx$ болот. «–» минус жөн гана багытты көрсөтөт. $k = \dfrac{mg}{x}$ ке сан маанилерин коюп эсептесек: $k = \dfrac{0{,}1\,кг \cdot 10\,\frac{м}{с^2}}{0{,}02\,м} = 50\,\dfrac{Н}{м}$.

Жообу: $k = 50\,\dfrac{Н}{м}$.

IV главадагы эң негизги маалыматтар

Жаратылыштагы күчтөргө главада каралган сүрүлүү күчүнөн башка бүткүл дүйнөлүк тартылуу $\vec{F} = \gamma \dfrac{Mm}{R^2}$, серпилгич күчү $F_{серп.} = -kx$ кирет. Бул күчтөр башка главада каралгандыктан бул главада сүрүлүү күчү жөнүндө гана сөз болду. Сүрүлүү күчү бир нерсенин бети боюнча экинчи нерсе кыймылга келген кезде пайда болот да кыймылга «каршылык» көрсөтөт.

$F_{серп.} = \mu\vec{N}$, $\vec{N}$ – басым күчү, $\vec{N} = mg$. Анда $F_{серп.} = \mu mg$, мында μ (мью) – сүрүлүү коэффициенти. $\mu = \dfrac{F_{серп.}}{N}$; μ – эселик сан.

Сүрүлүү пайдалуу болсо μ га көбөйтүү керек, ал зыяндуу болсо, μ га азайтуу керек.

Сүрүлүүнүн тынч абалдагы, сыйгаланып же жылмышып, томолонуп сүрүлүү деген түрлөрү бар. μ – сүрүлүү коэффициенти түрдүү нерселерде (сүрүлүшкөн нерселерде) түрдүүчө. Ал сүрүлүшкөн беттердин материалына (тегине), сапатына ж. б. көзкаранды. Турмушта жана практикада аны эске алуу керек.

V глава

ЖУМУШ ЖАНА ЭНЕРГИЯ

§ 20. Жумуш. Жумуштун жалпы формуласы

Нерсеге аракет эткен күчтүн натыйжасында анын кандайдыр бир аралыкка жылуу процесси механикалык жумуш же жөн эле жумуш деп аталат.

Физикадагы жумуш түшүнүгү менен күнүмдүк турмуштагы жумуш түшүнүгүнүн ортосунда айырма бар.

Механикалык жумушту – A, күчтү F жана ошол күчтүн аракети астында нерсе жылган аралыкты S десек, анда күчтүн нерсенин жылуу багытына дал келген учурундагы жумушу төмөнкү туюнтманы берээри VII класста айтылган, б. а. $A = \vec{F} \cdot \vec{S}$ (5.1) формуласынан жумуштун математикалык туюнтулушун алганбыз. Эгер күч $\vec{F}$ же жол $\vec{S}$ тин бири болбосо, физикада жумуш аткарылган болуп эсептелбейт.

Мисалы, оор жүктү көтөрүп, бирок ордубуздан жылбасак, анда жумуш аткарылбайт, же нерсе жалаң эле инерция боюнча кыймылга келсе (бул учурда – $\vec{F}$) анда да физикадагы жумуш аткарылбаган болуп эсептелет. Ал эми турмушта ушул учурлардын бардыгында жумуш аткарылган болот. Механикалык жумуш (биз мындан ары жөн эле жумуш деп сүйлөйбүз) скалярдык чоңдук, б. а. багытка ээ эмес. СИ бирдигинде жумуштун бирдиги: $[A] = [1 Н \cdot м] = [1 Дж]$ кабыл алынган.

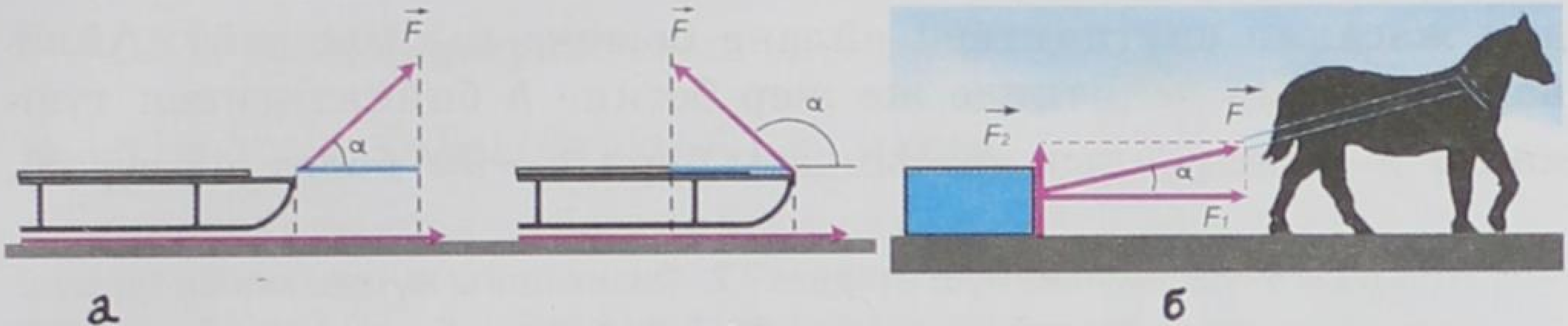
● 1 *Н* күч жумшап, нерсени 1 *м* аралыкка жылдырган кезде аткарылган жумушту 1*Дж* дейбиз.

Джоулдан чоң *МДж, кДж,* кичине *мДж, мкДж* ж. б. бирдиктери да колдонулат.

Жумуш оң жана терс болушу мүмкүн. Эгер күчтүн багыты менен кыймылдын багыты дал келсе, күч оң жумуш аткарат, б. а. $A > 0$ болот.

Эгер күчтүн багыты менен кыймылдын багыты карама-каршы болсо, жумуш терс болот, б. а. $A < 0$.

Ал эми турмушта күч менен кыймылдын багыты кандайдыр бир бурч боюнча багытталган учурлар көп кездешет. Мисалы, чананы, колясканы, нерсени жипке байлап алып сүйрөгөн учурда, нерсе горизонталь багытта кыймылдайт, ал эми күч жип боюнча багытталат (46-*а*, *б*-сүрөт). Бул учур төмөнкүчө түшүндүрүлөт. Ал үчүн 46-*б*, сүрөттү карайлы.



46-сүрөт.

Мында α бурчу күч менен которулуштун (кыймылдын) багыт арасындагы бурч. $\vec{F}$ – күчү чанага байланган жип боюнча багытталган. Кыймыл горизонтко параллель, б. а. $A = F_1 \cdot S$, чиймеден $F_1 = F \cdot \cos\alpha$ экени көрүнүп турат.

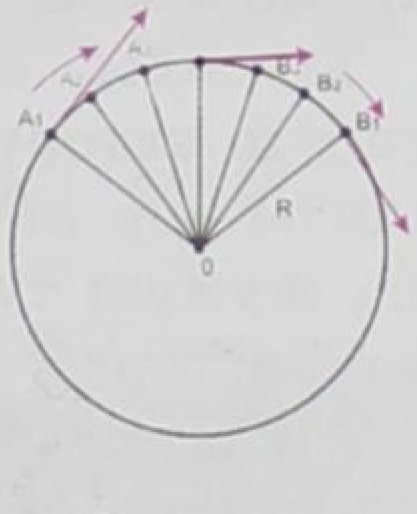
Бул учурдагы жумуш: $\boxed{A = F \cdot S \cos\alpha}$. (5.2) Бул формула жумуштун жалпы аныкталышынын формуласы деп аталат. Мындан төмөнкүдөй айрым учурлар келип чыгат:

● Эгер $\alpha = 0$ болсо, анда F жана S тин багыттары дал келет, ал эми $cos 0^0$=1ге демек, $\boxed{A = F \cdot S}$, A>0, оң жумуштун формуласы келип чыгат.

Эгер күч F менен S карама-каршы багытталса, б. а. α =180° болгондо $cos\,180°$ =– 1 болот. Анда $\boxed{A = -F \cdot S}$, б. а. A < 0 болуп, терс жумуштун формуласы келип чыгат. α бурчунун каалаган бардык учурларында (5.2) формуласынын негизинде $A = F \cdot S \cos\alpha$ формуласы колдонулат.

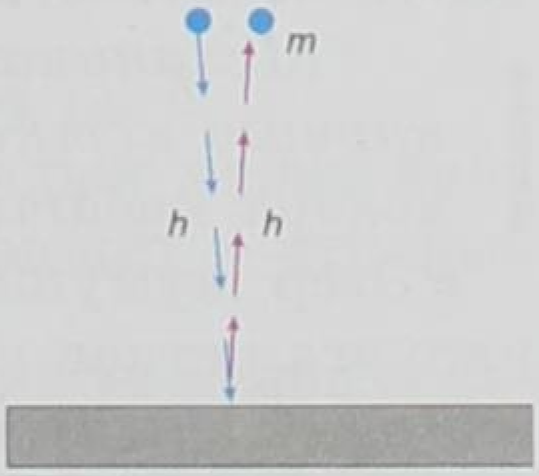
Ошентип, жумуш күчтүн жана которулуштун модулдарынын күч жана которулуш векторлору арасындагы бурчтун косинусунун көбөйтүндүсүнө барабар.

Эгер α =90° болсо $cos 90°$= 0 болгондуктан (5.2) формуласындагы $A = 0$ болот.



47-сүрөт.

Демек, жумуш аткарылбаган учур да кездешет. Мисалы, жүктү горизонталь багытта которууда, ал жүккө таасир этүүчү оордук күчү кыймылдын багыты менен 90° тук бурчту түзөт десек жана ал оордук күчү жылдыруу күчүнөн чоң болсо, анда нерсени горизонталь багытта жылдырууда оордук күчүнүн жумушу нөлгө барабар болот. Нерсе айлана боюнча кыймылдаган кезде күч радиус боюнча борборго карай багытталат, ал эми ылдамдык айлананын каалаган чекитинде ага жаныма түрүндө багытталып, $cos 90° = 0$, демек, $A = 0$ болот (47-сүрөт).



48-сүрөт.

Нерсеге бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү аракет эткен кезде да $A = 0$ болот, себеби Жер-

дин жасалма спутниктери айлана боюнча кыймылдайт. Айлананын ар бир чекитинде же жер бетине h бийиктигинен түшкөндө $\vec{F}$ менен $\vec{\vartheta}$ нын арасындагы бурч $\alpha = 90°$ болот (48-сүрөт).

? 1. Кайсы учурда күч жумуш аткарат? 2. Физикадагы жумуш менен турмуштагы жумуштун кандай айырмасы бар? 3. Кайсы убакта оң, кайсы убакта терс жумуш аткарылат? 4. Жумуштун жалпы учурдагы формуласы кайсы? 5. Жумуштун бирдиктери жөнүндө эмне билесиңер? 6. Кайсы учурда жумуш нөлгө барабар болот?

a ▲ 11-көнүгүү

1. Асан жипке байланган чананы горизонтко 37°тук бурч боюнча 20 *Н* күч жумшап сүйрөп баратат. Чананы 600 *м* аралыкка сүйрөп, кандай жумуш аткарган?

2. 20 *м* бийиктикке 1 секундда 50 *л* сууну көтөрүп чыгуучу насос 3 мүнөттө канча жумуш аткарат?

3. Аттын тартуу күчү 200 *Н*. Эгер чана 300 *м* аралыкка жылса, ат кандай жумуш аткарган?

4. Көтөрүүчү кран салмагы 750 *кг* жүктү 12 *м* бийиктикке көтөрүүдө кандай жумуш аткарат?

5. Көл жээги менен бара жаткан адам жипке байланган кайыкты 50 *Н* күч менен сүйрөп баратат. Көл бети менен жиптин арасындагы бурч 25°. Эгер кайык 100 *м* аралыкка жылса, адам канча жумуш аткарат?

§ 21. Кубаттуулук. Кубаттуулуктун бирдиктери

Бир эле жумуш түрдүү учурларда ар кандай убакытта аткарылышы мүмкүн.

Мисалы, куруучулар тобу кышты үйдүн үстүнө бир нече мүнөттө көтөрүп чыгарат. Ал эми көтөрүүчү кран ошол эле топ кышты бир нече секундда көтөрүп коёт. Демек, бир эле өлчөмдөгү жумуш түрдүү убакытта (тездикте) аткарылып жатат (49–51-сүрөттөр).

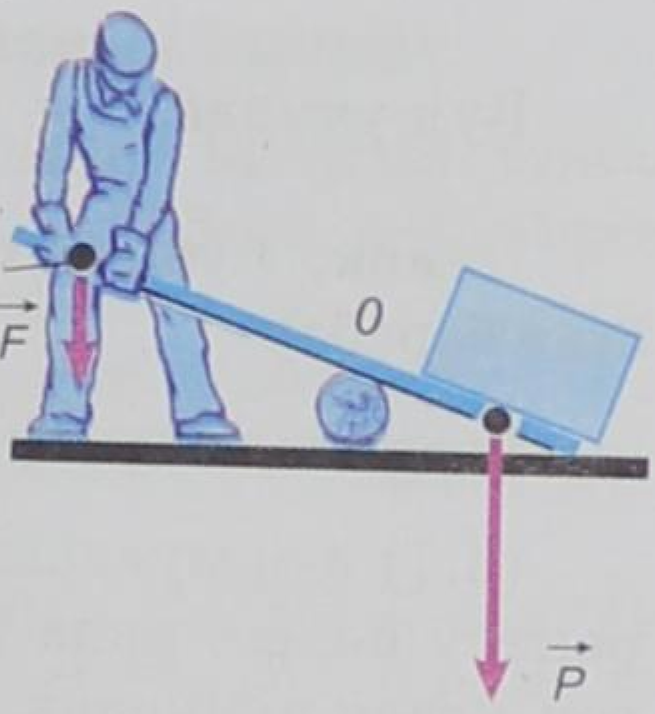
Тигил же бул жумуштун аткарылуу тездигин мүнөздөө үчүн кубаттуулук деп аталган түшүнүк киргизилет. Кубаттуулук түрдүү механизмдердин, машинелердин негизги мүнөздөмөлөрүнүн бири болуп эсептелет.

Механикалык жумуштун чоңдугунун ошол жумушту аткарууга кеткен убакытка болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук кубаттуулук деп аталат.

Эгер жумушту – A, кубаттуулукту – N, ал эми жумуш аткарууга кеткен убакытты – t тамгалары менен белгилесек, анда жогорку аныктоонун негизинде төмөндөгү туюнтманы алабыз,

б.а. $$N = \frac{A}{t}. \qquad (5.3)$$

● СИде (5.3) формуласынын негизинде $[N]=\left[\frac{A}{t}\right]$; $[A]=1 Дж$; $[t]=1\ с$ менен аныкталгандыктан кубаттуулуктун бирдиги $[N]=1\frac{Дж}{с}=1\,Вт\,(ватт)$ кабыл алынат.



49-сүрөт.

● *1 Ватт* – 1 *с* убакыт ичинде 1 *Дж* жумуш аткаруучу нерсенин кубаттуулугу болот.

СГСте $1\frac{эрг}{с}$, б. а. 1 *с* да 1 *эрг* жумуш аткарган нерсенин кубаттуулугу. Бул чоңдук өтө кичине болгондуктан көбүнчө *Вт* – бирдиги колдонулат.

50-сүрөт.

Андан сырткары: $1\,МВт=10^6\,Вт$;

$1\ кВт=10^{-3}\,Вт,\ 1\ мВт=10^{-3}\,Вт,$ $1\,мкВт=10^{-6}\,Вт$ ж. б. Механизмдер, машинелер ойлоп табыла электе ар кандай жумуш аттын жардамы менен аткарылган. Ошондуктан кубаттуулуктун ат күчү – а. к. деген бирдиги да колдонулат.

● $1\,а.к.\approx 736\,Вт.$

Техникада кубуттуулугу бир нече ваттан баштап, бир нече жүздөгөн, миңдеген *кВт*ка чейинки кыймылдаткычтар колдонулат.

(5.3) формуласынан жумушту тапсак:

$$\boxed{A=N\cdot t}\,. \qquad (5.4)$$

51-сүрөт.

Ушул формуланы пайдаланып жумуш үчүн көп кездешүүчү төмөнкү бирдиктерди да белгилей кетелик: $Вт\cdot саат,\ кВт\cdot саат,\ гВт\cdot саат,\ а.к.\cdot саат$ ж. б.

(5.3) формуласынан кубаттуулуктун ылдамдык менен байланышкан формуласын да алууга болот. Ал төмөнкүчө аткарылат. $N=\frac{A}{t}$ га жумуштун (5.2) формуласындагы күч менен жолдун арасындагы бурчту (α) нөлгө барабар десек, б. а. күч менен жолдун багыты дал келсе, анда $\cos\alpha=1$ болот.

5-35

Бул учурда $N = \frac{F \cdot S}{t} = F \cdot \vartheta$ же $\boxed{N = F \cdot \vartheta}$. (5.5)

Демек, кубаттуулук күч менен ылдамдыктын көбөйтүндүсүнө барабар.

Эгер ылдамдыкты тапсак: $\boxed{\vartheta = \frac{N}{F}}$ (5.6) же $\boxed{F = \frac{N}{\vartheta}}$. (5.7)

(5.7) формуласынан, эгер машиненин кубаттуулугу (N) туруктуу болсо, анда нерсеге аракет эткен күч ылдамдык аз болгон кезде чоңураак боло тургандыгы көрүнүп турат. Ошондуктан машине айдоочу өргө көтөрүлгөн кезде тартуу күчү көбүрөөк талап кылынгандыктан кыймылдаткычты кичине ылдамдыкка түшүрөт. Демек, (5.7) формуласы турмуштук практикада чоң мааниге ээ.

- Ал эми каршылык күчү (F) туруктуу болгон кезде ылдамдык кубаттуулукка пропорциялаш. Ошондуктан тез жүрүүчү (скоростной) поезд, автомобиль ж.б. да кубаттулуктун жогору болушу талап кылынат.
- Бирок каршылык күчү (F) туруктуу эмес болгондо ылдамдыктын чоңоюшу менен каршылык да чоңоет. Ушунун бардыгын тең машине, самолет куруучу инженерлер эске алышат. Ал эми кубаттуулуктун жалпы учурдагы формуласы: $N = F \cdot \vartheta \cdot \cos\alpha$.

? **1.** Кубаттуулук эмнени мүнөздөйт? **2.** Кубаттуулуктун формуласы жана бирдиктери кандай? **3.** Кубаттуулук аркылуу жумуштун кайсыл бирдиктери колдонулат? **4.** Кубаттуулук менен ылдамдыктын байланышы жөнүндө эмне билесиңер?

12-көнүгүү

1. Кудуктан суу алып жаткан адам салмагы 120 *Н* болгон суусу бар чаканы 0,5 *м/с* ылдамдыкта көтөрсө, анын кубаттуулугу канчалык?

2. Салмагы 500 *Н* адам 1*мүн*тө тепкич боюнча 12 *м* бийиктикке көтөрүлгөн кезде кандай кубаттулукту өөрчүтөт?

3. Сааттын механизминин гирясынын салмагы 50 *Н*го барабар. Эгер гиря суткасына 120 *см*ге төмөн түшсө, механизмдин кубаттуулугу канча?

4. Тепловоздун кубаттуулугу 160 *а. к.*нө барабар. Эгер ал туруктуу ылдамдыкта 10 *с* да 200 *м* аралыкка жылса, ал кандай тартуу күчүн өөрчүткөн?

5. Эгер 2 *с* ичинде спортсмен өз денесине (массасы 70 *кг*) 9 *м/с* ылдамдык бериши керек болсо, анда чуркоо алдында спортсмен кандай кубаттуулукту өөрчүтүшү керек?

§ 22. Энергия. Механикалык энергиянын түрлөрү

Механикалык жумуш жана механикалык энергия түшүнүктөрү бири-бири менен тыгыз байланышкан. Себеби, эгер нерсе жумуш аткарууга жөндөмдүү болсо, ал энергияга ээ, б. а. энергияга ээ болгон нерсе гана жумуш аткарууга жөндөмдүү, же тескерисинче, жумуш аткарылды деген сөз азбы, же көппү энергия жумшалды деген сөз.

Нерсенин, же нерселер системасынын жумуш аткаруу жөндөмдүүлүгү механикалык энергия деп аталат. Формула түрүндө ал төмөнкүчө жазылат: $A = k \cdot E$; k – пропорциялаштык коэффициенти, эгер $k = 1$ болсо, $A = E = E_2 - E_1$. (5.8)

Механикалык энергия потенциалдык жана кинетикалык деп аталган эки түрдө болот. Потенциалдык латындын потенция – мүмкүнчүлүк, ал эми кинетикалык гректин кинема – кыймыл деген сөздөрүнөн келип чыккан.

Потенциалдык энергия

Эки нерсенин, же нерсенин бөлүкчөлөрүнүн абалдарына байланышкан энергия потенциалдык энергия деп аталат.

Эми Жер бетинен h бийиктикке көтөрүлгөн m массадагы нерсенин потенциалдык энергиясын эсептеп көрөлү. Эгер нерсе h бийиктигине көтөрүлсө, ал жумуш аткарат, б. а. $A = p \cdot h$, мында $p = mg$ болгондуктан $A = mgh$. Бул нерсенин h бийиктигиндеги потенциалдык энергиясын түшүндүрөт, б. а. $A = E_п$ болот.

$E_n = mgh$ (5.9), мында $E_п$ – потенциалдык энергия, m – масса, g – оордук күчүнүн ылдамдануусу, h – нерсенин Жер бетинен болгон бийиктиги.

Эгер $m \cdot g = P$ экенин эске алсак, анда $\boxed{E_п = p \cdot h}$. (5.10)

Потенциалдык энергия СИдеги жумуштун бирдигиндей бирдик менен туюнтулат, б.а.

$$[E_n] = 1Н \cdot 1м = 1Дж.$$

Энергиянын бирдиги механикалык жумуштун бирдигиндей болгондуктан мунун өзү энергия менен жумуштун тыгыз байланышта экендигин далилдеп турат.

Кинетикалык энергия

Кыймылдагы нерсенин энергиясы, б. а. нерсенин кыймылдап бара жатып жумуш аткаруу жөндөмдүүлүгү кинетикалык энергия деп аталат.

Кинетикалык энергиянын формуласын чыгаруу үчүн дагы эле (5.8) формуласына кайрылабыз, б. а. $E=A$ дан (5.2) формуласы боюнча $A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$. Эгер күчтүн ($F$) багыты жолдун ($S$) багытына дал келет десек, анда $\cos\alpha = 1$. Ошондуктан $A = F \cdot s$ келип чыгат. Эми F тин ордуна Ньютондун 2-закону боюнча $F = m \cdot a$, ал эми sтин ордуна анын орточо арифметикалык ылдамдык боюнча $s = \vec{\vartheta} \cdot t$ маанилерин алсак, анда аткарылган жумуш төмөнкүгө барабар болот: $A = F \cdot s = m \cdot a\vec{\vartheta} \cdot t$,

б. а. $\boxed{A = m \cdot a\vec{\vartheta} \cdot t}$. (5.11)

Эгер m массасына ээ болгон нерсе t убакыт ичинде ылдамдыгын ϑ_1 ден ϑ_2 ге өзгөрттү десек, анда анын ылдамдануусу $a = \frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{t}$, ал эми орточо арифметикалык ылдамдыгы $\vec{\vartheta} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}$ болот. Бул учурда (5.11) формуласы төмөнкү түргө келет:

$$A = m \cdot a\vec{\vartheta} \cdot t = m\left(\frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{t}\right) \cdot \left(\frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2}\right),\ t = \frac{m\vartheta_2^2}{2} - \frac{m\vartheta_1^2}{2}, \text{ б. а.}$$

$$\boxed{A = \frac{m\vartheta_2^2}{2} - \frac{m\vartheta_1^2}{2}} \quad (5.12)$$

Эгер $\boxed{\frac{m\vartheta^2}{2} = E_к}$ (5.13) деп белгилесек, анда $E_к$ кинетикалык энергия масса (m) менен ылдамдыктын квадратынын $\left(\vec{\vartheta}^2\right)$ көбөйтүндүсүнүн жарымына барабар болот.

Демек, $\boxed{A = E_2^k - E_1^k}$, (5.14) б. а. жумуш кыймылдагы нерсенин кинетикалык энергияларынын айырмасынан аткарылат.

Эгер (5.13) формуласына кайрылсак, анда төмөнкүлөрдү айтууга болот. Нерсенин m массасы канча чоң болсо, кинетикалык энергиясы ошончо чоң, ал эми ылдамдыгы чоң болсо, кинетикалык энергиясы квадрат эсе чоң болот. Кинетикалык энергиянын СИдеги бирдиги (5.14) формуласынын негизинде жумуштун бирдиктери менен эле ченелет: $[E_к] = 1\,Дж$. Демек, кинетикалык энергиянын бирдиги да потенциалдык энергиядай эле жумуштун бирдигине окшош болот.

Жогоркулардан төмөнкүдөй жыйынтыкка келсек болот. Аккан суу, шамал, транспорт, учуп бара жаткан канаттуу ж. б. кыймылдын энергиясына ээ.

Адатта, потенциалдык энергияны – абалдын энергиясы, ал эми кинетикалык энергияны – кыймылдын энергиясы дешет.

52-сүрөт.

53-сүрөт.

Бир эле мезгилде бир эле нерсе потенциалдык да, кинетикалык да энергияга ээ болгон учурлар көп кездешет (52–53-сүрөттөр).

Мисалы, жер бетинен белгилүү h бийиктигинде $\vec{\vartheta}$ ылдамдыгы менен кыймылга келген бардык нерселер, эки энергияга тең ээ болушат, б. а. h бийиктигинде потенциалдык, жерге түшүүсүндө кинетикалык энергияга ээ болот.

Турмушта, практикада энергиянын өзү эмес (5.14) формуласы боюнча, анын өзгөрүшү маанилүү. Себеби, энергия канчага өзгөрсө, ошого ылайык жумуш аткарылган болот, же тескерисинче, белгилүү өлчөмдө жумуш аткарылса, ошого тете (ылайык) энергия өзгөргөн (расходдолгон) болот. Энергия жумуш сыяктуу эле скалярдык чоңдук, б. а. багыты болбойт. Энергия системанын абалын мүнөздөөчү чоңдук, ал эми жумуш системанын энергиясынын өзгөрүшүн мүнөздөөчү чоңдук.

Энергиянын айлануу жана сакталуу закону

Нерсенин потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын суммасын толук механикалык энергия дейбиз:

$$\boxed{E_т = E_п + E_к}\,. \qquad (5.15)$$

Турмуш, практика көрсөткөндөй толук механикалык энергия сакталат. Тажрыйбага кайрылалы.

Мисалы, болот тактага h бийиктигинен түшүрүлгөн болот шары, дээрлик ошол эле бийиктикке серпилип көтөрүлөт. Шар төмөн түшүп келе жаткан мезгилде h бийиктиги азайып, шар жерге жакындаган сайын анын потенциалдык энергиясы азаят, бирок төмөн түшкөн сайын ылдамдыгы чоңойгонуна байланыштуу кинетикалык энергиясы чоңоёт. Шар тактага урунган көз ирмемчелик убакытта ылдамдыгы эң чоң кинетикалык, бирок h бийиктиги нөлгө барабар болгондуктан эң кичине потенциалдык энергияга ээ. Бул серпилгичтүүлүктүн натыйжасында болот. Болот шары кайра жогору карай кыймылдап, бийиктиги (h) чоңоёт да, ылдамдыгы ($\vec{\vartheta}$) кичиреет. Ошого жараша потенциалдык энергиясы чоңоюп, кинетикалык энергиясы кичиреет.

Эң жогорку чекте эң чоң потенциалдык жана эң кичине кинетикалык энергияга ээ болот. Анан процесс кайталанат.

Ал эми h бийиктигинин каалаган чекитинде потенциалдык энергиясы канчага азайса, кинетикалык энергиясы ошончого чоңоёт жана тескерисинче. Толук механикалык энергия сакталат.

Ушул жана ушуга окшогон тажрыйбалардан жана байкоолордон төмөнкүдөй жыйынтыкка келебиз:

энергия жоголбойт, жоктон пайда болбойт, ал бир түрдөн экинчи түргө, бир формадан экинчи формага гана өтөт.

Бул энергиянын айлануу жана сакталуу закону деп аталат. Бул закон башкача да айтылат:

туюк системанынын потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын суммасы турактуу бойдон кала берет же, өзара аракеттешүүсү (тартылуу жана серпилүү күчтөрү менен) нерселердин туюк системасынын толук механикалык энергиясы өзгөрбөстөн кала берет.

Энергиянын айлануу жана сакталуу закону – жаратылыштын маанилүү закондорунун бири. Бул закон XVIII кылымдын ортосунда абдан көрөгөчтүк менен орус окумуштуусу М. В. Ломоносов тарабынан белгиленген. Андан 100 жылдан кийин немец окумуштуулары Р. Майер жана Г. Гельмгольц тарабынан, англиялык изилдөөчү Д. Джоуль тарабынан атайын тажрыйбада такталган.

1834-жылы орус окумуштуусу Б. С. Якоби энергиянын сакталуу жана айлануу законун механикалык жана жылуулук процесстери үчүн, андан бир жылча мурун Э. Х. Ленц бул законду электр магниттик кубулуштар үчүн аягына чейин өркүндөтүшкөн.

Техника үчүн бул закон машинелерди эсептөөдөгү негизги каражат болуп эсептелет.

Түбөлүк кыймылдаткычты түзүүгө карата умтулуучулардын иштеринин ийгиликсиз калышы – бул энергиянын айлануу жана сакталуу законунун бирден бир далили.

? **1.** Энергия же механикалык энергия деп эмнени айтабыз? **2.** Механикалык энергиянын кандай түрлөрүн билесиң? **3.** Потенциалдык энергия – формуласы, мисалдар. **4.** Кинетикалык энергия – формуласы, мисалдар. **5.** Эгер нерсенин ылдамдыгы 3 эсе чоңойсо, кинетикалык энергиясы кандайча өзгөрөт? **6.** Толук механикалык энергия деп кандай энергияны айтабыз? **7.** Энергия кандай бирдиктер менен өлчөнөт? **8.** Энергиянын айлануу жана сакталуу законуна аныктама бергиле? **9.** Бир эле мезгилде эки түрдүү энергияга ээ болгон нерселерге мисалдар келтиргиле.

13-көнүгүү

1. Массасы 1000 *т* болгон жана 108 *км/саат* ылдамдыкта бара жаткан поездди токтотуу үчүн кандай жумуш аткарылышы керек?

2. Массасы 10 *г* ок 800 *м/с* ылдамдык менен учуп бара жатат. Ал эми массасы 70 *кг* адам 6 *м/с* ылдамдыкта велосипед тээп бара жатат. Бул экөөнүн кимиси чоңураак кинетикалык энергияга ээ болот?

3. 36 *км/саат* ылдамдыкта келе жаткан 100 *кг* массадагы нерсе токтогонго чейин канча жумуш аткарат?

4. Нерсенин импульсу $18 \frac{кг \cdot м}{с}$, ал эми кинетикалык энергиясы 16 *Дж*. Нерсенин массасын m жана ылдамдыгын ϑ тапкыла?

5. 20 *м/с* ылдамдыкта кыймылдаган нерсенин кинетикалык энергиясы 2400 *Дж* болсо, анын массасы канча болгон?

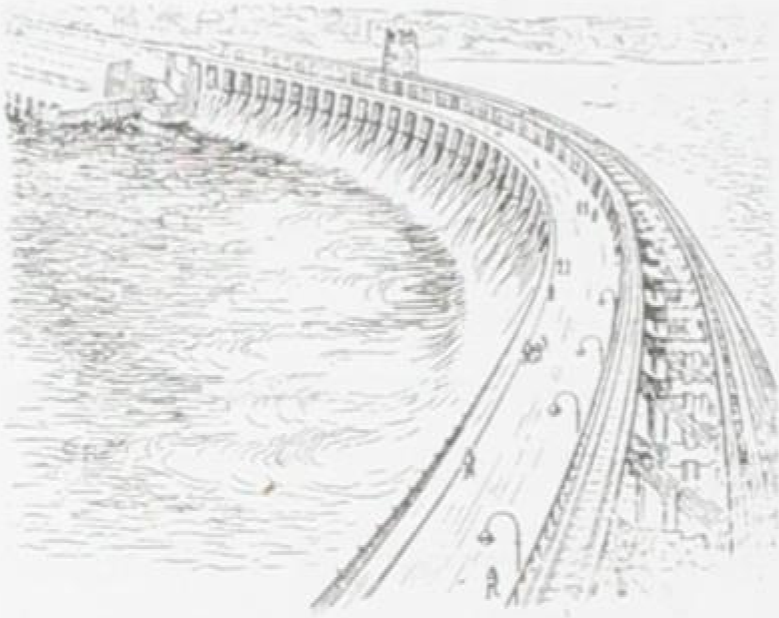
§ 23. Шамалдын жана суунун энергияларын пайдалануу

Миңдеген жылдардан бери адам баласы аккан суунун энергиясын ар түрдүү максаттар үчүн пайдаланып келе жатат.

Жер жүзүндө суунун энергиясынын кору (запасы) өтө көп. «Суунун улуу айланыш процесси» күн нурунун таасиринен болот. Океан, көл, деңиздердин суусу күн нурунун таасиринен бууга айланат да, атмосферанын жогорку катмарында булутту, туманды пайда кылат. Бул булуттан жамгыр, кар, өткүн түрүндө суу кайта Жерге келип түшөт. Өзөн, дарыя сел болуп агып, көлгө, деңиздерге жана океандарга кайта куят, мындан да бууга айланат. Ар бир тоодон аккан суу, ар бир өзөн, ар бир дарыя кандай болбосун керектөөгө зарыл болгон энергия булагын беришет.

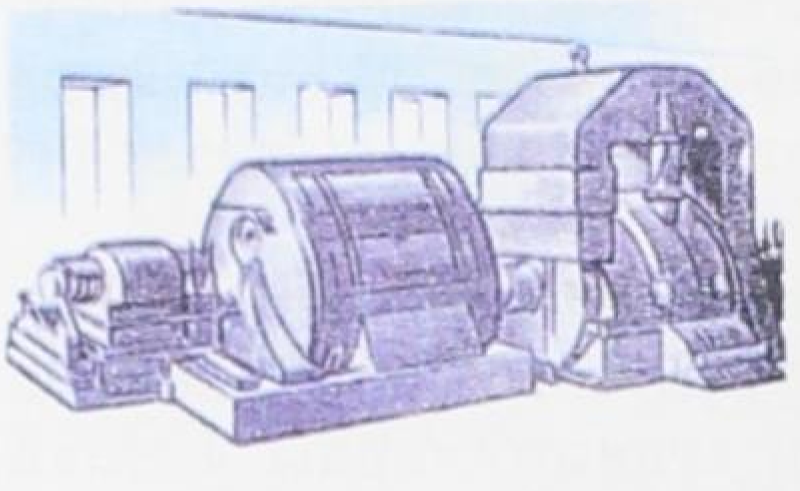
Суунун энергиясынын кору абдан көп. Ал энергияны пайдалануу проблемасына абдан көп көңүл бурулган. Бул тууурасында мурунку замандагы ири гидроэлектр станцияларды айтпай кетүүгө болбойт. Алар кубаттуулугу 650000 *кВт* болгон Днепрдеги В. И. Ленин атындагы Днепр гидроэлектр станциясы; кубаттуулугу 160 000 *кВт* болгон Дондогу Цимлянская гидроэлектр станциясы; кубаттуулугу 2 300 000 *кВт* болгон В. И. Ленин атындагы Волга гидроэлектр станциясы; кубаттуулугу 2 530 000 *кВт* болгон КПССтин XXII сьезди атындагы Волга гидроэлектр станциясы; кубаттуулугу 4 500 000 *кВт* болгон Ангара дарыясындагы Братск гидроэлектр станциясы ж. б. толуп жатат.

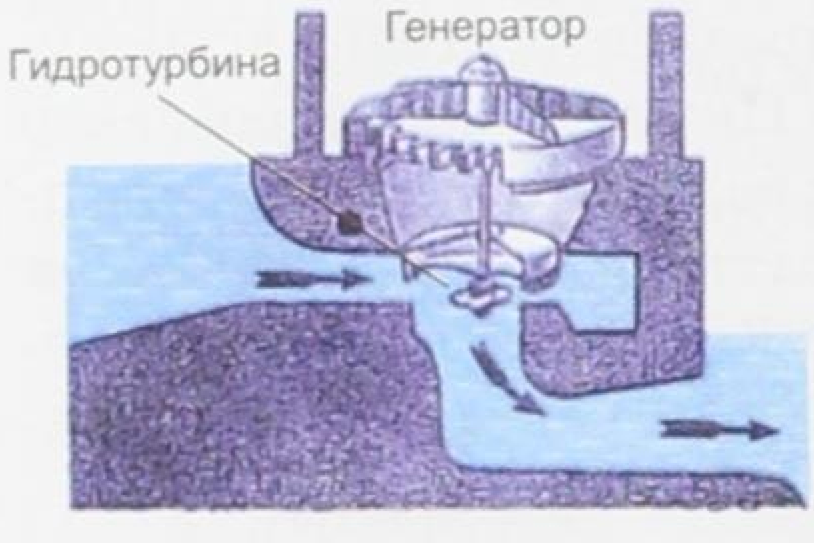
Кыргызстандагы биринчи электр станциясы 1913-жылы Ош шаарындагы Акбуура дарыясында курулган. Анын гидробарасынын кубаттуулугу 180 *мВт*, генераторунун кубаттуулугу 55 *мВт* болгон. Нарын дарыясында эң чоң ГЭСтердин бири (СССР боюнча) Токтогул ГЭСи кубаттуулугу 40 000 *МВт*; Үчкоргон ГЭСи кубаттуулугу 180 *МВт* иштеп жатышат. Ошондой эле Нарын дарыясында Күрпсай (кубаттуулугу 800 000 *кВт*) курулуп жа-



54-сүрөт. В. И. Ленин атындагы Днепр гидроэлектрстанциясынын плотинасы.

55-сүрөт. Кыргыз ССРинин Чүй суусундагы Чумыш плотинасы.





56-сүрөт.

тат. Камбарата, Ташкөмүр ГЭСтерин куруу пландаштырылган (54–55-сүрөттөр).

Биз жерден жогору көтөрүлгөн ар кандай нерсе потенциалдык энергияга ээ экенин билебиз. Бул сууга да таандык.

Мисалы h бийиктигине көтөрүлгөн m массадагы суу mgh потенциалдык энергияга ээ.

Эгер ал суу h бийиктигинен түшсө, анын бөлүкчөлөрү $\vec{\vartheta}^2 = 2gh$ ылдамдыгына ээ болуп, суунун потенциалдык энергиясы $\frac{m\vartheta^2}{2}$ кинетикалык энергияга айланат. Бул айлануу кезинде ар кандай коромжуларды эске албасак, анда:

$mgh = \frac{m\vartheta^2}{2}$ деп жазууга болот. Суунун булагынын кубаттуулугу суу агып түшкөн бийиктикке, б. а. h ка (напордун бийиктигине) гана көзкаранды болбостон, суунун 1 c да агып келүүчү санына да көзкаранды болот. Жаратылышта мындай даяр шаркыратмалар аз. Ошондуктан гидравликалык кыймылдаткычтарды иштетүү үчүн керектүү напорду – плотиналарды түзүп, суунун деңгээлин көтөрүш керек. Анда плотинадагы сууга mgh потенциалдык энергиянын запасы берилет. Ал агып түшүп гидробараны айландырып, кинетикалык энергияга айланат. Генератордо электр тогу иштелип чыгып, керектөөлөргө пайдаланылат.

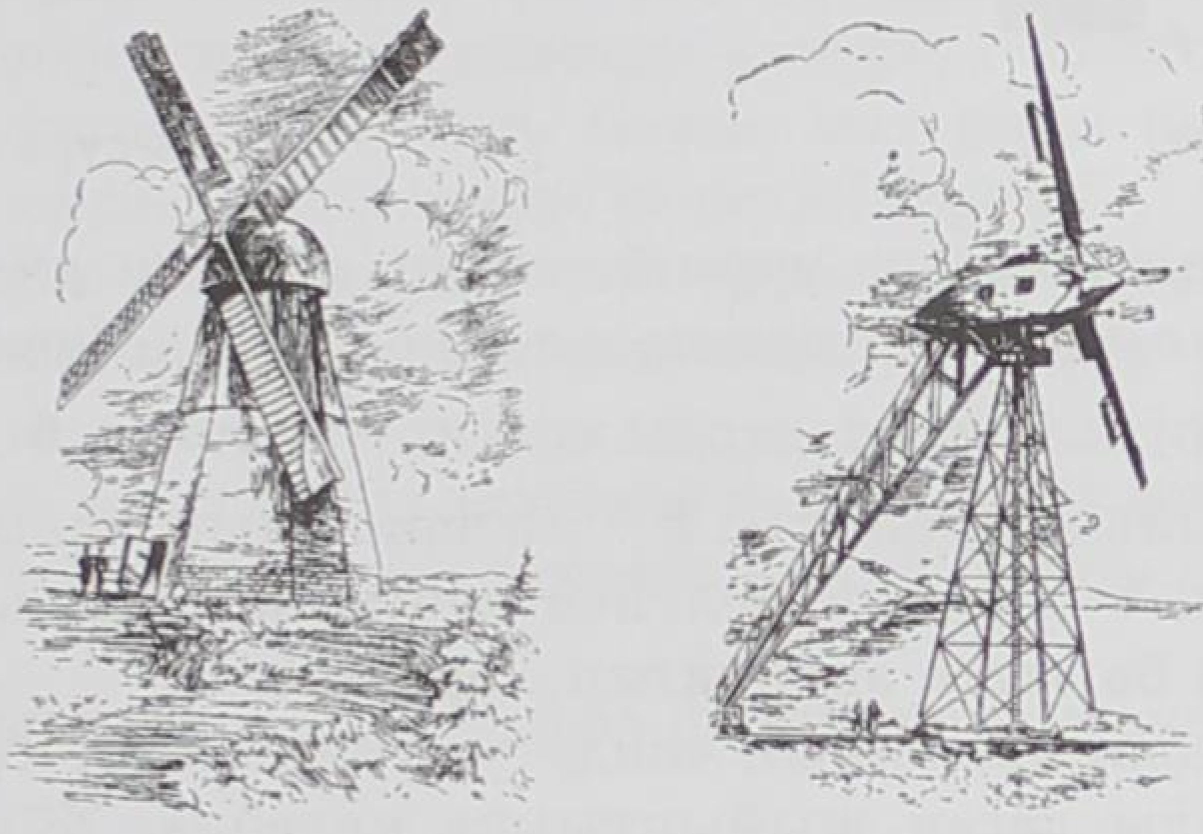
Мындан сырткары азыр деле көп пайдаланылган суу дөңгөлөктөрү – тегирмендер колдонулат. Суунун энергиясын ак көмүрдүн энергиясы деп да аташат (54–56-сүрөттөр).

Жел кыймылдаткычтары

Кыймылдагы абанын – шамал энергиясын пайдалануу үчүн курулган түзүлмөлөр жел кыймылдаткычтары деп аталат.

Кээде шамалдын энергиясын «көк көмүр» энергиясы деп аташат.

Энергиянын бул булагы жел тегирмендеринде, терендиктен сууну соруп чыгарууда, ылай жасоодо ж. б. айыл чарба жумуштарын аткарууда зор мааниге ээ.



57-сүрөт. Жел тегирмен (сол жактагысы) жана кубаттуулугу 10 кВт болгон жел (шамал) менен иштөөчү электр станциясы.

Шамал энергиясы энергиянын арзан булагы болуп эсептелет, бирок анын өтө эле турактуу эместиги аны ийгиликтүү пайдаланууга жолтоо болот. Азыркы кезде өнөр-жайы менен айыл чарбасында пайдалануу максатында ага көңүл бурула баштады. Азыркы кездеги жел кыймылдаткычтары шамалдын багыты өзгөргөндө жумушчу дөңгөлөгүн анын багытын карай автоматтык түрдө айландыруучу тетиктер менен жабдылган 57-сүрөт.

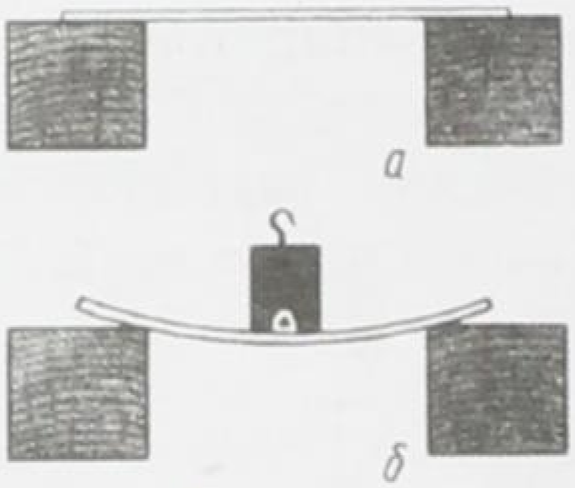
? **1.** Аккан суунун энергиясын пайдаланууга мисалдар келтиргиле. **2.** Кайсы кубаттуу ГЭСтерди билесиңер? **3.** Кыргызстандагы кубаттуу ГЭСтер кайсылар? **4.** Жел кыймылдаткычынын колдонулушунан мисалдар келтиргиле.

§ 24. Деформация. Серпилгичтүү жана калдыктуу деформациялар

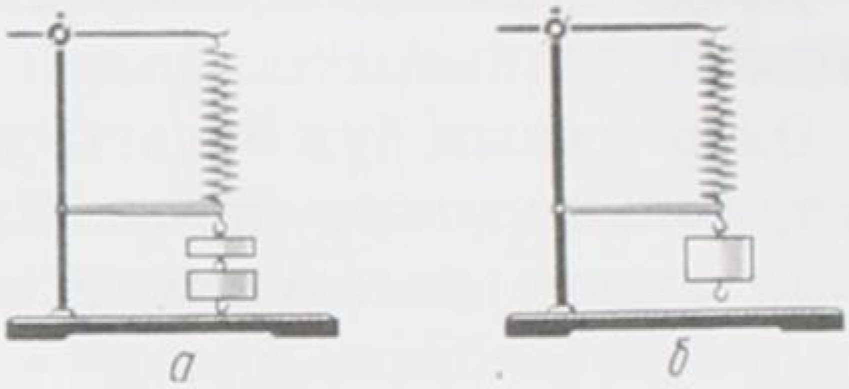
Катуу нерселердин негизги касиеттеринин бири – ал өз формасын жана көлөмүн сактайт (ага башка нерсе таасир эткенге чейин).

Күчтүн таасири астында нерсенин формасынын, көлөмүнүн өзгөрүшү деформация деп аталат.

Мисалы, жука жыгач сызгычынын эки учун таянычка коюп, жүк жок учурда анын түз абалда турганын байкайбыз. Эгер анын орто жерине жүк койсок, ал жүктүн оордугуна жараша ийилет (деформацияланат). Жүк оор болгон сайын ал көбүрөөк деформацияланат (ийилет) (58-сүрөт).



58-сүрөт.



59-сүрөт.

Же пружинанын бир учун бекитип, экинчи учуна жүк илсек, жүктүн салмагына жараша ал чоюлат – деформацияланат (59-*а*, *б* сүрөттөр) ж.б. мисалдарды келтирүүгө болот, б. а. $\vec{F} = -k|x|$, мында $|x|$ – жылыш аралыгы; k – материалдын серпилгичтүүлүк коэффициенти, «–» минус белгиси күч менен жылыш аралыгы карама-каршы багытта экендигин көрсөтөт.

Мындан деформациянын чоңдугу жумшалган күчтүн чоңдугуна көзкаранды деген жыйынтыкка келебиз. Жогоруда сызгыч менен болгон тажрыйбаны, калың сызгыч, темир стержень ж. б. менен көп ирет тажрыйба жасап, жүктү нерсенин ар кайсы чекитине тиркеп көрүп акырында төмөнкү жыйынтыкка келебиз:

Деформациянын чоңдугу нерсенин өлчөмүнө, күч жумшалган орунга, анын багытына жана нерсе жасалган материалга көзкаранды болот.

Нерселердин негизги касиеттеринин бири серпилгичтүүлүк жана пластикалуулук. Мисалы, жыгач сызгычына бир аз күч жумшап ийип, анан кайта коё берсек, ал түзөлүп баштапкы калыбына келет. Ошондуктан болот сызгычы, болоттон жасалган пружина, резина буюмдары ж. б. серпилгич касиетке ээ нерселер.

Жумшалган күчтү алып салгандан кийин нерсе баштапкы абалын калыбына келтирсе, мындай деформация – серпилгич деформация деп аталат.

Ал эми заттар серпилгичтүүлүк касиетке ээ заттар деп аталат.

Жумшалган күчтү алып салгандан кийин баштапкы абалын калыбына келтирбеген деформация калдыктуу, же пластикалуу, ийилгич деформация деп аталат. Мисалы, алюминий, жез зымдарын толгоп, бурап, ийип койсок ошол калыбын сактайт. Ал эми камыр, пластилинге каалаган форманы беребиз, ал ошол ээлеген формасын сактайт ж. б. Бул заттар ийилгич деп аталат.

Бирок материалдын серпилгичтик же пластикалуу деп бөлүнүшү шарттуу түрдө гана. Мисалы, болот пружинага аз жүк

ассак, жүктү алып таштагандан кийин ал баштапкы калыбына келет. Бирок чоң күч жумшалганда же ал узак убакыт деформацияга дуушар болсо, толугу менен калыбына келбейт. Анда аз да болсо калдыктуу деформация байкалат, же пластикалуу касиетке ээ болгон коргошун стерженге азыраак күч жумшап ийсек, ал күч менен таасир этүүнү токтоткондон кийин өз калыбына келип, серпилгичтик касиетти көрсөтүп калат. Ошондуктан бул бөлүнүү шарттуу дейбиз. Бирок материал кайсы касиетти көбүрөөк көрсөтсө, ошол топко кошула берет.

Брусокко коюлган жүктүн брусоктун туурасынан кесилиш аянтына болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук чыңалыш деп аталат.

Чыңалыш σ (сигма) тамгасы менен белгиленет. Эгер аракет эткен күч F, брусоктун туурасынан кесилиш аянты S болсо,

анда чыңалыш $\boxed{\sigma = \frac{F}{S}}$ (5.16) формуласы менен туюнтулат.

СИдеги бирдиги: $[\sigma] = \left[1\frac{H}{м^2}\right] = 1\,Па$.

● *Нерсеге жумшалган күчтү алып салгандан кийин калдыктуу (пластикалуу) деформациянын алгачкы белгилери пайда боло баштаган эң кичине чыңалыш серпилгичтүүлүк чеги деп аталат.*

Серпилгичтүүлүк чеги түрдүү материалдарда түрдүүчө болот.

● *Серпилгич нерседе пайда болуучу күч серпилгичтүүлүк күчү деп аталат. Серпилгичтүүлүк күчү деформациялоочу сырткы күчкө карама-каршы багытталат да, ага пропорциялаш, б. а. деформациялоочу күч канчалык чоң болсо, серпилгичтүүлүк күчү да ошончо чоң болот. Деформация жоголоор замат серпилгичтүүлүк күчү да жоголот.*

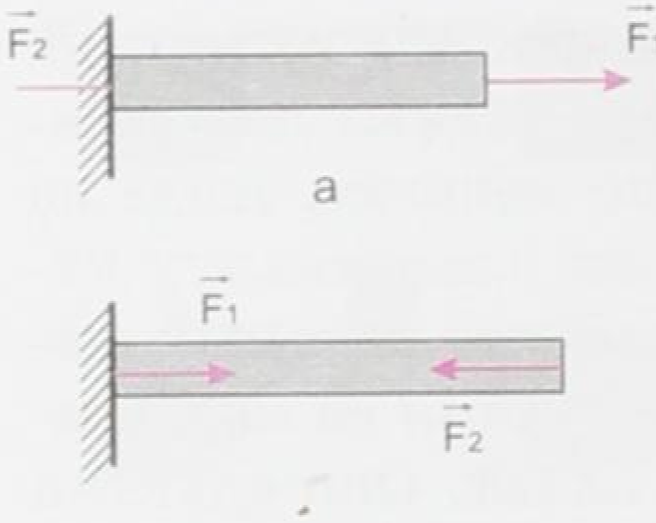
§ 25. Серпилгич деформациянын түрлөрү

Серпилгич деформациянын негизги төрт түрү бар. Аларды төмөнкү удаалаштыкта карап көрөлү:

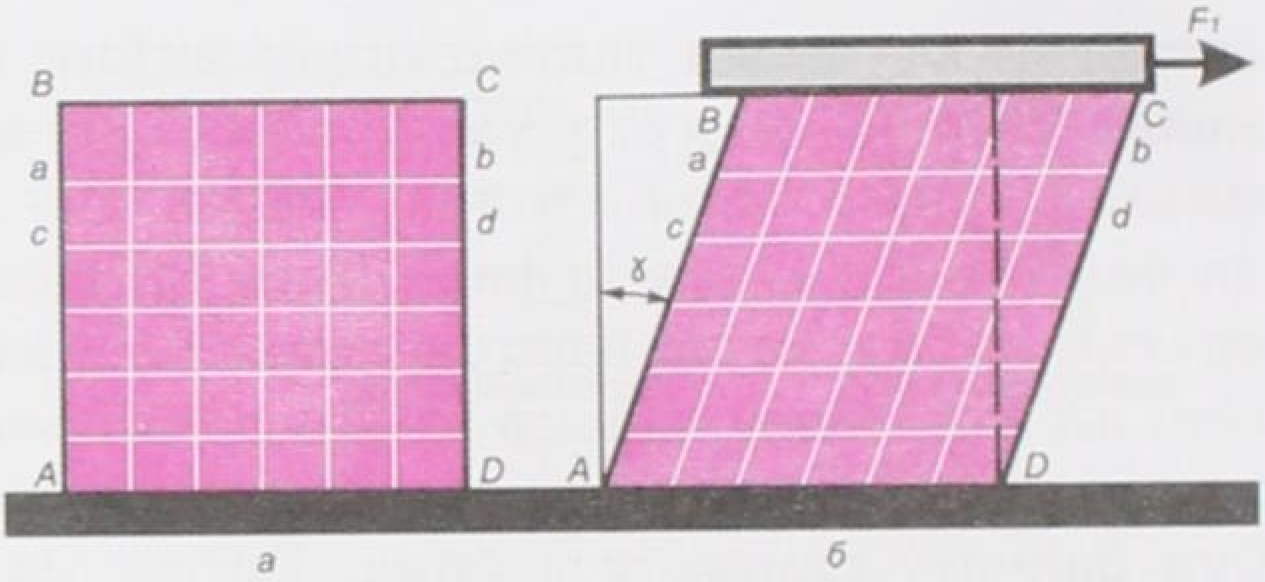
1. Созулуу (же кысылуу) деформациясы. Эгер бир учу бекитилген бир тектүү стерженге, анын огун бойлото $\vec{F}$ күчү менен таасир этсек (чойсок же кыссак), анда стержень созулуу (кысылуу) деформациясына ээ болот (60-сүрөт).

Эгер стержендин баштапкы узундугу ℓ_0 болуп, ал деформациялангандан кийинки узундугу ℓ болсо, анда $\Delta\ell = \ell - \ell_0$ абсолюттук узаруу келип чыгат. Бирдиги: *м, см, мм* ж. б.

Абсолюттук узаруунун баштапкы узундукка болгон катышы салыштырмалуу узаруу деп аталат; ал ε (эпсилон) тамгасы



60-сүрөт.



61-сүрөт. 62-сүрөт.

менен белгиленет. Жогорку аныктоо боюнча төмөнкүнү алабыз, б. а. $\boxed{\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0}}$ (5.17) ε – бирдикке ээ эмес эселик сан.

Созулуу деформациясына көтөрүүчү түзүлмөлөрдөгү темир аркан, чынжыр ж. б. дуушар болот.

Кысылуу деформациясына мамы, колонна, дубал, пайдубал ж.б. дуушар болот.

2. Жылышуу деформациясы. Бетине горизонталь жана вертикаль сызыктар сызылган резина брусогун алабыз (61-сүрөт).

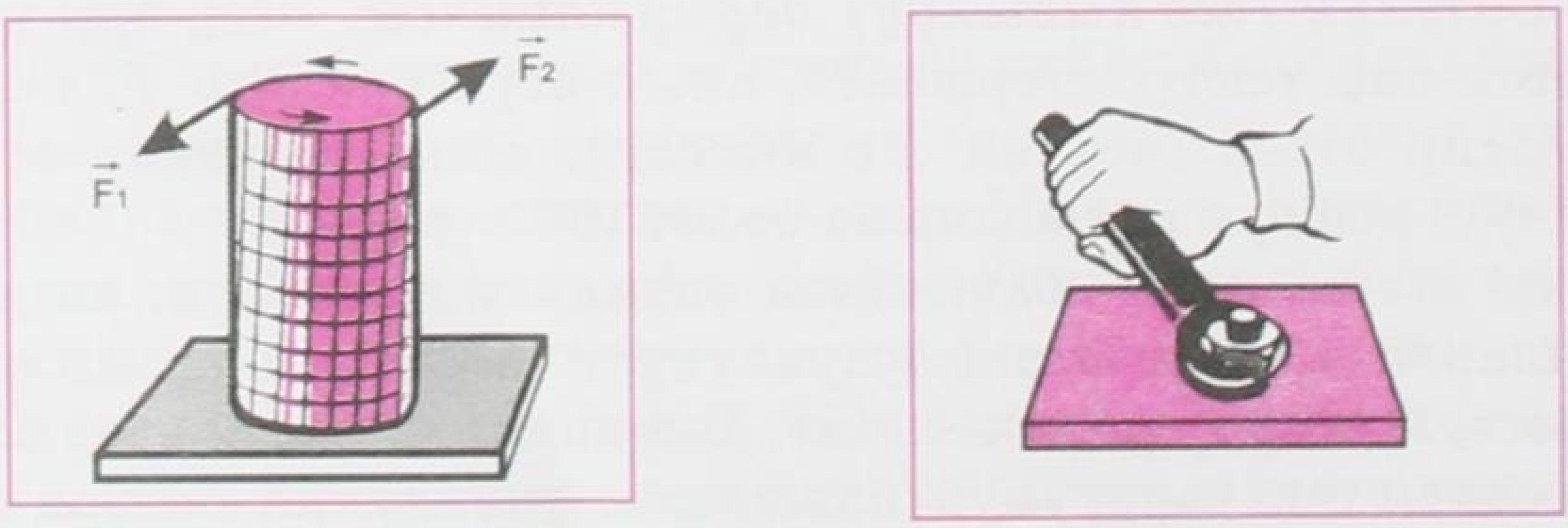
Брусоктун үстүнкү катмарына рейка бекитип, брусоктун бетине параллель $\vec{F}$ күчү менен ага аракет этебиз. Брусоктун катмарлары өзара параллель бойдон калып, жылышат да, вертикаль сызыктар α бурчуна жантаят (62-сүрөт).

$\vec{F}$ күчү канча чоң болсо, α жантаю бурчу да ошончо чоң болот.

● Демек, жылышуу деформациясында жылышуу бурчу (α), $\vec{F}$ – деформациялоочу күчтүн ($\vec{F}$) модулуна түз пропорциялаш деген жыйынтыкка келебиз.

Жылышуу деформациясына устундун таянычка койгон жери, бөрктүү мык, бурама, бириктирүүчү тетиктер дуушар болот.

3. Толгонуу же буралуу деформациясы. Эгер бир жак учу бекитилген стерженге бири-бирине карама-каршы параллель багытталган кош күч аракет этсе толгонуу, же буралуу деформациясы пайда болот (63-сүрөт).

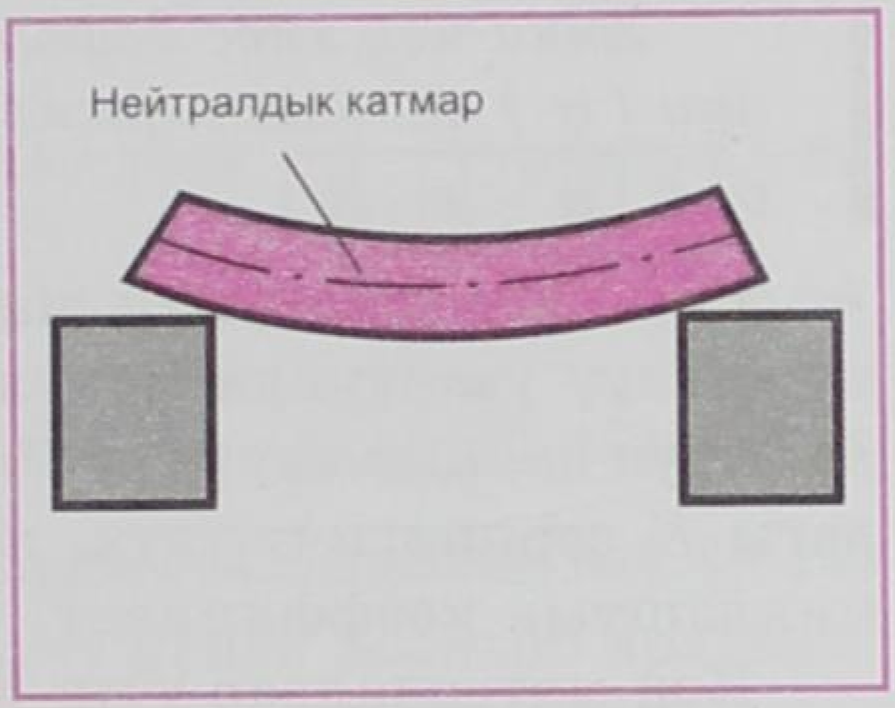


63-сүрөт.

Өзара параллель, модулдары барабар, багыттары карама-каршы болгон эки күч кош күч деп аталат.

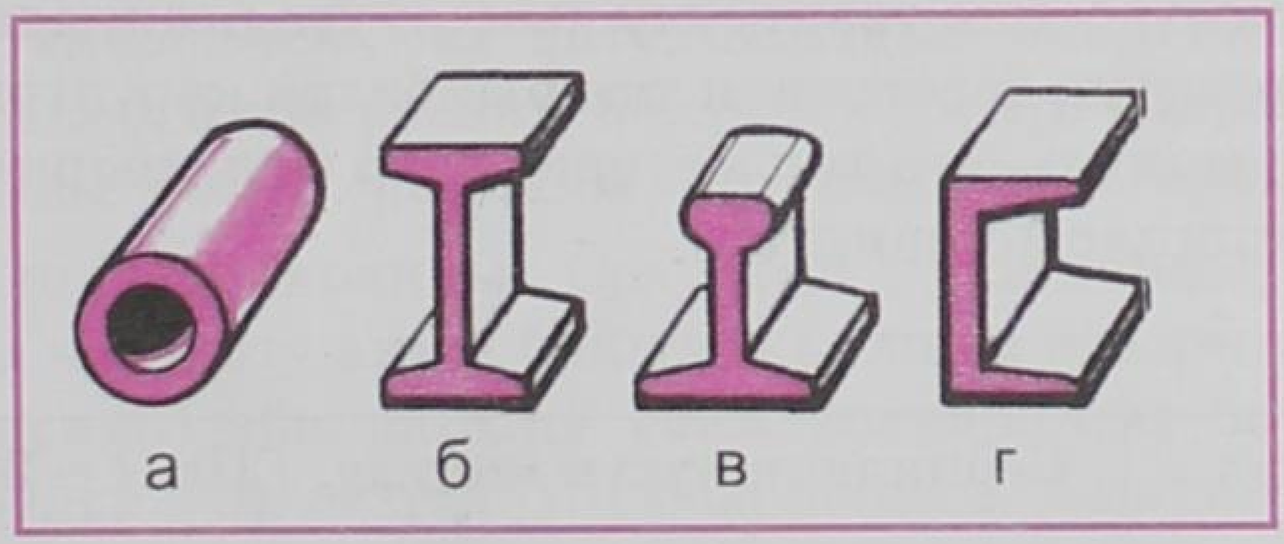
Бул толгонуу же буралуу деформациясы бураманы бураган кезде пайда болот. Ошондой эле машиненин валы, рулу, көзөөч, машиналардын рулу ж. б. дуушар болот.

4. Ийилүү деформациясы. 64-сүрөттө таянычка бекитилген иймек формадагы брусок көрсөтүлгөн. Мында брусоктун сырт жагы созулуп, ич жагы кысылууга дуушар болот. Бул учурда узарбай да кыскарбай да жөн гана формасын өзгөрткөн ортоңку катмар пайда болот (64-сүрөттө ал пунктир сызыгы менен көрсөтүлгөн). Ал катмар нейтралдуу катмар деп аталат.



64-сүрөт.

Нерсенин нейтралдуу катмарга жакын жерлери дээрлик деформацияга дуушар болбойт. Ошондуктан ийилүүчү тетиктин нейтралдык катмарга жакын жериндеги кесилишинин аянтын кыйла кичирейтүүгө болот. Демек, азыркы техника менен курулуштарда муну эске алып, туюк устундун ордуна түтүк, эки таврдуу балка, рельс, швеллер пайдаланылат. Алар конструкцияларды жеңилдетип, материалдардын үнөмдөлүшүнө алып келет. Ал материалдардын ар түрдүү формалары төмөндөгү сүрөттөрдө берилген (65-сүрөт).



65-сүрөт.

§ 26. Гук закону

Бекем үйлөрдү, көпүрөлөрдү, ар түрдүү машинелерди куруу үчүн пайдаланылуучу материалдардын: бетондун, болоттун, темир-бетондун, пласстмасса ж. б. материалдардын механикалык касиеттерин билүү керек экендигин күндөлүк турмуш ырастоодо.

Биз жогоруда карап өткөн деформациянын бардык түрлөрүндө Англиялык окумуштуу Гук (1635–1703-жж.) тарабынан ачылган закон колдонулат.

Серпилгичтүүлүктүн чегинде деформациянын чоңдугу деформацияланууучу күчтүн чоңдугуна пропорциялаш болот, б. а. $\vec{F} = -k\left|\vec{x}\right|$.

Мисалы, стерженди созгон же кыскан күч канча чоң болсо, ошончо көбүрөөк созулат же кысылат. Жылышуу бурчу α деле нерсеге таасир эткен күчкө жараша болот. Гук закону башкача да айтылат.

Анча чоң эмес деформация учурунда механикалык чыңалуу (σ) салыштырмалуу узарууга (ε) түз пропорциялаш, б. а. $\boxed{\sigma = |\varepsilon| \cdot E}$. (5.18)

Бул Гук законунун математикалык формасы. ε − салыштырмалуу узаруунун модулу алынган, себеби, Гук закону созулуу үчүн да, кысылуу ($\varepsilon < 0$) үчүн да туура келет. (5.18) формуладагы E серпилгичтүүлүк, же Юнг модулу деп аталган пропорциялаштык коэффициент.

Көп материалдар үчүн Юнг модулу экспериментте аныкталган, СИдеги бирдиги $[E] = \dfrac{[\sigma]}{[|\varepsilon|]} = 1\,Па$. Кээ бир материалдар үчүн Юнг модулу төмөнкүгө барабар. Хромникель болоту үчүн $E = 2{,}1 \cdot 10^{11}$ $Па$, алюминий үчүн $E = 7 \cdot 10^{10}$ ж. б. Юнг модулу серпилгичтүү созулуу (кысылуу) деформациясына материалдын көрсөткөн каршылыгын мүнөздөйт, б. а. материалды созуп (кысып) отуруп аны эки эсеге узартуу (кыскартуу) үчүн ага жумшала турган чыңалууну көрсөтөт. Бирок практикада созуп эки эсеге, же андан көбүрөөккө узартуучу чыңалууга резинадан башка материалдар туруштук бербестиги тажрыйбадан көрүнгөн. Ошондой болсо да бул модуль бир топ метериалдар үчүн теорияда эсептелип, анын таблицасы берилген.

Таблица

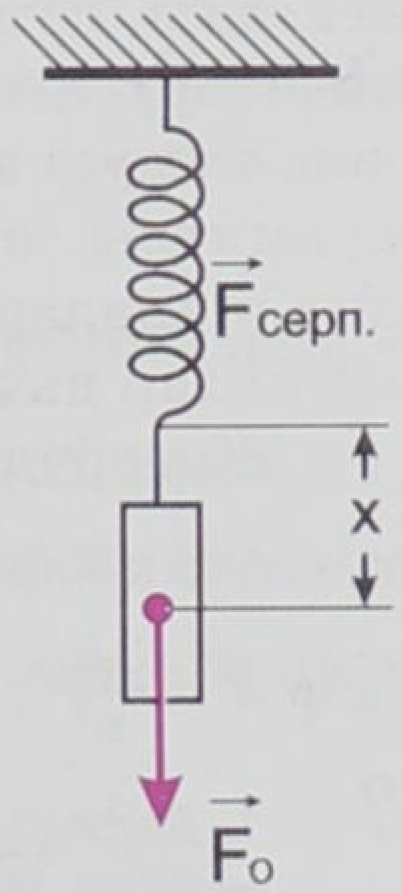
Материал	Серпилгичтүүлүк модулу, ГПа ($t = 20°С$де)
Алюминий	70–71
Бетон	14,3–23,2
Гетинакс	10–18
Темир	190–210
Алтын	79
Резина	0,9
Болот	200–220
Титан	112

Гук законунун жогорку формада жазылышы буга чейин бизге белгилүү болгон $\vec{F} = -k\left|\vec{x}\right|$ тин өзү экендигин далилдейли. Ал үчүн (5.16) жана (5.17) формулаларын эске алып, $\sigma = \frac{F}{S}$ жана $\varepsilon = \frac{|\Delta\ell|}{\ell_0}$ экенин эске алып, σ жана ε маанилерин (5.18) формулага койсок, төмөнкүнү алабыз: $\frac{F}{S} = E \cdot \frac{|\Delta\ell|}{\ell_0}$. Мындан: $F = S \cdot E\frac{|\Delta\ell|}{\ell_0}$ келип чыгат. Бир материал үчүн $\frac{SE}{\ell_0}$ – турактуу чоңдуктар болгондуктан, аны «$-k$» деп белгилесек, б. а. $\frac{SE}{\ell_0} = -k$ деп, анда төмөнкү формула келип чыгат: $\vec{F} = -k\left|\Delta\ell\right|$ (5.19) мында $|\Delta\ell|$ – абсолюттук узаруу, ал $|\vec{x}|$ – жылыш аралыгынын өзү. (5.19) формуладагы «–» минус белгиси F күчү менен жылыш аралыгы (узарышы) карама-каршы багытта экендигин туюндурат.

Ошентип серпилгичтүүлүк чегинде деформациянын чоңдугу ($|\Delta\ell|$, $|\vec{x}|$) деформациялоочу күчкө ($\vec{F}$) түз пропорциялаш деген жыйынтыкка келебиз.

§ 27. Серпилгичтүү деформацияланган пружинанын энергиясы

Серпилгичтүү деформацияланган пружинанын энергиясы абалдын энергиясы, же потенциалдык энергия деп аталат. Себеби, ал энергия нерсенин бөлүкчөлөрүнүн өзара жайланышына көзкаранды болот. Мисалы, пружинанын оромдорунун өзара абалдарына көзкаранды. Созулган пружинанын аткарган жумушу анын баштапкы жана акыркы (чоюлушунан) абалдарына гана көзкаранды болот. Созулган пружинанын созулбаган, баштапкы абалына кайтып келген учурдагы жумушун, б. а. созулган пружинанын серпилгичтүү энергиясын эсептейлик.



66-сүрөт.

Бир учу бекитилген, экинчи учуна жүк илинген пружина берилсин (66-сүрөт). Экинчи учу жүктүн таасири астында созулуп, жумуш аткарсын. Пружина канча көбүрөөк созулса, серпилгичтүүлүк күчү ошончо чоң болот. Эгер пружина чоюлбай турган абалына салыштырмалуу, жүктүн таасири астындагы чоюлушун x десек. Анда пай-

да болгон серпилүү күчү $\vec{F} = -k\left|\vec{x}\right|$ болот, мында k – пропорциялаштык коэффициенти же ал пружинанын катуулук (серпилгичтүүлүк) коэффициенти деп аталат. Пружинанын жыйрылышы менен ал күч kx маанисинен бир калыпта нөлгө чейин азаят. Демек, ал күчтүн орточо мааниси $F_{орт} = \frac{kx+0}{2}$ же $F_{орт} = \frac{1}{2}kx$ (5.20) болот. Ал эми пружина x аралыкка чоюлган кездеги жумуш $A = F_{орт} \cdot x$ же $A = \frac{1}{2}kx \cdot x$, б. а. $\boxed{A = \frac{kx^2}{2}}$. (5.21) Бул жумуш пружинанын потенциалдык энергиясын мүнөздөйт, б. а. $A{=}E_п$. Анда (5.21) формуласы пружинанын серпилгичтүү деформациясынын потенциалдык энергиясы экендигин баяндайт, б. а. $\boxed{E_п = \frac{kx^2}{2}}$. (5.22)

Бул формуланы башка формада, серпилгичтүүлүк күчүнүн чондугу аркылуу да жазууга болот, б. а. $\boxed{E_п = \frac{1}{2}\frac{F^2}{k}}$. (5.23) Мындан да жогорку формуланы алабыз, б. а.

$$E_п = \frac{1}{2}\frac{k^2x^2}{k} = \frac{kx^2}{2} \text{ же } E_п = \frac{kx^2}{2}. \qquad (5.22)$$

Бул формуладан ар кандай пружинаны бирдей эле күч менен чойгондо ар башка потенциалдык энергиянын запасын беребиз. Пружина канча катуу болсо, б. а. серпилгичтүүлүк коэффициенти чоң болсо, потенциалдык энергиясы да ошончо кичине болот жана тескерисинче, пружина канча солкулдак, жумшак болсо, потенциалдык энергиясынын запасы ошончолук чоң болот. Демек, аткарган жумушу да чоң деген сөз. Бул ар кандай рессорлордун, амортизаторлордун түзүлүшүндө чоң мааниге ээ. Мисалы, самолеттун жерге конушунда анын шассисинин амортизатору кысылып, самолеттун ылдамдыгын өчүрүп (азайтып) чоң жумуш аткарышы керек. Мындай учурда самолеттун конструкциясы жакшы сакталат. Ошол эле себеп менен велосипеддин шиналары аябай толтурулса, жолдун уңкул-чуңкул жерлери, шиналар начар толтурулгандагыга караганда көбүрөөк билинет.

Жогорудагы каалаган формуладан мисалы, (5.22) ден катуулук коэффициентинин СИдеги бирдигин чыгарсак $E_п = \frac{kx^2}{2}$ ден $k = \frac{2E_п}{x^2}$, мында $E_п = 1\,Дж$; $[x^2] = 1\,м^2$. Демек $[k] = \frac{Н}{м}$.

? 1. Деформация деп эмнени айтабыз? 2. Деформациянын түрлөрү кайсылар? 3. Серпилгичтүү деформациянын түрлөрүн сана. 4. Ийилүү деформациясындагы нейтралдуу катмардын турмушта эмне мааниси

бар? **5.** Гук закону, формуласы, аныктамасы кандай? **6.** Серпилгичтүү деформацияланган пружинанын потенциалдык энергиясы эмнеге барабар? **7.** Деформацияга турмуштан мисалдар келтиргиле.

14-көнүгүү

1. Эгер болот стержендин диаметри 2 *см*, анын Юнг модулу $2 \cdot 10^{11}$ *Па* болсо, $3{,}14 \cdot 10$ *Н* күч менен кысылган бул стержендин салыштырмалуу кыскаруусу эмнеге барабар?

2. Стерженде $1{,}5 \cdot 10^8$ *Па* болсун үчүн, аны бойлото аракет эткен күчтүн модулу канча? Стержендин диаметри 0,4 *см*.

3. Узундугу 5 *м*, туурасынан кесилиш аянты 2,5 $мм^2$ болгон зымга 100 *Н* күч аракет этилгенде ал 1 *мм* ге узарат. Зым дуушар болгон чыңалууну, Юнг модулун аныктагыла.

4. Массасы 2 *т* болгон автомобилди 0,5 $м/с^2$ ылдамдануу менен сүйрөгөн учурдагы катуулугу 100 *кН/м* болгон сүйрөөчү зым аркандын узарышын тапкыла.

Жумуш жана энергия темаларына маселе чыгаруунун мисалдары

1. Клеть (шахтадан көтөрүлүүчү кабина) шахтадан 50 *с* убакытта турактуу 0,1 $м/с^2$ ылдамдануу менен көтөрүлөт. Анын жүгү менен бирге массасы 5000 *кг*. Көтөргүчтүн ПАКи 80%. Механикалык энергиянын өзгөрүшү пайдалуу жумуш деп эсептелет. Ошол убакыттагы орточо кубаттуулук канча болгон?

Берилди:
$t = 50с$
$a = 0{,}1\ м/с^2$
$g = 10\ м/с^2$
$m = 5000\ кг$

$N - ?$

Чыгаруу:

Бул учурда толук орточо кубаттуулукту табалы. Көтөргүчтүн ПАКи $-\ \eta = \frac{N_п}{N}$, мында $N_п$ – пайдалуу, ал эми N – толук кубаттуулуктар. Ошондуктан жогорку формуладан $N = \frac{N_п}{\eta}$ (1) болот. Ал эми $N_n = F \cdot \vartheta_{орт}$. (2) Маселенин шартында көтөрүлүүчү кабина ылдамдануу менен көтөрүлгөндүктөн $F=mg+ma=m(g+a)$. (3)

$$\vartheta_{орт} = \frac{\vartheta_1 + \vartheta_2}{2} = \frac{at}{2}, \ (4) \text{ себеби } \vartheta_2 = 0, \quad \vartheta_1 = at.$$

Демек, $N_п = m(g+a) \cdot \frac{at}{2}$. (5) Эми (3) жана (4) формулалардагы маанилерди (2) формулага коюп $N_п$ ди, б. а. (5) формуланы табабыз, ал маанини (1) формулага коюп төмөнкүнү алабыз: $N = \frac{m(g+a) \cdot at}{2\eta}$. Чоңдуктардын сан маанилерин коюп эсептөөлөрдү жүргүзөбүз:

$$N = \frac{5000(10+0{,}1) \cdot 0{,}1 \cdot 50}{2 \cdot 0{,}8} = 1{,}55 \cdot 10^5\ Вт. \text{ Демек } N \approx 1{,}6 \cdot 10^2\ кВт.$$

Жообу: $N \approx 1{,}6 \cdot 10^2\ кВт$.

2. Кубаттуулугу 12 $кВт$ болгон көтөрүүчү кран жүктү 90 $м/мин$ ылдамдык менен көтөрө алат. Жүктүн массасы канча?

Берилди:	Чыгаруу:
$N \approx 12\,кВт = 12 \cdot 10^3\ Вт$ $\vartheta = 90\,\frac{м}{мин} = \frac{90\,м}{60\,с} = 1{,}5\,\frac{м}{с}$ $g = 10\,\frac{м}{с^2}$ $m - ?$	Кубаттуулуктун формуласы: $N = \frac{A}{t}$ ал эми жумуштун формуласы: $A = F \cdot S$. Анда $N = \frac{F \cdot S}{t}$. Бирок $\frac{S}{t} = \vartheta$ болгондуктан $N = F \cdot \vartheta$ келип

чыгат, мындан $F = \frac{N}{\vartheta}$. Жүк бир калыпта көтөрүлгөндө $F = mg$ болот.

Демек, $mg = \frac{N}{\vartheta}$, мындан $m = \frac{N}{\vartheta g}$. Сан маанилерди формулага коюп, эсептейбиз:

$$m = \frac{12 \cdot 10^3\ Вт}{1{,}5\,\frac{м}{с} \cdot 10\,\frac{м}{с^2}} = 0{,}8 \cdot 10^3\,\frac{кг \cdot \frac{м}{с^2} \cdot \frac{м}{с}}{\frac{м}{с} \cdot \frac{с}{с^2}} = 800\,кг.$$

Жообу: $m = 800\ кг$.

V главадагы эң негизги маалыматтар

Главада механикалык жумуш – бул күчтүн таасири менен нерсени аралыкка жылдыруу. Жалпы учурда: $A = F \cdot S \cdot \cos\alpha$ формуласы менен туюнтулат.

Кубаттуулук – бул жумуштун аткарылуу тездиги:

$$N = \frac{A}{t};\ N = \frac{F \cdot S \cdot \cos\alpha}{t} = F \cdot \vartheta \cdot \cos\alpha,\ N = F \cdot \vartheta \cdot \cos\alpha.$$

$$\eta = \frac{A_п}{A_т},\ \text{мындан}\ A_п = \eta A_т.$$

Пайдалуу кубаттуулук: $N_п = \eta N_т$.

Энергия – нерсенин жумуш аткаруу жөндөмдүүлүгү. Жалпы энергия (системанын энергиясы) E энергиялардын кинетикалык жана потенциалдык суммасынан турат. Ал эми $E_к = \frac{m\vartheta^2}{2}$; $E_п = mgh$. Ошондуктан системанын толук энергиясы $E = E_п + E_к$ же $E = mgh + \frac{m\vartheta^2}{2}$.

Жумуш да, энергия да СИде *Дж* менен кубаттуулук – *Вт* менен ченелет.

Энергия жоголбойт, жоктон пайда болбойт. Ал бир формадан башка формага өтөт. Энергиянын өзгөрүшү – бул жумуш, же жумуш аткарылды, энергия короду, өзгөрдү деген сөз.

VI глава

СУЮКТУКТАРДЫН (ГАЗДАРДЫН) МЕХАНИКАСЫ

§ 28. Суюктуктардын касиети. Басым. Паскаль закону. Көтөрүү күчү

Суюктуктардын катуу нерселерден негизги айырмасы: суюктук формасын сактабайт. Ал куюлган идиштин формасын гана ээлейт, бирок көлөмүн сактайт; суюктук агуучулук касиетке ээ, деңгээли төмөн көздөй агыла берет. Суюктуктун бети горизонталь абалды ээлегенде гана агуу токтойт.

Суюктуктун формасы өзгөргөн мезгилде серпилгичтүүлүк күчү пайда болбойт. Ал суюктуктун көлөмү өзгөргөн учурда гана (суюктукту кыскан учурда) серпилүү күчү пайда болот.

● Ошол суюктуктагы көлөм өзгөргөн мезгилде пайда болгон серпилүү күчүнүн өзү басым күчү болуп эсептелет. Басымдын чоңоюшу менен суюктуктун тыгыздыгы да чоңоёт.

Суюктуктун идиштин капталдарына же суюктукка матырылган катуу нерсенин бетине жасаган басымы бир эле чекитке берилбестен, ошол суюктук менен тийишип турган беттин бардык чекиттерине бирдей таралат. Демек, басым беттин аянтына да көзкаранды болот.

Беттин берилген участогундагы басым деп ошол участокко аракет эткен күчтүн ал участоктун аянтына болгон катышын айтабыз.

Басымды P, басым күчүн F, ал эми аянтты S менен белгилесек, анда

$$P = \frac{F}{S} . \tag{6.1}$$

Басымдын СИдеги бирдиги, б. а. 1 $м^2$ аянтка $1Н$ күч туура келген кездеги басым кабыл алынат.

● Метеорологияда басымдын бирдиги үчүн көбүнчө $10^5\left(\frac{Н}{м^2}\right)$ пайдаланылат (бул бирдик 1 *Бар* деп да аталат). Суюктуктун, газдын ички басымы «манометр» – деп аталган курал менен өлчөнөт. Жогорудагы басымдын формуласынан басым күчүн тапсак $\boxed{F = P \cdot S}$ болот. (6.2)

Ошентип, суюктуктун ичиндеги басым анын кысылуу даражасына көзкаранды.

Суюктуктун улам төмөнкү катмары жогорку катмарына же жүктүн салмагына жараша болот. Мисалы, деңиздин тереңинде-

Паскаль Блез (1623–1662) – француз окумуштуусу. Ал суюктуктардын, газдардын бир катар негизги касиеттерин изилдеген жана ачкан, кызыктуу жана ишеничтүү тажрыйбалары аркылуу италиялык окумуштуу Торричелли тарабынан ачылган атмосфералык басымдын бар экендигин далилдеген.

ги басым суюктуктун үстүңкү катмары менен атмосферанын басымынан турат. Ошондуктан суюктуктун түрдүү катмарында басым түрдүүчө болот. Тескерисинче, буу казандарындагы буунун басымы бардык жерде бирдей болушу байкалат.

Француз окумуштуусу Блез Паскаль суюктуктар менен газдар үчүн төмөнкү законду ачкан:

Суюктукка (газга) берилген басым суюктук (газ) тарабынан бардык багытка бирдей таралат. Бул Паскаль закону.

Паскаль закону гидравликалык процессте колдонулат.

Суюктуктун салмагынан пайда болгон басым көп учурда гидростатикалык басым деп айтылат.

Гидростатикалык басым суюктуктун салыштырмалуу салмагы менен, анын суюктукка матырылуу бийиктигинин көбөйтүндүсүнө барабар.

Эгер суюктуктун салыштырмалуу салмагы γ болсо, ал тыгыздык (ρ) «ро» аркылуу $\gamma = \rho g$ га барабар болот.

Анда гидростатикалык басым: $P = \rho g h$ (6.3) болот, же $P = \frac{F}{S}$ формуласында $F = mg$, $m = \rho V = \rho S h$ болгондуктан $P = \rho gh$ болот. Бирдиги $[P] = 1 \frac{кг}{м^3} \frac{м}{с^2} \cdot м = \frac{кгм}{с^2} \cdot \frac{1}{м^2} = 1 \frac{Н}{м^2} = 1 \, Па$.

Демек, $[P] = 1 \, Па$.

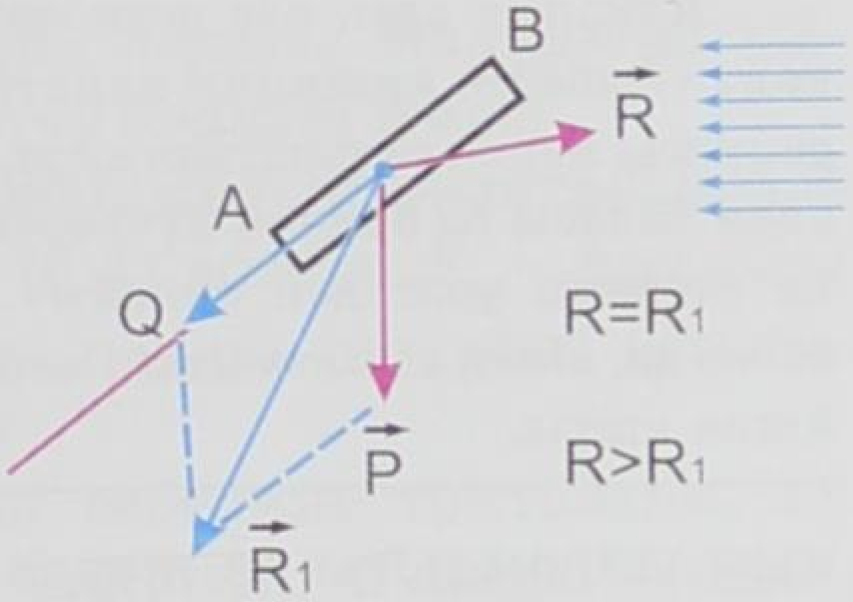
Паскаль закону гидравликалык процесстердин иштөөсүндө жана турмушта, мисалы, өсүмдүктөрдүн данынан май алганда, жемиштердин ширесин алууда же айыл чарбасында жүндү, чөптү, пахтаны пресстеп, таңылчактаганда ж.б. кеңири колдонулат.

Көтөрүү күчү. Нерселер абада кыймылда болгондо, кыймылга көрсөтүлгөн каршылык күчүнөн башка да көтөрүү күчү деп аталган күч айрыкча мааниге ээ. Канаттууларды абада кандай күч кармап турат? Бул суроо адам баласын байыркы замандан бери эле кызыктырып, таңкалтырып, ойлондуруп келген. Канаттуулар сыяктуу абада кайкып учуп, алыс аралыктарды аз убакытта өтүү жөнүндө адамдар ойлонуп, жасалма канат жөнүндө кыялданып келишкен. Адам баласынын бул ой-тилеги самолётту

жасоо аркылуу ишке ашканча көп убакыт өткөн жана көп аракеттер жасалган.

Самолёттун канатынын көтөрүү күчү жөнүндө айтуудан мурда бир жөнөкөй мисалды карайлык.

AB батбереги (67-сүрөт) жара кесилишинде берилсин. Батберекке шамалдын агымы барып урунуп, андан чагылат да R күчү менен таасир этет. Андан тышкары батберектин салмагы (P), жиптин тартуу күчү (Q) таасир этишет. Анда P менен Q нун тең аракет этүүчүсү (параллелограмм эрежеси боюнча) R_1 болот. Эгер R жана R_1 барабар болсо анда батберек абада кармалып турат. Ал эми $R>R_1$ болсо, анда батберек өйдө көтөрүлөт.

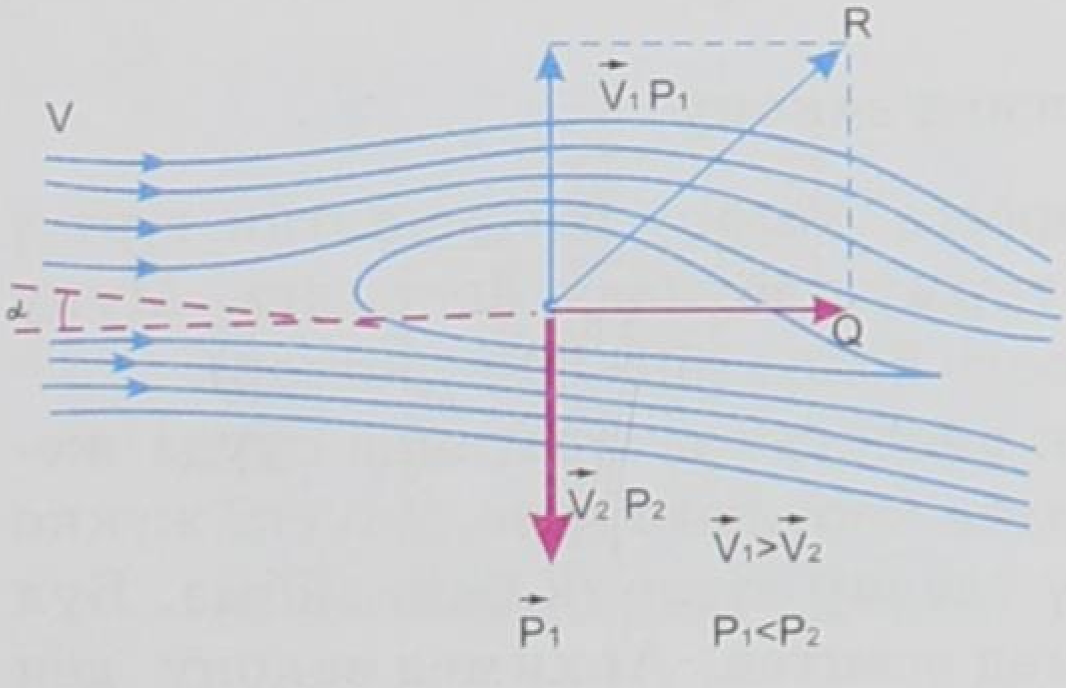


67-сүрөт.

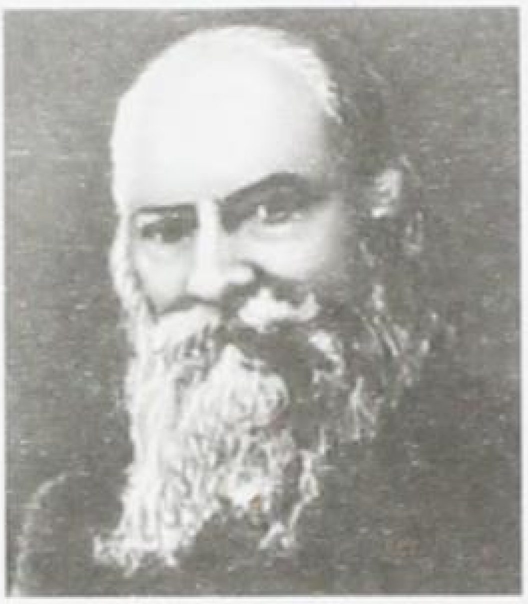
Ошентип, абада учуучу батберек абанын горизонталь агымын кыйгач төмөн буруу менен, ал аба тарабынан батберектин абада учушун камсыз кылып, өйдө багытталган көтөрүү күчүн пайда кылат.

Батберекке караганда, самолёт учканда анын канатына аракет этүүчү көтөрүү күчүнүн пайда болушу бир кыйла татаал жана башкача болот.

68-сүрөттө самолёттун канатынын жара кесилиши көрсөтүлгөн, мында ϑ – аба агымынын ылдамдыгы, P – абанын басымы. Эгер $\vec{\vartheta}_1 > \vec{\vartheta}_2$ болсо, анда $P_1 > P_2$ болот. Самолёт көтөрүлсүн үчүн канаттын астыңкы сызыгы менен учуу багытынын арасында кандайдыр бир (α) бурчу болгондой кылып жайланышы керек. Горизонталь учкан кезде бурч $\alpha \approx 1^\circ - 1{,}5^\circ$ тан ашпоого тийиш. Конуу үчүн ылдыйлаган кезде $\alpha \approx 15^\circ$ ка жакын болот. Бурч мына ушундай болгон кезде самолеттун канатынын астыңкы жана үстүңкү беттериндеги абанын агымдарынын ылдамдыктары ар кандай болот. Атап айтсак, канаттын үстүңкү бетиндеги абанын агымынын ылдамдыгы астыңкы бетиникинен чоң экендиги байкалган (ал сүрөттөгү сызыктардын жыш, сейрек болуусу менен көрсөтүлгөн). Агымдын ылдамдыгы чоң жерде басым аз жана тескерисинче, абанын агымы-



68-сүрөт.



Жуковский Николай Егорович (1847–1921) – орус окумуштуусу, азыркы мезгилдеги гидро жана аэромеханиканын негиз салуучусу, «орус авиациясынын атасы» (В. И. Ленин аны дал ушундай деп атаган). Жуковский самолётту көтөрүү күчүн аныктоо үчүн формула тапкан. Бул формула самолёт куруудагы эсептөө иштеринин негизи болуп эсептелген. Практикада кеңири колдонулган суюктуктардын кыймыл закондорунун эң маанилүү изилдөөлөрү да Жуковскийге таандык.

Авиация адеп эле өсүп өнүгө баштаганда Жуковский мындай деп айткан: «Албетте кишинин канаты жок жана өз салмагын күч булчуңдарынын салмагы менен салыштырганда, канаттууларга караганда, 72 эсе начар. Бирок адам баласы өз булчуң күчтөрүнө ишенип, ага таянып учпаса да, өз акылына ишенип учат деп ойлойм». Андан бери аз гана убакыт өттү, ошондой болсо да, анын акылмандык менен алдынала айткан бул сөздөрү азыркы күндө ишке ашты.

нын ылдамдыгы аз жерде басым чоң. Демек, басымдардын бул айырмасынан жогору багытталган R күчү самолёттун канатына аракет этет. R дин вертикаль түзүүчүсү F салмак P га карама-каршы багытталган көтөрүү күчү болот. Эгер $R>P$ болсо, самолёт жогору көтөрүлөт. R дин экинчи түзүүчүсү Q күчү, ал самолётко маңдай жагынан таасир этүүчү каршылык күчү. Бул күч винттин тартуу күчү аркылуу жеңип чыгылат.

Самолётту реконструкциялоо жана эсеп (расчет) жүргүзүү аэродинамикалык теориянын негизинде жүргүзүлөт. Бул теорияны иштеп чыгууда орустун атактуу окумуштуусу Николай Егорович Жуковский жана анын окуучулары зор салым киргизишкен.

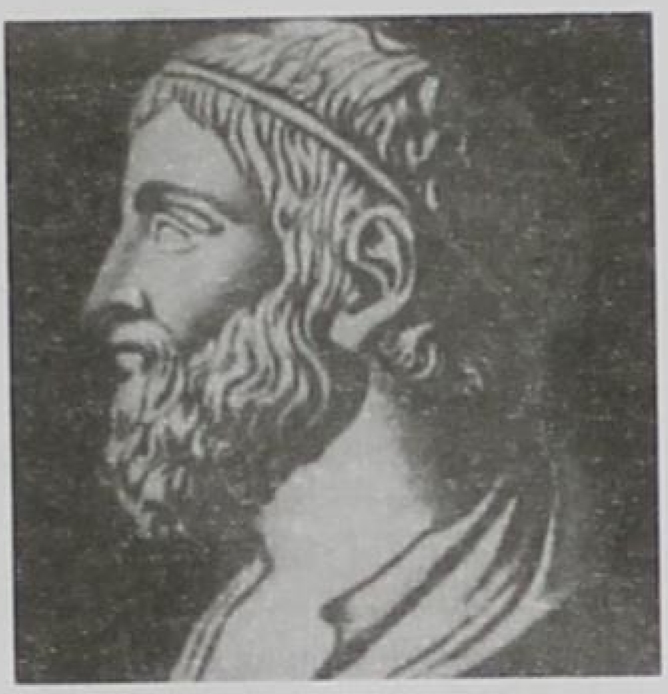
Биричи самолёт орус офицери А. Ф. Можайский тарабынан курулган. Кыргызстандык аэродинамиктер И. Бийбосунов, Ч. Жаныбеков, А. И. Сманбаев, Ж. Саламатов, М. Ю. Абдылдаев ж. б. эмгектери зор жана практикалык мааниге ээ экендиги республикалык энциклопедияларда көрсөтүлгөн.

§ 29. Архимед закону

Суюктукка матырылган нерсеге жогору багытталган түртүү күчү аракет этээри күнүмдүк турмушубуздан белгилүү. Муну төмөнкү тажрыйбалардан байкоого болот (69–70-сүрөттөр).

Динамометрге илинген жүк абадагыга караганда сууда жеңил болуп сезилет, бул сүрөттөрдөн көрүнүп турат. Демек, жүккө суюктук тарабынан түртүү күчү таасир этээрин байкайбыз. Бул күчтү грек окумуштуусу Архимед эсептеп, Архимед закону деп аталган төмөнкү законду берген.

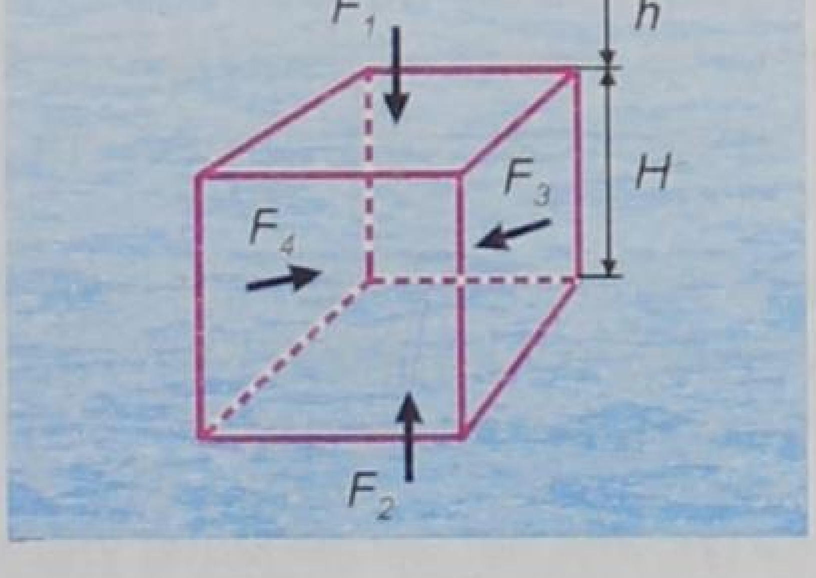
Архимед (биздин эрага чейинки 287–212-жылдар) – байыркы грек окумуштуусу, физик жана математик. Рычаг эрежесин түзгөн, анын ысмын алып жүргөн гидростатика законун ачкан.



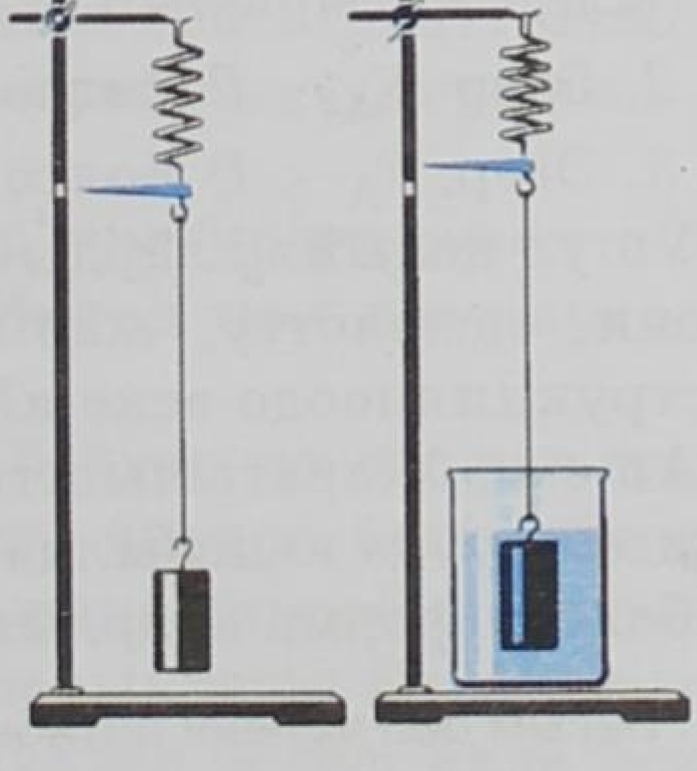
Суюктукка (газга) матырылган нерсеге төмөнтөн жогору карай багытталган түртүү күчү аракет этет.

Көп тажрыйбалардан төмөнкүдөй жыйынтык алынганын VII класста өткөнсүңөр, б. а. $\boxed{F_A = \rho g V}$, (6.4) мында F_A – Архимед күчү, ρ – суюктуктун тыгыздыгы, g – оордук күчүнүн ылдамдануусу, V – нерсенин көлөмү.

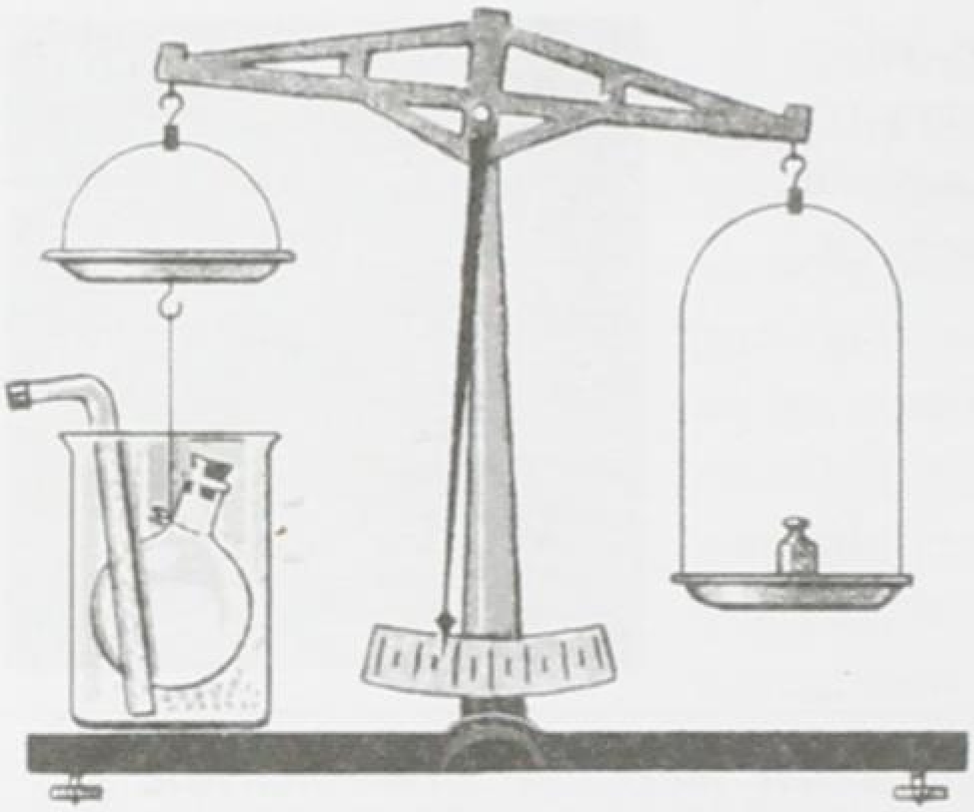
Эгер (6.4) формуласынын чыгыш себебине токтолсок, ал төмөнкүчө чыгарылат. Суу куюлган идиштин ичинде кандайдыр бир бийиктикке ээ болгон брусок бар дейли (69-сүрөт). Паскаль закону боюнча суюктуктун ичиндеги басым бардык багытка бирдей берилери силерге VII класстын физика курсунан белгилүү. Ошондуктан брусоктун каптал беттерине аракет эткен күчтөр да барабар. Ал күчтөр өзара карама-каршы багытталып, брусокту суунун ичинде кысып турат. Эми брусоктун жогорку жана төмөнкү грандарындагы басымдарды салыштырсак, анда суу брусоктун төмөнкү гранына чоңураак (көбүрөөк) басым жасайт, анткени брусоктун ал граны терендикте жайланышкан. Анда суюктуктун брусоктун жогорку жана төмөнкү грандарынын беттерине жасаган басымды эсептөө формулаларын жазсак, ал төмөнкүчө болот. Жогорку гранына $P_1 = g\rho_c h_1$ басым жасалат, ал эми ага аракет эткен күч $F_1 = P_1 S$ болот. Төмөнкү гранына



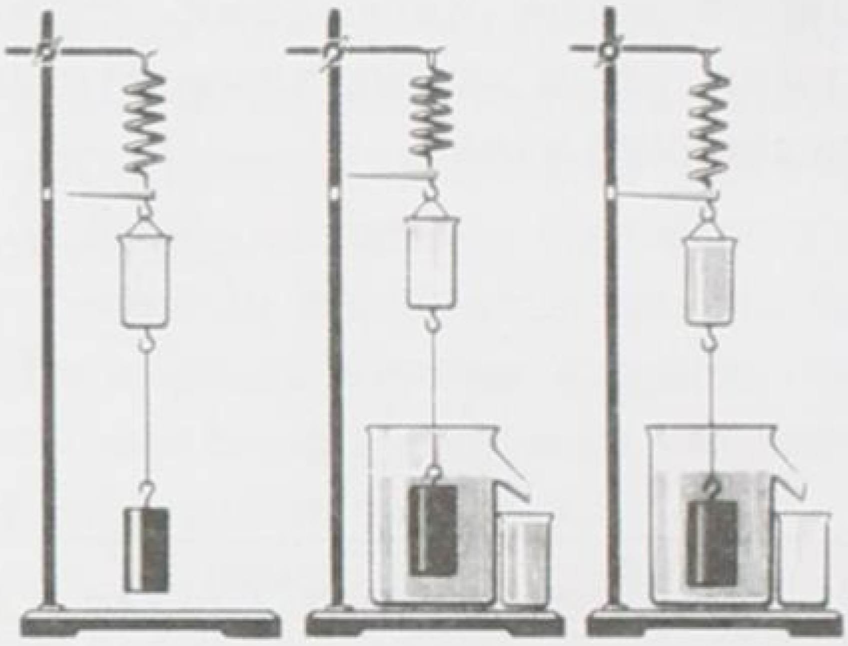
69-сүрөт.



70-сүрөт.



71-сүрөт.



72-сүрөт.

жасаган басым $P_2 = g\rho_c h_2$, ага аракет эткен күч $F_2 = g\rho_c h_2 S$ болот. Бирок $F_2 > F_1$ болгондуктан $F_2 - F_1 = F_A$ – Архимед күчүн берет, мында F_1 күчү төмөн, ал эми F_2 күчү жогору карай багытталат.

Демек, $F_A = F_2 - F_1$ же $F_A = g\rho_c Sh_2 - g\rho_c Sh_1 = g\rho_c S(h_2 - h_1)$. Эгер $h_2 - h_1 = H$ десек, ал брусоктун бийиктигин түшүндүрөт.

Анда $F_A = g\rho_c SH$ты алабыз, мында $SH = V_{нерсе}$ болгондуктан $F_A = g\rho_c V_{нерсе}$. (6.4) Бирок $\rho_c V_{нерсе} = m_c$ – суюктуктун массасын бергендиктен $F_A = m_c g$, ал эми $Vg\rho_c = P_{суюктук}$. Демек, $F_A = P_c$; F_A күчүнүн жогору багытталгандыгы $F_2 > F_1$ болгондуктан, алардын айырмасы F_A күчүндө. $F_A = P_c$ формуласынын негизинде Архимеддин закону төмөнкүчө айтылат:

- Суюктукка матырылган нерсенин салмагы, ошол нерсе сүрүп чыгарган суюктуктун салмагынчалыкка азаят.

Архимед законунан төмөнкүдөй натыйжалар келип чыгат:

- 1. Эгер $F_A = P$ болсо, нерсе суюктукка толук же жарым-жартылай матырылып сүзөт.
- 2. Эгер $F_A > P$ болсо, нерсе суюктукта калкыйт.
- 3. Эгер $F_A < P$ болсо, нерсе суюктукка чөгөт.

Ушул натыйжалардын бардыгы кемени, суу астында сүзүүчү кемени, самолётту, жарышууга арналган машинелерди, б. а. конструкциялоодо эске алынат.

Ал эми Жаратылыштын өзүндө куштарга, балыктарга, б. а. абада же сууда кыймылдап жүрүүчүлөргө айланып өтүүгө ыңгайлуу болгон форма алардын табиятында орун алган.

? 1. Басым деп эмнени айтабыз? 2. Суюктуктагы басым эмнеден улам пайда болот? 3. Паскаль закону кандайча айтылат? 4. Паскаль законунун колдо-

нулушуна мисалдар келтиргиле. **5.** Көтөрүү күчү, ага мисалдар келтиргиле. **6.** Архимед күчү же Архимед закону кандайча айтылат? **7.** Нерселердин сүзүү, чөгүү, калкуу шарттары кандай?

15-көнүгүү

1. Деңиз түбүндөгү 4,6 *м*³ көлөмдөгү ташка аракет этүүчү түртүү күчүн аныктагыла?

2. Көлөмү 0,1 *дм*³ болгон темирди сууга, керосинге матырганда ага кандай түртүү күчтөрү аракет этет?

3. Узундугу 0,5 *м*, туурасы 0,3 *м* жана бийиктиги 0,4 *м* болгон коргошундун кесеги деңиз суусунда кандай салмакка ээ болот?

§ 30. Ламинардык жана турбуленттик агымдар. Бернулли теңдемеси. Статикалык жана динамикалык басымдар. Пульверизатор. Суюктуктардын кыймылы

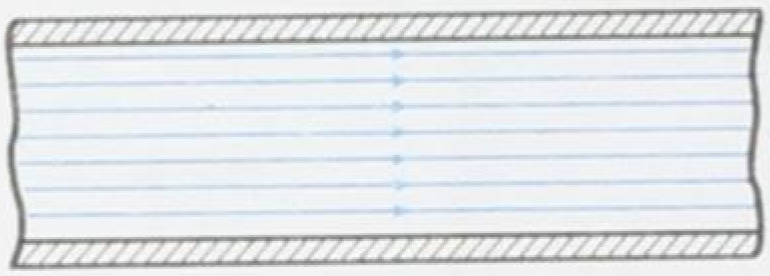
Түрдүү күчтөрдүн аракети астында суюктуктар менен газдар же тең салмактуулук абалда, же кыймылда болушат. Суюктуктар менен газдардын айырмасына карабастан, булардын кыймылдарынын кээ бир закондору бирдей болушат.

Суюктуктардын кыймылдарын байкоочу атайын приборлордун жардамы менен жүргүзүлгөн тажрыйбалар, суюктуктар (ошондой эле газдар да) агым сызыктары деп аталган ичке сызыктар боюнча агаарын көрсөтөт. Ошол агым сызыктарынын жардамы менен суюктуктун (газдын) агымынын ылдамдыгынын чоңдугун график түрүндө сүрөттөп көрсөтүүгө болот. Ылдамдыгы чоң жерде агым сызыктары жыш, ал эми ылдамдыгы аз жерде агым сызыктары сейрек жүргүзүлгөн болот.

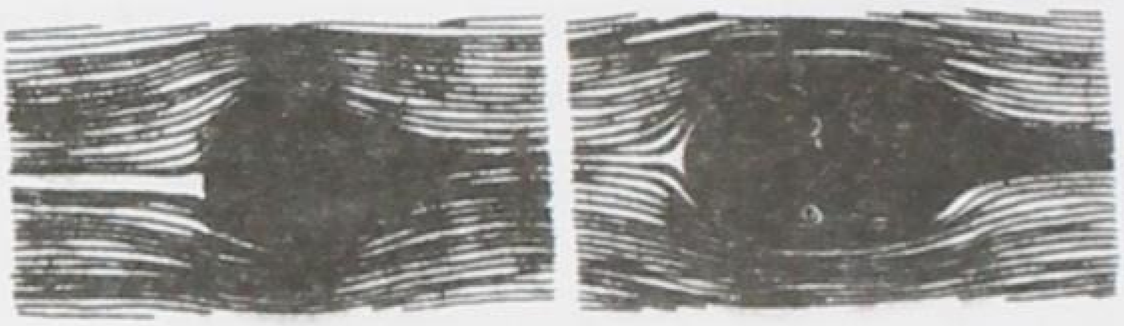
Эгер түтүк боюнча суюктук (газ) үзгүлтүксүз чубуруп акса, анда түтүктүн ар кандай туура кесилиш аянты боюнча бирдей убакытта бирдей көлөмдөгү суюктук агып өтөт. Суюктуктун мындай кыймылы стационардык кыймыл деп аталат. Стационардык (латын сөзү – стационарус) – туруктуу, өзгөрбөгөн дегенди билдирет.

Стационардык агымды дарыялардан, суу түтүктөрүнөн жана суунун деңгээлинин бийиктиги өзгөрбөстөн чоң резервуардан суу агып чыккан учурда байкоого болот.

Туурасынан кесилиш аянты бирдей болгон түтүктөрдө суюктук бөлүкчөлөрүнүн кыймыл ылдамдыгы бирдей болгондуктан анын агым сызыктары өзара параллель жана бирдей жыштыкта болушат (73-сүрөт). Эгер түрдүү ылдамдыктагы аккан суюктуктардын ичинде кандайдыр тоскоолдуктар болсо, анда суюктуктар аны айланып акканда төмөндөгүдөй болушат (74-сүрөт).



73-сүрөт.



74-сүрөт.

Ал эми түтүктүн туурасынан кесилиш аянты түрдүү болсо суюктуктун бөлүкчөлөрүнүн кыймыл ылдамдыктары түрдүү болот (75-сүрөт).

Башкача айтканда S_1 туурасынан кесилишинде ылдамдык ϑ_1 болсо, анда S_2 кесилишиндеги ылдамдык ϑ_2 болот (76-сүрөт). Эгер түтүктөгү суу туруктуу болуп ага турган болсо, б. а. S_1 боюнча 1 секунда канча көлөмдөгү суюктук агып өтсө, S_2 аркылуу да ошончо эле көлөмдөгү суюктук агып өтүшү керек. Ошондуктан $S_1\vartheta_1 = S_2\vartheta_2$ (6.5) деп жазышыбыз керек.

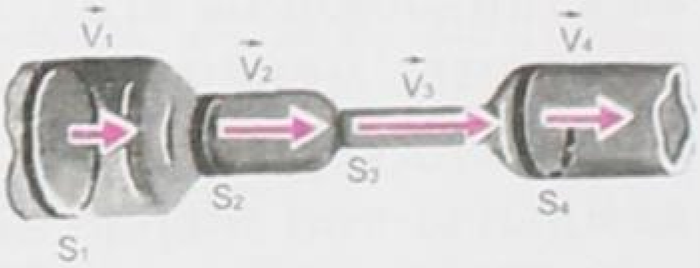
Бул үзгүлтүксүздүктүн теңдемеси деп аталат.

Мындан $\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{S_2}{S_1}$ келип чыгат, б. а.

стационардык агым кезинде суюктуктун бөлүкчөлөрүнүн кыймылдарынын ылдамдыгы түтүктүн туурасынан кесилиш аянттарына тескери пропорциялаш болот.

Кыймылдагы суюктуктарда статикалык жана динамикалык деген эки түрдүү басым болот.

Статикалык басымды агып жаткан суюктуктун түтүктүн ички бетине жасаган аракетинен билүүгө болот. Динамикалык басым суюктуктун агымынын ылдамдыгы менен шартталат.



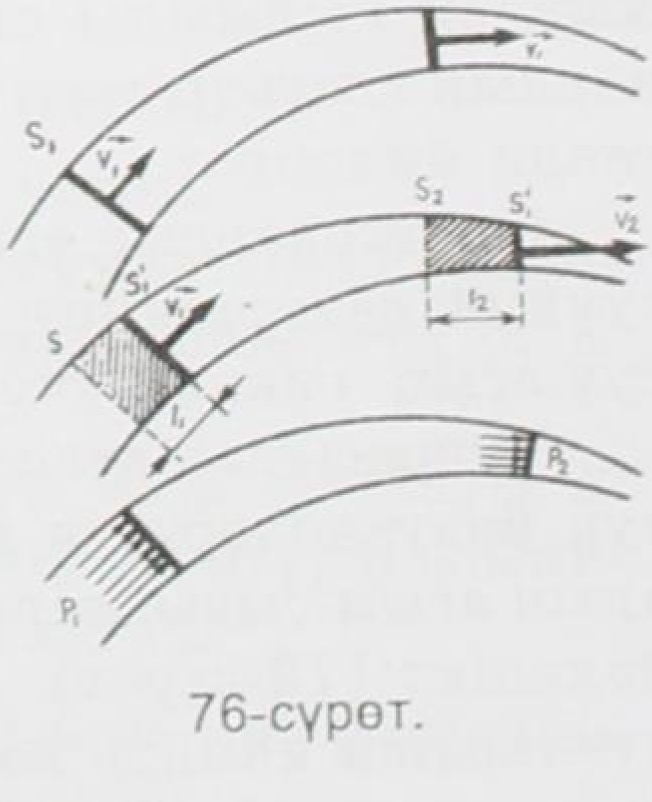
75-сүрөт.

Статикалык жана динамикалык басымдардын суммасы толук басым деп аталат.

Пито түтүгү жана көп түзүлүштөр менен жүргүзүлгөн тажрыйбалардан төмөнкүдөй тыянак келип чыгат:

Стационардык агым кезинде кууш жерлерде суюктуктун басымы аз, ал эми жазы жерлерде жогору болот.

Ал эми кууш жерлерде ылдамдык чоң, тескерисинче жазы (кенен) жерлерде ылдамдык кичине. Андай болбогондо агым стационардык болбойт, б. а.

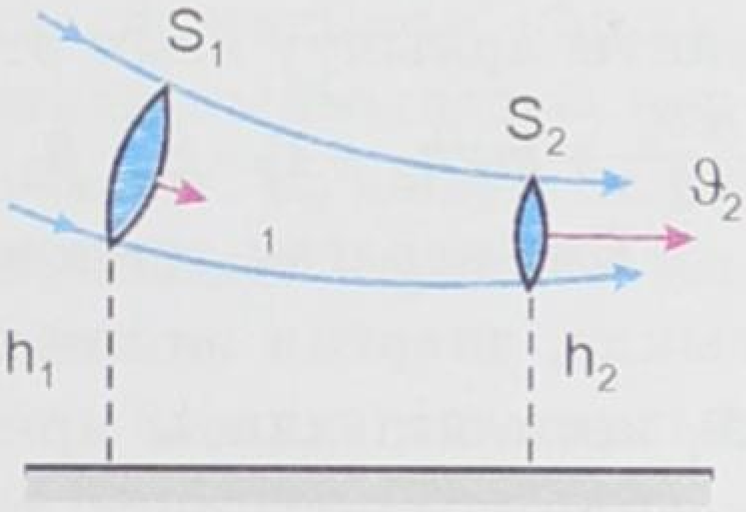


76-сүрөт.

$\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{P_2}{P_1}$, (6.6) мында P_1 жана P_2 – басымдар.

Түтүк боюнча кыймылга келген суюктуктун (газдын) басымы чоң жеринин ылдамдыгы аз, басымы аз жеринин ылдамдыгы чоң.

Суюктуктун ылдамдыгы менен басымы арасындагы бул көзкарандылык швейцариялык математик жана физик Даниил Бернулли (1700–1782) тарабынан изилденип ачылгандыктан Бернуллинин закону деп аталат. Бернулли закону суюктуктар үчүн да, газдар үчүн да бирдей. Анын теңдемеси төмөнкүчө чыгарылат:



77-сүрөт.

Бизге илээшкектүүлүгү болбогон жана кысылбоочу идеалдык суюктук деп аталган суюктук берилсин. Ал суюктуктун кесилиш аянттары S_1 жана S_2 болгон түтүктө, ϑ_1 жана ϑ_2 ылдамдыктарда агып өткөн учурун карайлы (77-сүрөт). Ошондой эле түтүктүн S_1 кесилиш аянты h_1 бийиктигинде, ал эми S_2 аянты h_2 бийиктигинде жайланышкан болсун. Эскерте кетчү нерсе S_1 аянты S_2 аянтынан чоң дейли, б. а. $S_1 > S_2$.

(6.5) формуласынан, б. а. $S_1 \cdot \vartheta_1 = S_2 \cdot \vartheta_2$ же $S \cdot \vartheta = \text{const}$ болот. **Б. а. кысылбоочу суюктуктун ылдамдыгынын түтүкчөнүн туурасынан кесилиш аянтына болгон көбөйтүндүсү берилген түтүкчөнүн ар кандай кесилиш аянты үчүн туруктуу чоңдук болот.**

Эгер суюктук улам кууш жакка акса, анда суюктуктун агуу ылдамдыгы да улам чоңоёт, б.а. ылдамдануууга ээ болот. Бул болсо түтүкчөнүн кууш жагын көздөй агып жаткан суюктукка анын кесилиш аянты чоң болгон жактан кандайдыр күч аракет этет дегенди баяндайт.

Ал күчтүн себебин түтүкчөнүн чоң жана кичине кесилиш аянттарында түрдүү басымдардын болушу менен түшүндүрсөк болот.

Эгер Δt убакыт ичинде S_1 кесилиш аянты аркылуу массасы m болгон суюктук агып өтөт десек, анда ал кесилиш аянты үчүн суюктуктун кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасы $\frac{m\vartheta_1^2}{2} + mgh_1$ болот. Жогоруда биз түтүктүн кесилиш аянты чоң жактан анын кууш жагын көздөй күч аракет этет деп айттык. Ошол үчүн S_1 кесилиш аянты аркылуу өткөн суюктуктун энергиясын эсептөөдө бул күчтүн аткарган жумушун кошо эсепке алабыз. Ал жумуш суюктуктун жалпы энергиясынын бир бөлүгүн түзгөн болот, анда ал күчтүн Δt убакы-

ты ичинде аткарган жумушу $A = F_1 \cdot \Delta\ell$, (6.7) бирок $P_1 = \frac{F_1}{S_1}$ болгондуктан $F_1 = P_1 \cdot S_1$ жана $\vartheta_1 = \frac{\Delta\ell}{\Delta t}$ демек, $\Delta\ell = \vartheta_1 \Delta t$, анда аткарылган жумуш $A = P_1 \cdot S_1 \vartheta_1 \cdot \Delta t$. (6.7)

Ошентип, S_1 кесилиш аянты боюнча агып өткөн m массадагы суюктуктун жалпы энергиясы

$\frac{m\vartheta_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 \cdot S_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \Delta t$ (6.8) болот. Ал эми S_2 кесилиш аянты аркылуу агып өткөн суюктук үчүн

$\frac{m\vartheta_2^2}{2} + mgh_2 + P_2 \cdot S_2 \cdot \vartheta_2 \cdot \Delta t$ деп жаза алабыз.

Биз караган түтүкчөнүн бөлүгүндө, б. а. S_1 жана S_2 аралыгында, энергия эч нерсеге (сүрүлүү ж.б.) сарп болбогондуктан, S_1 кесилиш аянты аркылуу өткөн суюктуктун энергиясы S_2 кесилиш аянты аркылуу өткөн суюктуктун энергиясына барабар болот. Демек, $\frac{m\vartheta_1^2}{1} + mgh_1 + P_1 \cdot S_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \Delta t = \frac{m\vartheta_2^2}{2} + mgh_2 +$

$+ P_2 \cdot S_2 \cdot \vartheta_2 \cdot \Delta t$. (6.9)

Бул барабардыктан (6.5) формуласынын негизинде $S_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \Delta t = S_2 \cdot \vartheta_2 \cdot \Delta t$, б. а. бирдик көлөмдөгү суюктуктар. Ошондуктан аларды V менен белгилесек, б. а. $S_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \Delta t = S_2 \cdot \vartheta_2 \cdot \Delta t = V$ десек, анда (6.9) барабардыгынын эки жагын Vга бөлүп жана $\frac{m}{V} = \rho$ тыгыздык деп белгилеп (6.9) теңдемени төмөндөгүчө өзгөртүп жазсак болот:

$$\frac{\rho\vartheta_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1 = \frac{\rho\vartheta_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2. \qquad (6.10)$$

Түтүкчөнүн кесилиш аянттары эркибизче алынгандыктан акыркы (6.10) теңдемени жалпы түрдө төмөнкүчө жазууга болот:

$$\frac{\rho\vartheta_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1 = const. \qquad (6.11)$$

(6.10) жана (6.11) теңдемелер Д. Бернулли теңдемеси деп аталат.

(6.10) барабардыгындагы $\frac{\rho\vartheta_1^2}{2}, \frac{\rho\vartheta_2^2}{2}$ – динамикалык басым деп аталып, анын чоңдугу ылдамдыктын квадратына көзкаранды болот.

$\frac{\rho\vartheta^2}{2}$ – динамикалык басым экендигине, анын бирдиги боюнча ишенсек болот. Тыгыздыкты $\frac{кг}{м^3}$, ылдамдыкты $\frac{м}{с}$ деп алсак, басымдын бирдиги $\frac{Н}{м^2}$ болот.

(6.11) формуласындагы $\rho g h_1$ – статикалык басым, ал эми P – атмосфералык басым.

Динамикалык жана статикалык басымдардын чоңдугу тажрыйба жүзүндө да аныкталат.

Көп техникалык түзүлүштөрдө (суу, газ, буу түтүктөрүндө ж. б.) түтүктөрдөгү агым стационардык эмес, куюндуу же турбуленттүү болот.

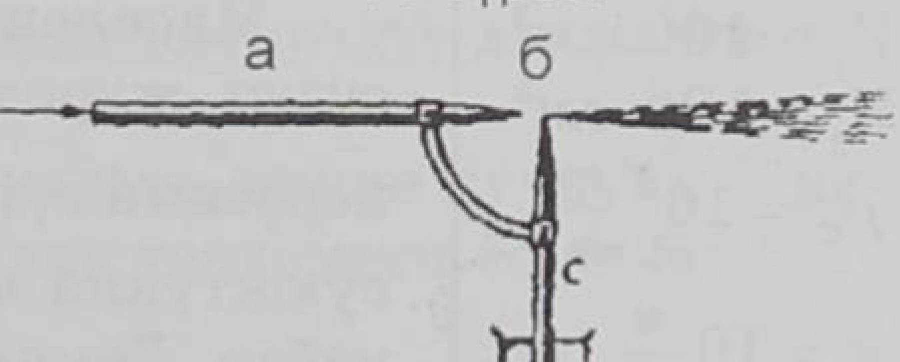
Суюктукта (газда) нерсе кыймылга келген кезде, анын кыймыл ылдамдыгына жараша нерсеге маңдай жагынан каршылык көрсөтүлөт. Ылдамдыктын өсүшү менен кыймылдагы нерсенин арт жагында куюндуу агым пайда болот. Куюндун пайда болушун шарттаган маңдайдан болгон каршылык нерсенин ылдамдыгынын квадратына пропорциялаш болот.

Мисалы, төмөндөгү сүрөттөрдө сууда кыймылдаган шардын артында пайда болгон куюндун көрүнүшү берилген (78-сүрөт).

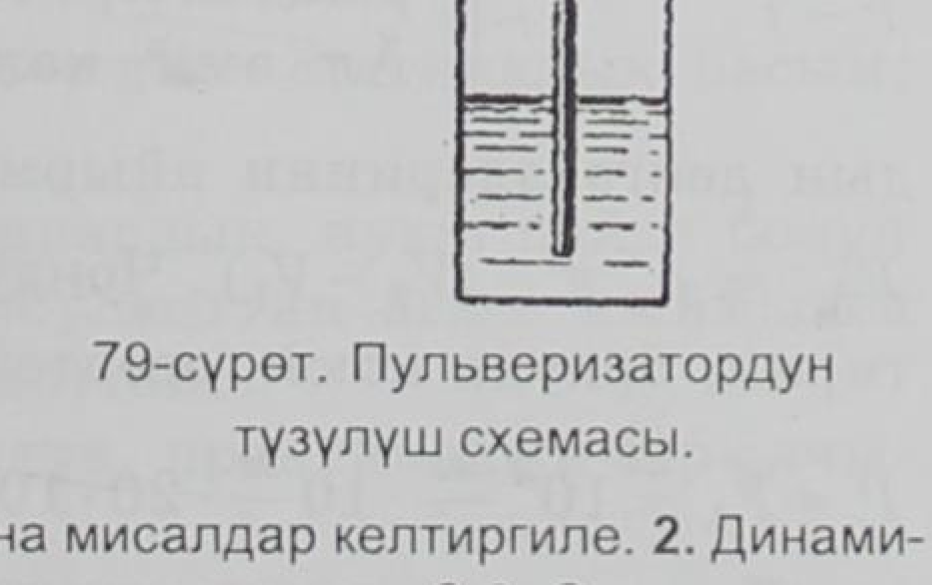
Куюндун пайда болушун азайтуу үчүн атайын изилдөөлөр көрсөткөндөй нерсенин формасын ышкылбас кылып, мисалы, созулган тамчыга окшош формада жасашат. Ошондуктан самолет, кеме, жарышууга арналган спорт машинелерине ж. б. ошондой форма берилет.

Пульверизатор. Бернулли законунун колдонулуш мисалдарынын бири болуп пульверизатордун иштөөсү эсептелет (79-сүрөт).

Бернулли закону боюнча басым (P) менен суюктуктун (газдын) ылдамдыгы (ϑ) арасында тескери пропорциялаштык бар экендигин (6.6) формуладан көрдүк. Ошондуктан пульверизатордогу ичке түтүк боюнча көтөрүлгөн суюктук анын өтө ичке учуна жеткенде горизонталь жайгашкан түтүктөгү аба агымына дуушар болот. Ал түтүктүн ичке учунда абанын ылдамдыгы чоң болгондуктан ошол жердеги басым аз, басым аз жакка идиштеги суюктук көтөрүлөт да келе жаткан абанын агымы менен суу, суюктук бүркүлөт.



78-сүрөт.



79-сүрөт. Пульверизатордун түзүлүш схемасы.

? 1. Суюктуктун стационардык басымына мисалдар келтиргиле. 2. Динамикалык басым качан байкалат? Эмне менен шартталат? 3. Стационардык

агым деп кандай агым аталат? **4.** Куюндуу – турбуленттик агым качан пайда болот? **5.** Бернулли закону кандай айтылат? **6.** Пульверизатордун иштеши эмнеге негизделген жана ал кандайча иштейт?

Суюктуктардын (газдардын) механикасы темасына маселе чыгаруунун мисалдары

1. Деңиз суусунда 1,6 $м^3$ көлөмдөгү ташка аракет эткен түртүү күчүн аныктагыла?

Берилди:	Чыгаруу:
$V=1,6\ м^3$ $\rho_c = 1030 \frac{кг}{м^3}$ $g = 9,8 \frac{м}{с^2}$ $F - ?$	Архимед күчү F_A – суюктукта (деңиз суусуна) матырылган нерсеге ошонун көлөмүнө барабар салмактагы күч менен вертикаль жогору аракет этет. Б. а. $F_A = P$. Ал эми $P = mg$. Массасын (m), көлөмүн (V) жана тыгыздыкты (ρ) аркылуу туюнтабыз, б. а. $m = \rho V$.

Массанын бул маанисин салмактын формуласындагы ордуна коюп, төмөнкүгө ээ болобуз: $F_A = \rho_c g V$ чоңдуктардын сан маанилерин СИден алып эсептөөнү жүргүзөбүз: $F_A = 9,8 \frac{м}{с^2} \cdot 1030 \frac{кг}{м^3} \cdot 1,6\ м^3 = 16480\ Н$, б. а. $F_A = 16,48\ кН$ же $F_A = 16,5\ кН$. Демек, $F_A = 16,5\ кН$ күч менен деңиз суусуна матырылган нерсеге архимед күчү аракет этет.

2. Пробирканы суусу бар мензуркага салышты. Бул учурда суунун деңгээли 100 $см^3$дан 120 $см^3$га көтөрүлдү. Сууда сүзүп жүргөн пробирканын салмагын тапкын.

Берилди:	Чыгаруу:
$V_1 = 100\ см^3$ $V_2 = 120\ см^3$ $\rho_c = 10^3 \frac{кг}{м^3}$ $g = 10 \frac{м}{с^2}$ $P - ?$	Маселенин шарты боюнча пробирка сууда сүзүп жүрөт. Суюктукка (газга) матырылган нерсенин сүзүү шарты: $F_A = P$, б. а. Архимед күчү суюктукка матырылган нерсенин салмагына барабар. Демек, биз архимед күчүн табышыбыз керек. Ал күч төмөнкүгө барабар: $F_A = P = \rho_c g V$. Ал эми көлөм (V) мензуркадагы суюктуктар-

дын деңгээлдеринин айырмасына барабар: $V = V_2 - V_1$. Анда $F_A = \rho_c g \cdot (V_2 - V_1)$. Чоңдуктардын сан маанилерин СИге келтирип, ордуна коюп, эсептейбиз:

$$P = F_A = 10^3 \frac{кг}{м^3} \cdot 10 \frac{м}{с^2} \cdot 20 \cdot 10^{-6} м^3 = 0,2\ Н, \quad б.\ а.\ F_A = 0,2\ Н.$$

Демек, сууда сүзүп жүргөн пробирканын салмагы $P = 0,2\ Н$.

VI главадагы эң негизги маалыматтар

Главада газдар жана суюктуктар үчүн Паскаль закону айтылды.

Суюктук (газ) өзүнө берилген басымды бардык чекиттерге өзгөрүүсүз берет.

Архимед закону да суюктуктар менен газдар үчүн берилген.

Суюктук (газ) өзүнө матырылган нерсеге төмөндөн жогору багытталган жана нерсенин матырылган бөлүгүнүн салмагынчалык күч менен түртөт.

Бул Архимед күчү, нерсенин суунун ичинде калкышы, сүзүшү, чөгүшү менен түшүндүрүлөт.

● Эгер салмак (P) болсо, анда:

$F_A = P$ болсо, нерсе сүзөт.

$F_A > P$ болсо, нерсе калкыйт.

$F_A < P$ болсо, нерсе чөгөт.

Кеме, пароход, самолет курууда муну билүү маанилүү.

Суюктуктар (газдар) белгилүү агым сызыктары боюнча агат (кыймылдайт).

Бернулли законунда түтүктөр боюнча агылган суюктуктар (газдар) жөнүндө сөз болот, б. а. $\frac{\vartheta_1}{\vartheta_2} = \frac{P_2}{P_1}$, мында ϑ – ылдамдык, P – басым.

● Демек, ылдамдык чоң жерде (ичке түтүктөрдө) басым (P) аз жана тескерисинче, ылдамдык кичине жерде (жоон түтүктөрдө) басым (P) чоң болот.

Мына ушуга суу колонкаларынын, пульверизатордун, насостордун иштеши, өтмө шамалдын пайда болушу негизделген. Самолет, дирижабль ж. б. дегеле абада көтөрүлүү да ушуга негизделген.

Акпаган суунун басымы – статикалык, аккан суунуку – динамикалык басым болот, алар Бернулли теңдемеси боюнча:

$$\frac{\rho\vartheta_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1 = \frac{\rho\vartheta_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 \text{ же } \frac{\rho\vartheta^2}{2} + \rho g h + P = \text{const},$$

мында $\frac{\rho\vartheta^2}{2}$ – динамикалык басым; $\rho g h$ – статикалык басым; P – атмосфералык басым.

Суюктуктун жай агымы – ламинардык, куюн пайда болуп агышы – турбуленттик. Ошол турбуленттик агым кыймылга суюктуктун көрсөткөн басымын шарттайт.

Мунун бардыгын билүү турмуштук, практикалык зарылчылык.

VII глава

МЕХАНИКАЛЫК ТЕРМЕЛҮҮЛӨР ЖАНА ТОЛКУНДАР

§ 31. Механикалык эркин жана аргасыз термелүүлөр, анын мүнөздөмөлөрү

Жаратылыштагы жана техникадагы көп кыймылдардын арасында убакыттын барабар аралыгында улам кайталана берүүчү, же дээрлик кайталана берүүчү кыймылдар кездешет.

Мезгил-мезгили менен кайталана берүүчү кыймылдар термелүү кыймылы деп аталат.

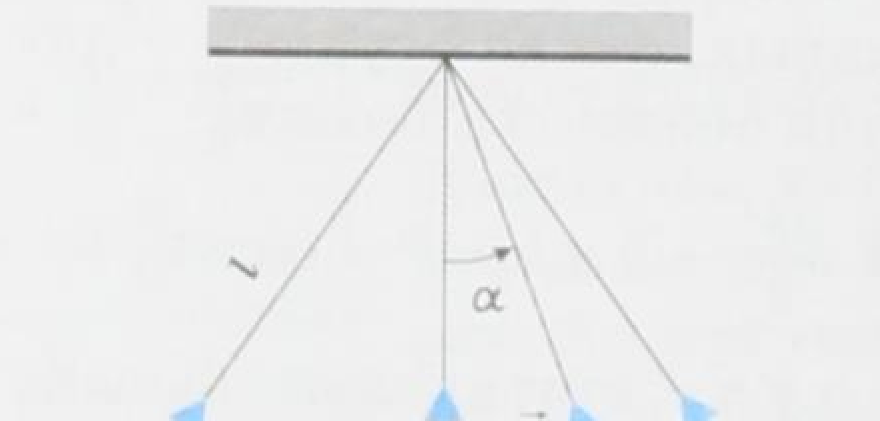
Мисалы, математикалык, же пружиналуу маятниктердин кыймылы, шамал учурундагы бактын жалбырактарынын, жайылган кирдин кыймылдары, жүрөктүн согушу, ичтен күйүүчү кыймылдаткычтардагы поршендин кыймылы, Жердин, планеталардын кыймылдары ж. б.

Башка кыймылдардан термелүү кыймылынын негизги айырмасы, анын мезгилдүүлүгүндө, б. а. анын кайталана берүүчүлүгүндө.

Математикалык маятник. Мисалы, узундугу ℓ болгон математикалык маятниктин термелишин карайлы (80-сүрөт).

Чоюлбаган, салмаксыз ичке жипке илинген материалдык чекит математикалык маятник деп аталат.

● *Берилген шартта өлчөмдөрүн эске албоого мүмкүн болгон нерсе материалдык чекит деп аталат. Биздин мисалда жүктүн (шардын) өлчөмү ал байланган жиптин узундугуна салыштырмалуу абдан кичине. Ошондуктан ал материалдык чекит боло алат.*



80-сүрөт.

Маятник термелбей турган учурда ага аракет эткен жүктүн оордук күчү жиптин тартуу күчү менен тең салмактанат. Ошондуктан маятник тең салмак абалында, б. а. термелбестен тынч турат.

Эгер жүктү сырткы күчтүн жардамы менен тең салмактуулук абалынан чыгарсак, б. а. α бурчуна кыйшайтып туруп, коё берсек, оордук күчүнүн тангенциалдуу түзүү-

чүсүнүн таасири астында ал тең салмактуулук абалын көздөй умтулат. Тең салмактуулук абалына жакындаган сайын анын ылдамдыгы чоңойгондуктан, тең салмактуулук абалына жетип эле токтоп калбастан күү менен, инерция боюнча, тең салмактуулук абалынан өтүп экинчи жакка кыймылдай баштайт. Тең салмактуулук абалынан алыстаган сайын ылдамдыгы кичирейип, эң четки абалда ал $\vartheta = 0$ болуп, көз ирмемче жүк токтойт да, ошол эле оордук күчүнүн тангенциалдуу түзүүчүсүнүн таасири астында (эми ал мурунку багытына карама-каршы, б.а. дайыма тең салмактуулук абалын көздөй багытталат) тең салмактуулук абалын көздөй кыймылга келет. Инерция боюнча андан өтүп, баягы кыймылы башталган чекитке жетет да, же дээрлик жетет да, кайра ошол эле тангенциалдуу күчтүн таасири астында кыймылын кайталай берет. Ошентип маятник өздүк кыймылын кайталай берет, б. а. термелүү кыймылына келет.

● *Маятниктин четки кыймылсыз чекиттен чыгып, кайра ошол эле кыймылсыз чекитке келгенине кеткен убакыт термелүү мезгили деп аталат. Анда маятник бир толук термелүү жасаган болот. Мындан төмөнкүнү айтсак болот.*

● *Бир толук термелүүгө кеткен убакыт термелүү мезгили деп аталат. Термелүү мезгили T тамгасы менен белгиленет, бирдиги СИде секунда (с), убакыттын бирдигиндей.*

Тең салмактуулук абалынан эң алыс четтөө аралыгы термелүүнүн амплитудасы деп аталат.

Ал *A* тамгасы менен белгиленет. Бирдиги аралыктын бирдиктериндей – *м, см, мм, км* ж. б.

1 секунд ичиндеги термелүүлөрдүн саны термелүү жыштыгы деп аталат. Ал ν (нью) тамгасы менен белгиленет. СИдеги бирдиги герц (Гц).

Термелүү мезгили менен термелүү жыштыгы бири-бири менен төмөнкүчө байланышкан. Мисалы, 1 *с*да нерсе 10 жолу термелсе, анда бир термелүүгө $\frac{1}{10}$ *с* жумшалган болот. Ал мезгилди билдирет. Анда $\boxed{T = \frac{1}{\nu}}$ же $\boxed{\nu = \frac{1}{T}}$ (7.1) болот. Демек, мезгил жана жыштык тескери пропорциялаш болушат, б. а. $\frac{1}{c} = 1\,Гц$ же $\frac{1}{Гц} = 1\,c$ болот.

Каалаган убакыттын ичинде термелген нерсе тең салмактуулук абалынан канча аралыкка жылганын же канча бурчка бурулганын көрсөтүүчү сан термелүүнүн фазасы деп аталат.

Фаза термелүүчү нерсенин мезгилинин канча бөлүгүн өткөндүгүн көрсөтүүчү сан.

Термелүүнүн фазасы φ (фи) тамгасы менен белгиленет. Фаза бурчтук бирдиктер менен ченелет.

Термелүүлөр эркин жана аргасыз деп аталат.

Бир жолу тең салмактуулук абалынан чыгарылган соң нерседе системанын ички күчүнүн таасири астында пайда болгон термелүү эркин термелүү деп аталат.

Математикалык маятникте ички күч болуп оордук күчүнүн тангенциалдуу (жаныма) түзүүчүсү эсептелет да $\vec{F}_т$ тамгасы менен белгиленет.

Ал эми пружиналуу маятникте болсо, ички күч бул пружинада пайда болгон серпилгичтүүлүк күчү ($\vec{F}_{серп}$) болуп эсептелет.

Сырткы мезгилдүү күчтүн таасири астындагы термелүү аргасыз термелүү деп аталат.

Мисалы бактын жалбырактарын шамал термелтсе, китепти партада ары бери жылдыра берсек ж. б.

Эркин термелүү өчүүчү жана басаңдоочу болот.

Убакыттын өтүшү менен амплитудасы кичирее берүүчү термелүү өчүүчү, же басаңдоочу деп аталат.

Өчүүнүн себептери болуп төмөнкүлөр эсептелет:

1. Термелген системадагы анын бөлүкчөлөрүнүн сүрүлүүсүн жеңүүгө энергия жумшалат.

2. Термелген чөйрөнүн каршылыгын жеңүүгө энергия жумшалат.

3. Чөйрөнү кошо термелтүүгө энергия жумшалат.

Эми кандай шарттар аткарылганда эркин термелүү пайда болот, ага токтололу. Ал үчүн:

1. Системаны тең салмактуулук абалынан чыгаруучу сырткы күчтүн болушу керек.

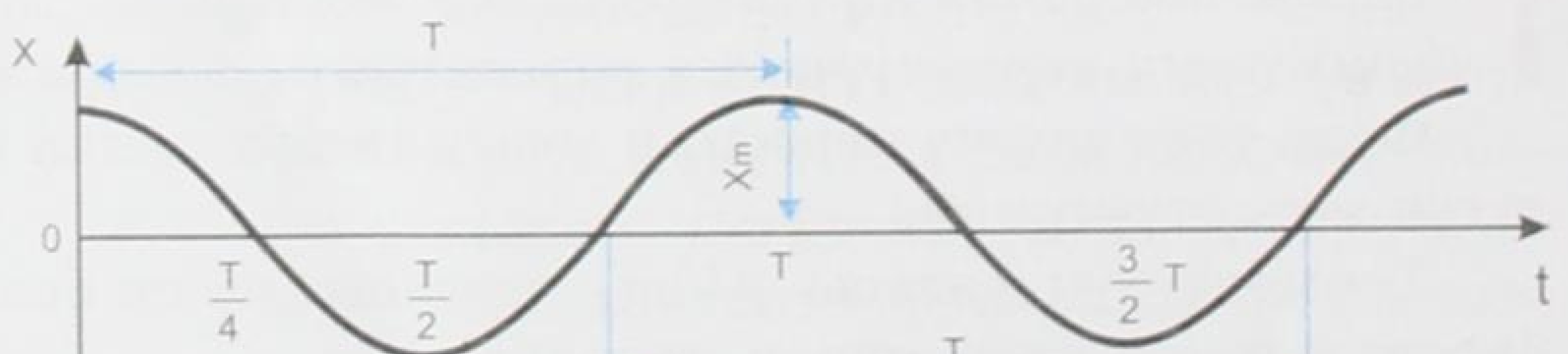
2. Системаны тең салмактуулук абалына алып келүүчү ички күчтүн болушу керек.

3. Чөйрөнүн каршылыгынын аз болушу керек ж. б.

Термелүүнүн эң жөнөкөй түрү болуп гармоникалык термелүү эсептелет.

Убакытка көзкаранды болгон физикалык чоңдуктардын синус жана косинус закону боюнча мезгилдүү өзгөрүшү гармоникалык термелүү деп аталат.

Графикте ал синусоида же косинусоида сызыгын берет (81-сүрөт).



81-сүрөт.

Мында Ot – убакыт огу – тең салмактуулук абалдын сызыгы. Ал эми X – анын координатасы, же термелүүнүн амплитудасы.

Гармоникалык термелүү кыймылынын теңдемелери:

$$\boxed{x = x_m \cdot \sin\omega_0 t} \text{ жана } \boxed{x = x_m \cdot \cos\omega_0 t}, \qquad (7.2)$$

мында x – координата, X_m – термелүүнүн амплитудасы, ал эми ω_0 – айлануу же циклдүү жыштык, t – убакыт. Бул учурда айлануу жыштыгы термелүү жыштыгы менен төмөнкүчө байланышта: $\omega_0 = 2\pi\nu$.

Жүргүзүлгөн тажрыйбалар маятниктин термелүү мезгили анын массасына жана амплитудасына (амплитуда кичине болгондо) көзкаранды болбостон, анын узундугуна жана эркин түшүүнүн ылдамдануусуна көзкаранды болорун аныктоого мүмкүнчүлүк түздү. Бул жөнүндө VII класстын материалында каралган.

Маятниктин термелүү мезгилинин анын узундугуна жана эркин түшүүнүн ылдамдануусуна көзкаранды экендигин тактоо үчүн эки жөнөкөй тажрыйба жасайлы. Биринчиден маятникти термелүүгө мажбурлап, анын термелүү мезгилин T аныктайбыз.

Экинчисинде маятникти токтотуп, аны конустук бетти сызууга мажбурлайбыз. Бул учурда маятник айлана боюнча кыймылдайт. Маятниктин айлануу мезгилин аныктап, ал ушул маятниктин термелүү мезгилине барабар экендигин табабыз:

$$T_{\text{айл}} = T_{\text{тер}} = T.$$

Маятниктин айлануу мезгилин ал сызган айлананын узундугун сызыктуу ылдамдыкка бөлүү аркылуу табабыз. Ал төмөнкүгө барабар: $T = \dfrac{2\pi R}{\vartheta}$.

Маятник айлана боюнча кыймылдагандыктан, ага борборго умтулуучу күчү $F = \dfrac{m\vartheta^2}{R}$ таасир этет, мындан $\vartheta = \sqrt{\dfrac{F \cdot R}{m}}$ болот. Борборго умтулуучу күчтү геометриялык жол менен табабыз, Б. а. OBC жана $BДE$ үч бурчтуктарында окшош жактары пропопциялаш болгондуктан $BE : EД = OB : CB$ же $F : mg = R : \ell$, мындан $F = \dfrac{mgR}{\ell}$ (7.3). Борборго умтулуучу күчтүн бул маанисин сызыктуу ылдамдыктын формуласына койсок $\vartheta = R\sqrt{\dfrac{g}{\ell}}$ алынат. Ал эми сызыктуу ылдамдыктын маанисин мезгилдин формуласына койсок, анда математикалык маятниктин термелүү мезгили үчүн төмөнкүнү алабыз: $\boxed{T = 2\pi\sqrt{\dfrac{\ell}{g}}}$ (7.4), мында ℓ – маятниктин жибинин узундугу, g – оордук күчүнүн ылдамдануусу.

(7.4) формуласынан математикалык маятник үчүн маятниктин төмөнкүдөй закондору келип чыгат:

1. Анча чоң эмес амплитуда кезинде математикалык маятниктин термелүү мезгили маятниктин массасына көзкаранды эмес.

2. Анча чоң эмес амплитуда кезинде математикалык маятниктин термелүү мезгили термелүү амплитудасына көзкаранды эмес.

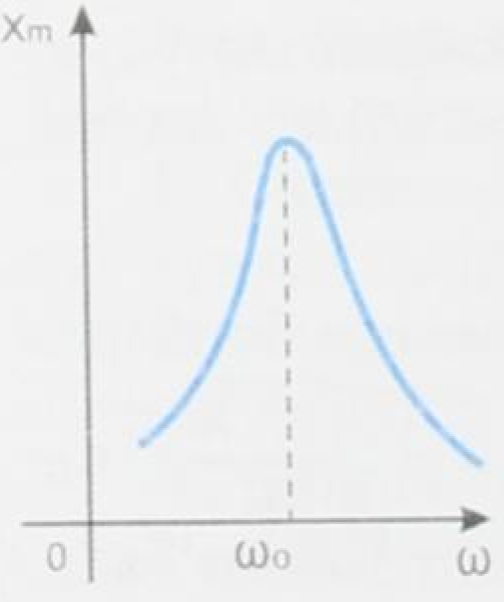
3. Математикалык маятниктин термелүү мезгили анын узундугунан чыгарылган квадраттык тамырга түз пропорциялаш.

(7.4) формуласынын жардамы менен оордук күчүнүн ылдамдануусу «g»ны Жердин каалаган ордунда аныктоого болот. «g»ны аныктоо геологдор үчүн Жерден кен байлыктарды изилдөө ишинде мааниси абдан чоң. Андан сырткары маятниктүү дубал сааттарын жөнгө салууда да маанилүү.

Резонанс

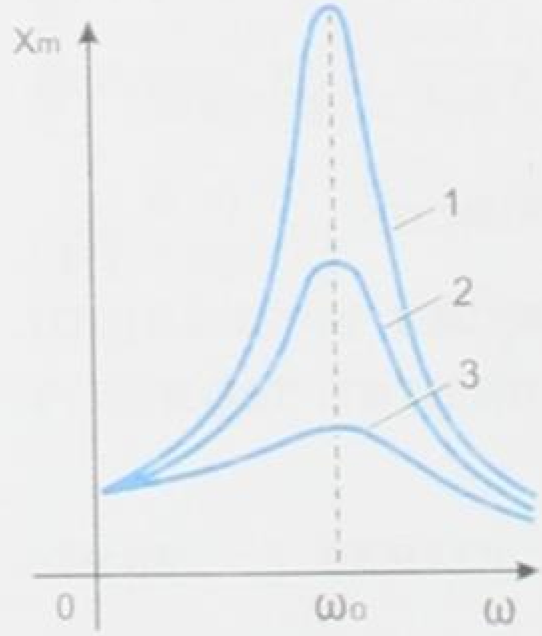
Системага аракет эткен сырткы күчтүн жыштыгынын системанын өздүк жыштыгы менен дал келген кезиндеги амплитуданын кескин чоңоюу кубулушу резонанс деп аталат.

Резонанс учурунда аргасыз термелүүнүн амплитудасынын эң чоң болуп кетиши мезгилдүү сырткы күчтүн булагынан системага энергия көбүрөөк берилет, ошондуктан амплитуда кескин чоңоёт (82-сүрөт).



82-сүрөт.

Резонанс учурунда мезгилдүү сырткы күч мезгилдин бардык аралыгында оң гана жумуш аткарып калат. Себеби, бул учурда сүрүлүү коэффициенти кичине болот да амплитуда чоң болот. Сүрүлүү аз болгондо резонанс курч – график бийик, сүрүлүү көп болгондо резонанс мокок болот, график айдөш келет. Мисалы 83-сүрөттүн 1-синде сүрүлүү эң аз, 3-сүндө сүрүлүү эң чоң болгон учурлар.



83-сүрөт.

Резонанс пайдалуу да, зыяндуу да болот. Мисалы, жыштык өлчөгүчтөрдөн өзгөрмө токтун жыштыгын өлчөөчү частотомер резонанска негизделген.

Радио кабыл алуу, адамдардын үнүндөгү түрдүү басымдарды сезиши ж. б. резонанска негизделген.

Серпилгичтүү нерсенин бардыгы, көпүрө, машинелердин станиналары, валы, кеменин тулкусу ж. б. өздүк жыштыкка ээ болушат.

Резонанс учурунда алар же алардын тетиктери бузулушу ыктымал. Ошондуктан мындай учурларда резонансты болтурбоо чаралары көрүлөт.

?

1. Термелүү кыймылы деп кандай кыймылды айтабыз? 2. Термелүү кыймылынын башка кыймылдардан айырмасы кайсы? 3. Термелүү кыймылына мисалдар келтиргиле. 4. Кандай термелүү эркин, кандайы аргасыз деп аталат, аларга мисалдар келтиргиле. 5. Термелүүнүн амплитудасы, мезгили, жыштыгы, фазасы деп эмнени айтабыз? 6. Математикалык маятник деп эмнени айтабыз? 7. Математикалык маятниктин термелүү закондору кандай айтылат? 8. Резонанс деп эмнени айтабыз? 9. Резонанстын пайда, зыянына мисалдар келтиргиле.

§ 32. Толкун. Толкундун негизги мүнөздөмөлөрү. Толкундун түрлөрү

Убакыттын өтүшү менен чөйрөдө, мейкиндикте термелүүнүн таралышы толкун деп аталат.

Мисалы, көлчүк сууга таш ыргытсак, суунун бетинде ошол таш борбору болуп калган борборлошкон айланалар түрүндөгү толкун пайда болот 84-сүрөт. Эгер аны жара кесилишинде элестетсек, ойдуңдар жана өркөчтөр түрүндөгү толкун пайда болот. Арканда, кабелдин зымында, пружинада ж. б. пайда болгон толкундар жара кесилишинде (профилинде) синусоида же косинусоиданы элестетет.

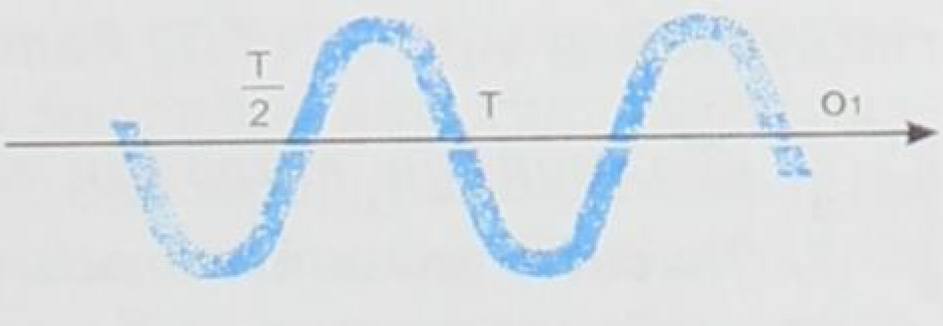
Толкундун пайда болгон себеби, толкун таралган чөйрө бөлүкчөлөрдөн тургандыктан, ал өзара байланыштуу болгондуктан, улам биринен кийин бирине таасирин өткөзөт. Ошондуктан толкун пайда болот.

Толкун узатасынан жана туурасынан кеткен толкун болуп бөлүнөт.

Эгер нерсенин бөлүкчөлөрүнүн которулуу багыты толкундун таралуу багытына перпендикуляр болсо, туурасынан кеткен толкун деп аталат.

Ал чиймеде синусоида, же косинусоида сызыгы менен көрсөтүлөт (85-сүрөт).

84-сүрөт.



85-сүрөт.

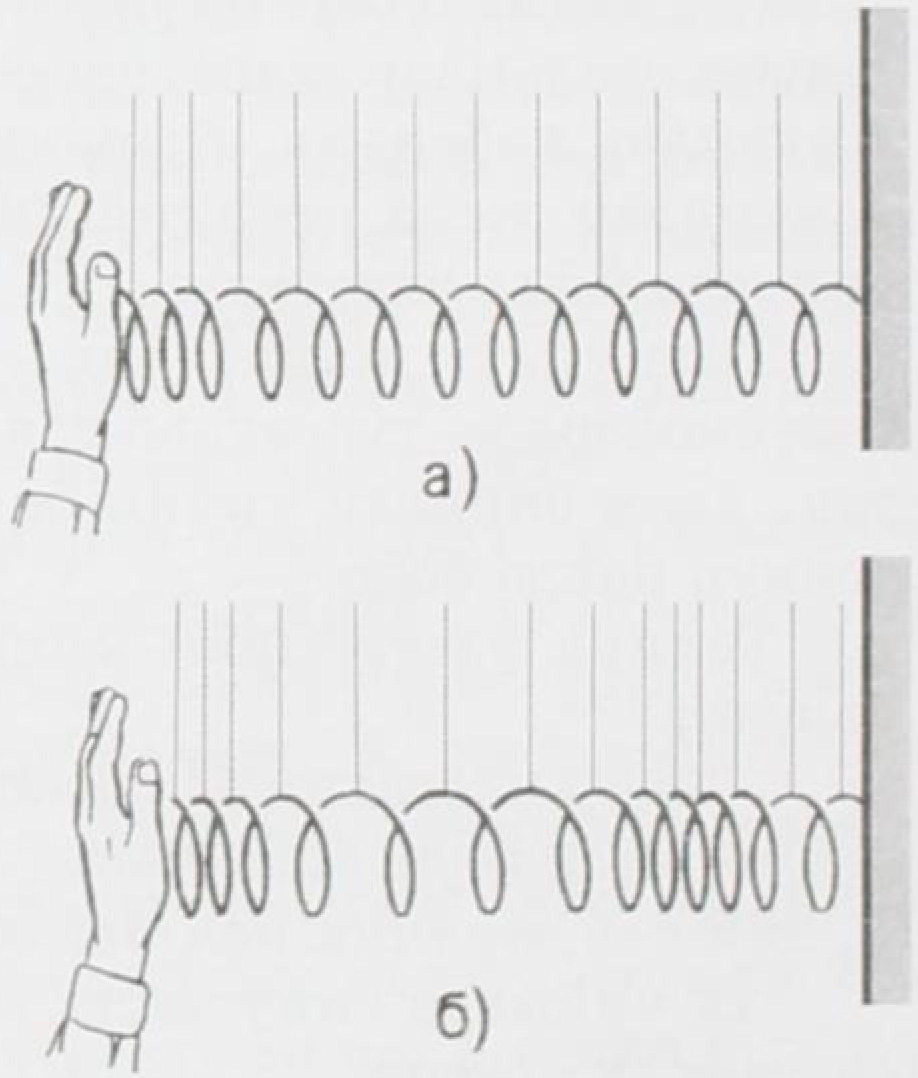
86-сүрөт.

Эгер нерсенин бөлүкчөлөрүнүн которулуу багыты толкундун таралуу багытына дал келсе, анда узатасынан кеткен толкун деп аталат (86-сүрөт).

86-*а,б* сүрөттө таралуу багыты берилген, ал эми 87-сүрөттө пружинада пайда болгон узатасынан кеткен толкун берилген.

Бирдей фазадагы эң жакынкы эки чекиттин аралыгы толкун узундугу деп аталат (88-сүрөт).

Толкун узундугу λ (лямбда) тамгасы менен белгиленет. Бирдиги узундуктун бирдигиндей эле: *м, см, мм, км* ж. б. менен өлчөнөт.



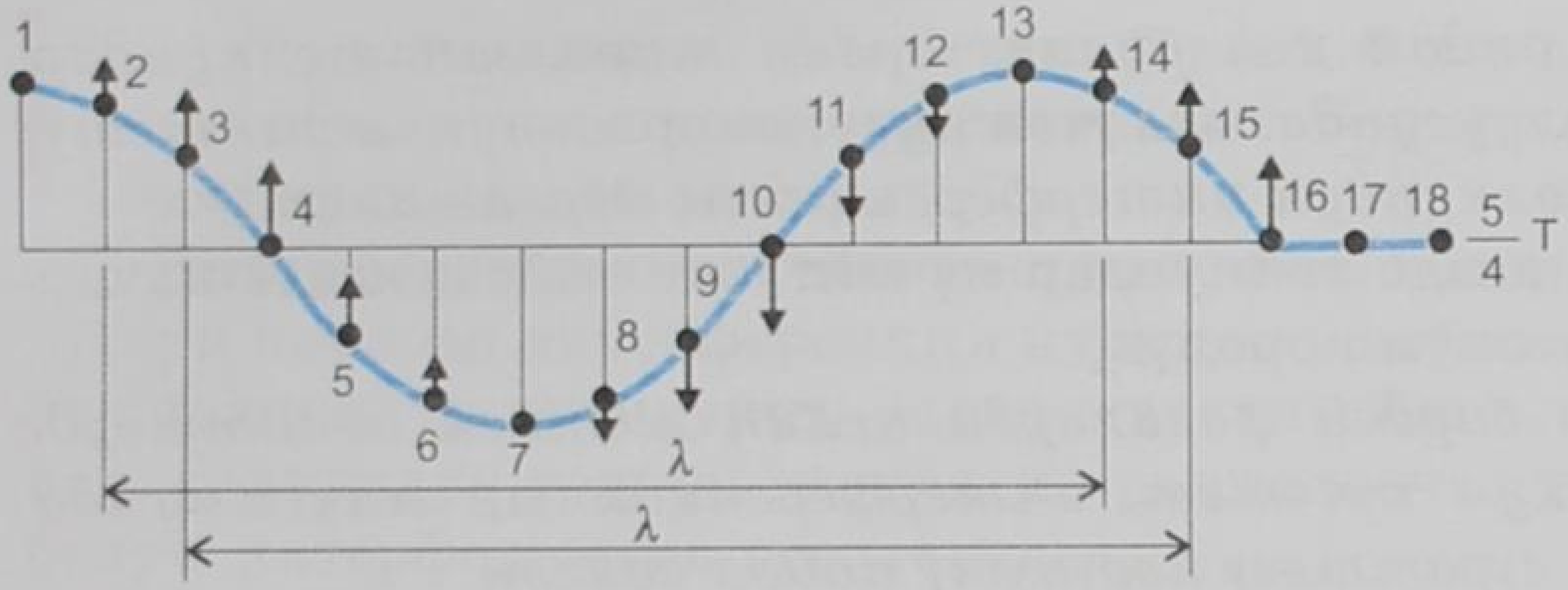
87-сүрөт.

Бардык толкундар үчүн жалпы нерсе, бул толкун таралган кезде бөлүкчө которулбайт, энергия гана берилет. Толкун таралган кезде анын амплитудасы акырындык менен кичирейе берет, себеби анын энергиясынын кандайдыр бөлүгү чөйрөнүн ички энергиясына айлана берет.

Толкун бир мезгил ичинде λ аралыгына таралат. Ошондуктан анын ылдамдыгы $\vec{\vartheta} = \frac{\lambda}{T}$ (7.5) болот. Ал эми $T = \frac{1}{\nu}$ (7.6) болгондуктан $\vartheta = \lambda \cdot \nu$ (7.7) болот.

Толкундун таралуу ылдамдыгы (ϑ) толкун узундугу (λ) менен жыштыктын (ν) көбөйтүндүсүнө барабар.

Толкундун таралуу ылдамдыгынын бирдиктери кадимки эле ылдамдыктын бирдиктериндей: $\frac{м}{с}$; $\frac{см}{с}$; $\frac{км}{саат}$ ж. б. менен өлчөнөт.

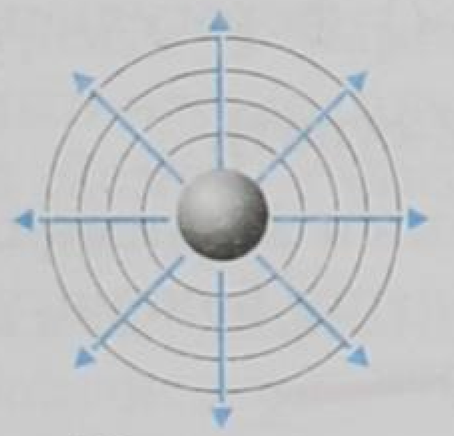


88-сүрөт.

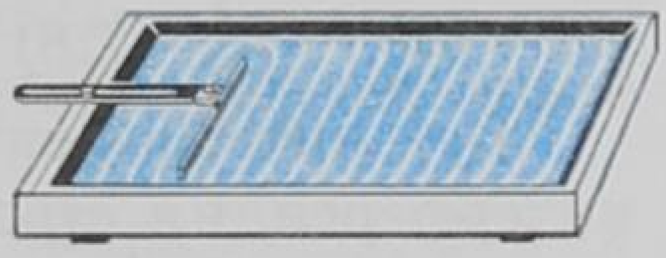
Жогоркулардан сырткары: жалпак толкундар, сфералык толкундар да болушат. Эгер идиштеги суунун бетине узун стержень менен улам-улам тийип турсак, жалпак толкун пайда болот. Анын бардык чекиттери бирдей фазада термелет да, толкундук бет пайда болот. Алар өзара параллель болушат (89-сүрөт).

- *Толкундук бетке түшүрүлгөн нормаль сызыктар нур деп аталат (89–90-сүрөттөр).*
- *Жалпак толкунда нурлар өзара параллель сызыктарды элестетишет.*

89-сүрөт.



90-сүрөт.



91-сүрөт.

Эгер идиштеги сууга сфера формасындагы нерсени кезек-кезеги менен тийгизе берсек, ошол сфера борбору болуп калган борборлошкон айланаларды элестеткен толкундар пайда болот. Бул сфералык толкун болуп эсептелет (91-сүрөт).

? **1.** Толкун деп эмнени айтабыз? **2.** Толкундун кандай түрлөрү бар? **3.** Толкундук бет деп эмнени айтабыз? **4.** Нур деп эмнени айтабыз, ага мисалдар келтиргиле. **5.** Толкун таралганда энергия эмне болот?

§ 33. Толкундун интерференциясы, дифракциясы. Когеренттүү булактар. Туруучу толкун. Интерференция

Чөйрөдө, мейкиндикте дайыма эле толкундар бир-бирден таралбастан, бир эле убакытта бир нече толкун таралышы ыктымал. Мисалы көлчүк сууга бир эле мезгилде эки таш ыргытылса, анда ошол таштар түшкөн жерлерден борборлошкон эки айланаларда таралат. Алар бири бирине тоскоолдук кылбастан, мурункудай эле таралып кете берет. Бул толкундардын кабатталышкан чекиттеринде толкундун же күчөшү, же начарлашы байкалат.

Эки же андан көп булактардан таралган толкундардын катталуусундагы күчөп же начарлоонун кезектешүү кубулушу толкундун интерференциясы деп аталат.

Эми кайсы кезде толкундар күчөйт, же кайсы кезде начарлайт ошого токтолуп көрөлүк.

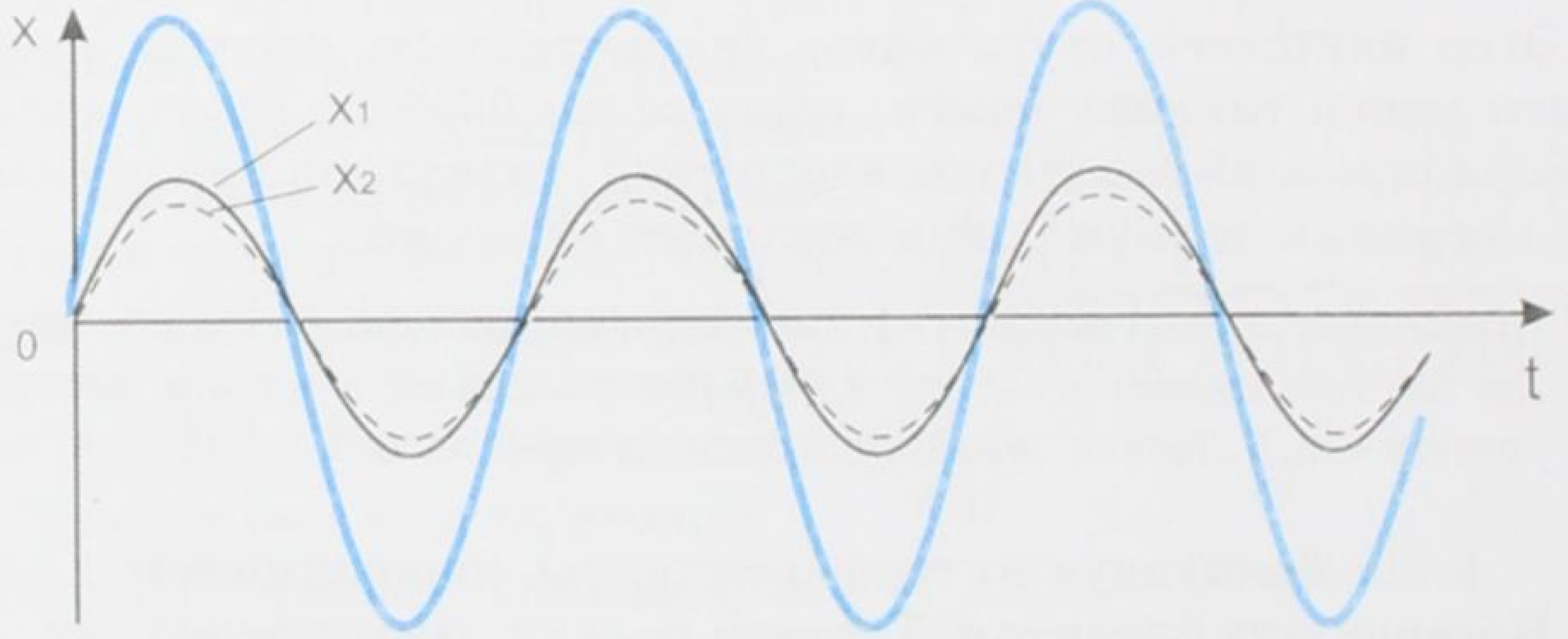
- *Толкундар бирдей фазаларда келип жеткен чекиттерде толкунду толкун күчөтөт, интерференциянын максимумдары, мисалы, 92-сүрөттөгү көрүнүшү пайда болот.*
- *Эгер берилген чекитте эки толкундун жүрүш аралыгынын айырмасы Δd – бүтүн сан толкун узундугуна барабар болсо, толкундун берилген чекиттеги амплитудасы эң чоң болот. Бул интерференциянын максимум шарты.*

Ал төмөнкү формулада берилет $\Delta d = k\lambda$ (7.7), мында $k=0$, 1, 2, 3,...

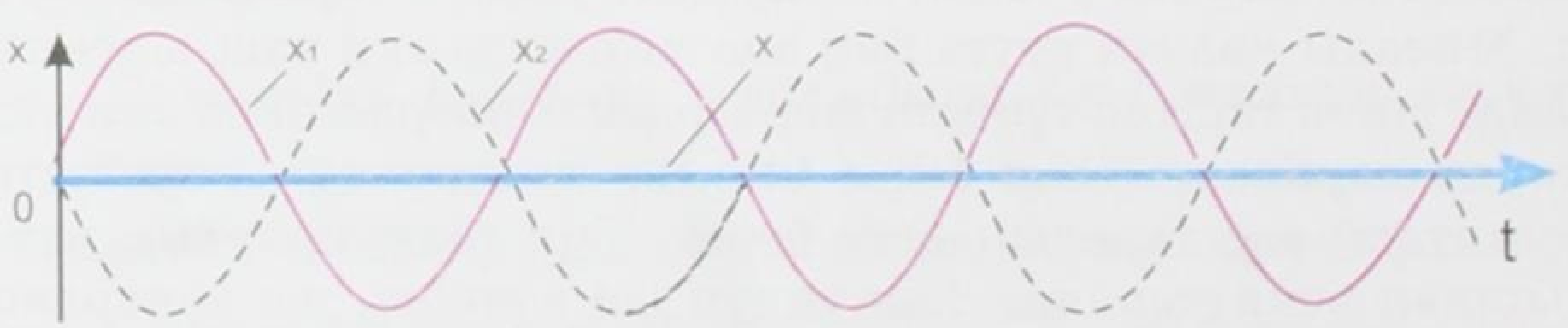
Эгер толкундар карама-каршы фазаларда келишсе, же Δd аралыгы жарым толкун узундугунун так сандарына барабар болсо, чөйрөнүн ал чекиттеги термелүүсүнүн амплитудасы эң кичине болот. Бул учурда (7.7) формуласы төмөнкү түрдө берилет

$\Delta d = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ (7.8) (92-сүрөт).

Бул интерференциянын минималдык шарты. Эми туруктуу интерференция сүрөттөлүшү болсун үчүн толкундун булактары когеренттүү болушу керек.



92-сүрөт.



93-сүрөт.

Жыштыктары, фазалары бирдей болгон, же фазаларынын айырмасы турактуу сакталган булактар когеренттүү булактар деп аталат.

Интерференциянын чоң мааниси, эгер кандайдыр бир процессти кароодо интерференция кубулушу байкалган болсо, анда бул толкундук кубулушту карап жатканыбыздын далили болот, б. а. толкундун толкун экендигин далилдөөчү кубулуштун бири болуп интерференция эсептелет.

«Интерфереция» термини англиялык көрүнүктүү окумуштуу Томас Юнгга таандык. Ал катталуу деген сөз.

Интерференция учурунда толкундардын энергиясынын кайра бөлүштүрүлүшү келип чыгат.

Дифракция. Толкун дайыма эле тоскоолдуксуз чөйрөдө таралбайт.

Толкундун жолундагы тоскоолдукту айланып өтүү кубулушу толкундун дифракциясы деп аталат.

«Дифракция» латын тилинен кыргызчага которгондо «сынган» дегенди билгизет. Мисалы, агын суунун жолунда кичине чырпык жана чоң дүмүр турса, суу чырпыкты оңой эле айланып өтөт, ал эми дүмүрдү айланып өтүүдө, анын артында толкун жетпеген участок пайда болот. Демек, толкун дүмүрдү айланып өтө алган жок.

Демек, чырпыктын мисалы, дифракция пайда болду, ал эми чоң дүмүрдүн мисалында болгон жок.

- Эгер толкундун узундугу (λ), тоскоолдуктун өлчөмүнөн (d) чоң болсо, дифракция пайда болот ($\lambda > d$).
- Эгер $\lambda < d$ болсо, анда дифракция пайда болбойт.

Мисалы, окуучулар токойго экскурсияга барганда адашып кетпес үчүн үн чыгарып, же ырдап жүрүшөт. Токойдо үн толкундары токойдогу карагайларды оңой эле айланып өтө алгандыгынан үн угулат. Эгер окуучулардын айрымдары тоону ашып, алыс кетсе үндөрү угулбай калышы ыктымал. Себеби анда үн толкуну тоону айланып өтө албагандыктан үн угулбайт, демек, дифракция пайда болгон жок дейбиз ж. б.

Ошентип, дифракциянын пайда болуу шарты:

$\lambda > d$ болушу керек.

Дифракция кубулушу да толкундун толкун экендигин далилдөөчү кубулуштардын бири болуп эсептелет (94-сүрөт).

94-сүрөт.

?

1. Толкундун интерференциясы деп эмнени айтабыз? 2. Интерференциянын *max* шарттары кандай? 3. Интерференциянын *min* шарттары кандай?

4. Толкундун дифракциясы деп эмнени айтабыз? 5. Дифракциянын шарты кандай? 6. Кандай булактар когеренттүү деп аталат? 7. Кандай булактар туура интерференция сүрөттөлүшүн берет?

§ 34. Үн толкундары, анын мүнөздөмөлөрү, үндүн интерференциясы, резонансы. Турууучу толкундар

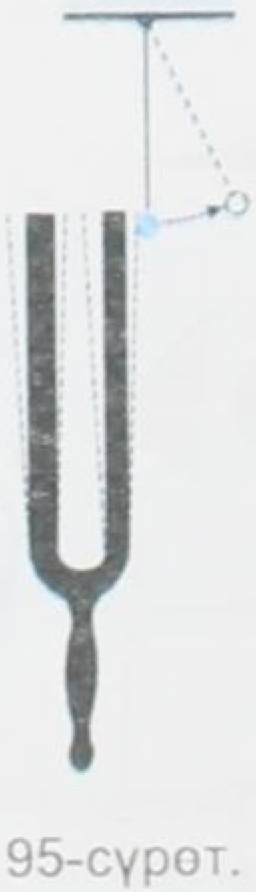
Механикалык толкундарды, мисалы, суунун бетинде, шнурда ж. б. пайда болуучу толкундарды көрө алабыз. Ал эми суудагы, абадагы, тунук чөйрөдөгү толкундарды көрө албайбыз. Бирок белгилүү бир шартта аларды угууга болот. Мисалы, болот сызгычын бекем кысып туруп термелтсек, белгилүү узундукта анын зуулдаган үнүн угууга болот. Музыкалык аспаптардын кылдары термелүүгө келгенде андан үн чыгаарын биз турмушубуздан билебиз.

Ошондон улам термелүүнү үндүн булагы деп айтабыз. Бирок бардык эле термелүүнү үн катары кабыл ала албайбыз. Кулагыбыз жыштыгы 17 Гцтен 20000 Гц ке чейинки термелүүлөрдү үн катары кабыл алат.

Үн кубулуштарын окутуп-үйрөтүүчү физиканын бөлүгү акустика деп аталат. Акустика – гректин «акустикос» деген сөзүнөн алынган, «угуу» дегенди билдирет. Үндүн мааниси зор экендигин айтпасак да белгилүү.

Үндү окуп-үйрөнүүдө үн булагы катары көбүнчө камертон – ∪ түрүндөгү металл колдонулат (95-сүрөт).

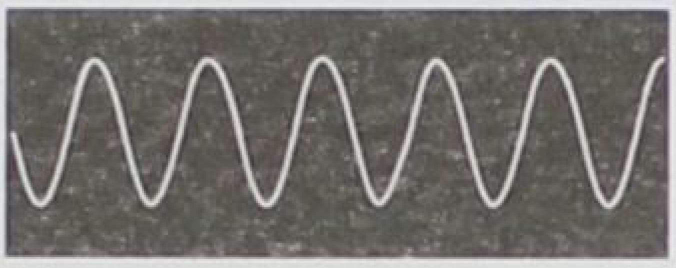
Эгер камертонду өзүнүн атайын жумшак балкачасы менен урсак, андан үн чыгат, б. а. ал термелет. Анын термелишин жипке байланган мончокту, же топчуну ага жакындатуу менен, же жөн эле колду тийгизсек, анын дирилдеп термелип жаткандыгын байкоого болот.


95-сүрөт.

Термелип жаткан камертонго ийнени бекитип, ышталган айнек боюнча бир калыпта жылдыруу менен анын бетинде синусоида сызыгы сызылганын байкоого болот (96-сүрөт). Демек, үн термелүүсү да гармоникалык термелүү болот деген сөз. Бул эң жөнөкөй үн термелүүсүнө кирет.

Үн толкунун формасы жана мүнөзү боюнча: согулуудагы үндөр, шуулдоолор жана музыкалык үндөр же тондор деп бөлүүгө болот.

Согулуудагы үндөр: куралдан аткан кезде, бир нерсе жарылганда, электр учкундарында, оор нерселер бири-бири менен урунушканда ж. б. учурларда пайда болот. Булар жеке жана айрым толкундардан турат.



96-сүрөт.

Шуулдоолор – бак жалбырактарынын шамалдан шуулдашы, кычыроолор, карч-курч этип жыгачтын сынышы, темирдин шыңгырашы ж. б. болот.

Музыкалык үндөр музыкалык аспаптардан, камертондон, ырчылар ырдагандан ж. б. чыккан үндөр.

Үн боштукта таралбайт, себеби анда термеле турган нерсе жок. Чөйрө канча тыгыз болсо, үн ошончо жакшы (бат) таралат. Анын мисалдары, столдун бир четине кол саатты коюп (механикалык), экинчи четине кулакты төшөп, анын үнүн угууга болот. Өзүбүздүн жүрөгүбүздүн согушун басып жүргөндө, отурганда укпайбыз, ал эми жатканда жаздык, төшөнчү аркылуу жакшы угабыз. «Эр Төштүктөгү» жер тыңшаар Маамыт жоонун келе жатканын алар көрүнө электе эле жерге жата калып, аттын дүбүртү боюнча билген. Демек, кыргыздар физиканын закондорун илгээри эле өз турмуштарында билип колдонушкан. Эгер үндүн таралуу ылдамдыгы $\vec{\vartheta}$ болсо, булактан байкоочуга чейинки аралык S болсо, таралуу убактысын t десек, анда үндүн таралуу ылдамдыгын $\vartheta = \frac{S}{t}$ (7.9) формуласы менен эсептейбиз.

Өлчөөлөр, нормалдуу басымда (10^5 *Па*), 0°С температурада абадагы үндүн таралуу ылдамдыгы $332 \frac{м}{с}$ экендигин көрсөтөт.

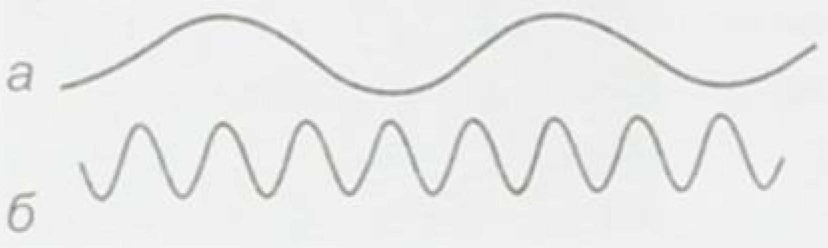
● Абанын температурасынын жогорулашы менен серпилгичтик өсөт, ошого байланыштуу үндүн таралуу ылдамдыгы да чоңоёт.

Мисалы 15°Сде үндүн таралуу ылдамдыгы $342 \frac{м}{с}$ болсо, 100°Сде $386 \frac{м}{с}$ жетет ж. б., б. а. чөйрөнүн тыгыздыгынын чоңоюшу менен үндүн ылдамдыгы да чоңоёт. Муну окуу китептериндеги таблицалардан көрөбүз.

Үн катуу (күчтүү) же акырын (начар) чыгышы мүмкүн. Үндүн катуулугу термелүүнүн амплитудасына жараша болот. Термелүүнүн амплитудасы канча чоң болсо, үн ошончо катуу чыгат жана тескерисинче, термелүүнүн амплитудасы канча кичине болсо, үн ошончо акырын чыгат. Муну камертон менен эле байкоого болот.

Ал эми үндүн бийиктиги термелүүнүн жыштыгына жараша болот. Термелүү жыштыгы канча чоң болсо, үн ошончолук ичке (бийик) болот, ал эми термелүү жыштыгы кичине болсо, үн ошончо жоон басыңкы чыгат (97-*а, б* сүрөт).

Скрипканын, роялдын, эркектин, аялдын, дегеле бардык үн чыгаргандардын үндөрүндө алардын өздөрүнө гана тиешелүү бир өзгөчө сапаты – жумшак же чаңырыктуу, уккулуктуу же



97-сүрөт.

жагымсыз болгон айырмачылыктар болот. Үндүн бул сапаты үндүн тембри деп аталат. Ал эле эмес бир адамдын үнүндөгү эркелетип, же ачууланып, же какшык аралаштырып сүйлөгөнүн айырмалоого болот. Бул анын үнүнүн тембри болот.

Эки чөйрөнүн чегинде үн чагылат, анда жаңырык пайда болот. Мисалы, дубалы, полу, шыбы жылмакай үйлөрдө үн толкуну эң жакшы чагылат да үн абадагыга караганда катуу угулат.

Ал эми дубалдарына килемдер тартылган, жумшак эмеректер коюлган, үй толо киши бар үйдө үн толкуну начар чагылып, үндөрдүн көбү жумшак чөйрөгө жутулуп сиңип кетет да, үн акырын (басыңкы) угулат. Конференция өтүүчү зал, театр ж. б. жасалгалоодо ушул эске алынат.

Эгер бир учу дубалга бекитилген шнурду термелте берсек, анда чагылган толкун пайда болот да келе жаткан жана чагылган толкундардын өркөчтөрү жана ойдуңдары дал келип калган учур пайда болот. Бул учурда түйүндөр жана чачыланыштар келип чыгат (98-сүрөт).

Мындай түрдөгү көрүнүш туруучу толкун деп аталат.

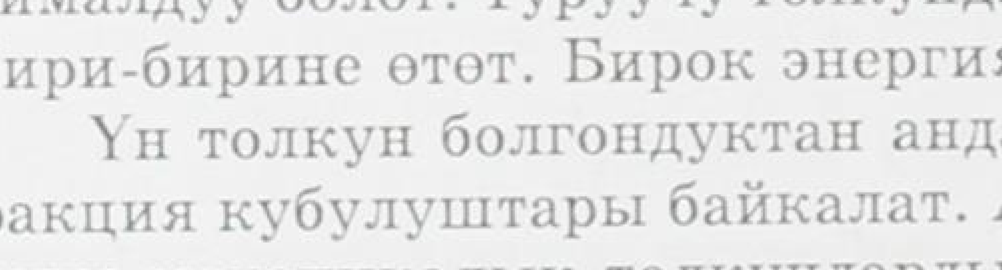
Туруучу толкун жалаң эле үн толкунунда болбостон, бардык түрдөгү толкундарда кездешет.

Туруучу толкундардын түйүндөрүндө потенциалдык энергия, ал эми өркөч же чачылануударында кинетикалык энергия максималдуу болот. Туруучу толкундарда бул эки энергия үзгүлтүксүз бири-бирине өтөт. Бирок энергия ташылбайт.

Үн толкун болгондуктан анда да интерференция жана дифракция кубулуштары байкалат. Анын «max» жана «min» шарттары механикалык толкундардыкына окшош болбойт. Үндө да резонанс кубулушу орун алган. Аны эки камертондун жардамы менен байкоого болот. Мисалы, эки камертонду жанаша коюп, бирөөнү балка менен уруп үн чыгарып, андан кийин аны кысып койсо, экинчиси үн чыгара баштайт. Бул резонанс кубулушунда экөөнүн жыштыктары дал келген болот. Эгер экинчи камертонго бир нерсе жабыштырып койсо, резонанс болбойт, себеби жыштыктары дал келишпейт.

Музыкалык аспаптарда алардын үнүн күчөтүү үчүн резонанс абдан кеңири колдонулат.

Немец окумуштуусу Гельмгольц (1821–1894) өзгөчө резонаторлорду жасаган, булардын ар бири жалгыз бир гана тонго карата үн салат. Анын жардамы менен ар түрдүү татаал үндөрдү анализдөөгө (талдоого


98-сүрөт.

жана текшерүүгө) болот. Резонаторлор биздин дабыш чыгаруучу аппаратыбыз болгон үндүн булагы – үн түйүнүбүздө бар. Адамдардын ички кулагында мембрана деп аталган ар бири бир белгилүү тонго туура келүүчү бир нече миң (4500 гө жакын) буладан (волокнодон) турат. Ички кулакка келген үн термелүүсү тиешелүү – жыштыгы туура келген буланы термелтип, б.а. резонанска келтирип, түрдүү үндүн кабыл алынышын ишке ашырат.

§ 35. Ультраүн жана анын колдонулушу

Үн булагы – бул термелүү. Жөнөкөй куралсыз эле жыштыгы 17 *Гц*тен 20000 *Гц*ке чейинки термелүүлөрдү үн катары кабыл алаарыбызды айтып өттүк.

● *Термелүү жыштыгы 17 Гцке чейинки термелүүлөр инфраүн термелүүсү деп аталат. Ал азырынча көп колдонулушка ээ эмес.*

● *Ал эми жыштыгы 20000 Гцтен жогорку термелүүлөр ультраүн термелүүсү деп аталат.*

Атайын кристаллдарда жасалма жол менен алынган ультраүндөрдүн жыштыгы 10^9 *Гц*ке жетет. Бирок ультраүндөрдүн бардык касиеттерин экспериментте (тажрыйбада) изилдөө азырынча аяктай элек.

Ультраүн термелүүлөрү, башка толкундар сыяктуу эле жутулат, чагылат, сынат ж. б. касиеттерге ээ. Ошого жараша ультраүн термелүүлөрдүн булактары түрдүүчө, ошондуктан алардын кубаттуулугу да түрдүүчө.

Ультраүн техникада жасалган тетиктердеги дефекттерди (жараканы, боштукту, сынықты ж.б.) аныктоо үчүн колдонулат.

Медицинада мисалы, ультраүн менен изилдөө (УЗИ) иштеринде кеңири колдонулат, ал өттө, бөйрөктө, табарсыкта таштын бар же жок экенин изилдейт. Ошондой эле ультраүн технологиясы тигил же бул химиялык реакциянын жүрүшүн жөнгө салат. Кубаттуу ультраүн термелүүлөрү технологиялык процесстерди жүргүзүүдө колдонулат. Өнөржайда, балык уулоодо, локацияда ж. б. толуп жаткан жерлерде кеңири колдонулушка ээ.

Ультраүн термелүүлөрүн чыгаруучу жаныбарлар да болот мисалы, жарганаттар, дельфин. Ультраүн микроскобу, ультраүн ширеткичи ж. б. толуп жаткан колдонулуштарга ээ.

? **1.** Үндүн булагы эмне? Ага мисалдар келтиргиле. **2.** Үн боштукта таралабы? **3.** Кандай чөйрөдө үн жакшы (тез) таралат? **4.** Үн качан катуу болот? **5.** Үндүн бийиктиги (жоон же ичкелиги) эмнеге көзкаранды? **6.** «Эр Төштүктөгү» жер тыңшаар Маамыттын физика менен байланышы барбы? **7.** Кандай жыштыктагы термелүүлөр жөнөкөй кулакка үн катары кабыл алынат? **8.** Ультраүн жана инфраүн термелүүлөрү жөнүндө эмне билесиңер? **9.** Ультраүн термелүүлөрүнүн колдонулушуна мисалдар келтиргиле.

1. Маятник 1 *мин* 40 *с* да 50 термелүү жасайт. Термелүүнүн мезгилин, жыштыгын жана циклдик жыштыгын тапкыла.

2. Кыймыл теңдемеси $x = 0{,}06\ cos 100\pi\ t$ түрүндө болсо, термелүүнүн амплитудасы, жыштыгы, мезгили кандай?

3. Москва кеңдигиндеги термелүү мезгили 1 *с* болгон математикалык маятниктин узундугун тапкыла $\left(g = 9{,}8\ \frac{м}{с^2}\right)$?

4. Секундалык маятниктин Айдагы $\left(g_А = 160\ \frac{см}{с^2}\right)$, Марстагы $\left(g_М = 360\ \frac{см}{с^2}\right)$ узундуктарын тапкыла.

5. Байкоочу типтик аскадан 200 *м* аралыкта туруп, кыска-кыска үн чыгарат. Канча убакыттан кийин үнүнүн жаңырыгын угат? Үндүн таралуу ылдамдыгы $340\frac{м}{с}$.

6. Эмне үчүн чиркей чыңылдайт, ал эми чымын дыңылдайт?

7. Качан толкун сууда $6\frac{м}{с}$ ылдамдыкта тарайт. Эгер толкундун эки өркөчүнүн ортосундагы аралык 3 *м* болсо, бакендин (калкыма белгинин) термелүү жыштыгын жана мезгилин эсептегиле?

8. Качан абадагы үн толкунунун узундугу эркек кишинин эң төмөнкү үнү боюнча 4,3 *м* ге, ал эми аялдын эң бийик үнү боюнча 25 *см* ге жетет. Ушул үндөрдүн термелүү жыштыктарын тапкыла $\left(\vartheta = 340\ \frac{м}{с}\right)$.

Термелүүлөр жана толкундар темасына маселе чыгаруунун мисалдары

1. 314 секунддун ичинде 100 термелүү жасаган математикалык маятниктин узундугу канчалык? Термелүүсүнүн мезгили канчалык?

Берилди:	Чыгаруу:
$t = 314\ с$ $n = 100$ $g = 10\ \frac{м}{с^2}$	Математикалык маятниктин термелүү мезгилинин формуласы: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ (1). Ал эми мезгили (T) бул бир толук термелүүгө кеткен убакыт. Маселенин шартында 100 термелүү 314 *с* да жасалат деп берилген, анда бир термелүүнүн убактысы (T) төмөнкүгө барабар болот:
$\ell - ?\quad N - ?$	

$T = \frac{t}{n}$ (2). Эгер (1) барабардыктын эки жагын квадратка көтөрсөк, анда маятниктин узундугу төмөнкүчө аныкталат:

$T^2 = 4\pi^2\frac{\ell}{g}$; же $T^2 g = 4\pi^2\ell$. Мындан $\ell = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$, бирок $T = \frac{t}{n}$;

$\ell = \frac{gt^2}{4\pi^2 n^2}$ (3). Бул формула боюнча чоңдуктардын сан маанилерин коюп эсептөөлөрдү жүргүзсөк:

$$\ell = \frac{10 \cdot (314)^2}{4 \cdot [(3.14) \cdot (100)]^2} (м) \approx 2{,}5\ м \qquad \ell = 2{,}5\ м.$$

$$T = \frac{t}{n};\ T = \frac{314}{100} (с) \approx 3{,}14\ с \qquad T \approx 3{,}14\ с.$$

Жообу: $\ell = 2{,}5\ м;\ T \approx 3{,}14\ с.$

2. Мылтыктын атылышынан пайда болгон жаңырык, атуучуга ок атылгандан 4 *с* өткөндөн кийин жетет. Үндүн абадагы ылдамдыгы $330\ \frac{м}{с}$. Үн чагылган тоскоолдук байкоочудан кандай аралыкта болгон?

Берилди:	Чыгаруу:
$t_1 + t_2 = 4\ с$ $\vartheta = 330\ \frac{м}{с}$ $\ell - ?$	Маселенин шарты боюнча: $\ell = \vartheta t$ – бул байкоочудан үн чагылып келген тоскоолдукка чейинки аралык. Ал эми t – убакыт, бул үн барып, кайра келгенге кеткен убакыт аралыгы $t = \frac{4}{2} = 2\ с$. $t = 2\ с$.

Анда $\ell = 330\ \frac{м}{с} \cdot 2\ с = 660\ м.$

Жообу: $\ell = 660\ м$ болгон.

VII главадагы эң негизги маалыматтар

Кыймылдардын түрлөрүнүн ичинен кеңири таралган термелүү кыймылы.

● *Мезгил-мезгили менен кайталана берүүчү кыймыл термелүү кыймылы деп аталат.*

Мүнөздөөчү чоңдуктары: амплитуда, мезгил, жыштык, фаза, циклдүү жыштык ж. б.

Термелүү эркин жана аргасыз болот. Математикалык маятниктин термелүү мезгили (T) төмөндөгү формула менен туюнтулат: $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$, мында ℓ– маятниктин узундугу; g – оордук күчүнүн ылдамдануусу.

Толкун – бул чөйрөдө, мейкиндикте таралуучу термелүү. Ал узатасынан жана туурасынан кеткен түрлөргө ээ. Толкун узундугу (λ) төмөнкү формула менен аныкталат: $\lambda = \vartheta T$ же $T = \frac{1}{\nu}$ болгондуктан $\lambda = \frac{\vec{\vartheta}}{\nu}$; же $\vartheta = \lambda \cdot \nu$, б. а. толкундун таралуу ылдамдыгы толкун узундугу менен жыштыктын көбөйтүндүсүнө барабар. Дифракция жана интерференция кубулуштары, толкундун толкун экендигин далилдөөчү кубулуштар болуп эсептелет.

VIII глава

МОЛЕКУЛАЛЫК ФИЗИКА

Молекулалык физика жөнүндө

Молекулалык физика түрдүү агрегаттык абалдардагы нерселердин физикалык касиеттерин, алардын молекулалык түзүлүшүн кароонун негизинде окулуп-үйрөнүлүүчү физиканын бөлүмү. Молекулалык физиканын ыкмалары кыймылды жана нерсени түзгөн атомдордун, молекулалардын жана иондордун өзара аракеттешүүлөрүн окуп-үйрөнүүгө байланышкан.

Атомдор, молекулалар жана иондор тууралуу алгачкы маалыматты силер VII жана VIII класстардын физика курстарында жана VIII класстын химия курсунда алгансыңар. Бирок ал маалыматтар толук болгон эмес. Ошондуктан молекулалык физиканын негиздерин окуп-үйрөнүүдө силердин алдыңарда төмөнкүдөй негизги милдеттер турат:

1. VII–VIII класстардагы физика жана химия курстарынан силерге белгилүү болгондорду эстөө, кеңейтүү жана тереңдетүү.

2. Алган билимдерди белгилүү системага келтирүү.

3. Молекулалык физиканын ыкмалары менен терең таанышуу.

§ 36. Молекулалык-кинетикалык теориянын негизги жоболору, алардын иш жүзүндө далилдениши

Ар кандай физикалык кубулуштарды атом жана молекулалардын кыймылы, өзара аракети аркылуу түшүндүрүүчү теория молекулалык-кинетикалык теория деп аталат.

Биз VIII класстын физикасынан заттар эң майда бөлүкчөлөрдөн: атом жана молекулалардан турарын билгенбиз. Бул жүйөөлүү ойлор, байыркы Грециянын атактуу ойчулдары Демокрит, Левкипп ж. б. тарабынан мындан 2300 жыл мурда эле айтылган. Кийинчерээк андай ойду Рим акыны Лукреций, мурунураак Эпикур ж. б. айтышкан. Бирок ал илимге теория катары кирген эмес, себеби андай ойду айткандар ошол замандын бийлик, чиркөө ээлери тарабынан жазага тартылган. Бул ой XVIII кылымда гана орус окумуштуусу М. В. Ломоносов тарабынан илимий теорияга айланган.

Молекулалык-кинетикалык теориянын негизги үч жобосу бар экендиги жөнүндө VIII класста караганбыз, алар:

● 1. Заттар, кандай гана абалда (катуу, суюк, газ) болбосун, эң майда бөлүкчөлөрдөн: атом жана молекулалардан турушат.

Ломоносов Михаил Васильевич (1711–1765) – орустун улуу окумуштуусу, энциклопедист, акын жана коомдук ишкер, анын ысмына коюлган Москва университетинин негиздөөчүсү. Пушкин М. В. Ломоносовду «Орустун биринчи университети» деп атаган. М. В. Ломоносовго физика, химия, тоокен иштери жана металлургия боюнча көрүнүктүү эмгектер таандык. Ал жылуулуктун молекулалык-кинетикалык теориясын өнүктүргөн, анын эмгектеринде массанын жана энергиянын сакталуу закондору башкалардан мурда белгиленген. М. В. Ломоносов орус элинин тарыхы боюнча фундаменталдык эмгектерди жараткан, ал азыркы орус грамматикасынын да негиздөөчүсү болуп эсептелет.

---

2. Молекула жана атомдор тынымсыз башаламан (хаотикалык) кыймылда болушат.

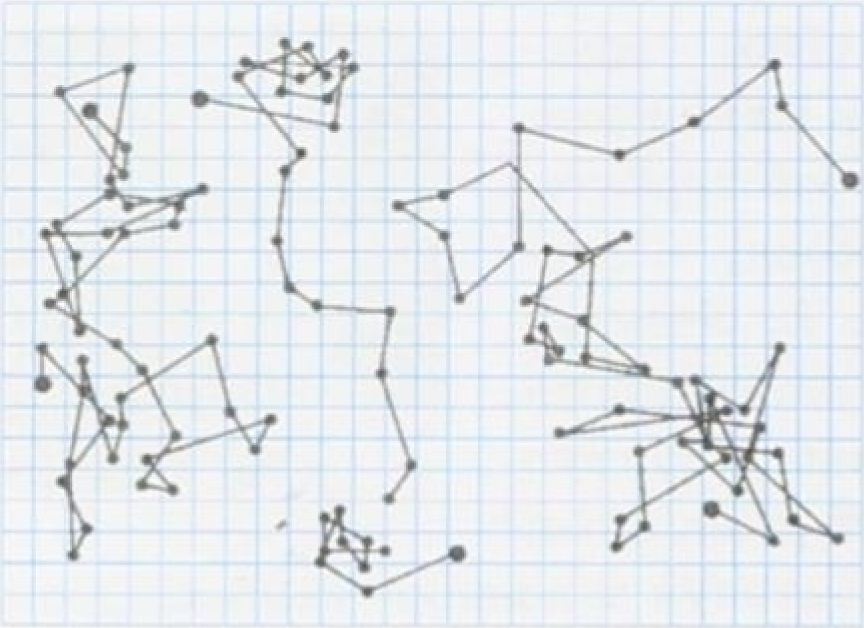
3. Молекула жана атомдор арасында өзара аракеттенүү күчтөрү бар (б. а. тартылышат, түртүлүшөт).

Жоболордун практикалык далилдениши төмөнкү мисалдардан байкалат.

Молекулалар дүйнөсүндө, же микродүйнөдө эң көп сандагы майда бөлүкчөлөрдү кезиктиребиз. Мисалы, кадыресе (нормалдуу) шартта (0°С, 760 *сым. мам. мм*) ар кандай газдын 1 $см^3$ көлөмүндө $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекула болоору аныкталган. Бул сан аны тапкан окумуштуунун урматына Лошмидт саны деп аталат. Майдын кичине тамчысын суунун бетине куюп, анын жайылган аянты боюнча, аянттын калыңдыгы бир молекуланын диаметринчелик деп эсептеп, ченеген кезде, ал $d \approx 2 \cdot 10^{-7}$ *см* экендиги, ошондой эле суутектин бир молекуласынын массасы $m_{H_2} \approx 3{,}3 \cdot 10^{-24}$ *кг* экени аныкталган. Ушул жана ушуга окшогон көп мисалдар биринчи жобонун далили.

1827-жылы Англиялык ботаник Броун тарабынан ачылган кубулуш экинчи жобонун далили.

Сууга эрибей турган боёктун эмульсиясынын аралашмасын микроскоп менен караганда, бул бөлүкчөлөр тынымсыз, башаламан кыймылда болоору, температура жогоруласа бөлүкчөлөрдүн кыймылы интенсивдүү, ал эми температура төмөндөсө – интенсивдүүлүгү начар, бирок, эч качан токтобогондугу байкалган. Ушул кыймыл аны байкаган окумуштуунун урматына Броун кыймылы деп аталып калган. Броун кыймылынын себеби – ошол бөлүкчөлөр жайланышкан чөйрөнүн (суюктуктун, газдын) молекулаларынын эч качан токтобой кыймылда болушу менен түшүндүрүлгөн. Кийин француз окумуштуусу Перрен броун кыймылын тажрыйбада толук изилдеп, сүрөтүн да тартып алган (99-сүрөт).



99-сүрөт.

Диффузия кубулушу да экинчи жобонун далили болуп эсептелет. Үчүнчү жобосу жөнүндө айтсак, анда ар кандай нерселер айрым атомдор менен молекулалардын өзара аракет этишүү күчтөрү менен мүнөздөлөт дедик. Андай болсо, эмне үчүн, мисалы, катуу нерсенин бир бөлүгүн анын экинчи бөлүгүнөн ажыратып бөлүү кыйын? Же сынган айнекти, чыны, табакты кайта эле бири бирине жакындатып, кысып жабыштырууга болбойт? Молекулалардын тартышуу күчү кайда? Ондогон, жүздөгөн тажрыйбаларды жасоо менен окумуштуулар аны мындайча түшүндүрүшөт. Нерселерди бөлүүнүн кыйындыгы анын молекулаларынын тартышуу күчүн жеңүү керектигинде. Бул тартуу күчтөрү нерселердин молекулаларынын тартышуу күчтөрүнүн чоңдугуна жараша ар кандай, мисалы, бир чака суудан бир кружканы оңой эле бөлүп (сузуп) алабыз, кагазды оңой эле айрып алабыз, ал эми металлды, жыгачты сындыруу (бөлүп алуу) оңой эмес.

Ал эми сынган нерсени бириктирип, жабыштыра салуунун мүмкүн эместиги, ал жөнөкөй көз менен караганда сынган кырлары жылмакай, жакшы эле кынапталып калгандай сыяктанганы менен, молекулалардын тартылуу аралыгына чейин жакындабагандыгында. Ал эми аралык молекула атомдун өлчөмүндөй болушу керек. Ага жетишүү оңой-олтоң жөнөкөй иш эмес. Ага нерсени эритүү менен гана жетишүүгө болот. Нерселерди каалаганча созуу, же кысуу мүмкүн эместиги, Жердин атмосферасында ж. б. ошол тартышуу-түртүшүү күчтөрүнүн бар экендигинин далили. Ошентип, жогорудагы бир аз мисалдар менен молекулалык-кинетикалык теориянын негизги жоболорун далилдөөгө аракет жасадык.

§ 37. Атом. Молекула. Массанын атомдук бирдиги. Моль масса. Заттын саны. Авогадро саны

«Атом» грекчеден которгондо «бөлүнбөс» дегенди билдирет. Бирок азыркы кезде атом татаал – ал оң заряддалган ядродон, оң заряддалган протондон жана нейтралдуу бөлүкчө – нейрондон тураары, аны терс заряддалган электрондор айланып жүрөрү белгилүү. Атомдун бул моделин англиялык окумуштуу Резерфорд экспериментте далилдеп, атомдун планетардык деп аталган моделин берген.

Атомдун толугураак түзүлүшү жөнүндө ядролук физикада XI класста карайбыз. Ал эми молекула бир, же бир нече атомдон турган кичине бөлүкчө.

Айрым молекуланын жана атомдун массасы абдан эле кичине. Мисалы, 1 *г* сууда $3{,}7 \cdot 10^{22}$ молекула болсо, анда суунун бир молекуласынын массасы (m_0). $m_{0H_2O} \approx 2{,}7 \cdot 10^{-26}$ *кг*.

Органикалык заттардын зор молекулаларынан башка заттардын молекулаларынын бардыгы эле ушундай түрдөгү массага ээ.

Салыштырмалуу молекулалык масса

Молекуланын массасы абдан кичине экендигине карата, массанын абсолюттук мааниси эмес, салыштырмалуу мааниси кабыл алынган.

Берилген заттын молекуласынын (же атомунун) m_0 массасынын көмүртектин атомунун m_{0c} массасынын $\frac{1}{12}$ не болгон катышы ал заттын салыштырмалуу молекулалык (же атомдук) массасы деп аталат.

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_{oc}},$$ M_r – салыштырмалуу молекулалык (атомдук) масса, же ал массанын атомдук бирдиги (м. а. б.), m_0 – заттын бир молекуласынын массасы. m_{0c} – көмүртектин атомунун массасы. (Бул атом массаларынын көмүртек шкаласы деп аталат). M_r – бирдикке ээ эмес, демек, ал эселик сан.

Массасы 0,012 кг болгон көмүртекте канча атом болсо, ошончо сандагы атомдордон же молекулалардан турган сан бир моль деп аталат.

Ар кандай заттын бир молу бирдей сандагы атомдордон, же молекулалардан турат. Муну XIX кылымда италиялык окумуштуу Авогадро ачкандыктан, ал Авогадро саны деп аталат да N_A – деп белгиленет:

$$N_A = 0{,}012\,\frac{кг}{моль} \cdot \frac{1}{1{,}995 \cdot 10^{-26}\,кг} = 6{,}02 \cdot 10^{23}\,моль^{-1},$$

ал эми $1{,}995 \cdot 10^{-26}$ *кг* – бул көмүртектин бир атомунун массасы.

Демек $\boxed{N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}\,\frac{1}{моль}}$.

Берилген нерседеги молекулалардын N санынын Авогадро турактуулугуна N_A болгон катышы заттын саны деп ***аталат. Ал ν (нью) тамгасы менен белгиленет:***

$$\boxed{\nu = \frac{N}{N_A}}.$$ Анын бирдиги *моль, кмоль* ж. б.

Салыштырмалуу молекулалык массадан сырткары физикада жана химияда моль масса кеңири колдонулат.

Бир молдогу заттын г же кг менен алынган массасы моль масса деп аталат. Моль масса $\mu = m_0 \cdot N_A$, $\boxed{N_A = \frac{\mu}{m_0}}$.

Ар кандай заттын санынын (m) массасы – бир молекуланын массасынын молекулаларынын санына болгон көбөйтүндүсүнө барабар, б. а. $m = m_0 \cdot N$, $N = \frac{m}{m_0}$.

Жогорку формулаларды ордуна коюп $\nu = \frac{N}{N_A}$, $N = \frac{m}{m_0}$ жана $N_A = \frac{\mu}{m_0}$ болсо, анда $\nu = \frac{\frac{m}{m_0}}{\frac{\mu}{m_0}} = \frac{m}{\mu}$. Демек, $\nu = \frac{m}{\mu}$.

Ошондуктан заттын саны заттын массасынын моль массага болгон катышына барабар экенин алабыз.

Моль массанын бирдиктери $\frac{кг}{кмоль}$; $\frac{кг}{моль}$; $\frac{г}{моль}$ ж. б.

Менделеевдин мезгилдик системасындагы (Менделеевдин таблицасындагы) атомдук масса ушул массанын атомдук бирдиги м. а. б. менен берилген. Ошондуктан 1 м. а. б. $\approx 1{,}7 \cdot 10^{27}$ *кг* экендигин билип алуу ашыкча болбойт.

? **1.** Молекулалык-кинетикалык теория деп кандай теорияны айтабыз? **2.** Молекулалык-кинетикалык теориянын негизги жоболору кайсылар? **3.** Жоболордун практикалык далилденишине мисалдар келтиргиле. **4.** Атом, молекула жөнүндө эмне билесиңер? **5.** Салыштырмалуу атомдук масса деп эмнени айтабыз? **6.** Моль масса жөнүндө эмне билесиңер? **7.** Заттын саны деп эмнени айтабыз? **8.** Авогадро саны.

17-көнүгүү

1. CO_2 көмүр кычкыл газынын моль массасы эмнеге барабар?
2. 1 *г* суудагы заттын саны (моль менен) канча?
3. 20 *моль* азоттун массасы канча? Азоттун моль массасы – $0{,}02\,\frac{кг}{моль}$.
4. Идиште $4{,}5 \cdot 10^{24}$ газдын молекуласы бар. Газ канча молго ээ?
5. Алюминий тетигинин массасы 216 *г*, анын моль массасы $0{,}02\,\frac{кг}{моль}$. Алюминий тетигинде канча атом бар?
6. Тыгыздыгы $2\left(\frac{кг}{м^3}\right)$, газдын көлөмү $V = 0{,}7\ м^3$ болсо, ал газдын моль массасы канчага барабар?

7. Баллондо $3 \cdot 10^{24}$ кычкылтектин молекуласы бар. Эгерде, кычкылтектин моль массасы 0,032 $\frac{кг}{моль}$ болсо, анда ал кычкылтектин массасы канча?

8. Идиштеги сууда $5 \cdot 10^{23}$ молекула бар. Суунун тыгыздыгы $10^3 \left(\frac{кг}{м^3}\right)$, моль массасы $0{,}018 \left(\frac{кг}{моль}\right)$. Суу кандай көлөмдү ээлейт? Жообун $см^3$ менен бергиле.

§ 38. Идеалдык газ.
Кагылышуу саны, эркин жол жүрүүнүн орточо узундугу

Катуу жана суюк заттардан айырмаланып газ өз формасын да, көлөмүн да сактабайт. Ал кай жерде боштук, же жылчык болсо, ошол жакты көздөй кете берет.

Сейректелген газдарда молекулалардын ортосундагы аралык, молекулалардын өз өлчөмдөрүнө караганда көп эсе чоңдук кылат. Ошондуктан, молекулалардын өзара аракеттешүү күчү жокко эсе жана молекулалардын кинетикалык энергиясы, алардын өзара аракеттешүүсүнүн потенциалдык энергиясынан бир кыйла чоң болуп эсептелет.

Мындай учурда газдардын молекулаларын өтө кичинекей катуу шарчалар деп кароого болот. Ал молекулалардын (шарчалардын) ортосунда тартышуу күчү жокко эсе да, алардын бирибири менен кагылышуу убактысын өтө кыска деп эсептөөгө болот.

Реалдык газдардагы молекулалардын өзара аракеттешүү күчтөрү өтө татаал.

Ошондуктан жөнөкөй болсун үчүн, илимде реалдык газдын ордуна анын физикалык модели катарында идеалдык газ алынат.

Молекулалардын арасындагы өзара аракеттешүү күчү жокко эсе болгон газ идеалдык газ деп аталат.

Физикалык моделде реалдык газ абалын изилдөөчү өтө зарыл касиеттер гана эске алынат. Реалдык сейректелген газ чынында эле өзүн идеалдык газ сыяктуу алып жүрөт.

Газдагы басым

● Басым, бул басым күчүнүн аянт бирдигине болгон катышы экени белгилүү.

Эгер басым күчү F, аянты S болсо, анда басым $P = \frac{F}{S}$. (8.1)

Анын бирдиги *Па*, $\frac{H}{м^2}$, *сым. мам. мм.*

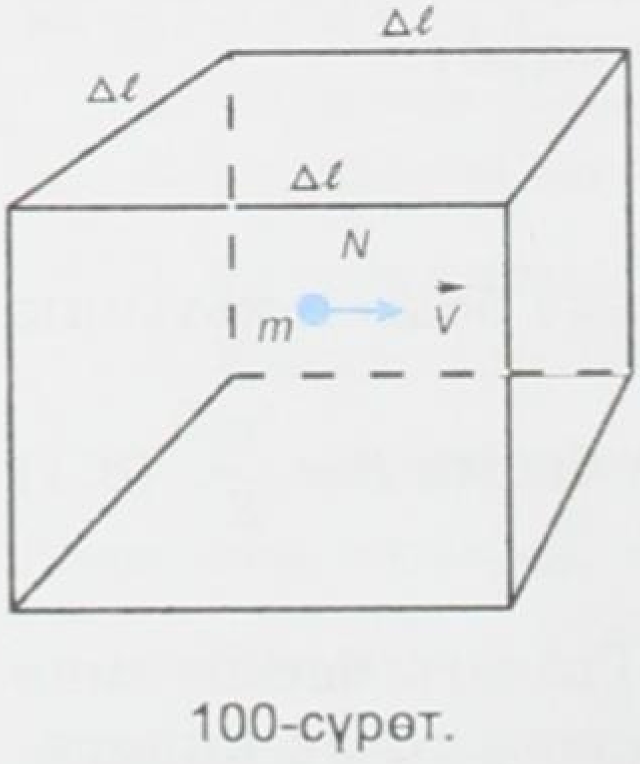
Газдын басымы манометр менен ченелет. Газдагы басым эмне себептен пайда болот деген суроо туулат. Молекулалык-кинети-

калык теориянын негизинде газдын атомдору менен молекулалары хаотикалык кыймылда болгон соң, алар өзара бири-бири менен урунушат, өзү турган же жайланышкан идиштин капталдарына урунушат.

Айрым молекуланын, же атомдун урунушуу күчү аз, бирок көп молекуланын урунушуусу сезилээрлик өлчөмдө болот да ошол себептен газда басым пайда болот.

Окумуштуулар тарбынан жүргүзүлгөн кыйла татаал жана жөнөкөй тажрыйбалардын натыйжасында молекулалык-кинетикалык теорияда газдын басымы төмөнкү формула менен аныкталаары VIII класстын материалынан белгилүү. Бирок анын далили төмөнкүчө:

Кырынын узундугу $\Delta\ell$ ге барабар болгон кубик берилсин (100-сүрөт), анын ичинде N молекула жайланышкан дейли. Эгер бир молекуланын массасы m болсо жана ал ϑ ылдамдыгы менен кубдун алдыңкы бетине урунуп кайра артка кетсе (урунууну серпилгич шарлар сыяктуу карайлы), анда ал $m\vartheta = m(-\vartheta) = 2m\vartheta$ кыймыл санына барабар болот. Анда молекуланын импульс күчү $\vec{F}\Delta t$ болот да кубиктин бетине жасалган $\vec{F}\Delta t$ импульс күчүнө барабар болот. Демек $\vec{F}\Delta t = 2m\vec{\vartheta}$, мында $\vec{F}$ – кубиктин бетине жасалган орточо басым күчү. Ал эми $\Delta t = \frac{\Delta\ell}{\vartheta}$ болгондуктан $\vec{F}\frac{\Delta\ell}{\vartheta} = 2m\vartheta$, мындан $\vec{F} = \frac{2m\vartheta^2}{\Delta\ell}$ жана (8.1) формуласы боюнча $P = \frac{\vec{F}}{\Delta S}$, $\Delta S = \Delta\ell^2$ болгондуктан $P = \frac{2m\vartheta^2}{\Delta\ell}\ \frac{1}{\Delta S}$ же $P = \frac{2m\vartheta^2}{\Delta\ell^3}$, бирок кубикте N молекула болгондуктан: $P = N\frac{2m\vartheta^2}{\Delta\ell^3}$, мында $\frac{N}{\Delta\ell^3}$ – көлөм бирдигиндеги молекуланын санын (n_0) түшүндүрөт. Ошондой эле N молекула оңго жана солго жылгандыктан анын $\frac{1}{6}$ бөлүгү жылгандыгын билдирет. Демек



100-сүрөт.

$$P = \frac{1}{6}N\frac{2m\vartheta^2}{\Delta\ell^3}, \text{ б. а. } \boxed{P = \frac{1}{3}n_0 m\vartheta^2}. \qquad (8.2)$$

(8.2) формуласы идеалдык газдын кинетикалык теориясынын негизги теңдемеси деп аталат. Аны төмөнкүчө өзгөртүп түзсөк да болот: $P = \frac{1}{3}\cdot n_0 m\vartheta^2 = \frac{2}{3}n_0\left(\frac{m\vartheta^2}{2}\right)$, мында $E = \frac{m\vartheta^2}{2}$ – бир молекуланын алга жылуу кыймылынын орточо кинетикалык

энергиясы деп аталат. Демек, (8.2) формуласы төмөнкүчө да жазылат: $P = \frac{2}{3} n_0 \left(\frac{m\vartheta^2}{2} \right) = \frac{2}{3} n_0 E$, б. а. $\boxed{P = \frac{2}{3} n_0 E}$. (8.3)

Бирок ар түрдүү молекулалар түрдүү ϑ^2 ылдамдыкта кыймылдагандыктан, төмөнкү мааниге да ээ болот:

$\overline{\vartheta^2} = \frac{\vartheta_1^2 + \vartheta_2^2 + \ldots + \vartheta_N^2}{N}$. Ошондуктан ϑ^2 тын ордуна анын $\overline{\vartheta^2}$ орточо квадраттык маанисин алсак болот, б. а. $P = \frac{2}{3} n_0 \left(\frac{m\overline{\vartheta^2}}{2} \right)$, (8.4)

мында P – басым, m – газдын бир молекуласынын массасы, n_0 – концентрация чоңдугу же көлөм бирдигиндеги молекуланын саны, ал эми $\overline{\vartheta^2}$ – молекуланын алга жылуу кыймылынын орточо квадраттык ылдамдыгы. Демек, анда газда (8.4) формула боюнча m, n_0 жана $\overline{\vartheta^2}$ канча чоң болсо, газдагы басым ошончо чоң болот.

● Эгер молекуланын орточо кинетикалык энергиясы $\boxed{\overline{E} = \frac{m\overline{\vartheta^2}}{2}}$ (8.5) экенин эске алсак, анда: $P = \frac{2}{3} n_0 \overline{E}$. Демек, газдын басымы анын концентрациясы менен орточо кинетикалык энергиясына пропорциялаш.

Мына ушул (8.2) жана (8.3) формулалары газдын молекулалык-кинетикалык теориясынын негизги теңдемелери болуп эсептелет.

Газдын молекулалары тынымсыз хаотикалык кыймылда болгонун жана нормалдык шартта 1 $см^3$ көлөмдө $2{,}7 \cdot 10^{19}$ молекула бар экендигин эске алсак, анда 1 секундада миллиондогон кагылышуулар болуп турат. Ошол кыймыл учурунда бир молекула экинчиси менен кагылышканга чейин кандайдыр бир аралыкты өтөт. Ошол молекуланын экинчиси менен кагылышканга чейинки кагылышпай өткөн аралык молекуланын эркин жол жүрүүсүнүн орточо аралыгы деп аталат. Орточо деген себеп ал жол өтө эле ар түрдүү аралыкта болот. Ошондуктан, анын орточо мааниси алынат да, $\overline{\lambda}$ (лямбда) тамгасы менен белгиленет.

● Газдын кыймыл ылдамдыктары да ар кандай. Ири молекулалар жайыраак, ал эми майдалары (кичинелери) чоңураак ылдамдык менен кыймылдашат. Ошондуктан орточо квадраттык ылдамдык түшүнүгү $\overline{\vartheta^2}$ пайда болгон.

Демек, ошого жараша ылдамдык менен шартталган молекуланын кинетикалык энергиясы да, сөзсүз, ар кандай чоңдук-

та болгондуктан орточо кинетикалык энергия деген түшүнүк пайда болгон да $\overline{E}$ үстүндөгү сызык орточо деген белгини түшүндүрөт. Ал эми $\overline{\vartheta}^2$ молекуланын орточо квадраттык ылдамдыгын билдирет.

Газдын молекулаларынын ылдамдыгы өтө эле ар түрдүү болгондуктан, газдын молекулаларынын ылдамдыгы дегенде алардын ылдамдыктарынын модулдарынын орточо арифметикалык мааниси дегенди түшүнүү керек.

Эгер айрым молекулалардын квадраттык ылдамдыктарын $\overline{\vartheta}_1^2$, $\overline{\vartheta}_2^2$, $\overline{\vartheta}_3^2$, ..., $\overline{\vartheta}_n^2$ деп белгилесек, молекулалардын саны N болсо, анын орточо арифметикалык мааниси:

$$\overline{\vartheta}^2 = \frac{\overline{\vartheta}_1^2 + \overline{\vartheta}_2^2 + \overline{\vartheta}_3^2 + \ldots + \overline{\vartheta}_n^2}{N}$$

болот. Анда ылдамдыктын «x» огундагы квадратынын орточосу: $\overline{\vartheta}_x^2 = \frac{1}{3}\overline{\vartheta}^2$. (8.6)

§ 39. Температура түшүнүгү. Орточо квадраттык ылдамдыктын жана орточо кинетикалык энергиянын температура менен байланышы. Больцман турактуулугу

Температура-макроскопикалык параметрлердин, б. а. газ абалын аныктоочу чоңдуктардын бири болуп эсептелет.

Температура жылуулук кубулушу жөнүндөгү бардык илимдерде борбордук орунду ээлейт. Муздак жана ысык нерселердин айырмасын жакшы билебиз. Температура – ошол нерселердин ысытылыш даражасын (муздак, жылуу, ысык ж. б.) мүнөздөйт. Температура термометр деп аталган курал менен өлчөнөт. Анын иштеши нерселерди ысытууда, же муздатууда көлөмдүн өзгөрүү касиетине негизделген. Термометрдин түрү өтө көп жана формалары ар түрдүү болот. Термометр менен ченөө деген, жылуулук тең салмактуулугун, б. а. системанын бардык бөлүктөрүндө температура бир эле мааниге ээ болуп калды деген сөз болот. Жылуулук тең салмактуулугунда бардык газдардын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиялары бирдей болот деп болжолдоого болот. Мында басым (P) жана көлөм (V) өзгөрбөшү керек.

Мурунку өтүлгөндөрдөн (8.3) формуласы боюнча $P = \frac{2}{3}n_0\overline{E}$, ал эми $n_0 = \frac{N}{V}$ – концентрация саны, анда $P = \frac{2}{3}\frac{N}{V}\overline{E}$ же

$$\boxed{P\frac{V}{N} = \frac{2}{3}\overline{E}} \quad . \qquad (8.7)$$

Эгер кинетикалык энергия $\overline{E}$ жылуулук тең салмактуулук

учурунда бардык газдар үчүн бирдей болсо, анда $P\frac{V}{N}$ да бирдей болууга тийиш. Бул белгилүү шартта гана орун алат. Ошондуктан $\boxed{P\frac{V}{N} = \theta\ Дж}$. (8.8) Бул айрым бир газдын учуру үчүн болуп, энергиянын бирдиктери менен өлчөнүүчү температураны түшүндүрөт.

Энергия бирдиктери менен өлчөнүүчү температураны градус аркылуу ченелүүчү температура менен байланыштырганда:

$\boxed{\theta = k \cdot T}$ (8.9) болот же $\boxed{\frac{PV}{N} = k \cdot T}$ (8.10), мында k – пропорциялаштык коэффициенти, T – абсолюттук температура. Эгер (8.9) формуласын эске алсак, анда (8.8) формуласы төмөнкү түргө келет, б. а. $\boxed{\frac{PV}{N} = k \cdot T}$ (8.11) болуп калат.

Бул формуладагы T – температуранын мүмкүн болгон эң кичине мааниси, ал басым (P) же көлөм (V) нөлгө барабар болгондо гана $T = 0$ болушу мүмкүн экендиги көрүнүп турат.

Идеалдык газдын басымы көлөмдүн белгилүү маанисинде нөлгө айланганда, же турактуу басым кезинде газдын көлөмү нөлгө умтулгандагы пределдик температура абсолюттук нөл температурасы деп аталат. Бул жаратылыштагы эң төмөнкү температура.

Англиялык окумуштуу Уильям Кельвин температуранын абсолюттук шкаласын киргизген.

- Абсолюттук шкала (же температуранын термодинамикалык шкаласы) боюнча нөл температура абсолюттук нөлгө туура келет, ал бул шкала боюнча температуранын ар бир бирдиги Цельсий шкаласындагы градустарга барабар.

Абсолюттук температуранын СИдеги бирдиги кельвин (°K) деп аталат.

T абсолюттук температураны Кельвин сунуш кылгандыктан ал Кельвин шкаласы деп аталат. Андан сырткары биз турмушубузда көп колдонгон температуралардын Цельсий шкаласы да бар. Цельсий температурасы t°C деп белгиленет.

Кельвиндин нөлү Цельсийдин −273°на барабар. Демек, бул эки шкала 273кө айырмаланат. Анда, мисалы, нормалдуу басымда муз 0°Сде, же −273 Кде эрийт. Суу 100°Сде же 373 K де кайнайт.

- Эки шкаланын температураларынын байланышы: $\boxed{T=(t+273)K}$, $\boxed{t=T-273°C}$ формулалары менен берилет.

Эгер бир Кельвин Цельсий шкаласы боюнча бир градус болгондой кылып (8.11) формуласынан, б. а. $\frac{PV}{N} = k \cdot T$ формуласындагы *k*ны аныктасак, ал $k = 1{,}28 \cdot 10^{-23}\ \frac{Дж}{К}$ болот.

k чоңдугу газдардын молекулалык-кинетикалык теориясын изилдөөчүлөрдүн бири, австралиялык улуу физик Л. Больцмандын урматына Больцман турактуулугу деп аталат.

Демек, Больцман турактуулугу энергетикалык бирдиктеги «θ» тета температурасын кельвин менен алынган *T* температурасы менен байланыштырат.

Бул молекулалык-кинетикалык теориянын негизги теңдемеси болгон (8.7) $\frac{PV}{N} = \frac{2}{3}\overline{E}$ формуласы жана (8.11) $\frac{PV}{N} = k \cdot T$ формуласынан $\frac{2}{3}\overline{E} = k \cdot T$ келип чыгат. Мындан $\boxed{\overline{E} = \frac{3}{2}k \cdot T}$ (8.12) келип чыгат.

(8.12) формула газдын молекулаларынын алга жылуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы менен температурасынын ортосундагы байланышты туюндурат.

Газдын молекулаларынын башаламан кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы абсолюттук температурага пропорциялаш болот.

Орточо квадраттык ылдамдык. Эгер газдын температурасы белгилүү болсо, молекулалардын орточо кинетикалык энергиясын эсептөө кыйын эмес. Ошондуктан, $\overline{E} = \frac{3}{2}k \cdot T$ формуласынын жардамы менен молекуланын орточо квадраттык ылдамдыгын эсептөөгө болот, анткени $\overline{E} = \frac{m\overline{\vartheta}^2}{2}$ экени белгилүү жана ал бул молекуланын орточо кинетикалык энергиясынын формуласы болуп эсептелет. Бул эки формуладан $\frac{3}{2}k \cdot T = \frac{m\overline{\vartheta}^2}{2}$ же $3kT = m \cdot \overline{\vartheta}^2$. Мындан $\boxed{\sqrt{\overline{\vartheta}^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}}$. (8.13)

Бирок $k = \frac{R}{N_A}$ болгондуктан, $mN_A = \mu$ молекулалык санды берет, демек $\boxed{\sqrt{\overline{\vartheta}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}}$, (8.14) μ – түрдүү газдар үчүн түрдүүчө мааниге ээ. (8.14) формуласы молекуланын орточо квадраттык ылдамдыгынын формуласы болуп эсептелет. Анда басым:

$$P = \frac{2}{3} n_0 \overline{E} = \frac{2}{3} n_0 \cdot \frac{3}{2} kT = n_0 kT,$$ б. а. $\boxed{P = n_0 kT}$ (8.15), бул формула да газдардын кинетикалык теориясынын негизги теңдемеси деп аталат.

Түрдүү газдардын молекулалык салмактары ар түрдүү болгондуктан алардын орточо квадраттык ылдамдыктары да ар түрдүү болот. Мисалы, t=0°С температурада азот үчүн $\mu = 28 \frac{кг}{кмоль}$ болгондуктан, анын молекуласынын орточо квадраттык ылдамдыгы $\sqrt{\overline{\vartheta}^2} = 500 м/с$, ошол эле температурада суутек үчүн $\sqrt{\overline{\vartheta}^2_{H_2}} = 1800 м/с$ болгон.

Демек, түрдүү газдар үчүн, алардын орточо квадраттык ылдамдыктары түрдүүчө экен.

Ал эми идеалдык газдын ички энергиясы молекулалардын кыймылын баяндаган кинетикалык энергиясын $E_к$ түшүндүрөт, б. а. $U_{ид} = N_А E_К$ же $U_{ид} = \frac{3}{2} kT \cdot N_А = \frac{3}{2} RT$; $k = \frac{R}{N}$; $U_{ид} = \frac{3}{2} RT$.

Демек, идеалдык газдын ички энергиясы температурага гана көзкаранды. $kN_А = R$ экенин билебиз.

Реалдык газдын ички энергиясы нерседеги молекулалардын кыймылынын кинетикалык жана молекулалардын абалына байланышкан потенциалдык энергияларынын суммасынан турат, б. а. $U_р = (E_к + E_п) N_А$. Жогорудагы $U_{ид}$ – идеалдык газдын ички энергиясы. $N_А$ – Авогадро саны, k – Больцман турактуулугу, R – универсалдуу газ турактуулугу, T – абсолюттук температура.

? **1.** Идеалдык газ деп кандай газды айтабыз? **2.** Броун тажрыйбасы эмнени далилдейт? **3.** Эркин жол жүрүүнүн узундугу деп эмнени түшүнөсүңөр? **4.** Орточо кинетикалык энергиянын формуласы кандай экенин түшүндүргүлө. **5.** Орточо квадраттык ылдамдыктын формуласы кандай, түшүндүргүлө. **6.** $\overline{E}$ нин T менен байланышы кандай? **7.** Больцман турактуулугу эмнени түшүндүрөт?

18-көнүгүү

1. Газдын молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгы $\overline{\vartheta}^2 = 10 \frac{м^2}{с^2}$, молекулалардын концентрациясы $n_0 = 3 \cdot 10^{25} м^{-3}$, ар бир молекуланын массасы $m = 5 \cdot 10^{-26}$ кг болсо, идиштеги газ кандай басым астында болгон?

2. Көлөмү 1,2 *л* болгон колбада гелийдин $3 \cdot 10^{22}$ молекуласы бар. Колбадагы гелийдин басымы 10^5 *Па* болсо, ар бир молекуланын орточо кинетикалык энергиясы канчага барабар?

3. Көлөмү 4,9 $м^3$, $P = 200$ *кПа* басым астында турган $m = 6$ *кг* болгон газдагы молекулалардын орточо квадраттык ылдамдыгын эсептегиле.

4. 17°C температурадагы аргондун атомунун орточо кинетикалык энергиясы канчага барабар?

5. 100°C температурадагы газдын орточо квадраттык ылдамдыгы $540\ \frac{м}{с}$ га барабар болсо, анын молекуласынын массасы канчалык?

6. Көлөмү 5 *л* цилиндрде газдын 10^{23} молекуласы бар. Эгерде газдын басымы $2,76 \cdot 10^5$ *Па* болсо, анын абсолюттук температурасы кандай?

7. 7°C температурадагы азоттун молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгы канчага барабар? Азоттун моль массасы $0,028\ \frac{кг}{кмоль}$.

8. Суутектин молекулаларынын орточо квадраттык ылдамдыгы $2000\ \frac{м}{с}$ болсо, анын абсолюттук температурасы кандай? Суутектин моль массасы $0,002\ \frac{кг}{кмоль}$.

9. Көлөмү 1 *л* болгон колбада температурасы 200 *К*, басымы $2,76 \cdot 10^{-8}$ *Па* газ жайгашкан. Колбадагы газда канча молекула бар?

10. Цельсий шкаласынын 100 градусу абсолюттук температуранын кайсы маанисине туура келет?

Молекулалык физикага маселе чыгаруунун мисалдары

1. Массасы $m=1$ *кг* болгон көмүркычкыл газындагы заттын санын жана молекулалардын санын аныктагыла.

Берилди:	Чыгаруу:
$m=1$ *кг* $\nu_{CO_2} = 0,044\ \frac{кг}{моль} = 44\ \frac{кг}{кмол}$ $N_А = 6,02 \cdot 10^{23}\ моль^{-1}$ $\nu - ?\quad N - ?$	Заттын саны (ν) төмөндөгү туюнтма боюнча аныкталат, б. а. $\nu = \frac{m}{\mu}$. Ал эми молекулалардын саны N болсо $\nu = \frac{N}{N_А}$; $\frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_А}$ дан $m \cdot N_A = \mu \cdot N$, мында $N_А$ – Авогадро саны.

Берилген чоңдуктардын сан маанилерин ордуна коюп эсептесек:

$\nu = \frac{1кг}{0,044\frac{кг}{моль}} = 23\ моль$, $\nu = 23\ моль$, ал эми молекулалардын саны $N = \frac{1кг}{0,044\frac{кг}{моль}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}\ \frac{1}{моль} = 1,4 \cdot 10^{25}$. Демек, $N = 1,4 \cdot 10^{25}$ молекула.

Жообу: $\nu = 23\ моль,\quad N = 1,4 \cdot 10^{25}$.

2. Көлөмү 0,025 $м^3$ болгон кычкылтек салынган баллондо нормалдуу шартта канча молекула болоорун эсептегиле?

Берилди:

$V = 0{,}025\ м^3$

$t° = 0°\ C$

$P = 10^5\ Па$

$\rho = 1{,}43\ \frac{кг}{м^3}$

$\mu = 0{,}32\ \frac{кг}{моль}$

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

N – ?

Чыгаруу:

Шарт нормалдуу деген соң: $t = 0°\ C$ жана $P = 10^5\ Па$ экени белгилүү. Кычкылтектин моль массасын, тыгыздыгын ρ таблицадан алабыз. N_A – Авогадро саны, б. а. заттын бир молундагы молекула, же атомдун саны белгилүү, анда $\nu = \frac{m}{\mu}$ жана $\nu = \frac{N}{N_A}$. Бул экөөнөн $\frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$, $N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A$; m массаны тыгыздык боюнча жазсак $m = \rho V$. Демек, $N = \frac{\rho V}{\mu} N_A$.

Чоңдуктардын сан маанилерин ордуна коюп эсептесек:

Жообу: $N = 6{,}7 \cdot 10^{22}$ молекула.

VIII главадагы эң негизги маалыматтар

Молекулалык-кинетикалык теория илимге теория катары М. В. Ломоносов тарабынан киргизилген. Ал негизги үч жобого: заттар молекула-атомдордон турат, алар хаотикалык кыймылда болушат, тартылышат жана түртүлүшөт.

Молекулалардын массасы абдан кичине, ал эми алардын саны чоң – макроскопикалык нерселерде өтө көп. Ошондуктан масса салыштырмалуу мааниде алынат.

Салыштырмалуу молекулалык (атомдук) масса, ал көмүртек атомунун массасынын $\frac{1}{12}$ бөлүгүнө салыштырмалуу алынат.

Заттын саны моль – бул 0,012 *кг* көмүртекте канча атом болсо, ошончо молекулага ээ болгон заттын саны.

Молдогу молекуланын (атомдун) саны Авогадро саны – $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23} \frac{1}{моль}$.

Моль масса 1 молдогу заттын *г* же *кг* менен алынган массасы – $\mu\left(\frac{кг}{моль}\right);\ \left(\frac{г}{моль}\right)$.

Молекулалык-кинетикалык теориядагы идеалдык газ – бул молекулалардын өзара аракети жокко эсе болгон газ. Газдын молекулалык-кинетикалык теориясынын негизги теңдемеси: $P = \frac{1}{3} n_0 \overline{E}$, мында $\overline{E} = \frac{m\vartheta^2}{2}$ – молекуланын алга жылуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы. Демек, басым – концентрация менен орточо кинетикалык энергияга пропорциялаш. Ошондой эле: $\overline{E} = \frac{3}{2} k \cdot T$; $\sqrt{\overline{\vartheta^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}$, $P = n_0 kT$.

IX глава

ИДЕАЛДЫК ГАЗДЫН ЗАКОНДОРУ

§ 40. Газ абалы жана анын параметрлери: *V*, *P* жана *T*

Газдардагы жана башка нерселердеги кубулуштарды түшүндүрүү үчүн дайыма эле молекулалык-кинетикалык теорияга кайрылып отурбастан макротелолордун, мисалы, газдардын айрым молекулаларынын гана эмес, нерсени түзгөн бүткүл молекулага тиешелүү болгон бир аз сандагы физикалык чоңдуктар менен мүнөздөөгө болот. Алар: көлөм V, басым P, температура T ж. б. болуп эсептелет.

Ар кандай макроскопикалык нерсе, же макронерселердин системасы термодинамикалык система деп аталат.

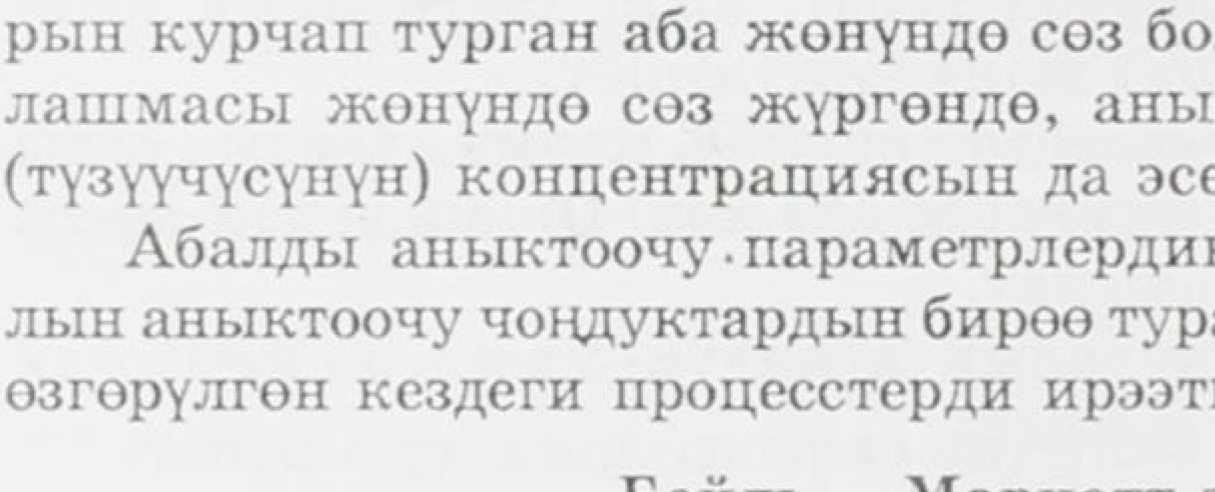
Нерсенин молекулалык түзүлүшүн эске албастан эле термодинамикалык системанын абалын мүнөздөөчү чоңдуктар макроскопикалык (термодинамикалык) параметрлер деп аталат.

Газдын абалын аныктоочу параметрлер жогорудагы P, V, λ (T) менен эле чектелип калбайт, мисалы, атмосфера – жер шарын курчап турган аба жөнүндө сөз болгондо же газдардын аралашмасы жөнүндө сөз жүргөндө, анын ар бир компонентинин (түзүүчүсүнүн) концентрациясын да эсепке алууга тийиш болот. Абалды аныктоочу параметрлердин өзгөрүшү менен газ абалын аныктоочу чоңдуктардын бирөө турактуу болуп калганда, экөө өзгөрүлгөн кездеги процесстерди ирээти менен карап чыгалы.

Бойль – Мариотт закону

Газдын температурасын турактуу кармап (T=const), басым (P) менен көлөмдүн (Vнын) ортосунда кандай көзкарандылык болорун кароодон баштайлык. Бул процесс изотерма («изос» – «бирдей», «термос» – «жылуу» деген латын сөздөрүнөн алынган) процесси деп аталат.

101-*а*, *б*, сүрөттө көрсөтүлгөн куралдын жардамы менен бул процессти текшерүүгө болот. Бул процесс англиялык окумуштуу Бойль (1627–1691) андан бир аз кийинчерээк француз окумуштуусу Мариотт (1620–1684) тарабынан изилденип, экөө бирдей жыйынтыкка келишкен. Ошондуктан бул процесс



101-сүрөт.

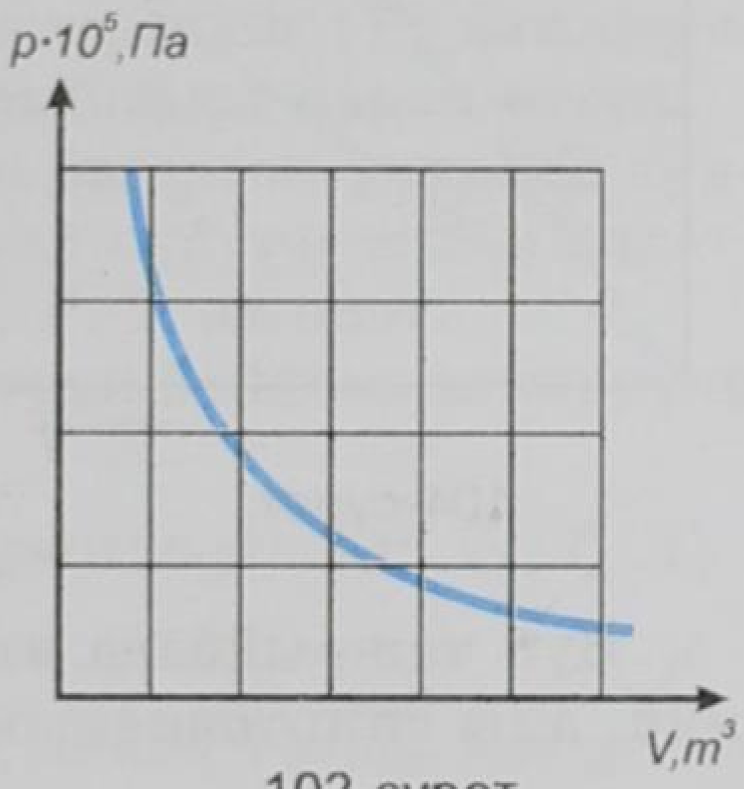
Бойль – Мариотт закону деп аталып калган. Температураны туруктуу кармап идиштеги газдын басымын чоңойткондо көлөмү кичирейген жана тескерисинче, көлөмүн чоңойткондо басымы кичирейген, б. а. $V_1P_1 = V_2P_2$ же $\frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1}$, мында V_1 деги басым P_1 жана V_2 деги басым P_2. Температура туруктуу болгондогу жалпы учур үчүн закондун математикалык формуласы төмөнкүдөй болот:

$$\boxed{T=\text{const} \quad PV=\text{const}} \ . \qquad (9.1)$$

Ар кандай газдар менен, аба менен, же газдардын аралашмалары менен жүргүзүлгөн көп тажрыйбалар бирдей эле натыйжаны берген.

Туруктуу температура кезинде газдын берилген массасынын басымы газдын көлөмүнө тескери пропорциялаш болот же туруктуу температура кезинде газдын берилген массасынын көлөмүнүн басымына болгон көбөйтүндүсү туруктуу чоңдук болот. Бул Бойль – Мариотт закону, б. а. T = const болсо, PV = const болот.

Демек, $P \sim \frac{1}{V}$ же $V \sim \frac{1}{P}$.



102-сүрөт.

Изотерма процесси графикте изотерма (102-сүрөт) сызыгын берет.

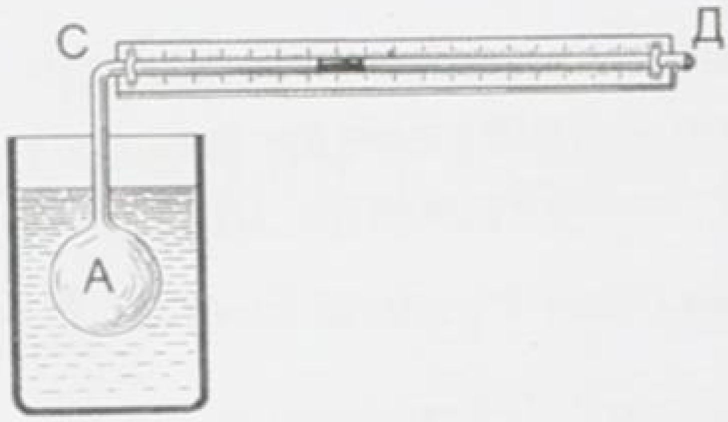
Бойль – Мариотт закону идеалдык газдар үчүн толук аткарылат да реалдык газдар үчүн жакындаштырылган закон болуп эсептелет.

Гей-Люссак закону

Жогорку үч параметрден басым (P=const) туруктуу болуп, көлөм (V) менен температура (T) арасындагы көзкарандылык көп тажрыйбалардын негизинде изилденген. Мисалы, 101-сүрөттөгү гофрленген курал менен же 103-сүрөттөгү горизонталь багытта шкаланы бойлото жайланышкан *СД* түтүгү *А* колбасы менен бириктирилген. *А* колбадагы газды кол менен ысытсак же сууга салып, сууну ысытсак, анда колбадагы газ кеңейип, гоизонталь түтүктөгү сымап мамычасы оң жакты көздөй жыла баштайт жана тескерисинче, колбадагы газ (аба) муздаса, сымап колбанын ичин карай сол жакка жыла баштайт. Ушуга окшогон көп тажрыйбалардан төмөнкүдөй жыйынтыкка келебиз: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$, мында T_1 температурадагы көлөм V_1, ал эми T_2 температурадагы көлөм V_2.

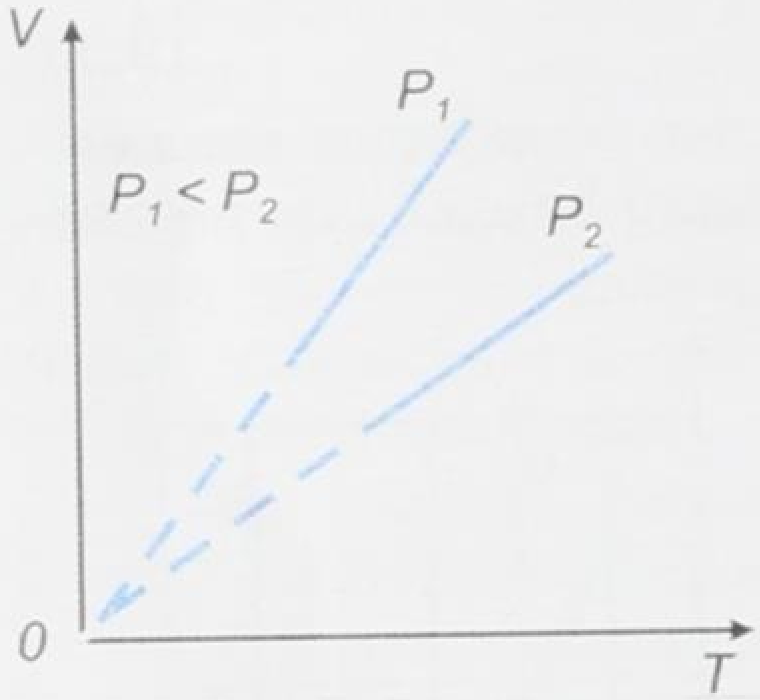
Т... басым кезинде газдын берилген массасынын көлөмү ...турага түз пропорциялаш болот.

Бул процесс изобара («изос» – туракттуу, «барос» – басым, оордук, салмак, грек сөзү) процесси деп аталат. Жогорку законду ачкан француз окумуштуусунун урматына Гей-Люссак закону деп аталат.



103-сүрөт.

104-сүрөттөгү графикте V көлөмү менен абсолюттук T температуранын ортосундагы көзкарандылык көрсөтүлгөн. Бул сызык изобара сызыгы деп аталат. Анда закондун математикалык формуласы жалпы түрдө төмөнкүчө жазылат:



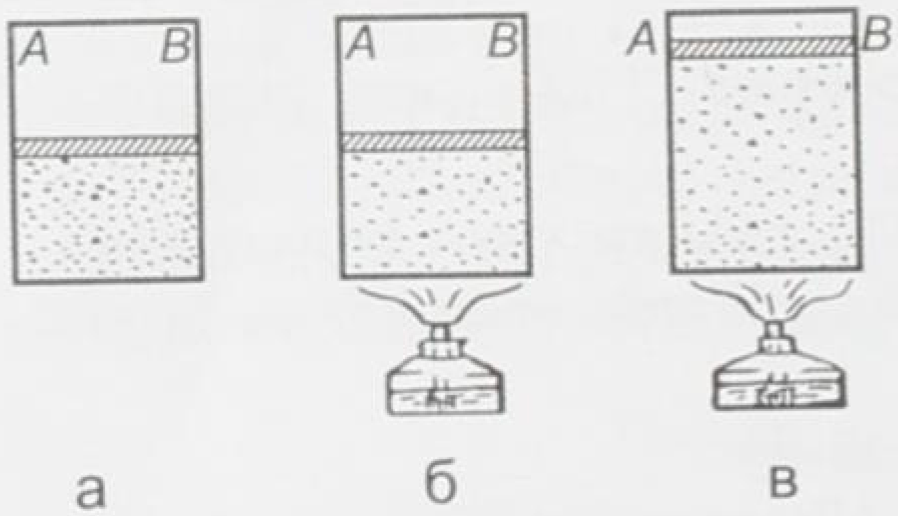
104-сүрөт.

$$\boxed{P = \text{const} \quad \frac{V}{T} = \text{const}}. \quad (9.2)$$

Шарль закону

Эми жогорудагы параметрлердин ичинен V көлөмү туракттуу болгон учурду карайбыз, б. а. $V = \text{const}$.

Бул тажрыйбада идиштеги газдын көлөмүн туракттуу кармап, аны спиртовканын жалынына кармап ысытканда анын басымы чоңоюп, AB поршенин жогору жылдырганы көрүнүп турат (105-сүрөт). Ушуга окшогон көп тажрыйбадан төмөнкү жыйынтык келип чыгат:



105-сүрөт.

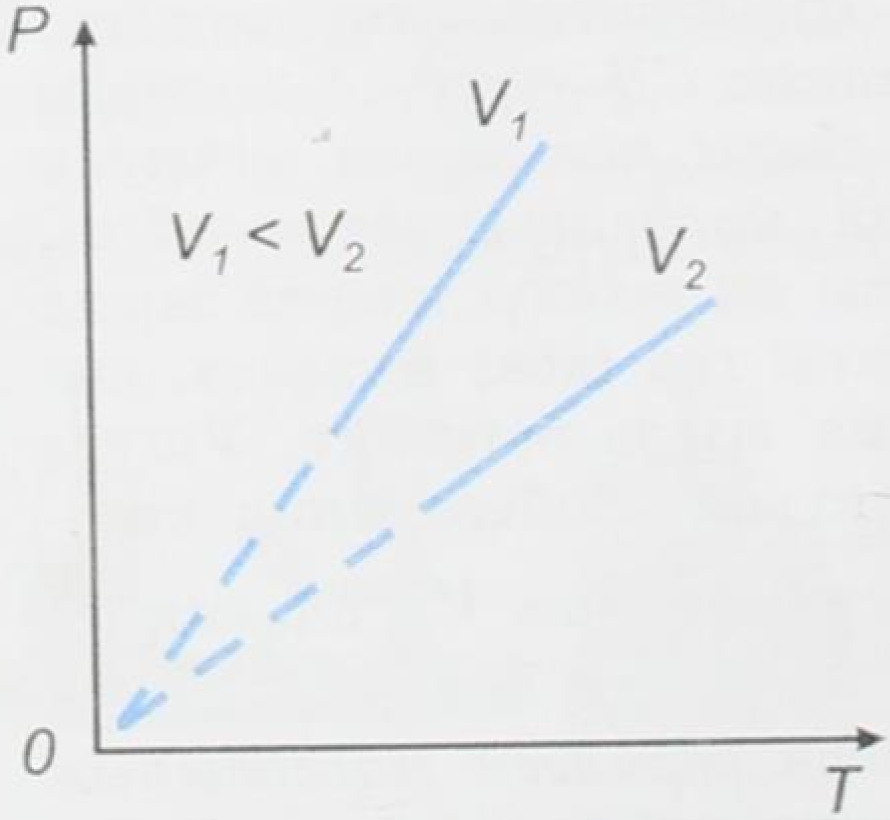
Туракттуу көлөм кезинде газдын берилген массасынын басымы температурага түз пропорциялаш өзгөрөт.

Бул процесс изохора («изос» – бирдей, «хорема» – сыйымдуулук, көлөм деген грек сөзү) процесси деп аталат.

Бул закон 1787-жылы аны ачкан француз окумуштуусу Шарлдын урматына Шарль закону деп аталып, төмөнкүчө жазылат:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2}$$ же V=const болгондо

$$\boxed{\frac{P}{T} = \text{const}}. \quad (9.3)$$



106-сүрөт.

106-сүрөттөгү графикте (P) басым менен (T) температуранын арасындагы көзкарандылык туюнтулган изохора сызыгы көрсөтүлгөн.

§ 41. Идеалдык газ абалынын теңдемеси

Биз газ абалын мүнөздөөчү үч чоңдуктун (көлөм, басым, температуранын) бири туруктуу болуп, калган экөөнүн өзара байланышкан көзкарандылык закондорун ирээти менен карап өттүк.

Эгер температура (T) өзгөрбөсө, басым менен көлөмдүн байланышын Бойль – Мариоттун, көлөм туруктуу болсо, басым менен температуранын байланышы Шарлдын, ал эми басым туруктуу болсо, көлөм (V) менен температуранын (T) байланышын Гей-Люссак закону менен аныктарыбызды карап өттүк.

Бирок бул үч параметр бир мезгилде өзгөргөн учурлар турмушта көп эле кездешет. Мисалы, ичинен күйүүчү кыймылдаткыч иштегенде бир мезгилде үчөө тең V, P, T өзгөрөт.

Мына ушундай учур үчүн үч параметрди байланыштыруучу теңдемени чыгаралык.

Кандайдыр бир массадагы газ үчүн биринчи учурда V_1, P_1, T_1 болсун, экинчи учурда V_2, P_2, T_2 болсун.

Бирок V, P, T чоңдуктарын өзгөртүү менен газды бир абалдан ар кандай башка абалга келтире алабыз, мисалы, басымды туруктуу бойдон калтырып, газды 1- жана 2- абалдардан температурасы 0° болгон башка абалга келтире алабыз, анда Гей-Люссак закону боюнча:

1) $\frac{V_1}{T_1}$, 2) $\frac{V_2}{T_2}$ болуп калат. Анда газдын жаңы абалы:

1^I) $\frac{V_1}{T_1}$, P_1, 0^0; 2^I) $\frac{V_2}{T_2}$, P_2, 0^0 болуп калат.

Бул эки абалда тең газдын температурасы бирдей – 0°. Ошондуктан Бойль – Мариотт законунун негизинде $\frac{V_1P_1}{T_1} = \frac{V_2P_2}{T_2}$ деп, же ар кандай жалпы абал үчүн

$$\boxed{\frac{PV}{T} = \text{const}}. \tag{9.4}$$

Бул формула газ абалын аныктоочу үч параметрди байланыштырып турат. Аны Клапейрон теңдемеси дейбиз.

- Көлөм менен басымдын көбөйтүндүсүнүн абсолюттук температурага болгон катышы газдын берилген массасы үчүн туруктуу чоңдук.
- Эгер газ басымынын анын концентрациясы менен абсолюттук температурага көзкарандылык формуласын (8.15) пайдалансак

$$\boxed{P = n_0kT}, \tag{9.5}$$

мында $n_0 = \frac{N}{V}$ – концентрация чоңдугу, б. а. көлөм бирдигиндеги молекула саны, бизге $\frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu}$ экени белгилүү. Мындан $N = m\frac{N_A}{\mu}$ болгондуктан (9.5) формула төмөнкү түргө келет:

$P = \frac{1}{\frac{V\cdot\mu}{m\cdot N_A\cdot k\cdot T}}$ же $\frac{PV}{T} = \frac{m}{\mu}\cdot N_A\cdot k$, бирок $N_A\cdot k = R$ – универсалдуу газ турактуулугу болгондуктан төмөнкү формуланы алабыз:

$$\boxed{PV = \frac{m}{\mu}RT}\ . \tag{9.6}$$

Бул теңдеме ар кандай газдын каалагандай m массасы үчүн абал теңдемеси деп же Менделеев-Клапейрон теңдемеси деп аталат. (9.6) формуласындагы $\frac{m}{\mu}R$ чоңдугу берилген газ үчүн турактуу чоңдуктар. Ошондуктан (9.6) формуласынан төмөнкүнү алабыз: $\boxed{\frac{PV}{T} = \frac{m}{\mu}R}$. (9.7)

Басым менен көлөмдүн көбөйтүндүсүнүн абсолюттук температурага болгон катышы газдын берилген массасы үчүн турактуу чоңдук деп окулат.

Ошентип идеалдык газ абалынын теңдемесин алдык. Бул теңдемелер газдын жогорку үч параметри бир мезгилде өзгөргөн учурда пайдаланылат, б. а. бардык үч параметрди байланыштырган теңдеме. Жогоруда

$$\boxed{R = N_A\cdot k} \tag{9.8}$$

чоңдугу пайда болду, мында R – универсалдык газ турактуулугу. Ал Больцман турактуулугу менен Авогадро саны N_A нын көбөйтүндүсүнө барабар. Анын сан мааниси төмөнкүгө барабар:

$$R = N_A\cdot k = 1{,}38\cdot 10^{-23}\cdot 6{,}02\cdot 10^{-23}\left(\frac{Дж}{моль^0К}\right) = 8{,}31\frac{Дж}{моль^0К}\ .$$

$$R = 8{,}31\frac{Дж}{моль^0К}\ . \tag{9.9}$$

Демек, бардык жогорку закондор идеалдык газдар үчүн туура, ал эми реалдык газдар үчүн жакындатылган закондор. Идеалдык газдын изотермасы 99-сүрөттөгүдөй болот.

? 1. Газ абалын аныктоочу параметрлер кайсылар? 2. Изотерма процесси же Бойль – Мариотт закону кандайча окулат? 3. Изобара процесси же Гей-Люссак закону кандайча окулат? 4. Изохора – Шарль закону кандайча окулат? 5. Клапейрон теңдемеси кантип жазылат жана кандайча окулат? 6. Менделеев – Клапейрон теңдемеси кандай жазылат жана кандайча

окулат? **7.** Универсалдык газ турактуулугу эмнеге барабар жана маанисин түшүндүргүлө.

19-көнүгүү

1. Нормалдуу басымда $1 \cdot 10^5$ *Па* турган 100 $м^3$ суутекти сыйымдуулугу 5 $м^3$ келген болот баллонго толтурушту. Баллондогу басымды тапкыла.

2. Газды 3 *л* ден 1 *л* ге чейин изотермалык кысканда басымы 30 *кПа* га көбөйгөн. Газдын баштапкы басымы канча болгон?

3. 300 *кПа* басымга чейин кысылган газ 6 *л* көлөмгө ээ. Турактуу температурада кеңейип газ көлөмүн 24 *л* ге чоңойтсо, газдын басымы кандай болгон?

4. Эгер суутек 0°С температурада 5 *л* көлөмгө ээ болсо, 100°Сде канча көлөмгө ээ болот?

5. 27,3°С температура кезинде абанын көлөмү 100 *л* ге барабар. 54,5°С температурада анын көлөмү кандай болот?

6. Температурасы 77°С болгон газ жабык идиште 120 *кПа* басым астында жайгашкан. Эгер газды 252°С температурага чейин ысытса көлөмү кандай болот? Басым турактуу.

7. Температурасы 270 К, басымы $75 \cdot 10^5$ *Па* га чейин өстү. Газдын көлөмү канчага өзгөргөн?

8. Идеалдык газдын бир молу нормалдуу шартта кандай көлөмдү ээлейт?

9. Газ абалындагы заттын тыгыздыгы $2{,}5 \frac{кг}{м^3}$, температурасы 100°С, нормалдуу басым астында. Ошол заттын моль массасын тапкыла.

10. Көлөмү 0,03 $м^3$ болгон баллондо басымы $1{,}35 \cdot 10^6$ *Па*, температурасы 455°С газ бар. Нормалдуу шартта ($t = 0°С$, $P = 10^5$ *Па*) ушул газ кандай көлөмдү ээлер эле?

11. Нормалдуу шартта өзүң жашаган бөлмөдөгү абанын массасын эсепте $\left(\mu = 0{,}029 \frac{кг}{моль}\right)$.

§ 42. Реалдык газ. Реалдык газ абалынын теңдемеси. Изотермалар. Заттын газ жана суюк абалдарынын өзара байланышы

Реалдык газдын модели болуп идеалдык газ эсептелээрин биз мурунку темалардан билебиз. Идеалдык газ эң жөнөкөй модель, эң жөнөкөй макроскопикалык система, б. а. аны түшүндүрүүдө канча көп факторлор эске алынса, ал ошончолук реалдуу чындыкты так чагылдырат. Идеалдык газдын моделин андан ары тактоого болот. Ал үчүн молекулалардын өлчөмдөрүн, өзара аракеттешүү күчүн эске алуу реалдык газдын моделин түзүүгө мүмкүндүк берет.

Реалдык газ – бул анын касиеттери молекулалардын өзара аракеттешүүсүнө көзкаранды болгон газ.

Реалдык газдын теңдемеси Менделеев – Клапейрон теңдемесинин идеалдык газ үчүн берилген формасында колдонулбайт.

Бул теңдеме реалдык газдарга жарасын үчүн, молекулалардын өз көлөмүн, өлчөмүн, алардын өзара аракеттешүү күчүн эске алуу менен кээ бир өзгөртүүлөрдү (түзөтүүлөрдү) киргизүү керек болот.

● Реалдык газдын теңдемеси Ван-дер-Ваальс теңдемеси деп аталат.

Газдын бир молуна барабар болгон заттын саны үчүн Ван-дер-Ваальс теңдемеси төмөнкүчө жазылат:

$$\left(P + \frac{a}{V^2}\right)\left(V - в\right) = RT\ , \qquad (9.10)$$

мында a жана $в$ – эксперимент жүзүндө молекуланын өз көлөмүн эске алуудан жана $\frac{a}{V^2}$ – басым бирдиги менен ченелип, молекулалардын өзара тартышуу күчүн эске алуудан келип чыккан турактуулар. Бул түзөтүүлөр голландиялык окумуштуу Ван-дер-Ваальс тарабынан эске алынган. Мисалы, эгер азоттун молундагы заттын санын 300 К температурада 10^7 *Па* басымга чейин кыса турган болсок, анда эксперименттен алынган $\frac{RT}{\left(P + \frac{a}{V^2}\right)(V - в)}$ катышы 1ге барабар болот. Ал эми идеалдык газ абалынын теңдемеси боюнча $\frac{RT}{PV} = 1{,}002 \cdot 10^8$ *Па* басым кезинде бул катыш реалдык газ үчүн 0,98, идеалдык газ үчүн 2,06га барабар. Келтирилген бул мисалдардан Ван-дер-Ваальс теңдемеси газдардын касиетин тагыраак түшүндүрөөрүн байкоого болот. Бирок өтө чоң басым кезинде бул теңдеме да жакындаштырылган маанини берет, себеби a жана $в$ турактуулуктары түрдүү газдарда температура менен басымга көзкаранды болот.

Демек Ван-дер-Ваальс теңдемеси менен түшүндүрүлгөн реалдык газдын модели дале тактоого муктаж.

Идеалдык газдын изотермалары, б. а. P басымы менен V көлөмүнүн көзкарандылыгын туюндуруучу график берилген (107-сүрөт).

Менделеев – Клапейрон теңдемеси боюнча идеалдык газдын изотермаларына караганда, реалдык газ үчүн $\left(P + \frac{a}{V^2}\right) \cdot \left(V - в\right) = RT$ – Ван-дер-Ваальстын теңдемеси боюнча өзгөчөлөнгөн графикти берет.

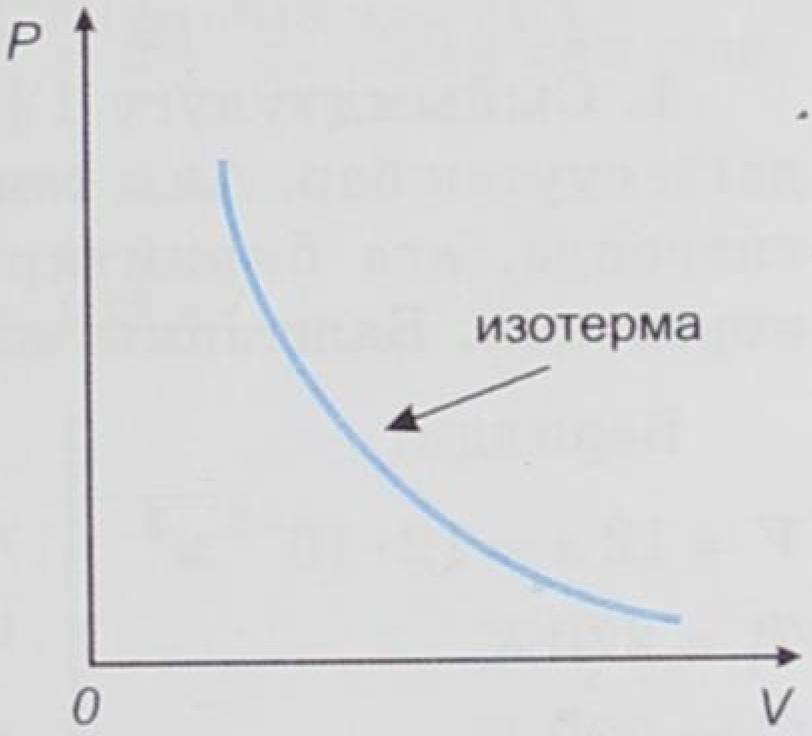
Эгер идеалдык газды кыса берсек, басымдын же температуранын каалагандай маанисинде ал газ боюнча калат.

Ал эми реалдык газды кыса турган болсок, белгилүү шартта ал суюк абалга өтүшү мүмкүн.

108-сүрөттө температура жогорулаган сайын изотерманын горизонталь бөлүгү азайып (кыскарып) барат, б. а. системанын

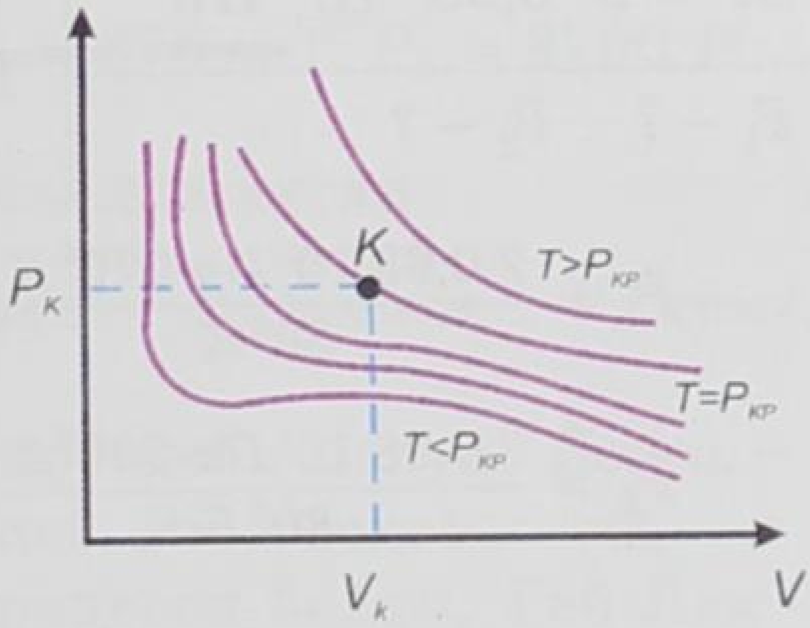
Менделеев Дмитрий Иванович (1834–1907) – орустун улуу окумуштуусу, элементтердин мезгилдик системасын – илимдеги эң терең жалпылоолордун бирин түзүүчүсү. Газдардын теориясы жана газдар менен суюктуктардын бири бирине айланышы боюнча маанилүү эмгектер (жогорку температурада газ суюктукка айланбай турган критикалык температуранын ачылышы) жөнүндөгү корутунду Д. И. Менделеевге таандык. Коомдук алдыңкы ишмер Д. И. Менделеев Россиянын өндүргүч күчтөрүн өнүктүрүү үчүн, пайдалуу кендерди пайдаланууда жана химиялык өндүрүштү өнүктүрүүдө көп иш жасаган.

суюк жана газ абалдарына туура келүүчү чекит улам жакындай берип, белгилүү температурада бул эки чекит (сызык) дал келишет (биригишет), б. а. 109-сүрөттөгү графикте K чекити. Графиктин горизонталь бөлүгү K чекитине айланат, суюктук менен анын буусунун айырмасы жоголот (графикте K чекити).



107-сүрөт.

● Ошол К чекитине туура келген абал критикалык абал деп, туура келген температура критикалык температура ($T_к$) деп, басым – критикалык басым ($P_к$), көлөм критикалык көлөм ($V_к$) деп аталат.



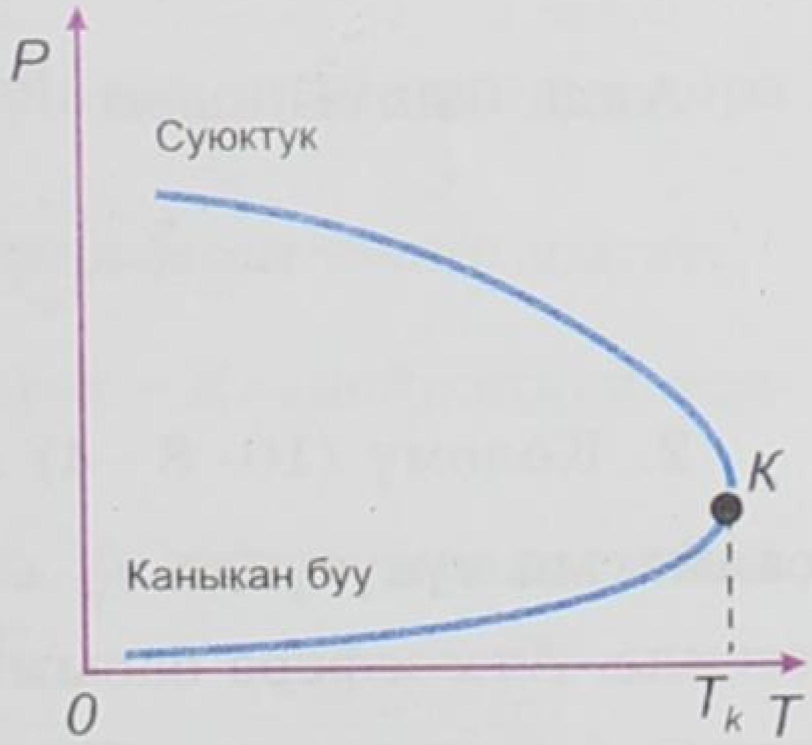
108-сүрөт.

Температуранын жогорулашы менен жабык идиште суюктуктун тыгыздыгы азая берет да, буунуку (газдыкы) чоңоё берип, газдын тыгыздыгы максималдуу абалга, суюктуктун тыгыздыгы минималдуу абалга жетет. Изотермалык кысуу менен газды суюктукка айландырууга мүмкүн эмес.

Мисалы, суу үчүн критикалык температура – 374,15°C; кычкылтек үчүн –118,85°C, суутек үчүн – 239,95°C ж. б.

Демек, түрдүү заттар үчүн, анын критикалык температуралары ар түрдүү болот.

Газды биринчи жолу суюк абалга айландырган М. Фарадей болгон. Ал суюк хлорду ж. б. бир топ газдарды суюк түрүндө алган.



109-сүрөт.

Кычкылтекти, азотту, суутекти ж. б. суюк абалда алуу кыйын болгон, себеби алардын критикалык температуралары өтө төмөн болгон. Муну Д. И. Менделеев адегенде ал газдарды аябай муздатып, анан кысуу керек деп түшүндүргөн.

? 1. Идеалдык газ менен реалдык газдын айырмасы эмнеде? 2. Менделеев – Клапейрондун теңдемеси кандай жазылат, ал кандай газдар үчүн? 3. Реалдык газдын теңдемеси кандай, ким тарабынан киргизилген, түшүндүрүп бергиле. 4. Критикалык абал деп кандай абалды айтабыз? 5. 109-сүрөттөгү графиктеги *K* чекити жөнүндө эмне айтса болот?

Газ закондоруна маселе чыгаруунун мисалдары

1. Сыйымдуулугу 12 *л* болгон баллондо – 3°C температурадагы суутек бар. Аны температурасы 27°C болгон баллонго киргизгенде, ага бириктирилген манометр $2 \cdot 10^5$ *Па* басымды көрсөткөн. Баштапкы жана акыркы басымдарды аныктагыла.

Берилди:

$V = 12\,л = 12 \cdot 10^{-3}\,м^3$

$T_1 = 270\,K$

$T_2 = 300\,K$

$\Delta P = 2 \cdot 0{,}98 \cdot 10^5\,Па$

$P_1 - ?\quad P_2 - ?$

Чыгаруу:

Процесс изохоралык, демек Шарль закону боюнча V=const $T=(t+273)\,K$ жана $\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2}$, мындан $P_1 = \frac{\Delta P}{\Delta T} \cdot T_1$, $P_2 = \frac{\Delta P}{\Delta T} \cdot T_2$. Сан маанилерин коюп эсептесек

$$P_1 = \frac{2 \cdot 0{,}98 \cdot 10^5\,Па \cdot 270^0\,K}{30^0\,K} = 18 \cdot 0{,}98 \cdot 10^5\,Па,$$

$$P_2 = \frac{2 \cdot 0{,}98 \cdot 10^5\,Па \cdot 300^0\,K}{30^0\,K} = 20 \cdot 0{,}98 \cdot 10^5\,Па.$$

Демек, манометрдин көрсөтүүсү $19\frac{КГС}{см^2}$.

Анда баштапкысы $P_1 = 17\frac{КГС}{см^2}$, акыркысы $P_2 = 19\frac{КГС}{см^2}$.

Жообу: $P_1 = 17\frac{КГС}{см^2}$, $P_2 = 19\frac{КГС}{см^2}$.

2. Көлөмү $(10 \cdot 8 \cdot 4)\,м^3$ бөлмөдөгү абанын массасын жана салмагын түнүчүндө $t_т = 7^0C$, күндүз $t_к = 25^0C$ кезинде эсептегиле. Атмосфера басымы нормалдуу жана өзгөрбөйт.

Берилди:	Чыгаруу:
$V = 320\ м^3$ $T_т = 280\ K$ $T_к = 298\ K$ $\rho = 1{,}29\ \frac{кг}{м^3}$	$P = \mathrm{const}$. Демек процесс Гей-Люссак закону на баш ийет. Анда абанын тыгыздыгы жогорку эки учурда:
$m_1 - ?\ m_2 - ?$ $P_1,\ P_2 - ?$	

$$\rho_1 = \frac{\rho_0 \cdot T_0}{T_1};\ \ \rho_2 = \frac{\rho_0 \cdot T_0}{T_2};\ \ T = (t + 273)\,K.$$

Тыгыздык боюнча: $m = \rho \cdot V$. Анда жогорку эки учур $P_0 = 10^5\,Па$ үчүн

$$m_1 = \frac{V \cdot \rho_0 \cdot T_0}{T_1},\ \ m_2 = \frac{V \cdot \rho_0 \cdot T_0}{T_2}.$$

Ал эми салмактары: $P_1 = m_1 \cdot g$, $P_2 = m_2 \cdot g$. Эми сан маанилерин коюп эсептесек

$$m_1 = \frac{320\,м^3 \cdot 1{,}29\,\frac{кг}{м^3} \cdot 273^0\,K}{280^0\,K} = 402\,кг,$$

$$m_2 = \frac{320\,м^3 \cdot 1{,}29\,\frac{кг}{м^3}}{298^0\,K} = 378\,кг.$$

Ал эми: $P_1 = 3935\,H$, $P_2 = 3700\,H$.

Жообу: $7^\circ C$ де $m_1 = 402\,кг$, $P_1 = 3935\,H$,
$25^\circ C$ де $m_2 = 378\,кг$, $P_1 = 3700\,H$.

IX главадагы эң негизги маалыматтар

Газдын негизги параметрлери: басым – P, көлөм – V, температура – t°C, T K.

Эгер $T = \mathrm{const}$ болсо, ал изотерма процесси болуп, Бойль – Мариотт закону орундалат, б. а. $T = \mathrm{const}$; $PV = \mathrm{const}$.

Эгер $P = \mathrm{const}$ болсо, ал изобара процесси болуп, Гей-Люссак закону орундалат, б. а. $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$.

Эгер $V = \mathrm{const}$ болсо, $\frac{T_1}{T_2} = \frac{P_1}{P_2}$ – Шарль закону болуп изохора процесси жүрөт.

Бул үчөө тең өзгөргөндө Клапейрон теңдемеси келип чыгат.

$\frac{V_1 P_1}{T_1} = \frac{V_2 P_2}{T_2}$; $\frac{PV}{T} = \frac{m}{\mu}$ R – Менделеев – Клапейрондун теңдемеси.

Температуралардын абсолюттук же Кельвин шкаласы менен Цельсий шкаласынын байланышы:

$$T = (t^\circ + 273)\,K,\ \ t = (T - 273)\,^\circ C.$$

X глава

ТЕРМОДИНАМИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ

Термодинамика жөнүндө

«Термодинамика» деген сөз «termo» жана «dynamis» деген грек сөздөрүнөн куралган. Биринчи сөз «жылуулук», ал эми экинчиси мурда: «күч» жана «жумуш» деген эки мааниге ээ болгон. Демек, термодинамика – жылуулук жана жумуш жөнүндөгү окуу.

Термодинамика илим катары XIX кылымдын биринчи жарымында түзүлгөн. Анын пайда болушу жана өнүгүшү жылуулук кыймылдаткычтарын түзүү менен шартталган. Термодинамика адегенде отун энергиясын механикалык энергияга өзгөртүүгө байланыштуу болгон маселелердин тобун өз ичине камтыган. Термодинамиканы негиздөөчүлөрдүн бири француз окумуштуусу С. Карно 1824-жылы өзүнүн «Оттун кыймылдатуучу күчү жана бул күчтү пайда кылууга жөндөмдүү машинелер жөнүндө ой жүгүртүү» деген эмгегинде термодинамиканын негиздерин түзгөн. Азыркы убакта термодинамика ыкмалары физикада гана эмес, химияда, биологияда жана башка табият таануу илимдеринде кеңири колдонулган өз алдынча илим.

Термодинамикада бардык кубулуштар, алардын механизмдери боюнча көзкарашта эмес, энергияны бул кубулуштарда өзгөртүп түзүүнүн жүрүшү боюнча көзкарашта каралат.

§ 43. Идеалдык жана реалдык газдын ички энергиясы, анын өзгөрүү жолдору

Идеалдык газдар реалдык газдар сыяктуу эле молекула, атомдордон тураарын билебиз. Ал молекула, атомдор тынымсыз хаотикалык кыймылда. Демек, алар кыймыл менен шартталган кинетикалык энергияга ээ. Ошондой эле ал молекула, атомдор өзара аракеттенишкендиктен потенциалдык энергияга да ээ болушат.

Затты түзгөн атомдор менен молекулалардын кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасы ички энергия деп аталат.

Нерсе ички энергиянын кандайдыр бир үнөмдүүлүгүнө ээ. Ошол эле мезгилде ал механикалык да энергияга ээ. Мисалы, жерден кандайдыр бир бийиктикте учуп бара жаткан снарядды

алсак, ал ички энергияга ээ, ошол эле мезгилде механикалык: кинетикалык жана потенциалдык энергияга да ээ.

Нерсенин ички энергиясы өзгөрүүдө да болот. Мисалы, температура жогоруласа ички энергия көбөйөт. Себеби анын атом, молекулаларынын хаотикалык кыймылы жогорулагандыктан кинетикалык энергиясы өсөт, демек, ички энергиясы чоңоёт. Температуранын төмөндөшү менен ички энергия азаят. Нерсе бир агрегаттык абалдан экинчисине өткөндө, деформацияга дуушар болгондо, майдаланганда ж. б. учурларда ички энергия өзгөрөт, себеби бардык ушул учурларда нерсени түзгөн бөлүкчөлөрдүн өзара жайланыш абалы, демек, потенциалдык энергиясы, б. а. ички энергиясы өзгөрөт. Нерсенин ички энергиясы эки жол менен өзгөрүшү көп байкоолордон, тажрыйбалардан белгилүү болду.

1) Нерсеге жылуулук санын берүү менен.

2) Ошол нерсенин үстүндө механикалык жумуш аткаруу жолу менен.

Нерсеге жылуулук санын берүүнүн: жылуулук өткөрүмдүүлүк, конвекция, нурдануу деп аталган түрлөрү бар экенин билебиз.

Нерсенин ички энергиясынын жумуш аткарылбастан өзгөрүү процесси жылуулук берүү деп аталат.

Жылуулук энергиянын берилишинин микроскопикалык формасы болуп саналат. Мисалы, кыштын суук күндөрүндө үшүп кетсек отко жылынабыз. Же кыймылдап, чуркап, түртүшүп, отун жарып ж. б. механикалык жумуш аткарсак ысып, тердеп кетебиз.

Бир кесек зымды отко салып ысытууга болот, же бир нерсеге катуу сүргүлөп, же ары-бери бүктөп жиберсек да ысып кетет.

Колубуз тоңуп, камтууга келбей калса отко жылынабыз, же колдорубузду ушалап, бири бирине сүрүп жиберсек да жылып калат ж. б.

Ушул жана ушуга окшогон көп мисалдардан, ички энергияны эки жол менен: жылуулук санын берүү, же механикалык жумуш аткаруу менен өзгөртүүгө мүмкүн экендигин байкадык.

Ички энергияны гректин U тамгасы менен белгилешет. Бизди ички энергиянын өзү эмес, анын өзгөрүшү ΔU кызыктырат. Себеби ички энергиянын өзгөрүшү менен канча өлчөмдөгү жумуш аткарылгандыгын билебиз. Ички энергиянын бирдиги үчүн *Дж* ж. б. кабыл алынган. Ички энергия математикалык түрдө төмөнкүчө туюнтулат:

$$\boxed{U = (E_к + E_п) \cdot N}\ , \qquad (10.1)$$

мында $E_к$ – кинетикалык, ал эми $E_п$ – потенциалдык энергиялар. Тактоо иретинде айтсак, идеалдык газдын ички энергиясын § 39 тан карагыла.

? 1. Ички энергия деп эмнени айтабыз? 2. Ички энергияны кантип өзгөртүүгө болот? 3. Ички энергиянын өзгөрүү жолдоруна мисалдар келтиргиле. 4. Жылуулук берүү деп эмнени айтабыз? 5. Ички энергия кандай тамга менен белгиленет? 6. Ички энергиянын өзгөрүшү деп эмнени түшүнөсүңөр, бирдиги кандай?

§ 44. Жылуулук саны жана анын формуласы

Нерсени ысытуу үчүн ага берилген, же нерсе муздаганда андан бөлүнүп чыккан ички энергиянын саны жылуулук саны деп аталат.

Жылуулук саны гректин Q тамгасы менен белгиленет. Жылуулук санынын бирдиги үчүн каллория, килокаллория кабыл алынган. СИде *Дж* менен өлчөнөт.

1 г сууну 1 градуска ысытуу үчүн зарыл болгон жылуулук саны каллория (кал) деп аталат.

Каллориядан *(кал)* миң эсе чоң *ккал*: же 1*ккал*$=10^3$ *кал*.

Эми заттын салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу менен таанышабыз.

Заттын бирдик массасын 1°С ге ысытуу үчүн зарыл болгон, же зат 1°С ге муздаган кезде бөлүнүп чыккан жылуулук саны заттын салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу деп аталат.

Салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу «с» тамгасы менен белгиленет. Эгер t_1°С ден t_2°С ге чейин ысытуу үчүн керек болгон жылуулук санын Q десек, анда жогорку аныктоонун негизинде салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$$ (10.2) формуласы менен туюнтулат.

Бирдиктери: $\frac{кал}{г \cdot град}$; $\frac{ккал}{кг \cdot гра}$, СИде $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$.

Түрдүү заттардын салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулуктары түрдүү болот. Алар жөнүндө VIII класстан таанышкансыңар.

Мисалы, суу үчүн $c = 1\frac{кал}{г \cdot град}$ же СИде $c = 4200\frac{Дж}{кг \cdot °C}$. Бул сан төмөнкүчө түшүндүрүлөт:

Бул массасы 1 *кг* сууну 1°Сге ысытуу үчүн 4200 *Дж* жылуулук берүү керек, же 1 *кг* суу 1°Сге муздаган кезде 4200 *Дж* жылуулук саны бөлүнүп чыгат деген сөз.

Заттын бирдик массасы ысышы үчүн алган жылуулугун муздаганда ушул эле өлчөмдө бөлүп чыгарат. Заттын салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу белгилүү болсо, алган же берген

жылуулук санын эсептөөгө болот, б. а. (10.2) формуласынан:

$$\boxed{Q = cm(t_2 - t_1)}, \qquad (10.3)$$

мында Q – жылуулук саны, c – салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу, m – масса, ал эми t_1 жана t_2 – баштапкы жана акыркы температуралар.

Бирдиги СИде $[Q] = \left[\frac{Дж}{кг \cdot град} \cdot кг \cdot {}^\circ C\right] = [Дж]$, б. а. $[Q] = [Дж]$.

$1\,кДж = 10^3\,Дж$, $1\,мДж = 10^{-3}\,Дж$.

Жылуулук санынын СИдеги бирдиктеринин байланышы:
1 *ккал* = 4200 *Дж*, 1 *кал* = 4,2 *Дж*.

Эгер $t^\circ_2 - t^\circ_1 = \Delta t^\circ$ – температуранын өзгөрүшү десек, анда

$Q = cm\Delta t^0$ (10.4) болот же $\boxed{c = \frac{Q}{m\Delta t}}$. (10.5)

? **1.** Жылуулук саны деп эмнени айтабыз? **2.** Ал кандай тамга менен белгиленет? Бирдиктери кайсылар? **3.** Салыштырма жылуулук сыйымдуулугу деп эмнени айтабыз? Формуласы, бирдиктери кандай? **4.** Нерсе алган, же берген жылуулук санын эсептөөнүн формуласы кандай? **5.** Салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулук, мисалы $800\frac{Дж}{кг \cdot {}^0C}$ десе, муну кантип түшүнөбүз? **6.** Эмне үчүн жылытуу системаларында сууну пайдаланабыз? **7.** *Дж* жана *кал* бирдиктеринин байланышы кандай?

§ 45. Термодинамикадагы жумуш. Жумуштун *P, V* координата окторунда мүнөздөлүшү

Мурунку темада нерсенин ички энергиясынын өзгөрүшүнүн бир түрү жылуулук берүү экендиги менен тааныштык.

Эми ички энергияны өзгөртүүнүн дагы бир жолу менен, жумуш аткаруу жолу менен өзгөртүү жолуна токтололук.

Механикадагы жумуш – бул күч менен которулушту бурчтун косинусуна көбөйткөнгө барабар экенин билебиз, б. а.

$$\boxed{A = F \cdot S \cdot \cos\alpha}. \qquad (10.6)$$

Бул механикадагы жумуштун жалпы формуласы. Механикада аткарылган жумуштун чоңдугу кинетикалык энергиянын өзгөрүшүнө барабар.

Ал эми термодинамикада болсо, нерсенин бүтүндөй которулушу каралбастан, макроскопикалык нерсенин бөлүкчөлөрүнүн бири бирине салыштырмалуу которулушу жөнүндө сөз кетет. Натыйжада нерсенин көлөмү өзгөрөт, ал эми анын ылдамдыгы нөл боюнча калат. Термодинамикадагы жумуштун учурунда, механикадагы сыяктуу нерсенин кинетикалык энергиясы өзгө-

рөт. Эмне себептен газды кысууда же ал кеңейүүдө жумуш аткарылат? Себебин жөнөкөй тажрыйбада карап көрөлү.

Капталдары калың цилиндрде поршень сүрүлүүсүз кыймылдай алат (110-сүрөт) дейли. Поршендин алдында көлөмү адегенде V_1ге барабар болгон газ бар болсун. Анын басымы «P» сырткы басымга барабар дейли. Ошондуктан поршень ошол абалда тең салмактуулукта турат. Эми цилиндрдеги газды ысытабыз. Анда ал кеңейип поршенди сыртты көздөй F күчү менен түртүп, оңго жылдырат (111-сүрөт). Газ кеңейип, поршенге F күчү менен аракет этип анын көлөмү V_2 болуп калып, басым ошол эле (P) боюнча калат.

Анда ушул учурдагы газдын жумушу:

$A = F(\ell_2 - \ell_1)$, ал эми $P = \dfrac{F}{S}$ же $F = P \cdot S$, мында S – поршендин бетинин аянты. Анда $A = P \cdot S(\ell_2 - \ell_1)$, бирок чиймеден $S\ell_2 = V_2$, ал эми $S\ell_1 = V_1$ болгондуктан $A = P(V_2 - V_1) = P\Delta V$, б. а.

$$\boxed{A = P\Delta V}. \qquad (10.7)$$

Ошентип, туруктуу басымда газ кеңейген кездеги анын аткарган жумушу, газдын басымы менен көлөмдүн өзгөрүшүнүн көбөйтүндүсүнө барабар.

Эгер газ кеңейсе, б. а. $V_2 > V_1$ болсо, жумуш оң ($A>0$) болот.

Эгер, тескерисинче газ кысылса, б. а. $V_2 < V_1$ болсо, анда жумуш ($A<0$) терс болот.

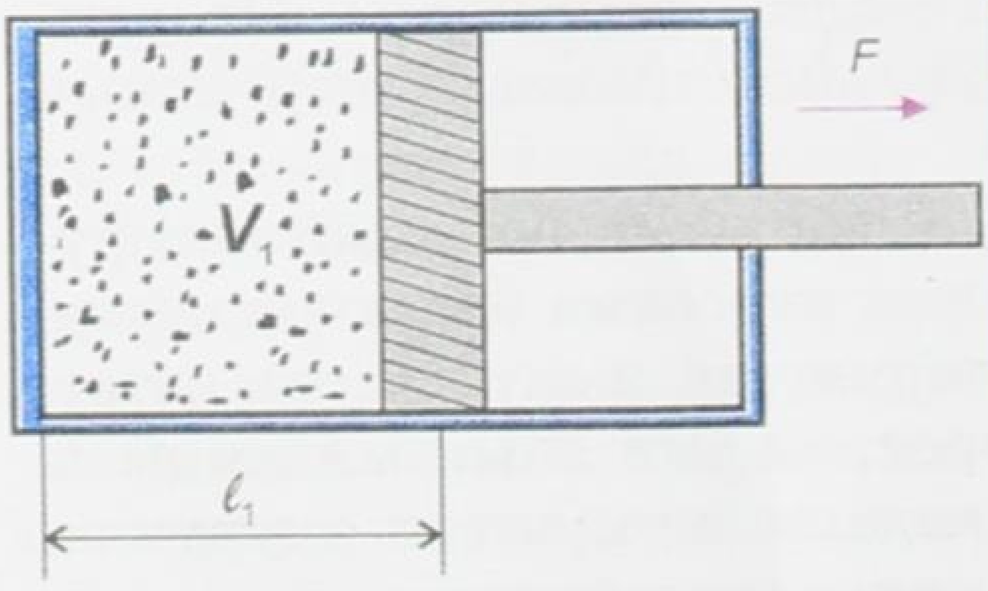
Эгер көлөм өзгөрбөй, басым менен температура өзгөрсө, анда газ жумуш аткарбайт, б. а. $\Delta V = 0$ болуп $A = 0$ болот.

Газдын үстүндө сырткы нерселердин аткарган жумушун A' десек, ал газдын аткарган жумушунун терс чоңдугуна барабар.

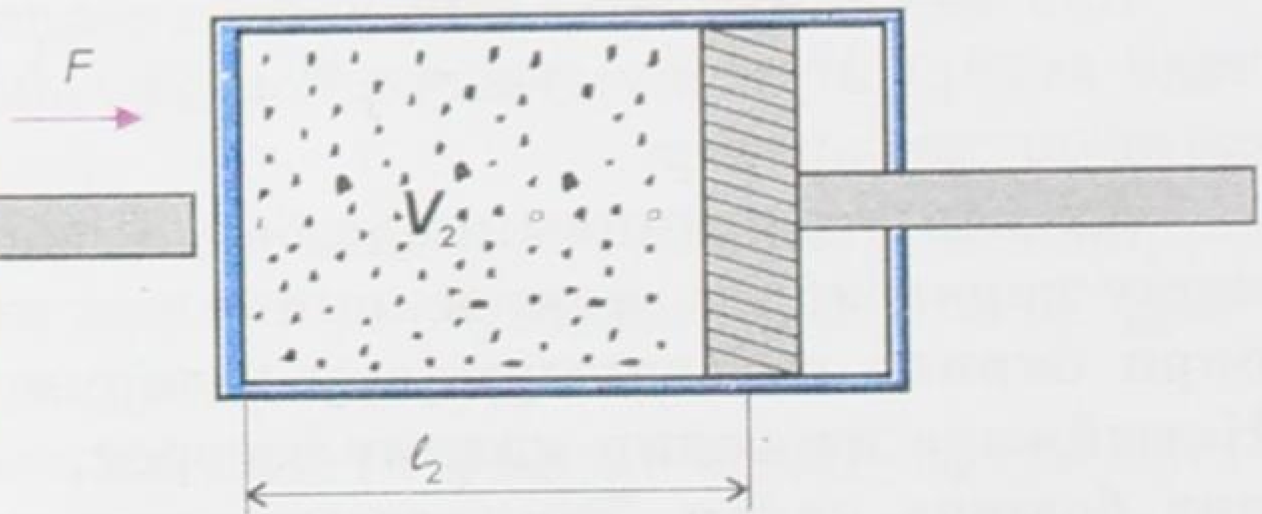
$$\boxed{A = -A' = P\Delta V}. \qquad (10.8)$$

Газды кысканда $(V_2 < V_1)$ сырткы күчтүн жумушу оң $(\Delta V < 0,\ A' > 0)$, себеби күч менен поршендин кыймыл багыты дал келет. Газ кеңейгендеги $V_2 > V_1$ сырткы күчтүн жумушу терс болот.

Себеби, $V_2 > V_1$ болгондо $\Delta V > 0$, ал эми $A' < 0$ болот. Сырткы күчтүн багыты менен поршендин жылган багыты карама-каршы. Ошондуктан жумуш терс сан болот.



110-сүрөт



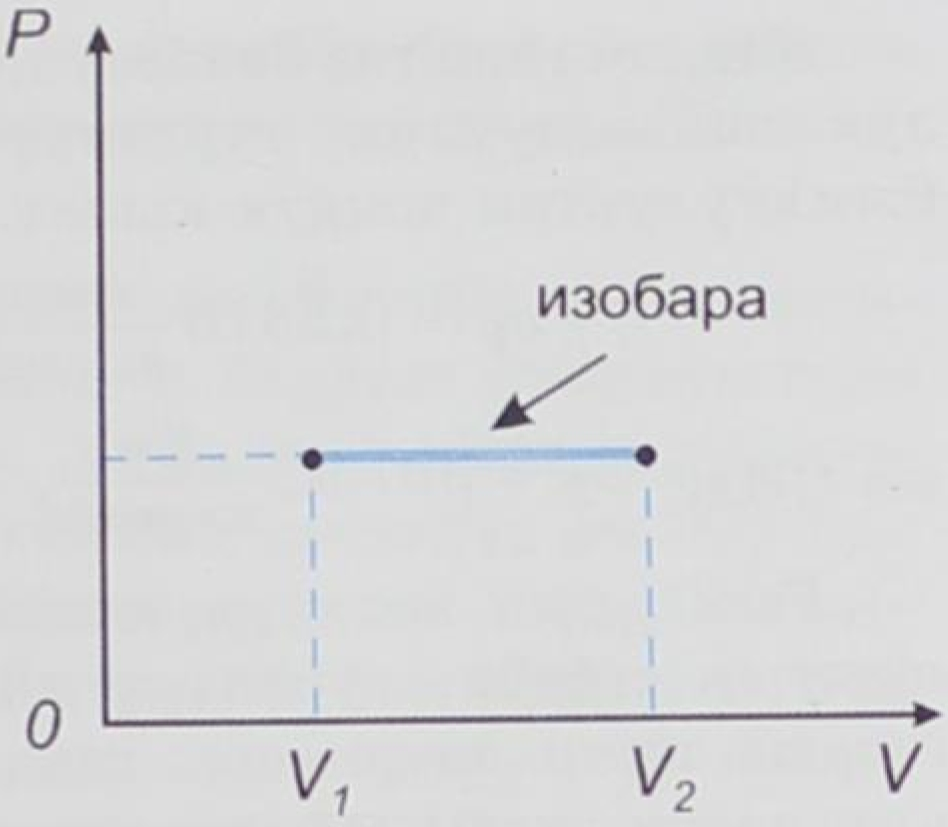
111-сүрөт.

Бул жумушту графикте (P, Vнын көзкарандылыгын) төмөнкүдөй кароого болот.

Басым өзгөрбөгөндүктөн ал абсцисса огуна жарыш сызык бойдон калат.

Ал эми жумуш (A) басым (P) менен көлөмдүн өзгөрүшүнүн ($\Delta V = V_2 - V_1$) көбөйтүндүсүнө барабар болот, б. а.

$$\boxed{A = P\Delta V}. \qquad (10.9)$$



112-сүрөт.

Демек, басым турактуу болуп газ кеңейгендеги аткарылган жумуш модулу боюнча штрихтелген төрт бурчтуктун аянтына барабар деген жыйынтыкка келебиз (112-сүрөт).

Эгер басым турактуу болбосо, анда ал төрт бурчтук элементардык төрт бурчтуктарга бөлүнүп, айрым-айрым эсептелет. Акыры баары бир ошол эле жогорудагы натыйжага келип калабыз.

? **1.** Газ кеңейген кездеги жумуштун формуласы кандай? **2.** Газ кеңейген кездеги жумуштун аныктамасы кандай айтылат? **3.** Газ кеңейген кездеги жумушка турмуштан мисал келтиргиле. **4.** Кайсы учурда жумушту терс дейбиз, эмне үчүн терс деп атайбыз? **5.** Кайсы учурда жумушту оң дейбиз, эмне үчүн оң дейбиз?

§ 46. Газдардын жылуулук сыйымдуулугу

Биз § 44 салыштырма жылуулук сыйымдуулук деген түшүнүк менен тааныштык жана ага төмөнкүдөй аныктама бердик.

Заттын бирдик массасын 1°Сге ысытуу үчүн зарыл болгон жылуулук саны салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу деп аталат.

Немец окумуштуусу Роберт Майер 1842-жылы жылуулук саны менен жумуштун арасындагы эквиваленттүүлүктү изилдеп, газдардын жылуулук сыйымдуулугу арасындагы айырманы байкаган. Газда эки түрдүү жылуулук сыйымдуулук болот. Турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулук – c_p жана турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулук c_v.

Турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулук – бул басымды өзгөртпөстөн газдын берилген массасын 1°С ге ысытууга кеткен жылуулук санына сан жагынан барабар болгон чоңдук аталат – (c_p).

Турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулук – бул газ ээлеген көлөмдү өзгөртпөстөн газдын берилген массасын 1°С ге ысытууга кеткен жылуулук санына сан жагынан барабар болгон чоңдук аталат – (c_v).

Кандай гана газ болбосун, турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулук, турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулуктан чоңдук кылат. Мисалы, аба үчүн

$$c_P = 0{,}2376\,\frac{ккал}{кг\cdot град}, \quad c_V = 0{,}1690\,\frac{ккал}{кг\cdot град},$$

же СИде $C_P = 997{,}92\,\frac{Дж}{кг\cdot град}$, $\quad c_V = 709{,}8\,\frac{Дж}{кг\cdot град}$.

Газдардын жылуулук сыйымдуулугундагы бул айырмачылыктын себеби, турактуу көлөм кезиндеги газды ысытканда газдын ички энергиясы гана чоңоёт. Ал эми турактуу басым кезиндеги газды ысытканда газдын ички энергиясы да чоңоёт жана газ кеңейип жумуш аткарат.

Мына ушул себептен ал экөөнүн ортосунда айырмачылык келип чыгат. Атайын таблицадан түрдүү газдар үчүн анын маанилерин табууга болот.

? 1. Немец окумуштуусу Р. Майер газдарда кандай түрдөгү жылуулук сыйымдуулуктары болорун айткан? 2. Турактуу басым кезиндеги жылуулук сыйымдуулук деп эмнени айтабыз? 3. Турактуу көлөм кезиндеги жылуулук сыйымдуулук деп эмнени айтабыз? 4. c_V менен c_P арасындагы айырмачылыкты кандайча түшүнөсүңөр?

20-көнүгүү

1. 425 *г* сууну 20°Сге ысытуу үчүн канча жылуулук керек?

2. Массасы 1,5 *кг* болот казанга 5 *кг* суу куюлган. Сууну 15°Сден 100°Сге ысытуу үчүн канча жылуулук берүү керек?

3. 600 *г* металлды 10°Сден 60°Сге ысытуу үчүн 13,8 *кДж* жылуулук сарпталган болсо, ал металлдын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу канча болгон жана ал кайсы металл?

4. 2 *кг* сууга 50,4 *кДж* жылуулук санын берген кезде ал канча градуска ысыган? $c_{суу}=4200\ \frac{Дж}{кг\cdot{}^0C}$.

5. Массасы 500 *г* алюминий идишинде 1,5 *кг* сууну 20°С ден 100°Сге ысытуу үчүн кандай жылуулук саны талап кылынат? $c_{суу}=4200\,\frac{Дж}{кг\cdot{}^0C}$, $c_{ал\text{-}м}=880\,\frac{Дж}{кг\cdot{}^0C}$.

§ 47. Термодинамиканын 1-закону жана анын математикалык туюнтулушу

Биз буга чейин физика курстарынан механикалык процесстердеги энергиянын айлануу жана сакталуу законун карап өткөн элек.

Жаратылышта энергия жоктон пайда болбойт, бардан жок болбойт, ал бир түрдөн экинчи түргө, бир формадан экинчи формага өтөт.

Бул механика курсундагы энергиянын айлануу жана сакталуу закону. Бул закон жаратылыштын бардык кубулуштары үчүн жалпы закон болуп эсептелет. Ал эч качан бузулган эмес, б. а. аткарылбай калган эмес. Энергиянын сакталуу закону XIX кылымда немец окумуштуусу, кесиби врач Р. Майер (1814–1878), англиялык окумуштуу Д. Джоуль (1818–1889) тарабынан ачылып, толук аныктамасы немец окумуштуусу Г. Гельмгольц (1821–1894) тарабынан берилген.

Ал эми жылуулук кубулуштарына тиешелүү (таралган) болгон энергиянын айлануу жана сакталуу закону термодинамиканын биринчи закону деп аталат.

Эгер системада сүрүлүү күчү аракет этсе, анда системанын механикалык энергиясы кемийт (азаят).

Мисалы, горизонталь тегиздик боюнча нерсе кыймылга келсе, ага сүрүлүү күчү таасир этет да, натыйжада убакыттын өтүшү менен анын ылдамдыгы азаят. Демек, анын толук механикалык энергиясы азаят. Бул учурда сүрүлүшкөн беттердин ысышы байкалат, б. а. анын ички энергиясы көбөйөт. Ошентип системанын механикалык энергиясы анын ички энергиясына айланат.

Ал эми механикалык энергия менен ички энергия системанын толук энергиясын түзөт. Энергиянын сакталуу закону боюнча: туюк системада толук энергия сакталат.

$$\boxed{E+U=\text{const}}\ , \qquad (10.9)$$

мында E – механикалык энергия, ал эми U – системанын ички энергиясы.

Эгер, система туюк болбосо, анда толук энергиянын өзгөрүшү системанын үстүндө аткарылган жумушка барабар. Бул учурда системанын механикалык энергиясы өзгөрбөй калышы мүмкүн да, анын ички энергиясы гана өзгөрүп калат. Эгер, бир эле мезгилде системанын үстүнөн A' жумушу аткарылсын жана ошол эле учурда ага Q жылуулук саны берилсин, б. а. поршендин астында турган газ кысылып жана ошол эле мезгилде ага кандайдыр бир сандагы жылуулук берилсин десек, бул учурда ички энергиянын өзгөрүшү ΔU системага берилген жылуулук саны менен системанын үстүнөн аткарылган сырткы күчтүн жумушунун суммасына барабар, б. а.

$$\boxed{\Delta U = A' + Q}\ . \qquad (10.10)$$

Сырткы күчтүн жумушу (A') системанын аткарган жумушунун терс белгиде алынган чоңдугуна барабар. Ошондуктан төмөнкүдөй жазууга болот:

$$\boxed{Q = \Delta U - A'} \quad (10.11) \text{ бирок } A' = -A \quad \text{болгондуктан}$$

$$\boxed{Q = \Delta U + A} \, . \qquad (10.12)$$

Бул (10.12) барабардык энергиянын сакталуу жана айлануу законун туюндурат да термодинамиканын биринчи закону деп аталып, анын математикалык туюнтмасын түшүндүрүп төмөндөгүчө окулат:

Системага берилген жылуулук саны анын ички энергиясын жогорулатууга жана сырткы күчкө каршы жумуш аткарууга жумшалат.

Же жогорку (10.11) формуладан $\boxed{\Delta U = A' + Q}$ (10.13)

Демек, ички энергиянын өзгөрүшү, система бир абалдан экинчи абалга өткөн кезде, сырткы күчтүн жумушу (A') менен системага берилген жылуулук санынын суммасына барабар.

Көп учурларда системанын үстүнөн аткарылган сырткы күчтөрдүн жумушунун (A') ордуна системанын өзүнүн аткарган жумушу (A) каралат. Б. а. $A' = -A$ экенин эске алып, (10.13) формуласын төмөнкү формада жазса болот:

$$\boxed{Q = \Delta U + A} \, . \qquad (10.14)$$

Системага берилген жылуулук саны анын ички энергиясын өзгөртүүгө жана сырткы күчтөрдүн системасынын үстүнөн аткарган жумушуна жумшалат.

Мына ушулардын (10.11–10.14 формулалардын) бардыгы тең термодинамиканын биринчи законунун математикалык туюндурулушу, б. а. жылуулук кубулуштарындагы сакталуу жана айлануу закону болуп эсептелет.

§ 48. Термодинамиканын 1-законунун түрдүү процесстерде колдонулушу, ал процесстер учурундагы жумуш

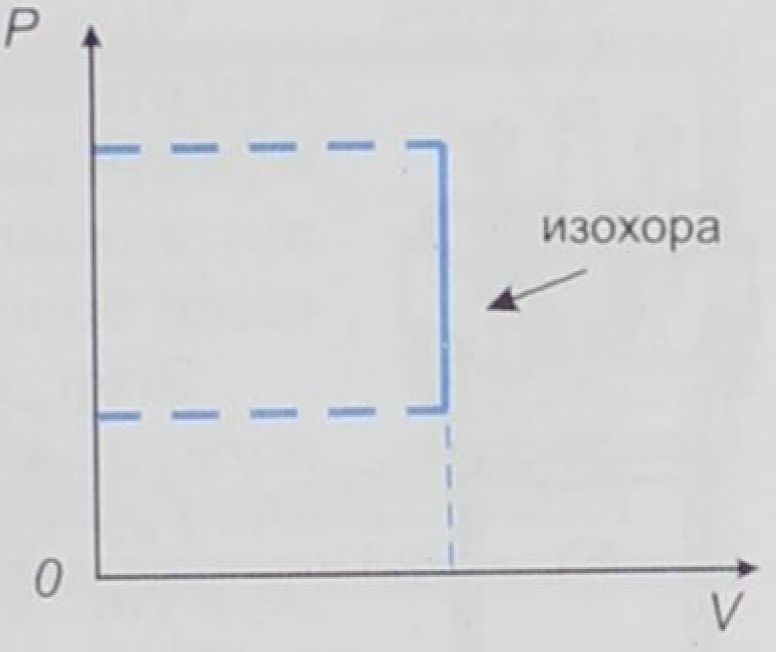
Термодинамиканын биринчи законунун жардамы менен түрдүү процесстердин мүнөзү жөнүндө маанилүү корутундуларды жасоого болот. Биз эң жөнөкөй учурду, система идеалдык газды элестеткен учурду карайлы.

Изохора процесси

Бул процессте V көлөм өзгөрбөйт, ошондуктан газ аткарган жумуш нөлгө барабар, б. а. $A = P(V_2 - V_1)$; $V_2 - V = \Delta V$; же $V_2 = V_1$ болгондуктан $\Delta V = 0$.

Демек, $\Delta U = Q$ ички энергиянын өзгөрүшү системага берилген жылуулук санына барабар. Эгер газ ысыса $Q > 0$ анда; $\Delta U > 0$ болот. Б. а. системанын ички энергиясы чоңоет (113-сүрөт).

Газ муздаса $Q < 0$ жана $\Delta U = U_2 - U_1 < 0$ ички энергиясы азаят.



113-сүрөт.

Изотерма процесси

Бул процессте T=const. Идеалдык газдын ички энергиясы өзгөрбөйт. Системага берилген жылуулук саны жумуш аткарууга сарпталат, б. а.

$$\boxed{Q = A}.$$

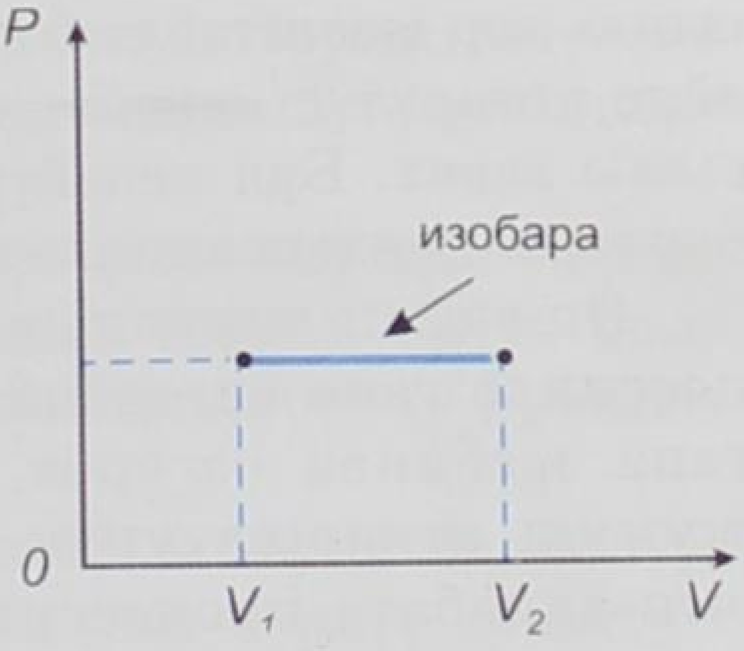
Эгер газга жылуулук берилсе, б. а. $Q>0$, $A>0$ болуп, анда оң жумуш аткарылат. Тескерисинче, газ айлана-чөйрөгө жылуулук берсе $Q<0$ жана $A<0$. Газдын үстүнөн сырткы күчтөрдүн аткарган жумушу акыркы учурда оң болот (114-сүрөт).

114-сүрөт.

Изобара процесси

Бул процессте системага берилген жылуулук саны системанын ички энергиясын өзгөртүүгө жана турактуу басым (P=const) кезинде жумуш аткарууга кетет, б. а. $Q = \Delta U + A$.

Эгер газ ысыса $Q>0$, ал кеңеет да оң жумуш аткарылат, б. а. $A>0$ болот да бир эле учурда ички энергиясы чоңоюп, $U>0$ болот.



115-сүрөт.

Газ муздаса $Q<0$, сырткы күчтөр ага карата терс жумуш аткарышат ($A<0$) жана ички энергиясы кичирейет, б. а. $\Delta U<0$ болот (115-сүрөт).

Адиабата процесси

Жылуулук туюкталган (изоляцияланган) системадагы процесс адиабата процесси деп аталат.

Бул учурда системада айлана-чөйрө менен жылуулук алмашуу болбойт.

Ошондуктан $Q = 0$ болот да $\boxed{-\Delta U = A}$. Демек системанын ички энергиясынын өзгөрүшүнөн жумуштун аткарылышы болот.

116-сүрөт.

Чынында системаны абсолюттук түрдө жылуулук өткөзбөй тургандай катмар менен каптап коюу мүмкүн эмес. Бирок процесс тез өткөндө жылуулук алмашуу дээрлик болбойт деп болжолдуу эсептесек болот.

Эгер газ кысылса, $\Delta U>0$, системага карата оң жумуш $A>0$ аткарылып, газ ысыйт.

Газ кеңейсе, тескерисинче, $\Delta U<0$, газ өзү оң жумуш аткарат. $A>0$, анын ички энергиясы азайып, газ муздайт.

Тез кыскан кезде абанын (газдын) ысышы дизель кыймылдаткычында колдонулат. Цилиндрге күйүүчү аралашма эмес, атмосфералык аба сордурулуп киргизилет. Кысуу тактысынын акырында цилиндрдин ичине атайын форсунканын жардамы менен суюк отун чачыратылат (116-сүрөт). Ушул моментте тез кысылган абанын температурасы эң эле жогору болгондуктан, күйүүчү отун дүрт этип күйүп, газ поршенди төмөн тээп, кеңейип, өзү жумуш аткарат, газдын жумушу оң жумуш болот: $A>0$.

Кеңейүүдө газдын адиабаттык муздашы газдарды суюлтуучу машинелерде колдонулат.

Адиабаттык кеңейүү кезинде газдын муздашы жер атмосферасында зор масштабда болуп өтөт. Ысыган аба жеңил болгондуктан өйдө көтөрүлүп кеңейет, себеби улам көтөрүлгөн сайын абанын басымы азаят. Бул кеңейүү муздоо менен коштолот. Натыйжада суу буулары конденсацияланып, булуттар пайда болот.

Ошентип идеалдык газдын ички энергиясы изотерма процессинде гана өзгөрбөйт, изохора процессинде ал жылытуунун гана эсебинен өзгөрөт, изобара процессинде жылытуунун да, жумуш аткарылуунун да эсебинен ички энергия өзгөрөт. Ал эми адиабата процессинде жылуулук алмашуу болбогондуктан ички энергиянын өзгөрүшүнүн эсебинен жумуш аткарылат, б. а. $\boxed{Q=\Delta U+A}$ дан $Q=0$ болгондуктан $\boxed{A=-\Delta U}$.

? 1. Термодинамиканын биринчи законуна аныктама бергиле. 2. Термодинамиканын биринчи законунун математикалык туюнтулушун жазып бергиле. 3. Адиабата процесси деген кандай процесс? 4. Адиабата процессинде жумуш эмнеге барабар?

§ 49. Кайталануучу жана кайталанбоочу процесстер. Жылуулук процессинин кайталанбоочулугу

Кайталануучу процесстер идеалдык шартта гана болуп өтүшү мүмкүн. Мисалы, вакуум шартында жылма беттүү ийри ноочо бар дейли. Ал ийри ноочодо кандайдыр бир бийиктигинен шар-

чаны томолотолу. Анда ал шарча көп жолу бирдей бийиктикке көтөрүлүп термелүү процессин көп жолу кайталайт (117-сүрөт). Бирок турмушта ал процесс эң эле аз жолу кайталанылат да кайталанбоочу процесске өтөт. Себеби оордук жана сүрүлүү күчү таасир этет.

117-сүрөт.

Кайталанбоочу термодинамикалык процесстер.

Кайталанбоочулук түшүнүгү – бул маанилүү илимий түшүнүктөрдүн бири болуп эсептелет. Ал эмнени билдирет? Биз өзүбүздүн күндөлүк турмушубуздан, байкоолорубуздан билебиз, жылуулук дайыма ысыгыраак нерседен муздагына берилет, ал эми муздагыраак нерсе ысыгыраагынан жылуулукту алат. Бул жылуулук алмашуу термодинамикалык тең салмактуулук (ысык-муздак нерселердин температурасы теңелгенче) орногончо болуп турат.

Термодинамиканын биринчи законунун көзкарашы боюнча, ысык нерсе муздак нерседен жылуулукту алып ого бетер ысыйт да, муздагы ысык нерсеге жылуулугун берип, өзү ого бетер муздашы керек. Бул учурда деле системанын толук энергиясы сакталат.

Бирок эч качан өз алдынча мындай процесс – муздак нерсенин ысык нерсеге жылуулуктун берилиши болгон эмес болбойт, б. а. жылуулук алмашуу процесси кайталанбоочу процесс болуп эсептелет.

Дагы мисал, диффузия кубулушу бизге жакшы белгилүү. Идиште тыгыздыктары эки башка болгон эки түрдүү суюктук болсун. Адегенде ал экөөнүн ортосунда ачык бөлүнгөн чек болсун. Бир аз убакыттан кийин, диффузиянын натыйжасында эки суюктук аралашып, тең салмактуулук түзүлөт да тыгыздыгы бардык жеринде бирдей болуп калат. Тескери процесс бул эки суюктуктун кайрадан өз-өзүнчө бөлүнүп, баштапкы абалына келиши мүмкүн эмес. Ошентип, диффузия кубулушу да кайталанбоочу процесстерге мисал боло алат.

Тактага түшүп кеткен шар өзүнөн-өзү ошол бийиктикке жете албайт, себеби ал тактага келип тийгенде анын энергиясынын кандайдыр бир бөлүгү урунушкан жердин, абанын ички энергиясына айланып кеткен болот. Эгер, абанын каршылыгы жок болуп, урунуу абсолюттук серпилгичтүү болсо, анда ал баштапкы түшкөн бийиктигине чейин көтөрүлүп, ал процесс кайталануучу болгон болор эле. Бирок чындыгында кыймыл сүрүлүүсүз

болбойт жана да абсолюттук серпилгич урунушуу да болбойт. Ошондуктан, реалдык (чыныгы) кыймылдын бардыгы кайталанбоочу процесстерге кирет.

Демек кайталанбоочу процесстер деп өз алдынча анын тескери процесси боло албаган процесстер эсептелишет.

Процесс кайталануучу болсун үчүн эмне кылуу керек? деген суроо пайда болот. Мисалы, тактага түшкөн шариктин учурунда, ага кандайдыр бир энергиянын булагын бириктирүү керек. Ал булактын энергиясы сүрүлүү күчүнүн жумушуна корогон энергиянын бөлүгүнө, шар менен тактанын урунушу учурундагы деформациялануунун натыйжасындагы ички энергияга айланган энергиянын бөлүгүнө да жеткендей болушу керек, б. а. ошол тактайга урунган шардын жогору карай кеткен кыймылы, бөлүкчөсү болуп эсептелген татаал процессти ишке ашыруу керек.

Ошондой эле, температурасы төмөн нерседен температурасы жогору болгон нерсеге жылуулуктун берилишин да ишке ашырууга болот. Бирок ал үчүн энергияны берүүчү атайын түзүлүш керек, б. а. муздагыраак нерседен ысыгыраак нерсеге жылуулукту берүүнү ишке ашыра турган бөлүккө ээ болуучу татаал процессти ишке ашыруу керек. Ошентип, кайталанбоочу процесс – бул ага тескери процесстин бир гана звеносу болуп эсептелген татаалыраак процесс болуп эсептелет. Буга окшогон мисалдарды көп эле келтире берүүгө болот.

§ 50. Жылуулук кыймылдаткычтары. Карно цикли. ПАК

Илимий-техникалык прогресстин негизги багыттарынын бири болуп энергетиканы, ошондой эле жылуулук энергетикасын өнүктүрүү эсептелет.

Жылуулук энергетикасы – бул нерселердин ички энергиясын пайдаланууга байланышкан эл чарбачылыгынын бир тармагы болуп эсептелет.

Ал эми нерселердин ички энергиясын пайдалануу үчүн, ошол энергиянын эсебинен жумуш аткара алуучу атайын түзүлүш болуусу зарыл.

Ички энергияны механикалык энергияга айландыруучу түзүлүштөр жылуулук кыймылдаткычтары деп аталат.

Жылуулук кыймылдаткычтарынын ар кандай түрлөрү болот: буу машинелери (Ползуновдун буу машинеси),– буу турбиналары, ичтен күйүүчү дизелдик жана карбюратордук кыймылдаткычтар, реактивдүү кыймылдаткычтар.

Кыймылдаткычтын конструкциясындагы, иштешиндеги айрым өзгөчөлүктөрүндөгү айырмага карабастан, иштөөсүнүн жалпы принциби бардыгында бирдей.

Жылуулук кыймылдаткычынын негизги бөлүктөрү, алардын өзгөчөлүктөрүнө карабастан негизги үч бөлүктөн турат: 1) жумушчу тело; 2) ысыткыч; 3) муздаткыч.

Бул бөлүктөрдүн кызматын айрым-айрым карап чыгалы.

Жумушчу телосу

Жылуулук кыймылдаткычында ички энергиянын механикалык энергияга айлануусу жүрөт. Демек, ички энергиянын эсебинен жумуш аткарыла турган термодинамикалык системанын болушу зарыл. Буга окшогон термодинамикалык система болуп жылуулук кыймылдаткычынын жумушчу телосу эсептелет. Механикалык жумуш термодинамикалык системанын ысышынын, же кеңейишинин эсебинен аткарылат. Кысылуу же кеңейүү канча чоң болсо, аткарылган жумуш ошончо чоң болот. Бардыгынан жакшы кеңейүүчү же кысылуучу болуп газ эсептелет. Ошондуктан жумушчу катарында газ же буу колдонулат. Мисалы, буу машинеси менен буу турбиналарынын жумушчу телосу өтө ысытылган буу, ал эми ичтен күйүүчү кыймылдаткычтарда – газ абалындагы күйүүчү аралашма (газ абалындагы бензин, керосин ж. б.) эсептелишет.

Ысыткыч

Механикалык жумуш ички энергиянын эсебинен аткарылып жаткан соң, сөзсүз, ал жумушчу телодо жетишээрлик өлчөмдө чоң болушу зарыл, б. а. жумушчу нерсе ысытылышы керек. Ошондуктан кыймылдаткычтын түзүлүш бөлүгүндө ысыткыч болуш керек. Ысыткыч атайын өзүнчө түзүлүш болушу мүмкүн. Мисалы, буу турбинасында жумушчу нерсе – буу. Буу казандарында өтө ысытылып, отундун энергиясы буунун ички энергиясына айланат. Ичинен күйүүчү кыймылдаткычтарда болсо, күйүүчү аралашма түздөн-түз цилиндрге атайын түзүлүштүн жардамы менен бүркүлүп (чачыратылып) берилет да (жумушчу нерсе) ошол цилиндрде ысытылат.

Жумушчу нерсе ысыткычта кандайдыр бир T_1 температурага чейин ысыйт, ал кеңейип жумуш аткарат. Мисалы, буу турбинасында турбинаны кыймылга келтирет, цилиндрди төмөн тээп, кеңейип жумуш аткарат (ичинен күйүүчү кыймылдаткычта). Ошентип, бул процесс кайталанып, улана бериши керек, б. а. цикл жүрүш керек.

Муздаткыч

Бул, жогорудагы процесс, цикл кайталана бериши үчүн күйүүнүн продуктусун, же иштелген бууну, анын температурасы циклдин башталышына караганда төмөнүрөөк болгудай кылып муздатуу керек. Ошол үчүн жылуулук кыймылдаткычтарына муздаткыч керек.

Буу турбиналарында же иштелген бууну муздатуучу атайын түзүлүш керек, же атмосфера муздаткычтын милдетин атка-

118-сүрөт.

рат. Ошентип циклдуу иштеген жылуулук кыймылдаткычтарында ысыткыч берген жылуулуктун кандайдыр бир бөлүгү гана механикалык жумушка өзгөртүлүп түзүлөт. Калган бөлүгү муздаткычка кетет.

Ошентип цикл менен иштөөчү жылуулук машинелеринде ысыткыч берген жылуулуктун бардыгын толугу менен механикалык жумушка өзгөртүп түзүүгө мүмкүн эмес деген корутундуга келебиз.

Ысыткычтын температурасын T_1, муздаткычтын температурасын T_2 десек, жумушчу нерсе – бул циклдүү жылуулук кыймылдаткычынын ишин камсыз кылуучу шарт болуп эсептелет (118-сүрөт).

Жумушчу нерсенин ысыткычтан алган жылуулугунун саны Q_1 болсо, муздаткычка кеткен жылуулуктун саны Q_2 болсо, анда $Q_1 - Q_2$ жылуулуктун механикалык пайдалуу жумуш аткарууга кеткен бөлүгү болот, б. а.

$$\boxed{Q_1 - Q_2 = A} \quad . \qquad (10.15)$$

Француз окумуштуусу, инженер Сади Карно жылуулук машинесин өркүндөтүүнүн үстүндө көп эмгектенген.

Карно цикли – айланма (кайталанма) жылуулук процесси. Мында жылуулуктун кандайдыр бир бөлүгү термодинамикалык кайталануу жолу менен ысыткычтан муздаткычка кетип турат.

Жылуулук кыймылдаткычтарын курууда отунду эң аз сарп кылып, максималдуу жумуштун аткарылышына жетишүүгө аракет жасалат. Бул жөнүндө VIII класста караганбыз. Кыймылдаткыч ошондо гана үнөмдүү болот.

Ысыткычтын жумушчу телого берген Q_1 жылуулугунун санын жана механикалык энергияга айланган жылуулук санын $(Q_1 - Q_2)$ билип, бул айлануу процессинин үнөмдүүлүк даражасын баалоого болот.

Машине тарабынан механикалык энергияга айландырылган жылуулук санынын жылыткычтан алынган жылуулук санына болгон катышы, жылуулук машинесинин пайдалуу аракет коэффициенти (ПАК) деп аталат.

Пайдалуу аракет коэффиценти гректин η (эта) тамгасы менен белгиленет.

Анда жогорку аныктама боюнча жылуулук машинесинин ПАКи $\boxed{\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}}$. (10.16) формуласы боюнча аныкталат.

1824-жылы француз инженери Сади Карно жылуулук машинелеринде жылуулук энергиясынын эсебинен жумушту алуунун шарттарын изилдеп отуруп, ар кандай реалдуу жылуулук кыймылдаткычтарынын пайдалуу аракет коэффициенти үчүн формула берген. Карно боюнча ысыткычтын абсолюттук температурасы T_1, муздаткычтыкы T_2 болсо, анда (10.16) формуласы боюнча:

$Q_1 = \frac{m}{\mu} \cdot T_1 \cdot Ln\frac{V_2}{V_1} \cdot Q_2 = \frac{m}{\mu} \cdot T_2 \cdot Ln\frac{V_3}{V_4}$; $\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1}$ болгондуктан

$\eta = \dfrac{\frac{m}{\mu} \cdot T_1 \cdot Ln\frac{V_2}{V_1} - \frac{m}{\mu} \cdot T_2 \cdot Ln\frac{V_3}{V_4}}{\frac{m}{\mu} \cdot T_1 \cdot Ln\frac{V_2}{V_1}}$, мындан $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$ (10.17) болууга тийиш.

Бул катыштан ПАК канча чоң болсо, машине ошончо өркүндөтүлгөн болот. (10.17) формуласынан көрүнүп тургандай ПАК чоң болсун үчүн мүмкүн болушунча ысыткычтын температурасы болгон T_1 чоң, ал эми муздаткычтын температурасы T_2 кичине болушу керек.

Азыркы учурда буу машинелери дээрлик колдонулбайт. Себеби ПАК абдан кичине, эң жакшы өркүндөтүлгөн буу машинелеринде $\eta \approx 15\%$ тен ашпайт.

Буу турбиналары негизинен жылуулук электр станцияларында колдонулат. Теплофикациянын, иштелип бүткөн суулардын жылытуу системасына, мончолорго ж. б. жерлерге кеткенинин натыйжасында буу менен иштөөчү установкалардын ПАКи 20–25% ке жетет. Ичинен күйүүчү кыймылдаткычтарда, карбюраторлуу кыймылдаткычта 30%, дизелдик кыймылдаткычта 35% ке жетет.

Реактивдүү кыймылдаткыч менен иштөөчү кубаттуу самолёттордо ал 40% ке жетет. Азыркы кезде инженер-техниктердин алдында бирден-бир проблема болуп жылуулук машинелеринин ПАКин жогорулатуу эсептелет.

§ 51. Алгачкы түбөлүк кыймылдаткыч. Жылуулук кыймылдаткычтары жана экология

Түбөлүк кыймылдаткыч (латынча – перпетуум мобиле) бул сырттан энергия албастан эле бир жолу ишке киргенден кийин түбөлүк иштей берүүчү машине.

Түбөлүк кыймылдаткычты куруу идеясы энергиянын сакталуу жана айлануу законуна каршы келет, ошондуктан ишке ашпай турган «убара».

Чындыгында, сырттан энергия албаган ар кандай эле машине өзүнүн болгон энергиясын пайдалуу жумушка жана түрдүү

каршылыкты женүүгө жумшоого тийиш да, акырында ал энергия түгөнүш керек. Андан ары машине энергияны жоктон алган болор эле.

Түбөлүк кыймылдаткычтын биринчи долбоору XIII кылымга таандык, алар: Виллар-д-Оннекур – 1245-ж., Пьер де Маренкур 1269-ж. ж. б. болушкан. Түбөлүк кыймылдаткычты түзүү идеясына кайрадан 1617-жылдарда киришишкен. Буга кызыккандар арасында жалаң эле фантазер өз алдынча үйрөнчүктөр болбостон, окумуштуу физиктер да болушкан. Мисалы, Папен, Х. Вольф ж. б. окумуштуулар түбөлүк кыймылдаткычты түзүүгө болот дешсе, Гюйгенс ж. б. физиктер бул ойду четке кагышкан ой боюнча пикир келишпестиктер күчөгөн.

1848-жылы М. В. Ломоносов өзүнүн заттардын сакталуу законун, андан келип чыгуучу энергиянын айлануу жана сакталуу законун, б. а. жаратылыштын жалпы законун ачкандан кийин гана түбөлүк кыймылдаткычты куруу мүмкүн эместиги принциптүү түрдө келип чыгат. XVIII кылымдын аягында окумуштуулардын, инженерлердин жемишсиз эмгектеринин негизинде көп окумуштуулар бул ойдон баш тарткандан кийин, 1775-ж. Франция академиясы түбөлүк кыймылдаткычтын долбоорлорунун каралбастыгы жөнүндө чечим чыгарат. Ошого карабастан дагы да болсо, ушул күнгө чейин жаратылыштын закондору менен чала тааныш адамдар түбөлүк кыймылдаткычты түзүүнү ойлонуп келишет жана ар кандай долбоорун түзүүдө. Азырынча оң жыйынтык чыга элек. Ошондуктан ал долбоорлорду, түзүлүштөрдү кеңири карап отуруунун зарылчылыгы жок.

Жылуулук кыймылдаткычтарынын эл чарбасында кеңири колдонулушу менен айлана-чөйрөнүн булганышы, бузулушу күчөдү. Машинелерде, жалпы эле ар түрдүү транспортто анын кыймылдаткычынын иштеши менен күйүү продуктусу атмосферага таралат. Анын курамында жандуу, жансыз организмдер үчүн зыяндуу ар кандай кошулмалар бар. Ошондуктан жаңы типтеги кыймылдаткычтардын, мисалы, электр тогу менен иштей турган кыймылдаткычтардын долбоорун түзүү оюнун үстүндө гана жүргүзүлүп жатат. Мындагы кыйынчылык, 300–500 *км*ге чейин кайра заряддалуусуз эле кыймылдаткычты азыктандыра ала турган кубаттуу электр энергиясынын булагын түзүүдө турат. Күйүүчү отун, күйүүнүн продуктусу катарында кадимки эле зыяны жок суу пайда болуп кала турган суутекти пайдалануунун мүмкүнчүлүгү изилденип жатат.

Айлана-чөйрөгө зыян келтирип жаткандардын орчундуусу болуп жылуулук электр станциялары да саналат. Себеби аларда отун катары көмүрдү пайдаланылып жатканы эсептелет. Көмүрдүн күйүшүндө айлана-чөйрөгө, атмосферага көмүрдүн бөлүкчөлөрү

жана башка зыяндуу газдар (түтүн) бөлүнүп чыгат. Ошондуктан азыркы маселе көмүрдү суюк, же газ түрүндөгү отун менен алмаштырууда турат. Андай отун калдыксыз күйөт да, айлана-чөйрөгө аз зыян алып келет. Тазалоочу түзүлүштөр атмосферага чыккан зыяндуу нерселерди кыйла азайтууга жардам берет. Мына ушул сыяктуу түзүлүштөр да колдонулуп жатат.

Бир аз статистикалык мисал келтирсек, азыркы мезгилде ар кандай транспорттун иштешинен көмүр, газ ж. б. отундардын күйүшүнөн чогулганда болжол менен атмосферада 2600–2700 млрд *т* көмүркычкыл газы бар. Акыркы 20–30 жыл ичинде Жер атмосферасындагы көмүркычкыл газынын өлчөмү 5%–7% ке көбөйдү. Бул өзгөчө ири шаарлар менен өнөржай борборлорунда байкалат.

● Биздин республиканын борбору болгон Бишкектеги ЖЭБди эле алсак, анын түтүнү бүтүн шаарды, өзгөчө ошол тегеректеги абаны бузуп жатат. Жайылган кир, жааган кардын андан чыккан көмүр пырлары менен булганганын байкоого болот. Ага кошумча шаардагы көп транспорт каражаттарынын түтүнү да атмосферага учуп чыгат.

Ошондуктан шаардын четине чыгып карасаң, үстү капкара түтүн менен жабылгандай сезилет. Тазалоочу түзүлүштөр коюлуп жатса да, ага карабастан атмосферанын булганышы улантылууда. Мунун бардыгы аз келгенсип, көчөлөрдөгү акыр-чикирлерден, майда же чоң өрттөн чыккан зыяндуу нерселер айлана-чөйрөнүн экологиясын бузууда. Адамдардын, жандуу, жансыз нерселердин денсоолуктары бузулууда, ар кандай оору-сыркоо көбөйүүдө. Ошондуктан ар бир адам, ар бир окуучу экологияны коргоого, сактоого тийиш экенин унутпашы керек.

? **1.** Кандай процесстер кайталануучу процесстер деп аталат? Мисал келтиргиле. **2.** Кайталанбоочу термодинамикалык процесстерге мисалдар келтиргиле? **3.** Жылуулук кыймылдаткычтары деп эмнени айтабыз? **4.** Жылуулук кыймылдаткычтарынын түрлөрү жөнүндө эмне билесиңер? **5.** Жылуулук кыймылдаткычтары кандай бөлүктөрдөн турат? **6.** ПАК жөнүндө эмне билесиңер? **7.** Түбөлүк кыймылдаткычты түзүү мүмкүнбү? Эмне үчүн? **8.** Экология жөнүндө эмне билесинер?

Термодинамиканын негиздери темасына маселе чыгаруунун мисалдары

1. Массасы 0,15 *кг* латунь калориметринде 0,2 *кг* 15°C суу бар. Ага 100°C деги массасы 0,26 *кг* темир гриясы салынат. Келип чыккан аралашманын температурасын аныктагыла? Жылуулуктун коромжусун эске албагыла.

Берилди:

$M_л = 0{,}15$ *кг*

$M_с = 0{,}2$ *кг*

$M_т = 0{,}26$ *кг*

$T_1 = 288°К$

$T_2 = 373°К$

$c_т = 460 \frac{Дж}{кг°C}$

$c_с = 42100 \frac{Дж}{кг°C}$

$c_к = 380 \frac{Дж}{кг°C}$

$\theta^0 - ?$

Чыгаруу:

Жылуулук балансынын теңдемесин түзөбүз. Темир гирясы берген жылуулук саны: $Q_r = c_r \cdot M_r(T_2 - \theta)$, суу алган жылуулук саны: $Q_с = c_с \cdot M_с(\theta^0 - T_1)$, калориметр алган жылуулук саны:

$Q_к = c_г \cdot M_к(\theta^0 - T_1)$. $Q_т = Q_с + Q_к$

$c_r \cdot M_r(T_2 - \theta) = c_с \cdot M_с(\theta - T_1) + c_к \cdot M_к(\theta - T_1)$.

$c_r \cdot M_r T_2 + c_с \cdot M_с T_1 + c_к \cdot M_к T_1 =$

$= \theta(c_r \cdot M_r + c_с \cdot M_с + c_к \cdot M_к)$.

$\theta = c_r \cdot M_r T_2 + c_с \cdot M_с T_1 + c_к \cdot M_к T_1 / c_г \cdot M_г + c_с \cdot M_с + c_к \cdot M_к$. Чоңдуктардын сан маанилерин коюп эсептөөлөрдү жүргүзсөк, анда: $\theta = 298K$.

Жообу: $\theta = 298K$.

2. $200 \frac{м}{с}$ ылдамдыкта учуп келе жаткан болот снаряды Жерге учуп келип тийип, токтоп калат. Эгер снаряддын кинетикалык энергиясынын 60% топуракты ысытууга кетсе, снаряддын температурасы канча градуска көтөрүлгөн?

Берилди:

$\vartheta = 200 \frac{м}{с}$

$V_{нк} = 0$

$\eta = 60\% = 0{,}6$

$c = 460 \frac{Дж}{кг°C}$

$\Delta T - ?$

Чыгаруу:

$\eta = 60\%$ тин 0,6сы снарядды ысытууга кеткен анын кинетикалык энергиясынын бөлүгү. ΔT – снаряддын температурасынын өзгөрүшү десек, анда снарядды ысытууга кеткен кинетикалык энергиянын бөлүгү $\Delta W = \eta \cdot \frac{m\vartheta^2}{2}$ ге барабар. Снаряддын ички энергиясынын өзгөрүшү: $\Delta U = c \cdot M \cdot \Delta T$.

Жылуулук балансынын теңдемеси боюнча: $\Delta W = \Delta U$ же $c \cdot m \cdot \Delta T = \eta \cdot \frac{m\vartheta^2}{2}$; $c \cdot \Delta T = \eta \cdot \frac{\vartheta^2}{2}$ же $2 \cdot c \cdot \Delta T = \eta \cdot \vartheta^2$, мындан $\Delta T = \eta \cdot \frac{\vartheta^2}{2c}$. Чоңдуктардын сан маанилерин коюп эсептөөлөрдү жүргүзсөк, анда: $\Delta T = 26\ K$.

Жообу: снаряддын температурасы болжол менен 26 *К*ге өзгөрдү.

X главадагы эң негизги маалыматтар

Ички энергия – бул заттын молекула, атомдорунун кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасы.

Ал, жумуш аткаруу жана жылуулук берүү жолдору менен өзгөрөт. Термодинамиканын 1-закону $\Delta U = A^1 + Q$. Ички энергиянын өзгөрүшү жумуш аткарууга жана жылуулук санын берүүгө жумшалат, же $Q = \Delta U + A$. Термодинамиканын 1-закону түрдүү процесстерде каралды:

$V = \text{const}$ болгондо, $\Delta U = 0$,

$T = \text{const}$ болгондо, $Q = A$,

$P = \text{const}$ болгондо, $Q = \Delta U = A$ болот.

Адиабата процессинде Q=0 демек, $-\ \Delta U = A$ болот.

Жылуулук балансынын теңдемеси үчүн:

$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + -0$. Жаратылышта, макроскопикалык нерселерде болуп өтүүчү процесстер кайталанбоочу болушат. Мисалы, жылуулук ысык нерседен муздак нерсеге өзүнөн өзү эле өтөт, тескерисинче болбойт. Механикалык энергия өзүнөн өзү эле ички энергияга өтөт ж. б. Карно циклинен келип чыккан жылуулук машинелеринин ПАКин эсептөө формуласы: $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$.

XI глава

СУЮКТУКТАР. СУЮКТУКТАРДЫН ТҮЗҮЛҮШҮ

§ 52. Суюктуктар. Беттик тартылуу

Суюктукта молекулалар газга караганда бири бирине кыйла жакын жайланышкан. Мисалы, кайноо температурасында суюктуктун тыгыздыгы анын буусунун тыгыздыгына караганда 1760 эсе көптүк кылат. Ошондуктан суюктуктардын молекулаларынын кыймылынын мүнөзү жана көп касиеттери анын молекулаларынын өзара аракеттешүү күчү менен аныкталат.

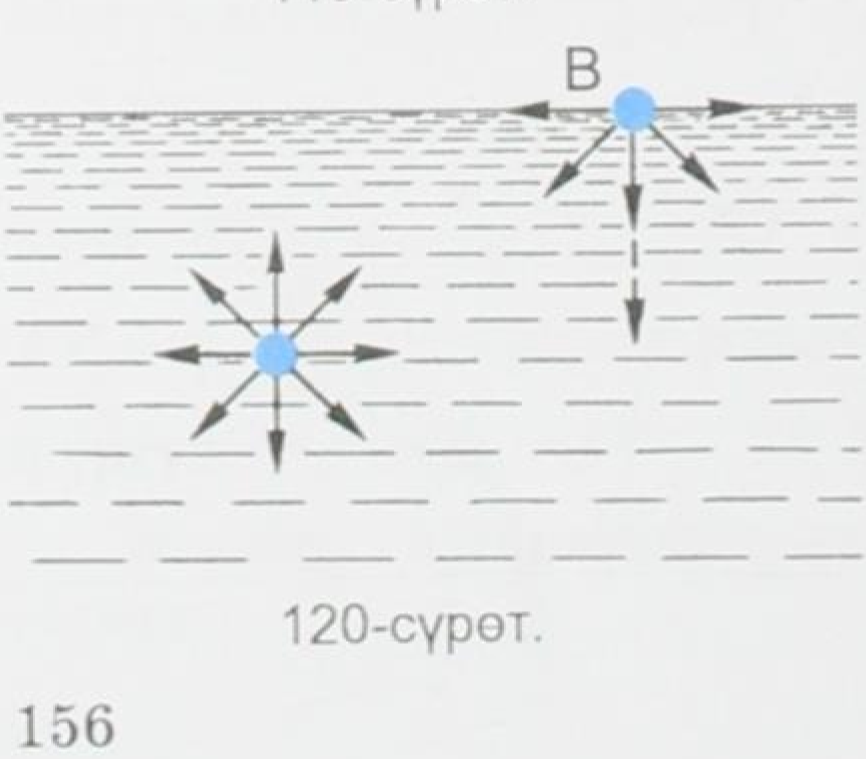
Суюктуктун негизги касиети – агуучулук. Ошондуктан суюктук өзү турган идиштин формасын алат. Бирок кичине өлчөмдө алынган суюктук шар түрүнө окшош форманы алат. Мисалы, жамгыр тамчысы, чачыратылган суюктук шар формасында болот.

Горизонталь коюлган айнектин бетине куюлган сымаптын чоң тамчысы жалпайыңкы, ал эми кичине тамчысы – шар формасында болот (119-сүрөт). Эгер шар формасындагы тамчынын үстүнөн айнек менен бастырса, анда анын салмагынан тамчы жалпаят. Ал эми чоң тамчынын жалпайыңкы болушу, суюктуктун молекулалык өзара аркеттешүү күчтөрүнө караганда салмагынын басымдуулук кылышы менен түшүндүрүлөт. Эгер суюктукка өзүнүн молекулалык күчтөрүнүн аракетин гана берсек, анда ал шар сымал форманы алат.

Эгер туздун эритмесине ошондой эле тыгыздыктагы анилинди тамызсак, ал да шар формасын ээлейт ж. б. у. с.

Шардын бети – бул берилген көлөмдүн эң кичинеси. Ошондуктан ал суюктуктун беттик катмардагы молекулаларынын молекулалык күчтөрүнүн натыйжасы болуп эсептелет. Суюктуктун тамчысы эң кичине бетти ээлөөгө умтулат. Суюктук начар кысылат. Демек суюктуктун молекулалары газдардыкына караганда тыгыз жайланышкан. Суюктуктун молекулалары, анын ичинде белгилүү орточо аралыкта термелип кыймылдайт. Ушул эле учурда айрым молекулалар «секирик» жасашат.

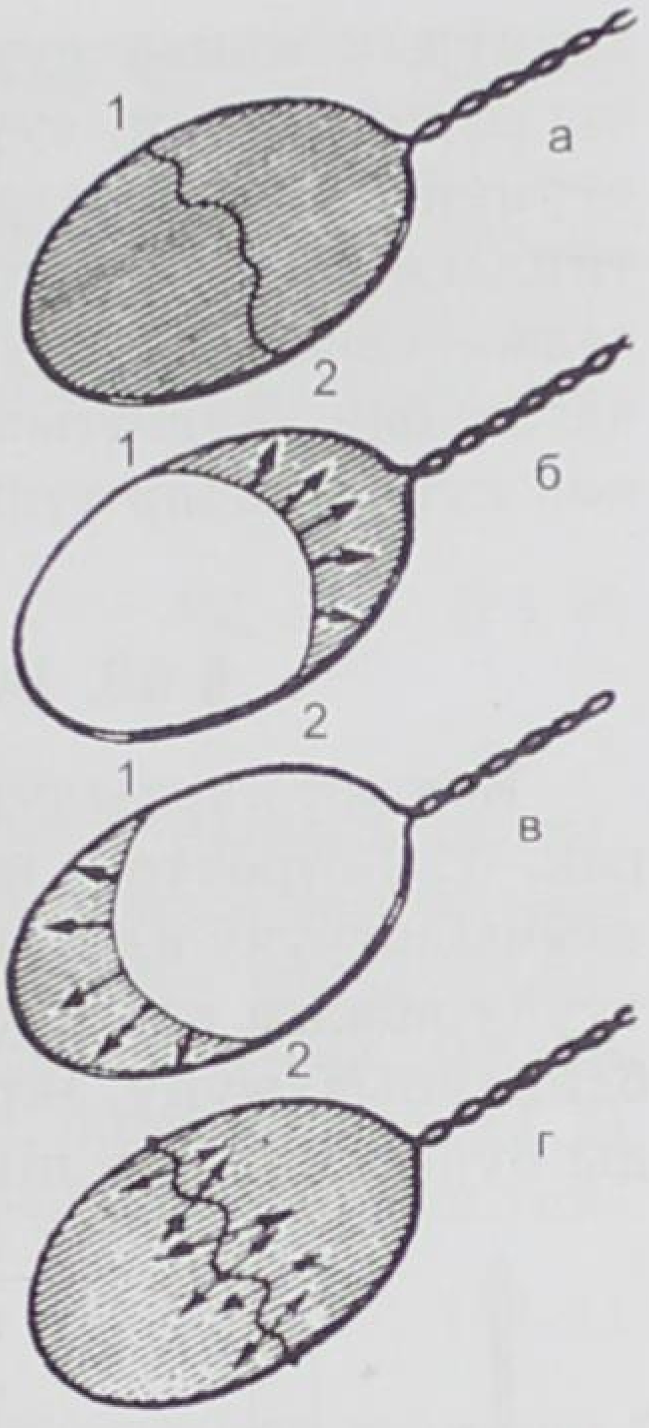
119-сүрөт.



120-сүрөт.

Азыркы убакытка чейин суюк абалдын аягына чейин бүткөн теориясы жок, б. а. газдыкы сыяктуу суюктуктун абалынын теңдемеси жок.

Газдардан айырмаланып, суюктук көлөмгө ээ, б. а. молекулаларынын тартышуу күчү газдыкына караганда чоң болгон үчүн көлөмүн сактайт. Суюктуктун касиетинин дагы бири анын өзүнүн буусу менен болгон чегинде эркин бетке ээ экендигинде. Эгер 120-сүрөткө кайрылсак, анда суюктуктун ичиндеги *A* жана бетиндеги *B* эки молекулага анын башка молекулалары тараптан аракет эткен күчтөр көрсөтүлгөн. *A* молекулага анын бардык тарабындагы молекулалар тарабынан таасир эткен күчтөр бирин бири компенсациялап, ал молекула ошол суюктуктун ичинде тең салмак абалында турат. *B* молекулага болсо газ (буу) тарабынан аракет эткен күчтөр өтө аз болгондуктан эске алынбайт да, ичиндеги, тегерегиндеги молекулалардын аракеттешүү күчтөрүнүн тең аракет этүүчүсү төмөн – суюктуктун ички катмарын көздөй багытталган. Ошондой эле суюктуктун бетинде жайланышкан ар бир молекула ошондой абалда болот. Натыйжада суюктуктун бети жыйрылып, өзгөчө тартылыш абалда болот. Ал эми суюктуктун ичиндеги басым $P = \rho g h$ формуласы менен аныкталары VII класстан белгилүү. Самындын эритмесине салынган зым алкактар менен жасалган тажрыйбалар силерге VIII класстын курсунан тааныш. 121-*а*, сүрөттө алкак бүт бети боюнча самындын челкабыгы менен капталган, анын эки чекитинен байланган жип эркин жатат. Ал эми 121-*б*, жана 121-*в*, сүрөттөрдө, жиптин бир тарабындагы челкабык жарылса, жип челкабык капталган жагына керилет. 121-*г* учурунда илмек жип челкабыкта эркин жатат, илмектин ортосундагы челкабыкты жарып жиберсе, ал илмек тегерек формада керилип калган болот. Бул сүрөттөрдөн жипти бойлото жайланышкан молекулалар челкабыктын ичин көздөй багытталган күчкө дуушар болору байкалып турат. Ушул жана ушуга окшогон көп турмуштук тажрыйбалардан төмөнкүдөй жыйынтык келип чыгат.



121-сүрөт.

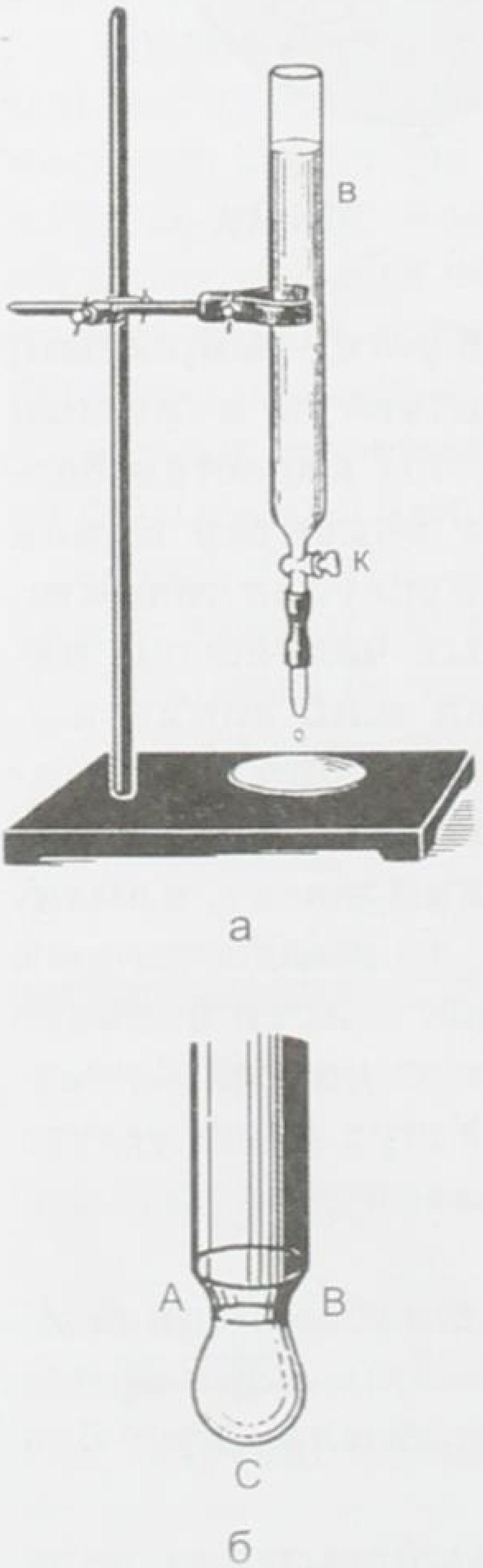
Суюктуктун бетиндеги молекулаларга таасир этип беттин ичин көздөй тик багытталган жана бетти минимумга алып келүүчү аракет эткен күч беттик тартылуу күчү деп аталат.

Беттик тартылуу күчүнүн аракетинин натыйжасында чала жабылган крандагы суу тамчыларынын пайда болушу абдан

этияттык менен суунун бетине горизонталь коюлган ийненин чөгүп кетпегени, суу ченегичтин коньки тепкен адамдай болуп суунун бетинде жүрүшү, жалбырактардын, же чаңдуу жер бетиндеги суунун кичине тамчыларынын шар формасын ээлеши, салмаксыз абалда суунун шар формасын ээлөөгө умтулушу, колчатырдын, плащтын материалынан суунун өтүп кетпеши ж. б. көп кубулуштар түшүндүрүлөт.

§ 53. Беттик тартылуу коэффициенти

Беттик тартылуу кубулушуна сандык мүнөздөмө берүү керек. 122-сүрөттөгү штативге суусу бар бюретканын (краны бар тамчылатуучу идиш) k кранын акырындап бурап, сууну тамчылатуучу абалга алып келебиз да андан тамчынын агып чыгышын байкайбыз (муну, экранга проекциялаcа жакшы байкалат). Кранды бураганда суу шырылдап агып кетпестен тамчы акырындап чоңоюп, чогула берет. Тамчы чоңойгон сайын тамчы менен түтүктөгү суюктуктун ортосунда бара-бара ичкере берүүчү моюнча пайда болот. Тамчы AB моюнчасынын айланасы боюнча, качан гана тамчынын бетиндеги молекулаларга тиркелип, суюктуктун ичин көздөй багытталган күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү болуп эсептелген беттик тартылуу күчү, суюктуктун салмагынан кичине болуп калган моментте үзүлүп түшөт $F_{б.т.} < P$ болгондо да анын ордуна башка тамчы пайда боло баштайт.



122-сүрөт.

Ошол AB моюнчанын айланасы, тамчы үзүлүү мезгилинде беттик катмардын чегарасы (чеги) болуп эсептелет да, ал айланага жогору багытталган беттик тартылуу күчтөрү жана төмөн багытталган тамчынын салмагы таасир этет.

Беттик тартылуу күчүнүн, суюктуктун беттик катмарынын чегинин узундугуна болгон катышы менен өлчөнүүчү чоңдук беттик тартылуу коэффициенти деп аталат. Беттик тартылуу коэффициенти σ (гректин сигма) тамгасы менен белгиленет. Ошентип жогорку аныктоо боюнча

$$\boxed{\sigma = \frac{F}{\ell}}, \qquad (11.1)$$

мында F – беттик тартылуу күчү, ал эми ℓ –

беттик катмардын чегинин узундугу. СИде $[\sigma]=\left[\frac{H}{м}\right]$ менен өлчөнөт.

Биздин карап өткөн тажрыйбабызда айланасынын узундугу $2\pi R$ге барабар болот, мында $R-AB$ айланасынын радиусу. Тамчы үзүлө берерде $F_{б.т.}\approx P$ болот. Ошондуктан (11.1) формуласы төмөнкүчө жазылат:

$$\boxed{\sigma=\frac{P}{2\pi R}}, \quad (11.2) \text{ ал эми } P=mg, \quad (11.3)$$

мында P – суунун бир тамчысынын салмагы.

Суунун бир тамчысынын салмагын аныктоо кыйын, ошондуктан n тамчыны санап, анын массасын тамчынын салмагына бөлүп, бир тамчынын массасын табабыз да $P=mg$ формуласынын негизинде бир тамчысынын салмагын таап алабыз. Андан кийин AB айланасынын ички радиусун өлчөп, жогорудагы (11.2) формуласы аркылуу беттик тартылуу коэффициетин эсептейбиз: $\boxed{\sigma=\frac{mg}{2\pi R}}$. (11.4)

Беттик тартылуу коэффициенти түрдүү суюктукта түрдүүчө, ал гана эмес, бир эле суюктукта температурага жараша түрдүүчө болот. Андай таблица маселе китебинде берилген, ал боюнча карап, салыштырса болот. Ошондой эле беттик тартылуу коэффициенти эритменин концентрациясына да көзкаранды болот.

Температура жогорулаган сайын суюктуктарда беттик тартылуу коэффициенти азаят. Буунун суюктукка өтүүгө мүмкүн болгон максималдуу температурасы критикалык температура деп аталат. Критикалык температурада $\sigma=0$ болот.

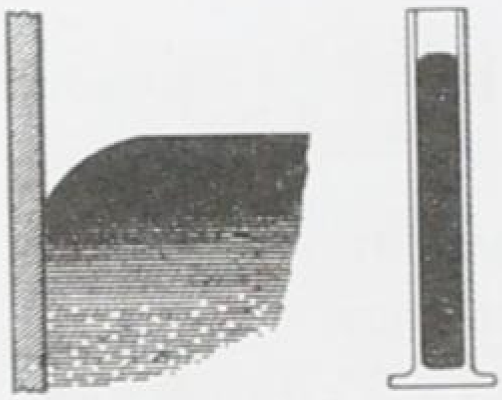
Эриген металлдарда беттик тартылуу коэффициенти чоң болот, суюк газдарда, өзгөчө суюк гелийде беттик тартылуу коэффициенти өтө эле аз. Суюктукка кошулган анча-мынча эле аралашманын болушу беттик тартылуу коэффициентин өзгөртөт.

§ 54. Нымдоо жана нымдабоо. Капиллярдуулук. Суюктуктун ийрилик бетиндеги кошумча басымдар

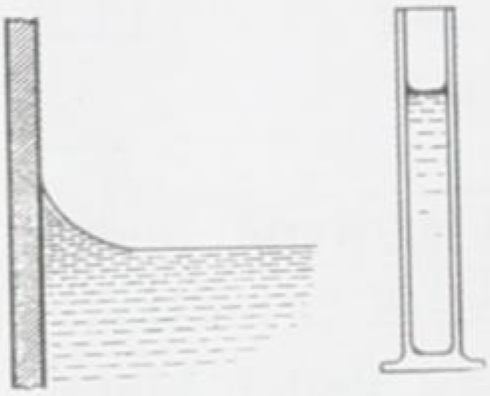
Катуу нерсе менен суюктуктун тийишкен жеринде нымдоо жана нымдабоо кубулушу пайда болот. Мисалы, айнекти сууга матырсак, ага суу жугат. Бул учурда айнекти суу нымдады дейбиз.

Ал эми парафинге (свечага), же майлуу колго суу жукпайт. Бул учурда нымдабоо кубулушу пайда болот. Суу айнекти нымдайт, ал эми сымап (суюк металл) айнекти нымдабайт.

Нымдоо жана нымдабоо кубулуштарын молекулалык-кинетикалык теориянын жардамы менен түшүндүрөбүз.



123-сүрөт.



124-сүрөт.

Эгер суюктук менен катуу нерсенин молекулаларынын ортосундагы тартышуу күчү, суюктуктун молекулаларынын өзара тартышуу күчүнөн чоң болсо, суюктук катуу нерсени нымдайт (суу айнекти нымдайт). Эгер суюктук менен катуу нерсенин молекулалары арасындагы тартышуу күчү, суюктуктун молекулаларынын өзара тартышуу күчүнөн кичине болсо, суюктук катуу нерсени нымдабайт (сымап айнекти нымдабайт).

Эгер суюктук катуу нерсени нымдаса, анда экөөнүн тийишкен жеринде иймек мениск пайда болот, б. а. суюктуктун идиштин капталына тийген жери көтөрүңкү болот да суунун бетине жүргүзүлгөн жаныма сызык менен идиштин капталынын ортосундагы θ бурчу тар бурч болот (123-сүрөт). Суюктук идишке жабышат. Беттик тартылуу күчүнүн натыйжалоочусу суюктук менен чектешкен газды (абаны) көздөй багытталат.

Эгер суюктук катуу нерсени нымдабаса (124-сүрөт), анда суюктуктун идиштин капталына тийишкен жеринде ал качкан өңдөнөт да томпок мениск пайда болот. Анда суюктуктун бетине жүргүзүлгөн жаныма менен идиштин капталынын ортосундагы θ бурч кең бурч болот. Мында беттик тартылуунун натыйжалоочу күчү суюктуктун ичин көздөй багытталат.

Толук нымдалган учурда $\theta = 0$, ал эми толук нымдалбаган учурда $\theta = 180°$ болот. Нымдоо жана нымдабоо кубулуштары өнөржайында жана турмуш-тиричиликте кеңири колдонулушка ээ болот, мисалы, шырдак жасоо үчүн кийиз боёгондо, ала-кийиз үчүн жүн боёгондо, ар түрдүү турмуштук керектөөлөр үчүн жүн, жип, бозүйдүн жыгачтарын боёгондо, сырдаганда, лактаганда, жыгач, булгаары, резинка ж. б. буюмдарды желимдегенде, кандоодо беттерди майынан жакшылап тазалоо керек, антпесе жакшы жабышпайт (нымдабайт).

Өнөржайында болсо кенташтарды байытууда, б. а. флотацияда (англисче флотин – калкытып чыгаруу дегенди түшүндүрөт) руданы майдалап, суу менен аралаштырып, ага май кошот. Муну аралаштыргандан кийин баалуу руданын бөлүкчөлөрү майланышып калат. Ал эми бош породаларды май нымдабайт, алар сууда нымдалат. Бул аралашмага аба үйлөтүлөт. Абанын көбүкчөлөрүнө май менен нымдалган баалуу породалар жабышып, аны менен кошо Архимеддин түртүү күчүнүн таасири астында жогору көтөрүлөт. Ал эми бош породалар болсо төмөн чөгөт. Ошентип нымдоо жолу менен көбүкчөлөрдүн жардамы аркасында рудадан таза, баалуу породалар бөлүнүп алынат.

Капиллярдуулук. Биздин турмушубузда, бизди курчаган айлана-чөйрөдө ички көңдөйү эң кичине түтүкчөлөргө окшогон каналдары болгон нерселерге кездешебиз. Мындай түтүктөр капиллярдуу түтүктөр деп аталат (капиллус – чачтай ичке деген латын сөзү).

Кубулушту ачык түшүнүү үчүн ичинде суусу бар чоң идишке ички түтүгү түрдүү жоондуктагы бир нече айнек түтүктөрүн матырабыз (125-сүрөт). Анда ичке түтүктөр боюнча суу көтөрүлөт. Түтүк ичкерген сайын суунун көтөрүлүү деңгээли (бийиктиги) жогорулагандыгы байкалат.

Эгер чоң идишке сымапты куюп туруп түрдүү жоондуктагы айнек түтүктөрүн матырсак, тескерисинче түтүк ичкерген сайын сымаптын деңгээли чоң идиштеги деңгээлден төмөндөй бергени байкалат (126-сүрөт).

Эми капиллярдык түтүк боюнча нымдоочу суюктуктун көтөрүлүү бийиктигин (нымдабоочунун төмөн түшүү бийиктигин) эсептейлик.

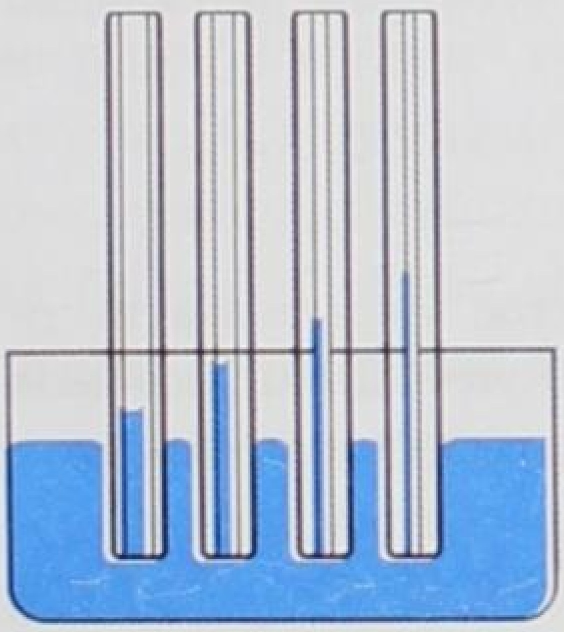
127-сүрөттөгү ичке түтүктөгү суюктук, жоон идиштегиге караганда h бийиктигине көтөрүлүп, ошол абалда тең салмактуулукта жогору да, төмөн да кетпей турат. Демек, h бийиктикке көтөрүлгөн суунун салмагы $P = F_{б.к}$ – беттик тартылуу күчүнө барабар деген сөз, б. а. $\sigma = \frac{F}{\ell}$ болгондуктан $\boxed{F_{б.к.} = \sigma \cdot \ell}$, (11.5)

мында ℓ деген h бийиктигине көтөрүлгөн суюктуктун беттик катмарынын чегинин узундугу. Ал r радиустуу (түтүктүн радиусу) айлананын узундугуна ($\ell = 2\pi r$) барабар.

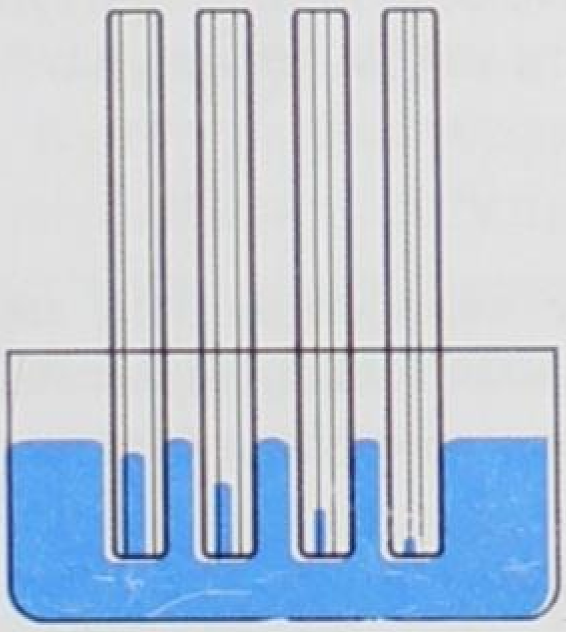
Демек
$$\boxed{F_{б.к.} = \sigma \cdot 2\pi r} \quad (11.6)$$

Ал эми h бийиктигине топтолгон суунун салмагы $P=mg$, мында m ошол бийиктиктеги суунун массасы. Салмакты табуу үчүн төмөнкү формулаларды пайдаланабыз:

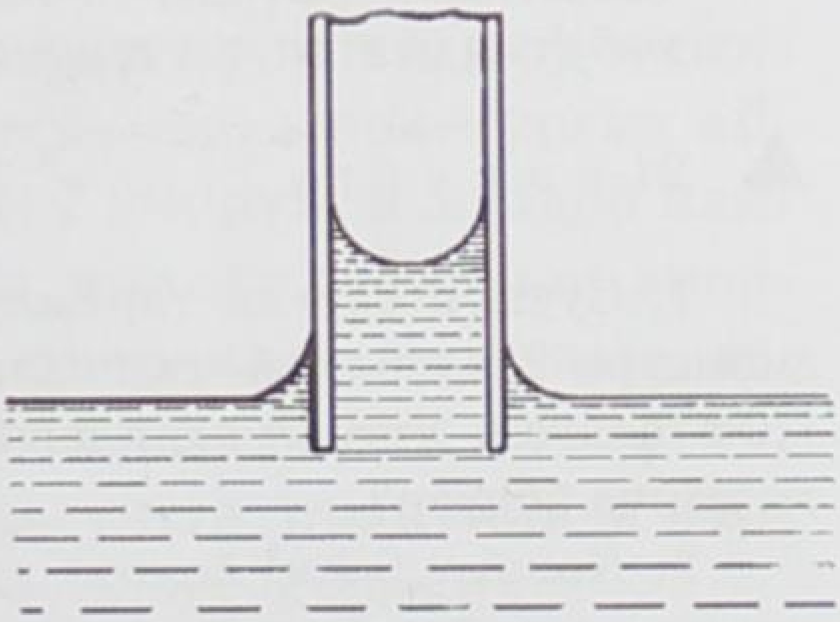
$\rho = \frac{m}{V}$ дан $m = \rho \cdot V$. Ал эми $V = \pi r^2 h$ – цилиндрдин көлөмүн бергендиктен, басым төмөнкүгө барабар, б. а.



125-сүрөт.



126-сүрөт.



127-сүрөт.

$P = \rho g \pi r^2 h$ (11.7) болот, (11.6) жана (11.7) формулаларындагы барабардыктан: $\sigma 2\pi r = \rho \pi r^2 h g$ же $2\sigma = \rho g r h$, мындан суюктуктун көтөрүлүү бийиктиги:

$$\boxed{h = \frac{2\sigma}{\rho g r}}, \qquad (11.8)$$

мында ρ – суюктуктун тыгыздыгы, g – оордук күчүнүн ылдамдануусу, ал эм r – түтүктүн радиусу.

Демек, капиллярдык түтүктө нымдоочу суюктуктун көтөрүлүү бийиктиги (нымдабоочу суюктуктун төмөн түшүү бийиктиги) суюктуктун беттик тартылуу коэффициентине түз, ал эми түтүктүн радиусуна жана суюктуктун тыгыздыгына тескери пропорциялаш.

Турмушта капиллярдуулук кубулушу көп кездешет. Мисалы, билик боюнча майдын, үйдүн пайдубалы боюнча нымдын, өсүмдүктөрдүн тамырлары боюнча жер кыртышындагы азык заттардын көтөрүлүшү, денедеги капиллярдык тешикчелер боюнча тердин чыгышы, сүлгү, жүзаарчы ж. б. боюнча суюктуктун сиңирилиши, чакмак кант, чайга малынган нан, печенье боюнча чайдын (суюктуктун) көтөрүлүшү ж. б.

Эгер суюктуктардын беттери томпок болсо, анда анын бетин кысуучу, ал эми иймек болсо, ал бетти чоюучу кошумча басымдар аракет этишип жалпы түрдө төмөндөгү формула менен аныкталат: $P = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$, мында R_1 жана R_2 – ийрилик радиустар, сфералык бет үчүн $R_1 = R_2 = R$, анда $P = 2\frac{\sigma}{R}$. Цилиндрлик бет үчүн $P = \frac{\sigma}{R}$ ж. б.

?

1. Суюктуктардын негизги касиеттери кайсылар? **2.** Беттик тартылуу кубулушуна мисалдар келтиргиле. **3.** Беттик тартылуу күчү деп эмнени айтабыз? **4.** Беттик тартылуу коэффициенти деп эмнени айтабыз? Бирдиктери. **5.** Нымдоо жана нымдабоо кубулуштарына мисалдар келтиргиле жана теориясын түшүндүрүп бергиле. **6.** Капиллярдуулук кубулушу деп кандай кубулуш аталат, ал турмушта кайда колдонулат?

▲ 21-көнүгүү

1. Суунун беттик тартылуу коэффициентин аныктоо үчүн тешигинин диаметри 2 *мм* болгон тамчылаткыч пайдаланылган. 40 тамчынын массасы 1,9 *г* болгон. Ушул маанилер боюнча суунун беттик тартылуу коэффициенти канча болгон?

2. Көлөмү 6 *см*^{3} болгон идишке ички диаметри 1 *мм* болгон түтүктөн суу тамчылап түшөт. Бул идишти толтуруу үчүн 20°C кезинде канча тамчы тамган болот?

3. Спирттин беттик тартылуу коэффициентин ченөөдө диаметри 0,15 *мм* болгон капиллярдык түтүктү колдонушкан. 293°К температурада спирт ал капилляр боюнча 7,6 *см* бийиктикке чейин көтөрүлгөн. Спирттин беттик тартылуу коэффициенти канча болгон?

4. Капиллярдык түтүктүн диаметри 0,2 *мм*. Ушул түтүк боюнча суу, керосин канча бийиктикке көтөрүлгөн жана сымап канчалык төмөн түшкөн? Температура бөлмө температурасына барабар.

5. Радиусу 0,2 *мм* түтүк боюнча бензин 3 *см* бийиктикке көтөрүлгөн. Бензиндин тыгыздыгы $700 \frac{кг}{м^3}$ болсо, бензиндин беттик тартылуу коэффициенти канчага барабар?

6. Диаметри 1 *мм* түтүктө суу 30,05 *мм* ге көтөрүлөт. Суунун беттик тартылуу коэффициенти канча?

7. Суунун беттик тартылуу коэффициенти $74 \cdot 10^{-3} \frac{H}{м}$, анда радиусу 0,05 *мм* болгон капилляр боюнча суу канча бийиктикке көтөрүлөт?

§ 55. Буулануу

Энергияны алуу менен заттын суюк, же катуу абалдан газ абалына өтүү процесси буулануу деп аталат.

Буулануу кубулушун молекулалык-кинетикалык теориянын жардамы менен түшүндүрүүгө болот.

Суюктук да башаламан кыймылда болгон молекулалардан туруп алардын ылдамдыктары түрдүүчө болот. Ал молекулалар бири бирине тартылып жана түртүлүшөт. Ылдамдыгы чоң, демек, кинетикалык энергиясы чоң болгон молекулалар башка молекулалардын тартышуу күчүн жеңип, суюктуктун үстүңкү бетинен жулунуп чыгып, анын үстүндө ошол суюктуктун буусун пайда кылат.

● Буулануунун тездиги бир нече факторлорго көзкаранды. Мисалы, температура жогору болсо, шамал болсо, суюктуктун эркин бетинин аянты чоң болсо, буулануу ошончо тез жүрөт. Буулануу суюктуктун (заттын) түрүнө да көзкаранды. Мунун бардыгынын себептери молекулалык-кинетикалык теориянын жардамы менен түшүндүрүлөт. Катуу нерселер дагы (нафталин, муз ж. б.) бууланат. Катуу нерселердин бууланышы кургак айдоо, же сублимация деп аталат. Буулануу учурунда муздоо пайда болот. Себеби улам бууланып кеткен молекулалардын энергиясы чоңураак болот да калганынын энергиясы азыраак, демек, температурасы төмөндөйт, муздоо пайда болот.

Ошондуктан буулануу кубулушу турмушта, практикада пайдаланылат. Мисалы, тез бузулуп кетүүчү продуктуларды ташыган кезде вагондорду муздатуу үчүн суюк аммиакты, же көмүртектин суюк кош окисин бууландырышат.

Муздаткычтарда, муз тоңдуруу үчүн, атайын ийри-буйру түтүктөрдө суюк аммиакты буулантышат. Ысык өлкөлөрдө сууну көзчөлөрү бар карапа идиштерде сакташат. Идиштин көзчөлөрүнөн жылжып чыккан суу бууланып турат да бууланбай калганы муздайт.

Эгер суюктук туюк идиште бууланса, буулануу менен бирге буунун кайра сууга айланышы – конденсация кубулушу да болуп турат.

Энергия бөлүп чыгаруу менен заттын газ (буу) абалынан суюк абалга өтүү процесси конденсация деп аталат.

Бир кезде, туюк идиштеги буулануу учурунда убакыт бирдигинде суюк абалдан газ абалга өткөн молекулалар менен газ (буу) абалынан суюк абалга өткөн молекулалардын саны теңелген учур пайда болот. Бул учурда буу каныгуу абалына жеткен болот.

Өзүнүн суюктугу менен динамикалык (кыймылдуу) тең салмактуулуктагы буу каныккан буу деп аталат.

Каныккан буунун басымын төмөнкү бизге белгилүү формула менен аныктасак болот:

$$\boxed{P = n \cdot kT}, \qquad (11.9)$$

мында P – басым, n – концентрация – көлөм бирдигиндеги молекулалардын саны, k – Больцман турактуулугу, T – абсолюттук температура. (11.9) формуладан каныккан буунун басымы температурага пропорциялаш экени көрүнүп турат.

Кандайдыр бир суюктуктун бууларын ичине алган мейкиндикте бул суюктуктун андан аркы бууланышы келип чыга алса, анда бул мейкиндикте турган буу каныкпаган буу деп аталат.

● Каныкпаган буунун көлөмүн өзгөртүп, биз анын басымы да өзгөрө тургандыгын байкайбыз (Бойль – Мариотт закону боюнча болот). Берилген температурада буунун эң чоң басымы, аны каныгуу абалына алып келет.

Каныктырбоочу бууну каныгуу абалына көлөмдү кичирейтип гана келтирбестен температураны төмөндөтүү менен да жетишүүгө болот.

Буга мисал, жылуу үйгө кирген муздак буюмдардын, эшиктен киргенде көзайнектин тердешин, туман, шүүдүрүмдүн пайда болууларын келтирүүгө болот.

Тескерисинче, бууну каныккан абалдан каныкпаган абалга, турактуу температурада көлөмдү чоңойтуп, басымды азайтуу менен, буунун температурасын жогорулатуу аркылуу жетишүүгө болот.

Каныктыруучу бууну өтө ысытуу менен алынган каныктырбоочу буу техникада өтө ысытылган (перегретый) буу деп

аталып, буу кыймылдаткычтарынын иштешинде (150°–700°) колдонулат.

Кайноо температурасында суюктуктун массасынын бирдигин толук бууландыруу үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны буу пайда болуунун салыштырма жылуулугу деп аталат. Буу пайда болуунун салыштырма жылуулугу L тамгасы менен белгиленет.

Буулануу же конденсация жылуулугу төмөнкү формула менен аныкталат:

$$\boxed{Q = \pm mL}\,. \tag{11.10}$$

Суюктукту бууландыруу үчүн ага сырттан жылуулук берилет, ал эми конденсация учурунда анын бирдик массасы буулануда алганынчалык жылуулук бөлүнүп чыгат. (11.10) формуладагы плюс (+) белги буулануу жылуулугуна, минус (–) конденсация жылуулугуна тиешелүү болот. Анда толук аныктама төмөнкүчө айтылат:

Кайноо температурасында суюктуктун бирдик массасын бууландыруу үчүн зарыл болгон, же буунун бирдик массасы конденсацияланган кезде бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны буу пайда болуунун, же конденсациянын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу деп аталат: $\boxed{L = \pm \frac{Q}{m}}$. (11.11)

СИдеги бирдиги – $\frac{Дж}{кг}$, системага кирбеген бирдиктери $\frac{кал}{г}$, $\frac{ккал}{кг}$ ж. б.

Түрдүү суюктуктар түрдүү температурада кайнайт. Ошондуктан түрдүү суюктуктун буулануусунун, же конденсациясынын салыштырмалуу жылуулугу да түрдүүчө болот.

● Суюктуктун кайноо температурасы канча жогору болсо, L ошончо кичине болот, б. а. аны бууландырууга азыраак жылуулук зарыл болот жана тескерисинче, суюктуктун кайноо температурасы төмөн болсо, L ошончо чоң болот, аны бууландыруу үчүн көбүрөөк жылуулук керек болот.

Мисалы суу үчүн $0^\circ C$де $L = 595\,\frac{кал}{г}$, $100^\circ C$де $L = 539\,\frac{кал}{г}$, $200^\circ C$де $L = 468\,\frac{кал}{г}$ ж. б.

§ 56. Кайноо. Кайноо температурасынын басымга көзкарандылыгы

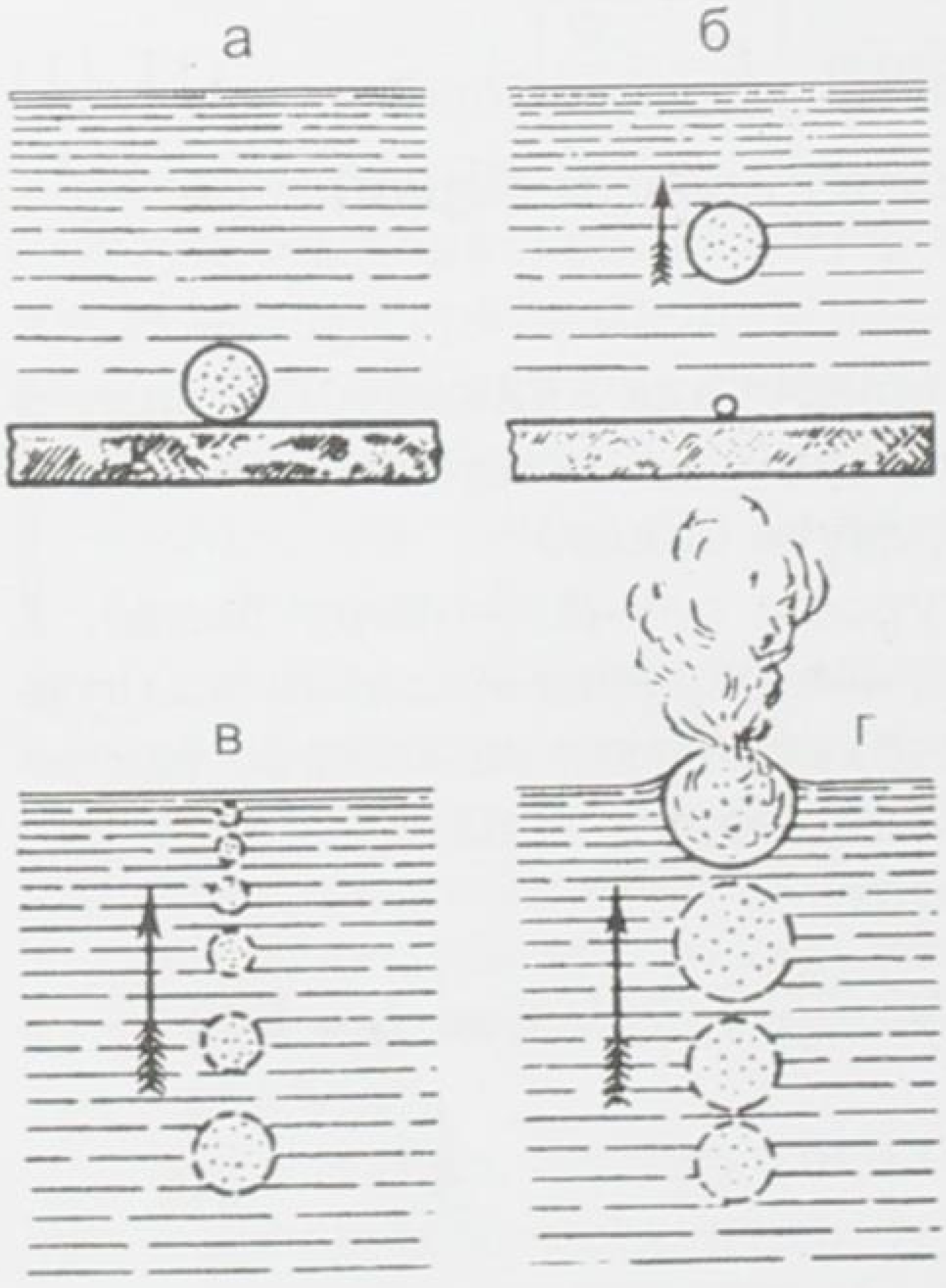
Колбадагы сууну отко коюп, анда келип чыгуучу процессти байкайлы. Адегенде, идиштин капталдарында газдын көбүкчөлөрү пайда боло баштайт. Ал көбүкчөлөр идиштин капталдарын-

да адсорбцияланган (жутулган) абанын бөлүнүп чыгышынан пайда болот. Ар бир көбүктүн ичинде аба, андан башка суунун каныктыруучу буусу болот. Суунун андан аркы ысышы менен баягы көбүкчөлөр чоңоюп жана көбөйө берет. 128-сүрөттө бул процесстер ирээти менен келтирилген. Адегенде суу ысый электе үстүңкү муздак катмарга жеткен сайын көбүнчө кичиреет. Бирок суу текши ысып келгенде, көбүкчө жогору көтөрүлгөн сайын чоңоюп, суюктуктун үстүңкү бетине жеткенде жарылып, ичиндеги буу сыртка чыгат.

Суюктуктун бетинде жана ичинде бир убакта буулануунун келип чыгышы кайноо деп аталат.

Демек кайнаган кезде көбүкчөлөрдүн ичиндеги каныктыруучу буунун басымы сырткы атмосфералык басымды жеңе турган абалга жетет. Б. а. суюктуктун каныктыруучу буусунун басымын суюктуктун эркин бетине баскан сырткы басымга барабарлаган температурада кайноо келип чыгат.

Андай болсо, суюктукка болгон басымды кичирейтүү менен кайноо температурасын төмөндөтүүгө, же сырткы басымды чоңойтуу менен кайноо температурасын жогорулатууга болот деген жыйынтык келип чыгат. Муну турмуш ырастап турат. Мисалы, колбадагы суунун оозун тыгындап, анын үстүндөгү абаны сордура берип, бир убакта кайноо абалына жеткирүүгө болот, ал гана эмес, тоңдуруп салууга да болот. Колбаны суу төгүлгөн подставкага койсок, ал муздап отуруп тоңуп, подставкага жабышып калат.



128-сүрөт. *а* – ичиндеги суюктук буулангандыктан аба көбүкчөсүнүн чоңоюшу; *б* – көбүкчөнүн идиштен ажырашы жана кийинки көбүкчөнүн пайда болушу; *в* – көбүкчөнүн жогору көтөрүлүшү; *г* – суюктуктун кайнашы.

Демек, турмуштагы кайноо менен физикадагы кайноо түшүнүгүнүн айырмасы бар. Турмушта кайнады деген сөз, ал ысып, оозду, колду күйгүзө тургандай (чай, тамак ж. б.) абалда деп түшүнөбүз. Физикада болсо, суюктуктун бетинен баскан басымды анын ичиндеги каныктыруучу буунун басымына теңеген шартта кайноо пайда болот дейбиз.

Демек, мында тигил же бул температурада кайнады

деген сөз аралашкан жок. Кайноо жөнүндө сүйлөгөндө басым жөнүндө сөз болушу керек.

Көбүкчөлөрдүн ичиндеги каныккан буунун басымы суюктуктагы сырткы басым менен теңелген температурада кайноо келип чыгат.

Биздин бийик жайлоолордо атмосфера басымы төмөн болгондуктан кайноо температурасы төмөн.

Мисалы, Памирдеги Ленин атындагы чокуда басым болжол менен 300 *сым. мам.мм.* же $4 \cdot 10^4$ *Па*, ал жерде суу 70°Сде кайнайт. Ал эми нормалдуу басымда, б. а. 10^5 *Па*да суу 100°Сде кайнайт.

Басымды жогорулатуу менен кайноо температурасын жогорулатып, өтө ысыган суюктукту алууга болот.

Биздин Кыргызстандын бийик жайлоолорунда басым төмөн болгондуктан кайноо температурасы төмөн болот да, кайнаган чай араң эле жылымык, эт оңой менен бышпайт. Мындай учурда казандын капкагын оор нерсе менен бастырып думбалайт, демек, басымды чоңойтуп кайноо температурасын жогорулатуу менен этти араң бышырат. «Скороварка» мискейинин иштеши ушуга негизделген. Медицинада түрдүү хирургиялык аспаптарды, шприцтерди, таңгыч материалдарды ж. б. зыянсыздандырууда жогоруда айтылган метод колдонулат.

Суюктуктардын нормалдуу басымдагы кайноо температуралары анын тегине жараша түрдүүчө. Ошондой эле бир эле суюктукта ага өтө ысытылган абалында катуу нерсенин бүртүкчөлөрүн салганда ошол замат кайнап, ташып төгүлүп кетет. Мисалы, чайнекте капкагы жабык болгон кезде андагы суу өтө ысыган абалга жеткенде чай салып жибергенде ал дароо боркулдап кайнап, ташып төгүлүп кетет. Суюктуктун эритмесинин концентрациясы да анын концентрациясынын даражасына карата түрдүү температурада кайнайт. Мисалы, нормалдуу басымда сымап 357°Сде, керосин 170°С–260°Сде (сортуна жараша), спирт 78°Сде ж. б. кайнайт, же туздун 12% и концентрациялуу суусу 102°Сде, 40% суу 108°Сде кайнайт ж. б..

§ 57. Абанын нымдуулугу

Жер шарынын көп бөлүгүн суу каптап жаткандыгын география курсунан билебиз. Алар океандар, көлдөр, дарыялар жана майда суулар. Алардын бардыгынан тынымсыз буулануу жүрүп тургандыктан бизди курчап турган атмосферанын бөлүгүндө кандайдыр бир өлчөмдө суу буулары болот. Абанын берилген көлөмүндө суу буулары канча көп болсо, буу каныгуу абалына ошончо жакын болот. Ал эми абанын температурасы канча жогору болсо, аны каныктыруу үчүн ошончо көп сандагы суу буу-

лары керек болот. Демек, абанын температурасына жараша ал түрдүү даражадагы нымдуулукка ээ.

Абанын нымдуулугу төмөнкү чоңдуктар менен мүнөздөлөт:

1) Парциалдык басым же абсолюттук нымдуулук.

Абадагы башка газдарды эсепке албастан жалаң гана суу бууларынын басымын эсепке алсак, ал суу буусунун парциалдык жекече (жалаң эле) басымы деп аталат. Же абанын $1 м^3$дагы суу бууларынын саны менен өлчөнүүчү чоңдук абанын абсолюттук нымдуулугу деп аталат. Бирдиги Па, же $\frac{Н}{м^2}$ – басымдын эле бирдигиндей болот.

2) Салыштырмалуу нымдуулук.

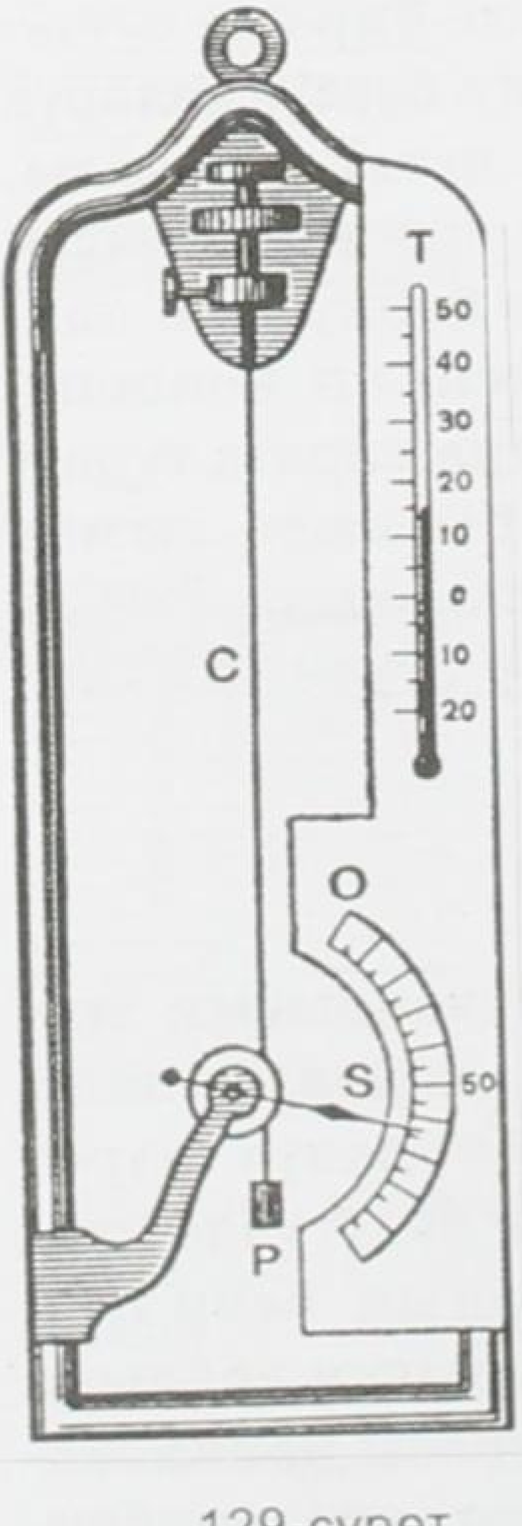
Абанын нымдуулук даражасы жөнүндө абадагы суу буусу каныгуу абалына канчалык жакын, же алыс тургандыгына жараша айтууга болот. Ал үчүн салыштырмалуу нымдуулук түшүнүгү киргизилет.

Абсолюттук нымдуулуктун (парциалдык басымдын) берилген температурада $1 м^3$ абаны каныктыруу үчүн зарыл болгон буунун санына болгон катышы абанын салыштырмалуу нымдуулугу деп аталат.

Эгер абада бар болгон буунун басымы же парциалдык басымы P, берилген температурада абаны каныктыруу үчүн зарыл болгон буунун басымы P_0 болсо, абанын салыштырмалуу нымдуулугу D төмөнкүгө барабар болот:

$$D = \left(\frac{P}{P_0}\right) \cdot 100\% \quad (11.12).$$

Ал процент (%) менен туюнтулат. Жер шарында нормалдуу салыштырмалуу нымдуулук 60–70% деп эсептелет.



129-сүрөт.

3) Шүүдүрүм чекити.

Абадагы суу буулары каныгып калган кездеги температура шүүдүрүм чекити деп аталат.

Абанын нымдуулугу психрометр, гигрометр деген куралдар менен ченелет.

Кылдуу гигрометрдин негизги бөлүгү адамдын майсыз узун чачы. Чач нымдуулукка жараша өзүнүн узундугун өзгөртөт.

Муну узун чачтуу кыздар байкашат. Чачты жуугандан кийин ал суйсалып, узаргансып калат. Кургак чач чачышып, түйдөктөлүп, кыскаргансып калат. Чачтын ушул касиети

абадагы нымды ченей турган гигрометрди жасоодо пайдаланылат (129-сүрөт). Чачтын бир учу бекем бекитилип, экинчи учуна блокко арта салынган чачка жеңил жүк илинген. Нымга жараша чач өз узундугун өзгөрткөндө, блок айланып, анын огуна бекиген жебе, алдынала бөлүктөргө бөлүнгөн шкала боюнча жылып, түздөн түз салыштырмалуу нымдуулукту өлчөйт. Металл гигрометри да бар. Гигро – ным, метрео – өлчөймүн деген сөз.

Август психрометри

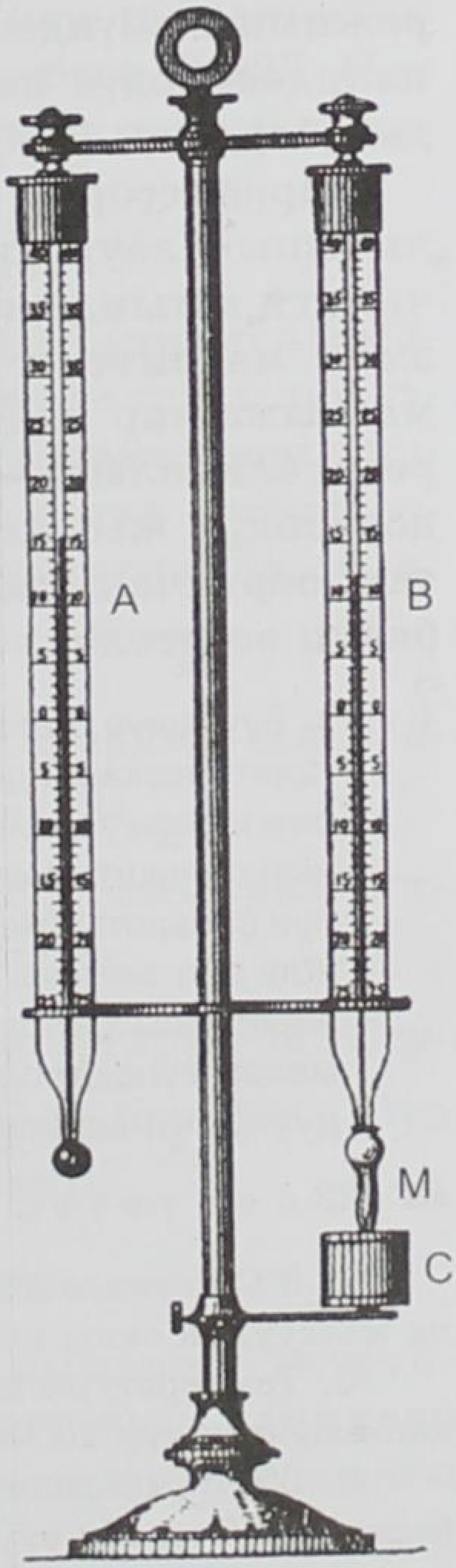
Августтун психрометри тактага бекитилген бирдей эки термометрден турат (130-сүрөт). Термометрлердин биринин резервуары даки материалы же чүпөрөк менен оролуп, суусу бар идишке матырылган. Идиштеги суу бууланып, калганы муздагандыктан анын көрсөтүүсү, абанын температурасын өлчөй турган кургак термометрдин көрсөтүүсүнөн төмөнкү температураны көрсөтүп турат. Эки термометрдин көрсөтүүлөрү боюнча атайын психрометрдик таблицанын жардамы менен абанын салыштырмалуу нымдуулугу өлчөнөт. Психрометрдик таблица же куралдын бетинде же маселе китептердин аягында берилет. Психрометр грек сөзү: психриа – муздактык, метрео – өлчөймүн деген сөз.

Абанын нымдуулугу адамдар жана жандуу, жансыз организмдер үчүн маанилүү. Абанын курамындагы нымдын азайышы адамдардын дем алышын кыйындатат, өсүмдүктөрдүн солуп, куурашына алып келет. Мындай учурда нымды көбөйтүү чаралары көрүлүп, ар кай жерге идишке суу куюп коюшат.

Тескерисинче, нымдын көбөйүшүнүн натыйжасында буюмдар ным болуп көгөрүп, эшик-терезенин жыгачтары көөп, эгин, картошка, пияз ж. б. өнүп кетет. Өзгөчө музейлерде, архивдерде нымдын нормалдуу болушу маанилүү. Нымды азайтуу үчүн шамалдатуу, жайып кургатуу ж. б. чаралар көрүлөт.

Абанын нымдуулугун аныктоо атмосферадагы кубулуштарды изилдөө үчүн жана аба ырайын алдынала айтуу үчүн метеорологияда чоң ролду ойнойт.

Атмосферанын жогорку катмарында болуп туруучу кубулуштар профессор К. А. Каримовдун жетекчилиги астында Кыргыз



130-сүрөт.

Каримов Казимир Абдулович – 1952-жылы туулган. Физика-математика илимдеринин доктору, профессор, геофизика жана атмосферанын физикасы боюнча адис. Нью-Йорк илимдер академиясынын мүчөсү. АКШ улуттук географиялык коомунун мүчөсү.

Улуттук илимдер академиясынын окумуштуулар тобу аркылуу жүргүзүлөт. Бул изилдөөлөрдүн илимде жана эл чарбасында мааниси чоң, себеби климаттык жана экологиялык алдын-ала айтууда (прогноздор) илимий негизге таянылат. Бул изилдөөлөр бир нече бүткүл дүйнөлүк жана эларалык геофизикалык программалар боюнча жүргүзүлөт да, ал изилдөөлөрдүн жыйынтыгы эларалык борборго берилип, ал жерден Ортоазия, Казакстан ж. б. территорияларынын жогорку катмарында болуп туруучу өзгөрүүлөр, жылуулук кыймылынын климаттык нормаларынын режими жөнүндөгү маалыматтар даярдалат. Жогорудагы татаал изилдөөлөрдүн негизинде абаырайы алдынала айтылат. Булардын бардыгы Күндүн активдүүлүгүнө байланыштуу кубулуштар.

Профессор К. А. Каримов жана СССРдин мамлекеттик сыйлыгынын лауреаты, профессор Т. О. Орозобаковдордун жетекчилиги астында күнүмдүк абарайы жөнүндөгү гана маалыматтар эмес магниттик ташкындоолор (магниттик буря) жөнүндөгү маалыматтар алдынала кабарланып турулат. Бул маалыматты республикалык гезиттерден дайыма окуй аласыңар. Бул изилдөөлөрдүн жыйынтыгы жергиликтүү адамдардын, өзгөчө картаң, оорукчан адамдардын саламаттыгына көрүлгөн камкордук болуп эсептелет.

?

1. БууланУу деп эмнени айтабыз? **2.** Буулануунун тездиги кандай факторлорго көзкаранды болот? **3.** Бууланууну молекулалык-кинетикалык теория менен кантип түшүндүрүүгө болот? **4.** Буулануунун, же конденсациянын салыштырмалуу жылуулугу деп эмнени айтабыз? **5.** Буу пайда болуунун салыштырма жылуулугун кандай формула менен аныктайбыз? **6.** Кайноо деп эмнени айтабыз? **7.** Турмуштагы жана физикадагы кайноонун айырмасы барбы? Ал кандай? **8.** Абанын нымдуулугу кандай чоңдуктар менен мүнөздөлөт? **9.** Нымдуулукту өлчөөчү куралдар кайсылар? **10.** Нымдуулуктун мааниси жөнүндө эмне билесиңер?

▲ 22-көнүгүү

1. 0°С кезинде алынган 1 *кг* сууну 100°Сде бууга айландыруу үчүн канча жылуулук саны керек?

2. Температурасы 100°С болгон 100 *г* суу буусу конденсацияланып, андан алынган суу 20°Сге чейин муздаганда канча жылуулук бөлүнүп чыгат?

3. 0°С температурадагы 30 *кг* суусу бар идишке температурасы 100°С болгон 1,85 *кг* суу буусу киргизилди. Мунун натыйжасында идиштеги суунун температурасы 37°Сге барабар болуп калды. Суунун буу пайда болуусунун салыштырмалуу жылуулугун тапкыла?

4. Абанын абсолюттук нымдуулугу $10\frac{г}{м^3}$ болсо, 12°С, 18°С жана 24° температуралардагы абанын салыштырма нымдуулуктарын аныктагыла?

5. Кургак термометр 20°Сди, ал эми нымдуу термометр 15,5°Сди көрсөтүп турат. Абанын салыштырма нымдуулугун тапкыла?

6. Берилген температура кезинде абадагы суу буусунун парциалдык басымы 1760 *Па*, ушул эле температурада каныккан суу буусунун басымы 2200 *Па*. Абанын салыштырма нымдуулугу канча?

7. Температура 12°С болгондо, абанын салыштырмалуу нымдуулугу 60%. 12°Сде каныккан суу буусунун басымы 1,4 *кПа*. Абадагы суу буусунун парциалдык басымы кандай?

Суюктуктар темасына маселе чыгаруунун мисалдары

Температурасы 288°К болгон самындын эритмесинин беттик тартылуу коэффициентин аныктоо боюнча тажрыйба жасап жаткан окуучу массасы 20 *г*, диаметри 12 *см* болгон зым шакекчени пайдаланган. Самындын эритмесинен шакекченин үзүлүп жаткан мезгилинде динамометрдин жебеси 0,227 *Н*ду көрсөттү. Бул тажрыйбанын натыйжасында беттик тартылуу коэффициенти үчүн кандай маани алынган?

Берилди:

$T = 288°К$
$d = 12\,см = 0{,}12\,м$
$m = 20\,г = 0{,}02\,кг$
$F = 0{,}227\,Н$
$g = 10\frac{м}{с^2}$

$\sigma - ?$

Чыгаруу:

Шакекченин эритмеден үзүлөр алдындагы көрсөтүүсү – бул беттик тартылуу күчү болот, анда ал күч (*P*) шакекченин ички жана сырткы айланасына аракет эткен күч менен тең салмактанат, б. а. $F = mg + 2\pi d\sigma$, мындан $F - mg = 2\pi d\sigma$, анда белгисиз чоңдук $\sigma = \frac{F-mg}{2\pi d}$ болот. Чоңдуктардын сан маанилерин ордуна коюп, эсептөө жүргүзсөк $\sigma \approx 0{,}04\frac{Н}{м}$.

Жообу: $\sigma \approx 0{,}04\frac{Н}{м}$. Таблицадан карасак бул самындын беттик тартылуу коэффициенти экени көрүнүп турат.

2. Капиллярдык түтүк боюнча суу 10 *см*ге көтөрүлгөн. Суунун беттик тартылуу коэффициенти $7\cdot10^{-2}\frac{Н}{м}$ге барабар. Бул капиллярдык түтүктүн радиусу канчага барабар?

Берилди:

$h = 10см = 10^{-1}м$
$\sigma = 7\cdot10^{-2}\frac{Н}{м}$
$\rho = 10^3\frac{кг}{м^3}$
$g = 10\frac{м}{с^2}$

$r - ?$

Чыгаруу:

Суюктуктун толук нымдоосу учурунда анын беттик тартылуу күчү капилляр боюнча көтөрүлгөн суюктуктун салмагы менен тең салмакташат, б. а. $F_{б.к} = P$, беттик тартылуу коэффициенти $F_{б.к}$ менен

төмөндөгүчө байланышкан $\sigma = \frac{F_{б.к.}}{\ell}$, мындан $F_{б.к.} = \sigma \ell$. Ал эми $\ell = 2\pi r$, анда $F_{б.к.} = 2\pi r\sigma$. (2)

Ал эми $P = mg$. Эгер массаны (m) тыгыздык (ρ) аркылуу туюнтсак $\rho = \frac{m}{V}$, мындан $m = \rho V$, мында V цилиндрдин көлөмү жана $V = \pi r^2 h$ болот. Бул учурда суюктуктун массасы $m = \rho\pi r^2 h$ ка барабар болот да, анын салмагы $P = \rho\pi r^2 hg$ (3) болот.

Эгер $F_{б.к}$ тин жана P нын (2) жана (3) маанилерин (1) формулага койсок $2\sigma = \rho\pi rh$ болот, мындан капиллярдык түтүктүн радиусу $r = 2\frac{\sigma}{\rho gh}$. Чондуктардын сан маанилерин коюп эсептөө жүргүзсөк $r = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$.

Жообу: түтүктүн радиусу $r = 1{,}4 \cdot 10^{-4}$ болгон.

XI главадагы эң негизги маалыматтар

Суюктук агуучулук касиетке ээ. Ал формасын сактабайт, көлөмүн гана сактайт.

Беттик тартылуу коэффициенти (σ) $\sigma = \frac{F}{\ell}$, б. а. беттик тартылуу күчүнүн беттик катмардын чегинин узундугуна болгон катышы. Бирдиги $\left(\frac{Н}{м}\right)$ болот. Суюктук катуу нерсе менен беттешкен кезде нымдоо, нымдабоо кубулушу пайда болот.

Капиллярлар боюнча нымдоочу суюктук жогору көтөрүлөт, нымдабоочу суюктук төмөн түшөт. Көтөрүлүү бийиктиги $h = 2\frac{\sigma}{\rho gr}$ формуласы менен аныкталат.

Көтөрүлүү (нымдоочуда) төмөн түшүү (нымдабоочуда) түтүктүн r радиусуна тескери пропорциялаш болот. Кошумча басымдар $P = \sigma\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$.

Бууланyy – бул суюк, же катуу абалдан газ абалына өтүү. Кайноо – бардык катмарлардагы интенсивдүү бууланyy. Абада жер бетиндеги суулардан бууланган суунун молекулалары болуп, аба белгилүү өлчөмдө нымдуу болот.

XII глава

КАТУУ НЕРСЕЛЕР

§ 58. Аморфтук жана кристаллдык катуу нерселер

Катуу нерселер суюктуктар менен газдардан айырмаланып, формасын жана көлөмүн сактайт. Катуу нерселер эки топко бөлүнөт:

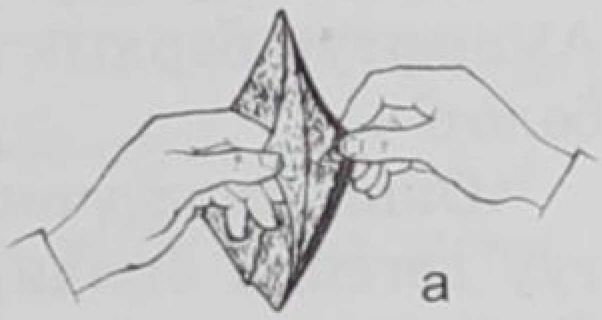
1) Кристаллдык катуу нерселер.

2) Аморфтук катуу нерселер.

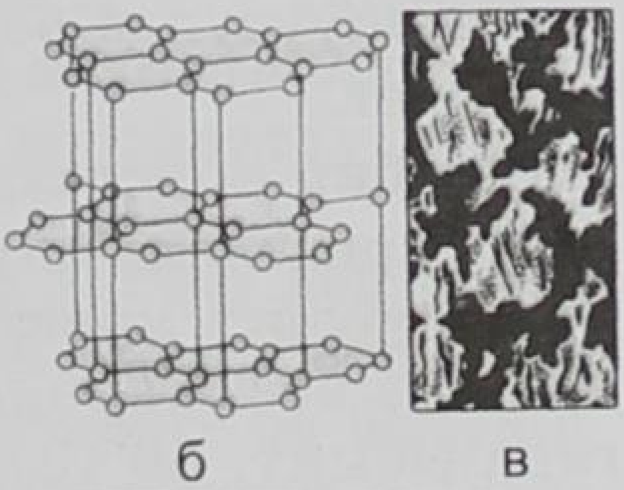
Кристаллдык катуу нерселерге суюк металл, сымаптан башка бардык металлдар: кайнатма туз, тоо хрусталы, алмаз, изумруд, рубин, кумшекер ж. б. аморфтук катуу нерселерге: пластмассалар, чайыр, айнек, нават, мом ж. б. мисал болушат.

Бул экөө тең эле катуу нерселер. Алардын кимиси кристалл, кимиси аморфтук экенин төмөндөгү негизги айырмалары боюнча ажыратышат.

1. Кристаллдык катуу заттардын молекула, атомдору белгилүү бир тартип боюнча ирееттүү жайланышат. Ошондуктан алардын сынган грандары (кырлары) туура геометриялык фигураларды элестетет (131-*а*, *б*, *в* жана 132–133-сүрөттөр). Аморфтук катуу нерселердин молекула, атомдору башаламан, иретсиз жайланышат, сынган кырлары кокусунан келип чыккан ар түрдүү формаларга ээ болушат.



а



б в

131-сүрөт.

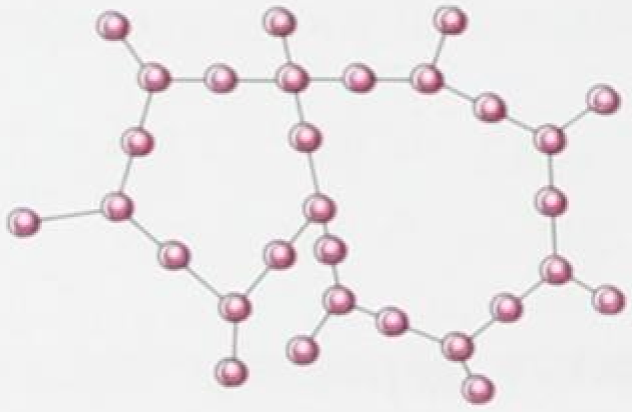
Бул айырмачылык молекулалык структурадагы – молекулалык түзүлүшүндөгү айырмачылык болуп эсептелет.

2. Экинчи айырмасы кристалл анизотроптуу. Анизотропия грек сөзү, анизос – бирдей эмес, тропос – бурулуш деген маанидеги сөздөр.

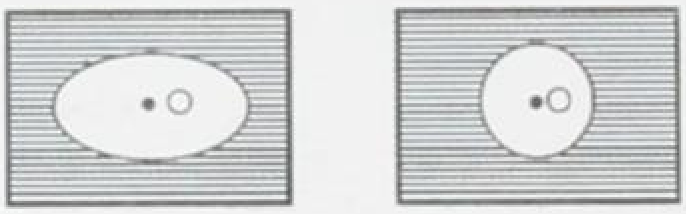
Аморфтук заттар – изотроптуу – бирдей. Аморфтук деген сөздүн өзү грекче *amorfos* – формасыз деген маанини билдирет.

Бул айырмачылыкты мисал менен түшүндүрүүгө аракеттенелик.

132-сүрөт.



133-сүрөт.



134-сүрөт.

Кристаллдык зат гипс жана аморфтук зат айнек пластинкаларды алып, анын бетин парафин же мом менен шыбашат. Андан кийин бирдей эки ийнени бирдей температурага чейин ысытып туруп, 0 – чекитине такап турушса, ийненин жылуулугунун натыйжасында пластинканын бетине шыбалган парафин (мом) эрийт да гипсте эллипс, айнекте тегерек формасында эриген фигура (аянттар) пайда болот (134-сүрөт). Эллипс болгон себеби кристалл ийненин жылуулугун горизонталь багытта жакшы, вертикаль (тик) багытта начар таралат деген сөз. Ал эми айнекте болсо, жылуулук бардык багытка бирдей таралат дегенди билдирет. Жылуулук өткөрүүчүлүгү гана эмес токту, жарыкты өткөрүшү, жылуулуктан кеңейип, муздактан тарышы сыяктуу физикалык касиеттер кристаллда түрдүү багытта түрдүүчө болот. Аморфтук бардык багыт боюнча физикалык касиеттери бирдей болот.

Ошол түрдүүчөсү – анизотроптуу, бирдей болгону – изотроптуу дегенди билдирет.

● 3. Үчүнчүсү, негизги айырмаларынын бири эрүү жана кристаллдашуусунда болот. Көп тажрыйбалар төмөнкү жыйынтыкты берет.

● Ар бир кристаллдык катуу заттын өзүнө гана тиешелүү эрүү жана кристаллдашуу чекити болот. Аморфтук катуу нерселерде белгилүү эрүү, кристаллдашуу чекити болбойт. Мисалы кристаллдык зат нафталинди пробиркага салып эрите баштасак, ал жөн гана ысыйт, 80°Сде эрүү процесси башталат. Бир бүдүр калбай эрип бүтмөйүн температура өзгөрбөйт, жылуулук молекулалык структураны бузууга, б. а. катуу абалдан суюк абалга айландырууга жумшалат. Эрип бүткөн соң, суюк нафталиндин температурасы көтөрүлө баштайт. Эгер отту алып таштасак, адегенде эрүү чекити – 80°Сге чейин муздайт, 80°Сге жеткенде кристаллдашуу башталат. Эрип жатканда температура өзгөрбөгөн сыяктуу эле кристаллдашып жатканда да температура өзгөрбөйт. Мында жылуулук молекулалык структураны калыбына келтирүүгө, б. а. суюк абалдан катуу абалга өткөрүүгө жумшалат. Катууланып бүткөндөн кийин гана температура төмөндөп, айлана-чөйрөнүн температурасына теңелет. Ал эми аморфтук затты отко койсок, бир четинен эрий да берет, температурасы көтөрүлө да берет. Оттон алып койсок, катуулана да, муздай да берет. Графикте муну төмөнкүдөй көрсөтсө болот (135–136-сүрөттөр).

Катуу кристаллдык жана аморфтук нерселер негизинен ушул үч айырмасы менен белгиленет.

1912-жылы немец физиги Н. Лауэ рентген нурунун жардамы менен кристаллдардын ички түзүлүшүн изилдөөнү сунуш кылган. Азыркы кезде 30 000ден ашуун аралашмалардын ички түзүлүшү изилденген. Ошондо катуу заттардын молекула, атомдору белгилүү бир орточо абалда термелүү, же айлануу кыймылына келери белгилүү болгон. Эгер ошол молекула, атомдорду көңүлүбүздө түз сызыктар менен бириктирсек мейкиндиктик торчо деп аталган торчону алабыз. Мейкиндиктик торчо түрдүү кристаллда түрдүүчө болору 131-*б*, жана 133-сүрөттөрдөн көрүнүп турат.

135-сүрөт.

136-сүрөт.

Эгер кристалл бир бүтүн кристаллдан турса, ал монокристалл (монос – бир) деп аталат.

Иретсиз жайланышкан жана бири-бири менен бириккен көп кристаллдан турса ал, поликристалл деп аталат.

Поликристалл аморфтук заттар сыяктуу изотроптуу да болушу ыктымал.

Катуу заттарды кристаллдар, аморфттук заттар деп бөлүү шарттуу түрдө экенин белгилей кетүү керек. Себеби кайсы бир нерселер кристаллдык да, аморфтук да касиеттерге ээ болушу мүмкүн. Мындай учурда кайсы касиети басымдуулук кылса, ошол топко кошуп коюу керек.

Катуу нерселер биздин турмушубузда өтө кеңири колдонулары жөнүндө айтпасак да белгилүү.

§ 59. Катуу нерселердин эрүүсү. Эрүүнүн жана кристаллдашуунун салыштырма жылуулугу

Заттын катуу абалдан суюк абалга өтүү процесси эрүү деп аталат. Эритүү үчүн сырттан жылуулук берилет.

Кристаллдык катуу зат эриген температура анын эрүү температурасы, же эрүү чекити деп аталат.

Ар түрдүү заттардын эрүү температуралары түрдүүчө болот.

Кристаллдык зат эрип жаткан мезгилде анын температурасы өзгөрбөйт. Сырттан ага берилген жылуулук аны катуу абал-

дан суюк абалга айландырууга, б. а. молекулалык структурасын бузууга жумшалат.

Аморфттук заттарда белгилүү эрүү, кристаллдашуу чекити болбойт.

● Кристаллдар кайсы температурада эрисе, так ошол температурада, анын бирдик массасы эриш үчүн алганынчалык жылуулукту бөлүп чыгаруу менен кристаллдашат.

Жылуулукту бөлүп чыгаруу менен заттын суюк абалдан катуу абалга өтүү процесси кристаллдашуу же катуулануу деп аталат.

Биз нерсени эритүү үчүн сырттан ага жылуулук санын беребиз дедик. Ошол жылуулуктун эсебинен кристаллдын мейкиндик торчосу бузулат, ошондуктан эрип жаткан нерсенин ички энергиясы көбөйөт.

Эрүү температурасында нерсенин бирдик массасынын катуу абалдан суюк абалга өтүшү үчүн зарыл болгон жылуулуктун саны эрүүнүн салыштырма жылуулугу деп аталат.

Нерсе кристаллдашканда, тескерисинче, нерсенин ички энергиясы азаят, ал энергиянын бир бөлүгү айланадагы нерселерге берилет.

Эриген кезде нерсе алган жылуулук, кристаллдашкан кезде кайрадан бөлүнүп чыгат. Мунун өзү энергиянын айлануу жана сакталуу законунун дагы бир далили болуп эсептелет.

Түрдүү заттардын эрүү жылуулугу анын бирдик массасын эритүү үчүн сарпталган энергия менен мүнөздөлөт.

Эрүү температурасында нерсенин бирдик массасынын катуу абалдан суюк абалга өтүшү үчүн зарыл болгон, же суюк заттын бирдик массасы кристаллдашкан кезде бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны эрүүнүн, же кристаллдашуунун салыштырмалуу жылуулук сыйымдуулугу деп аталат. Ал гректин λ (лямбда) тамгасы менен белгиленет. Анда нерсени эритүү үчүн ага берилген же кристаллдашууда бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны төмөндөгү формула менен аныкталат:

$$Q = \pm m\lambda \qquad (12.1)$$

«+» плюс белги сырттан берилген, б. а. эрүү жылуулугу, «–» минус белги кристаллдашуу кезинде бөлүнүп чыккан жылуулук экендигин билдирет, мында Q – жылуулук саны, m – масса, λ – эрүүнүн (кристаллдашуунун) салыштырма жылуулук сыйымдуулугу.

Ал (12.1) формуласынан $\lambda = \frac{Q}{m}$ формуласы менен (12.2) туюнтулат. СИдеги бирдиги $\left(\frac{Дж}{кг}\right)$.

Системага кирбеген бирдиктери: $\frac{эр.}{г}$; $\frac{кал}{г}$; $\frac{ккал}{кг}$ ж. б.

Эрүү температурасы түрдүү заттарда түрдүүчө. Ошол себептен да түрдүү заттарда түрдүүчө. Маселе китептердеги таблицадан ал тууралуу маалымат алса болот.

Мисалы, муз үчүн СИде $\lambda = 335 \cdot 10^3 \frac{Дж}{кг}$ – бул 0°С кезинде муздун 1*кг*ын толук эритүү үчүн $335 \cdot 10^3$ *Дж* жылуулук берүү керек, же 0°С кезинде 1 *кг* сууну музга айландырганда жылуулукту айлана-чөйрөгө берет дегенди билдирет. Эрүү, кристаллдашуу процесстери металлдарды куюуда кеңири колдонулат.

Адегенде эмне жасоо керек болсо, ошол нерсенин так калыбы (формасы) жасалат. Ага эриген металл куюлат. Муздаган соң керектүү тетик даяр болот. Бизге нерсе муздаганда көлөмү кичирейери, ысыган кезде кеңейери белгилүү. Мына ошону инженер-техниктер эске алышып, калыпты ошого ылайыктап жасашат, анткени даяр болгон тетик бизге керектүү өлчөмдө болушу керек. Өнөржайына, айыл чарбасына гана керектүү тетиктер эмес, коздук үчүн керектүү сөйкө, шакек, төөнөгүч, курларды кооздоочу нерселер, ат жабдыктарын, бозүйлөрдү, ээрлерди кооздоочу, ийик куюу, чүкөгө кыт куюу ж. б. тетиктерди жасоо эрүү, кристаллдашуу кубулуштарына негизделген.

§ 60. Катуу нерселердин касиеттерин изилдөө боюнча жергиликтүү окумуштуулардын изилдөөлөрү

Кыргызстанда физика илими боюнча изилдөөлөр 40-жылдарда ленинграддык профессор В. А. Зибер жана доцент И. И. Балоганын жетекчиликтери астында башталган.

Бул кыска убакыт ичинде жергиликтүү окумуштууларыбыз, академиктерибиз, илим докторлору жана кандидаттары өсүп чыкты.

Кыргыз Улуттук илимдер академиясынын Физика институту Физика-математика институтунун базасында 1984-жылы уюштурулган. Анын биринчи деректири академик Ж. Ж. Жээнбаев болгон, ал кийин Кыргыз УИАнын президенти кызматында иштеген.

Азыркы кезде Физика институтунун деректири болуп техника илимдеринин доктору, профессор Т. О. Орозобаков эмгектенүүдө. Бул институтта төмөнкү багыттар боюнча изилдөөлөр жүргүзүлүүдө: оптоэлектроника, төмөнкү температуралуу плазма жана атомдук спектроскопия, катуу нерселердин физикасы, радиофизика, атмосферанын физикасы ж. б.

Алыбаков Аскарбек (1933 – 1993) – Ысыккөл облусунун Жетөгүз районундагы Сүттүбулак айылында туулган. Кыргыз мамлекеттик университетинин физика-математика факультетин 1953-жылы, аспирантураны 1956-жылы бүтүргөн. Ошондон тартып өмүрүнүн акырына чейин Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясында физика илимин өнүктүрүү жана жергиликтүү физик-кадрларды тарбиялоо боюнча иштеген.

Физика институтунда катуу нерселердин физикасы (кристаллдык физика) боюнча изилдөөлөр кеңири кучак жаюуда. Азыркы мезгилде монокристаллдык синтетикалык алмазды түзүү боюнча изилдөөлөр жүргүзүлүп жатат.

Кристаллдык физика лабораториясын 1960-жылдан өмүрүнүн акырына (1998-ж.) чейин Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын мүчө корреспонденти, профессор, Кыргыз Республикасынын Илимине эмгек сиңирген кызматкери Алыбаков Аскарбек жетектеген.

А. Алыбаков 200дөн ашуун илимий эмгектердин, анын ичинде 4 рационализатордук сунуштун, 20га жакын автордук күбөлүктөрдүн ээси. Алыбаковдун өзүнүн илимий мектеби түзүлгөн. Бул илимпоздун жетекчилиги астында илимдин 19 кандидаты даярдалган.

Анын изилдөөлөрүнүн жыйынтыгы практика жүзүндө онкология жана радиология боюнча Кыргыз илим-изилдөө институтунда, Киев шаарынын «Арсенал» заводунда, Санкт-Петербург шаарынын Н. Н. Петров атындагы онкология институтунда, Новосибирск мамлекеттик университетинде, Россия Федерациясынын Илимдер Академиясынын теплофизика институтунун Сибирь бөлүмүндө, Урал политехника институтунда ж. б. көп жерлерде колдонулууда.

Кристалл-физикасы тармагында дислокациялардын жыштыгы төмөн таза жана аралашма кристаллдарды алууга мүмкүн болгон эритиндилерден кристаллдарды өстүрүү методу профессор А. Алыбаков тарабынан жакшыртылган. Кыргыз илимпоздору ар кандай типтеги структуралуу көп сандагы иондуу кристаллдарды, анын ичинде $NaCl$ тибиндеги структуралуу жегичгаллоиддик кристаллдарды, калий дигидрофосфат, күкүрт кычкыл литий, иоддуу кислота, калий бифтолат, бихромат ж. б. кристаллдарды синтездешкен. Жогорку сапаттуу өстүрүлгөн кристаллдар медициналык куралдарда, лазердик орнотмолордо колдонулат.

Электрондук парамагниттүү резонанс методу менен өстүрүлгөн кристаллдарды изилдөөдө бир катар оригиналдуу натый-

жалар алынган. Жергиликтүү илимпоз окумуштуу А.Шалпыков тарабынан азыркы кездеги физика-химиялык ыкмаларды пайдалануу менен металл эмес монокристаллдардын физикалык касиеттерине изилдөөлөр жүргүзүлгөн. Жегич галлоиддик кристаллдардагы эки валенттүү кошундулардын болушу изилденген, кошундулар менен легирлөөнүн натыйжасында катуу эритиндинин пайда болушу жана алардын ажыроо кинетикасы белгиленген. Бул кристаллдардагы электр өткөрүүчүлүк, диэлектрдик жоготуулар комплекс түзүү процессинде, ошондой эле, башка валенттүү кошундулардан аларды тазалоо процессине көзкарандылыгы эксперимент жүзүндө ырасталган.

КУУнун окумуштуулары Л. В. Тузов, А. Г. Яхонтов, Т. Т. Карашев, А. Иманкулов тарабынан металлдардын, куймалардын бышыктыгын жана пластикалуулугунун физикалык проблемасы боюнча илимий-изилдөөлөр жүргүзүлгөн. Республиканын илимпоздору термдик жана механикалык таасир, фазалык бекитүү учурунда металлдардын жука структурасынын пайда болуу закончменемдүүлүктөрүн изилдөөдө. Ошондой эле болоттун, темир, никель ж. б. куймалардын пластикалуулугуна жана бышыктыгына фазалык кубулуштардын тийгизген таасири изилденген. Когеренттүү нурлануунун кубаттуу булагы лазердин таасири астында жегич галлоиддик кристаллдардын жана айрым металлдардын бузулушу изилденген. Куйманын сыныктарынын үстүнкү бетинин химиялык курамын аныктоо жана кандап ширетип бириктирилген жерлердеги, көп катмардуу каптоолордогу элементтердин бөлүштүрүлүшүн үйрөнүү ыкмасы иштелип чыккан. Бул ыкма өздөштүрүлгөн жана ал Сибирь физика-техника институтунун, Новокузнецк политехника институтунун, МГУнун химия факультетинин лабораторияларында ж. б. мекемелерде пайдаланылууда.

Азыркы учурда республикада металл физикасы боюнча изилдөөлөрдүн көпчүлүгү чарбалык эсеп негизинде өнөржай ишканаларынын суроо-талабы боюнча жүргүзүлөт. Бул сыяктуу иштер Кыргызстандын, Казакстандын, Москванын ж. б. көп шаарлардын ишканалары үчүн аткарылат. Жасалма, табигый металл эмес кристаллдардын чыныгы түзүлүшүн жана электрдик касиеттерин үйрөнүү боюнча илим-изилдөө жумуштары жүргүзүлүп жатат.

Катуу нерселер физикасынын бир бөлүгүндө жүргүзүлгөн изилдөө иштери боюнча А. Г. Яхонтов, М. А. Ногоев белгилүү окумуштуулардан болуп эсептелишет. Алар ачкан болот өз касиети боюнча дүйнөдөгү эң бекем болоттон өзгөчөлөнүп турат. Бул болоттон жасалган диаметри 1 *мм* зым 200 *кг* массадагы жүктү көтөрө алат жана бул металл магниттик касиетке ээ эмес,

б. а. магнитке тартылбайт. Эгер бул металлды муздатып отуруп, критикалык температурага жеткирсе, ал эки фазалык болуп калат. Бул эң маанилүү жана келечеги кең, кызыктуу ачылыш болуп эсептелет.

Катуу нерселердин касиеттерин, анын деформацияланышын, бекемдигин, бышыктыгын изилдөө боюнча физика-математика илимдеринин доктору, профессор Абдрахманов Сарбагыштын катуу нерселердин деформациясы боюнча, физика-математика илимдеринин доктору, профессор Чормонов Мелистин катуу нерселердин деформациясы боюнча изилдөөлөрүн ж.б. атоого болот.

Булардын жол баштоочулары: физика-математика илимдеринин доктору, профессор Тузов Леонид Васильевич (1925) – металлдардын физикасы боюнча, металлдар менен куймалардын пластикалуулук теориясынын негизи боюнча адис; техника илимдеринин доктору, профессор, Кыргыз Улуттук илимдер академиясынын академиги, Россия – Кыргыз Эларалык илимдер Академияларынын мүчөсү Алимов Олег Дмитриевич (1923) – машина куруу жана тоокен машинелерин өркүндөтүү боюнча адис. Физика боюнча 400дөн ашуун илимий эмгектери, 150дөй автордук күбөлүгү бар көптөгөн ойлоп табуулар, патенттердин ээлери. Жергиликтүү кадрларды даярдап чыгаруу боюнча алардын эмгеги зор.

Азыркы мезгилде эгемендүү республикабызда жергиликтүү окумуштуулардын билимдүү командасы эмгектенишүүдө.

Мындан 50–55 жыл мурда республикабызда физика-математика, техника илимдери боюнча окумуштуу жокко эсе болгон. Жогорку окуу жайларыбызга Москва, Ленинграддын ж. б. жерлерден окумуштуулар контракт менен келип, лекция окуп кетип турушкан. Жергиликтүү адистердин өсүп чыгышына жогоруда аты аталган жана аталбай калган орус окумуштууларынын эмгеги зор болгон.

? **1.** Катуу нерселердин газдардан, суюктуктардан айырмасы. **2.** Кристаллдардын, аморфттук заттардын айырмасы? **3.** Мейкиндик торчо жөнүндө эмне билесиңер? **4.** Эрүү деп эмнени айтабыз? **5.** Кристаллдашуу деп эмнени айтабыз? **6.** Эрүү, кристаллдашуу жылуулугу кандай формула менен эсептелет? **7.** Эрүүнүн, кристаллдашуунун салыштырма жылуулугу деп эмнени айтабыз? Формуласы, бирдиктери кайсылар?

23-көнүгүү

1. Массасы 10 *кг* жана 0°Сден музду эритүү үчүн канча жылуулук сарпталат?

2. – 8°С температурадагы 150 *кг* музду 0°Сдеги сууга айландыруу үчүн канча жылуулук керек?

3. 20°С температурада алынган 1 *кг* темирди эритүү үчүн канча жылуулук керек?

4. Массасы 10 *кг*, температурасы 660°Cдеги болот гирясын 0°C температурадагы муздун үстүнө коюшту. Гирянын температурасы 0°Cге чейин төмөндөгөнчө, ал канча музду эритет? $c_{болот} = 460 \frac{Дж}{кг{}^\circ C}$; $\lambda_{муз} = 330 \frac{кДж}{кг}$.

5. 1524 *кДж* жылуулук санын алган 2 *кг* алюминийдин жарымы эриди. Алюминийдин баштапкы температурасы кандай болгон? $c_{ал.}=880 \frac{Дж}{кг{}^\circ C}$; $\lambda_{муз} = 330 \frac{кДж}{кг}$. Эрүү температурасы – 660°C.

Катуу нерселерге маселе чыгаруунун мисалдары

1. Узундугу 10 *м*, диаметри 0,8 *мм* болгон зым 100 *Н* күчтүн таасири астында 1 *см*ге узарган. Зымдын материалынын серпилгичтүүлүк модулу канчага барабар?

Берилди:

$\ell = 10$ *м*
$d = 0{,}8$ *мм* $= 8 \cdot 10^{-4}$ *м*
$F = 100$ *Н*
$\Delta\ell = 1$ *см* $= 10^{-2}$ *м*

E –?

Чыгаруу:

Гук закону боюнча Юнг (серпилгичтүүлүк) модулу: $\sigma = E \cdot \varepsilon$, ал эми механикалык чыңалуу $\sigma = \frac{F}{S}$; $S = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$, ε – салыштырмалуу узаруу $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$. Булардын бардыгын Гук законунун формуласына койсок: $\frac{4F}{\pi \cdot d^2} = E \cdot \frac{\Delta\ell}{\ell_0}$; же $4 \cdot F \cdot \ell_0 = E \cdot \Delta\ell \cdot \pi \cdot d^2$, мындан $E = \frac{4 \cdot F \cdot \ell_0}{\pi \cdot d^2 \cdot \Delta\ell}$ болот. Буга чондуктардын сан маанилерин коюп эсептөөлөрдү жүргүзүп, $E = 2 \cdot 10^{11}$ *Па*ды алабыз.

Жообу: $E = 2 \cdot 10^{11}$ *Па*.

2. Муздаткычтын ПАКи 80%ке барабар. Баштапкы температурасы 289°K болгон 150 *г* сууну музга айландыруу үчүн канча сандагы фреон-12 (муздатуучу зат) бууланууга тийиш?

Берилди:

$\eta = 80\% = 0{,}8$
$m_c = 0{,}15$ *кг*
$T_1 = 289$°K
$T_2 = 273$°K

Чыгаруу:

Эсеп жылуулук балансынын теңдемесинин жардамы менен чыгат. Суу муздаганда жана ал тоңгон кезде бөлүнүп чыккан жылуулук сандары:

$Q_1 = c_c \cdot m_c (T_1 - T_2)$, $Q_2 = m_c \cdot \lambda$. Фреон

$\lambda = 3{,}35 \cdot 10^5 \ \frac{Дж}{кг}$	бууланган кезде ал алган жылуулук саны $Q_3 = m_{фр} \cdot L_{фр}$. Баланс теңдемеси боюнча: $Q_1 + Q_2 = Q_3$.
$L = 1{,}682 \cdot 10^6 \ \frac{Дж}{кг}$	Анда Q_1, Q_2, Q_3 түн маанилерин ордуна койсок, ПАК $\eta = Q_1 + \frac{Q_2}{Q_3}$ болот.
$m_{фр}$ – ?	

$$c_с \cdot m_с(T_1 - T_2) + m_с \cdot \lambda = m_{фр} \cdot L_{фр} \cdot \eta .$$

Мындан $m_{фр} \ \frac{c_с \cdot m_с(T_1 - T_2) + m_с \cdot \lambda}{\eta \cdot L_{фр}} = 0{,}044 \ кг = 44 \ г.$

Жообу: бууланган фреон 44 *г* болду.

XII главадагы эң негизги маалыматтар

Катуу нерселер суюктуктардан айырмаланып, формасын да, көлөмүн да сактайт. Молекулалары эң тыгыз жайланышып, ал мейкиндик торчого ээ. Ошондуктан диффузия абдан жай жүрөт. Катуу нерселер: кристаллдар жана аморфтук заттар болуп бөлүнөт.

Алардын айырмасы молекулалык структурасында; кристалл – анизотроптуу, аморфтук заттар – изотроптуу; кристаллдардын ар биринин өзүнө тиешелүү эрүү, кристаллдашуу чекити болот, аморфттук заттарда андай белгилүү чекит болбойт.

Аморф – өтө суюлтулган суюктук болот. Катуу нерселер серпилгич же ийилгич болушат. Күчтүн таасири астында формасын, көлөмүн өзгөртөт, б.а. деформацияланат. Катуу нерселер бышык же морт болушат. Деформация кезинде серпилгич нерселерде Гук закону аткарылат, б. а.

$\sigma = E|\varepsilon|$ же $E_{серп} = -k \cdot x$ (экөө бир эле мааниде).

Серпилгичтүүлүк касиети Юнг, же серпилгичтүүлүк модулу E менен мүнөздөлөт.

Катуу нерселер биздин турмуш-тиричиликте өтө кеңири колдонулат. Эрүү жана кристаллдашуу жылуулугу: $Q = \pm m\lambda$, мындан $\lambda = \frac{Q}{m}$, λ – эрүүнүн же кристаллдашуунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу. λ нын физикалык маанисин түшүнүү керек. Главада жергиликтүү окумуштуулардын эмгектерине зор көңүл бөлүнгөн.

XIII глава

ЭЛЕКТР-ДИНАМИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ. ЭЛЕКТР-СТАТИКА

§ 61. Электр-динамика эмнени окутат?

VIII класстын физика курсунда электр кубулуштарын баштаган элек. Ошондуктан адегенде биз электр-динамика бөлүмү эмнени окутарын түшүнүүдөн баштайлык. Бөлүмдүн атынан эле байкалып тургандай, сөз электр зарядына ээ болгон бөлүкчөлөрдүн өзара аракеттешүүлөрү жана кыймылы менен аныкталуучу процесстер жөнүндө экендигинде. Мындай өзара аракеттешүү электр-динамикалык аракеттешүү деп аталат. Мындай өзара аракеттешүүнүн табиятын окуп-үйрөнүү бизди физиканын бирден бир фундаменттүү түшүнүктөрүнүн бири болгон электр-магниттик талааны билүүгө алып келет.

Электр-динамика – бул материянын өзгөчө түрү, заряддалган нерселердин же бөлүкчөлөрдүн өзара байланыштары иш жүзүнө ашырылуучу электр-магниттик талаанын касиеттери жана законченемдүүлүктөрү жөнүндөгү илим.

Электр-динамиканын өнүгүшүндө биринчи илимий изилдөөлөрдү жүргүзгөндөр: англия окумуштуусу Джеймс Клерк Максвелл, Гюйгенс, кийин аны практикада кеңири пайдаланып, радио берүү – кабыл алууну ишке ашырган орус окумуштуусу Александр Степанович Попов ж. б. көптөгөн окумуштуулар болушкан. Электр-магниттик кубулуштардын практикадагы сансыз көп колдонулуштары жер жүзүндөгү элдин турмуш шартынын өзгөрүшүнө алып келди. Мисалы, электр тогунун, радио, телевидение, телефон ж. б. байланыштарысыз цивилизацияны элестетүү кыйын. Ошондуктан бул бөлүмдүн окутулушу адам баласынын өсүш цивилизациясы үчүн эң керектүү жана анын окутулушу зарыл маселелердин бири.

§ 62. Элементардык заряд. Нерселерди заряддоо

Нерсе электрленди, же заряддалды дегенди кандай түшүнөсүң? деген суроого VIII класста: эгер бир нерсеге сүрүлгөн нерсе кагаздын майда бүртүкчөлөрүн өзүнө тартса, анда ал электрленген болот деп жооп берүүчү элек.

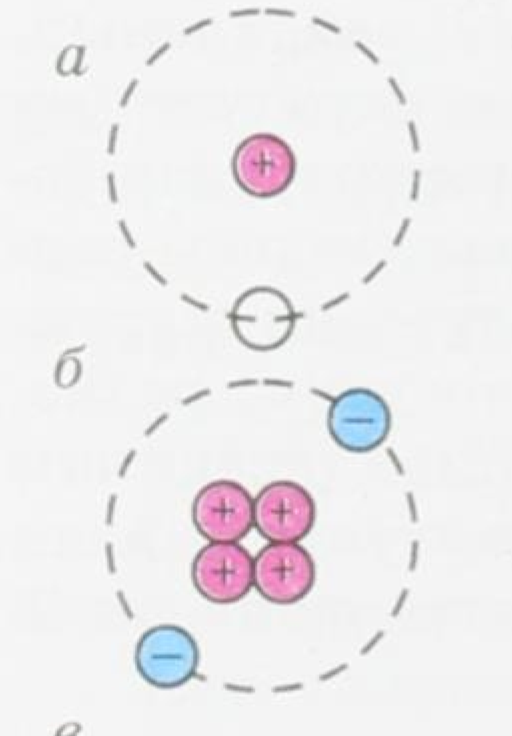
Эми бизди ал жооп канааттандырбай калды. Ага жооп берүү үчүн биз нерсенин эң майда бөлүкчөсү болгон атомдун түзүлүшүнөн баштайбыз.

Резерфорд Эрнест (1871–1937) – англиялык физик, Лондондук королдук коомдун мүчөсү (академик). СССР Илимдер Академиясынын жана көптөгөн башка академиялардын ардактуу мүчөсү. Атомдун түзүлүшүн жана радиоактивдик процесстерди окуп-үйрөнгөн, атомдун ядросун биринчи болуп ажыраткан.

● *Атом, оң заряддалган ядродон – протондордон турат, аны терс заряддалган электрондор айланып жүрөт.* Эгер атомдогу электрондор протондордун санына барабар болсо, анда нерсе электр жагынан нейтралдуу, б. а. зарядга ээ эмес дейбиз. Ал эми кандайдыр бир себептер менен ошол тең салмактуулук бузулса, анда нерсе заряддалган деп эсептейбиз. Ошол протон-электрондун барабардыгын бузуунун, б. а. заряддоонун жолдору түрдүүчө: сүрүү, тийгизүү, жакындаштыруу (индукция жолу – таасир аркылуу).

Мисалы, сүрүүдө бир нерседен экинчи нерсеге заряддалган бөлүкчө (көбүнчө электрондор) өтөт. Кайсы нерсеге электрон көбүрөөк өтсө ал терс, ал эми электрону жетпей калганы оң заряддалат дейбиз.

● *Ошол протон жана электрондор элементардык заряддар деп аталышат.*

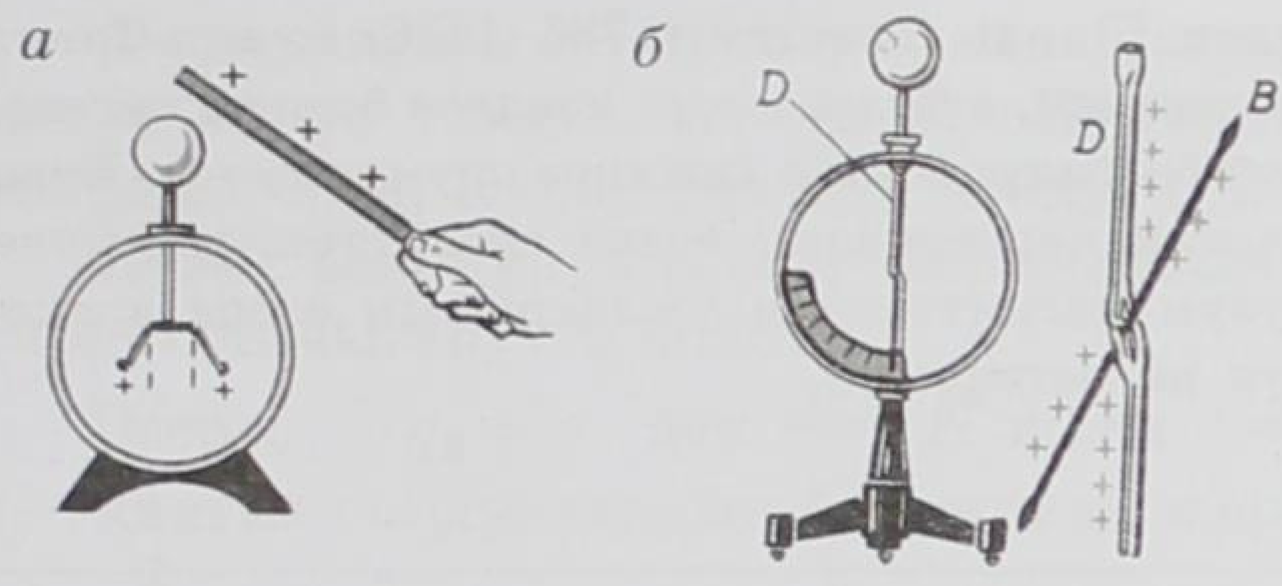


137-сүрөт.

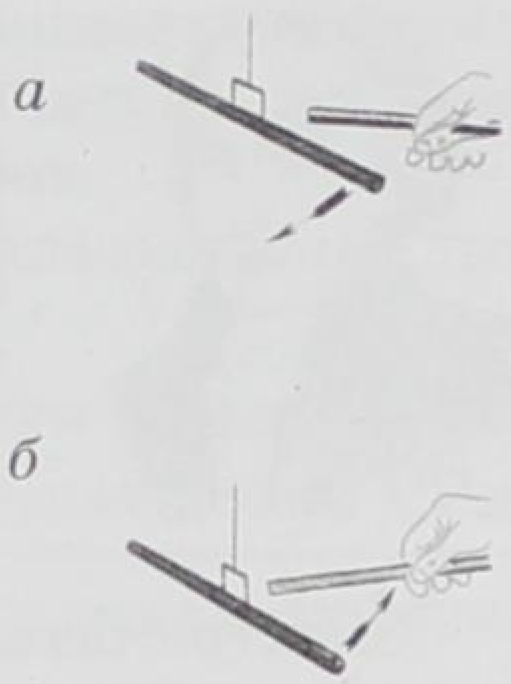
Жүргүзүлгөн тажрыйбалардын негизинде окумуштуулар нерселердин зарядынын эки түрүн: оң жана терс деп белгилешкен. Шарттуу түрдө (макулдашуу боюнча), эбонит таякчасын жүнгө сүргөндө эбонитте пайда болгон заряды терс деп, ал эми айнек таякчасын жибекке сүргөндө айнекте пайда болгон заряды оң деп кабыл алышкан. Электр заряды дискреттүү, б. а. заряддалган нерсе элементардык заряддын бүтүн сан чоңдугуна ээ.

Кийин XIX кылымдын акырында электрон ачылгандан кийин, Резерфорд атомдун планетардык (137-*а*, *б*, *в*, сүрөттөр) моделин бергенден кийин гана электрон терс заряддалган, протон оң заряддалган элементардык бөлүкчөлөр деп эсептелинген.

Окумуштуулардын көптөгөн тажрыйбалары бир аттуу заряддардын түртүлүшөрүн, түрдүү аттуу заряддардын тартылышарын аныкташкан (139-*а* жана 139-*б* сүрөттөр).



138-сүрөт.



139-сүрөт.

Нерселердин заряддалгандыгын же заряддалбагандыгын электроскоп деген куралдын жардамы менен, ал эми заряддын берилген санын электрометр деген куралдын жардамы менен аныктай алабыз. Электроскоп жана электрометр 138-*а, б,* сүрөттөрдөгүдөй абалда болушат. Эгер электроскоптун баракчалары, же электрометрдин жебеси чоң бурчка кыйшайса, анда нерсенин электрленүү даражасы чоң жана тескерисинче болот.

§ 63. Электр зарядынын сакталуу закону. Кулон закону

Биз нерселерди заряддоонун бир нече жолдорун айттык. Кандай гана жол менен заряддабайлык ал нерселердеги заряддардын алгебралык суммасы сакталат. Мисалы, эбонитти жүнгө сүргөндө эбонитте ашыкча электрон топтолот, ошондуктан аны терс заряддалды дейбиз, ал эми жүндө электрон жетпейт, ашыкча оң заряд топтолот. Бирок жүн менен эбониттеги заряддардын жалпы саны сакталат.

Окумуштуулардын көптөгөн тажрыйбаларынан заряддын сакталуу закону деп аталган жыйынтык келип чыгат.

Туюк системада бардык бөлүкчөлөрдүн заряддарынын алгебралык суммасы өзгөрүүсүз калат.

Эгер бөлүкчөлөрдүн заряддарын q_1, q_2, q_3 ж. б. десек, анда жогорудагы аныктоо боюнча: $\boxed{q_1+q_2+q_2+\ldots+q_n = \text{const}}$. (13.1)

Бул заряддын сакталуу законунун математикалык туюнтмасы.

Туюк система бул сүрүлүшкөн же тийишкен нерселер (башка айлана-чөйрөдөгү нерселерди кошпоо керек).

Элементардык бөлүкчөлөрдүн эң көп сандагы айлануулары-на жүргүзүлгөн байкоолор заряддын сакталуу законунун тууралыгын ырастайт.

Бирок заряддын сакталышынын себеби аягына чейин ачыла элек.

Кулон Шарль Огюстен (1736–1806) өзүнүн электр жана магнетизм, сүрүлүү күчүн изилдөө боюнча эмгектери менен белгилүү болгон француз окумуштуусу. Кулон заряддалган нерселердин өзара аракеттешүүсү менен бирге узун магниттердин уюлдарынын өзара аракеттешүүсүн да негиздеген.

Электр-статиканын негизги закону 1785-жылы француз окумуштуусу Шарль Кулон тарабынан эксперимент жүзүндө ачылган, ошондуктан ал анын урматына Кулон закону деп аталган.

Тынч абалдагы электр зарядын окуп-үйрөнүүгө арналган электр-динамиканын бөлүмү электр-статика деп аталат.

Окумуштуу Ш. Кулон кыймылсыз чекиттик заряддардын өзара аракеттешүү күчүн аныктаган. Чындыгында чекиттик заряд болбойт, бирок эгер нерселер арасындагы аралык анын өлчөмдөрүнө салыштырмалуу чоң болсо, анда ал нерселерди чекиттик деп эсептөөгө болот.

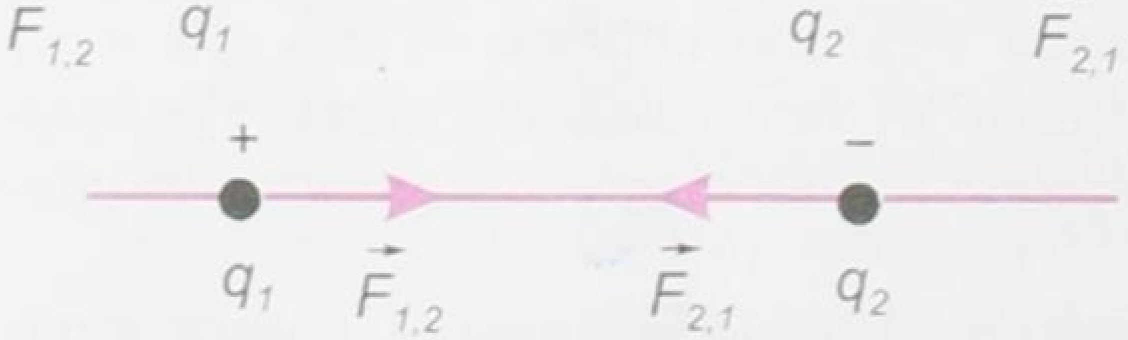
Кулондун айланма тараза деп аталган түзүлүшүнүн (140-сүрөт) жардамы менен жасаган көптөгөн тажрыйбаларынан төмөндөгү жыйынтык келип чыккан:

Заряддалган эки кыймылсыз нерсенин вакуумдагы өзара аракеттешүү күчү, алардын заряддарынын модулдарынын көбөйтүндүсүнө түз пропорциялаш, ал эми алардын ортосундагы аралыктын квадратына тескери пропорциялаш жана эки нерсени бириктирүүчү түз сызыкты бойлото багытталган (141, 142-сүрөттөр).

140-сүрөт.

141-сүрөттө бир аттуу болгондо түз сызык боюнча түртүшүп, түрдүү аттуу болгон учурда (142-сүрөт) тартышып жатканы көрүнүп турат.

Эгер заряддын өзара тартышуу күчүн F, ал эми аракеттенишкен заряддарды q_1 жана q_2 деп, ортосундагы аралыкты r деп белгилесек, анда жогорудагы аныктоо боюнча:



142-сүрөт.

$$F = k\frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \qquad (13.2)$$

деп жазылат да Кулон законунун математикалык туюнтмасын түшүндүрөт.

Формуладагы k – пропорциялаштык коэффициенти деп аталган турактуу чоңдук, ал эми F – Кулондук күч деп аталат. Эгер чөйрө өзгөрсө, Кулон күчүнүн чоңдугу да өзгөрөт.

Кулон законунун (13.2) формуласын пайдаланып заряддын бирдигин чыгарууга болот.

Эгер $q_1 = q_2 = q$ деп F=1 $Н$ жана r = 1 $м$ деп алсак, ал эми k – калган чоңдуктардын бирдигине жараша болот десек, СИде $q^2 = \frac{Fr^2}{k}$ болуп заряддын бул бирдиги законду ачкан окумуштуунун урматына *кулон* деп аталат да $Кл$ деп жазылат.

Кулон – бул ток күчү 1А болгон кезде өткөргүчтүн туурасынан кесилиш аянты аркылуу 1 с да өткөн заряддын саны.

k коэффициенти СИде

$[k] = \frac{Fr^2}{|q_1|\cdot|q_2|} = \frac{Н\cdot м^2}{Кл^2}$ деген бирдикте болот. Ошондой эле k чоңдугу экспериментте аныкталып, анын сан мааниси $k = 9\cdot 10^9\,\frac{Н\cdot м^2}{Кл^2}$ ка барабар экени аныкталган.

● Жүргүзүлгөн изилдөөлөрдүн негизинде элементардык заряддын модулу да аныкталган. Ал $e = 1{,}6\cdot 10^{-19}$ $Кл$го барабар болуп, заряддуу бөлүкчөнүн модулун же сан маанисин түшүндүрөт.

Эгер электрон терс болсо, протондун оң мааниси алынат.

СИде $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ деп жазуу кабыл алынган, мында ε_0 – вакуумдун диэлектрдик турактуулугу деп аталган турактуу сан жана ал төмөнкүгө барабар: $\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\frac{Кл^2}{Н\cdot м^2}$.

● Демек $\varepsilon_0 = 8{,}85\cdot 10^{-12}\,\frac{Кл^2}{Н\cdot м^2}$

Бул учурда Кулон закону СИде төмөндөгүдөй жазылат:

$$F = \frac{|q_1|\cdot|q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}. \qquad (13.3)$$

● Кулондун бул закону механикадагы бүткүл дүйнөлүк тартылуу законун элестетет. Ал боюнча: $F = \gamma\frac{m_1\cdot m_2}{r^2}$ (13.4) барабар болуп төмөнкүдөй аныктама берилгендиги бизге физиканын механика бөлүмүнөн белгилүү.

Ар кандай эки нерсе, же нерсенин эки бөлүкчөсү, алардын массаларынын көбөйтүндүсүнө түз, ортосундагы аралыктын квадратына тескери пропорциялаш күч менен тартылышат.

Эгер эки законду бири-бири менен салыштырсак, анда экөөндө тең F күч, ал эми массанын ордунда заряддардын модулдары, r – экөөндө тең аралык. (13.4) формуласындагы γ (гамма) гравитациялык турактуулук. Кулон законунун ачылышы – электр заряддарынын касиеттерин окуп-үйрөнүү боюнча жасалган алгачкы айкын кадам болуп саналат. Кайсы жерде заряддалган нерселер бар болсо, ошол жерде кулон күчү да бар болот.

Чөйрөнүн өзгөрүшү менен кулон күчү да өзгөрөт. Ал жөнүндө кийинчерээк айтабыз.

Беттин бирдик аянтына туура келген заряддын чоңдугу заряддын беттик тыгыздыгы деп аталат:

$$\boxed{\sigma = \frac{q}{S}}. \qquad (13.5)$$

СИдеги бирдиги $\frac{Кл}{м^2}$ болот.

?

1. Электр-динамика эмнени окутат? 2. Электрленди дегенди кандай түшүнөсүңөр? 3. Заряддын кандай түрлөрүн билесиңер жана алар өзүн кандай алып жүрүшөт? 4. Заряддоонун жолдору кайсылар? 5. Заряддын сакталуу закону кандай айтылат? 6. Кулон законунун эрежесин айтып бергиле? 7. Заряддын бирдиги кайсы? 8. Заряддын беттик тыгыздыгы деген эмне жана анын СИдеги бирдиги кайсы?

24-көнүгүү

1. Диаметри 20 *см* болгон шардын бетиндеги заряд $3{,}14\cdot10^{-7}$ *Кл*го барабар. Шардын бетиндеги заряддын беттик тыгыздыгы кандай?

2. Чоңдугу да, белгиси да бирдей болгон эки заряд бири биринен 3 *м* аралыкта боштукта жайланышып, бири биринен 0,4 *Н* күч менен түртүлүшөт. Ал заряддардын ар биринин чоңдугу канчага барабар?

3. Радиусу 4 *см* болгон шардын зарядынын беттик тыгыздыгы $0{,}5\cdot10^{-4}\frac{Кл}{м^2}$. Шарга берилген заряддын чоңдугу канчалык болгон?

4. Суутек атомунун ядросунун айланасында электрон тегерек орбита боюнча айланат. Бул орбитанын радиусу 63 пкм деп алып, ядро менен электрондун тартышуу күчүн эсептегиле.

5.Суутек атомундагы электрон менен ядронун өзара аракеттешүү (Кулон) күчү алардын гравитациялык аракеттешүү күчүнөн канча эсе чоң? Суутектин ядросун айланган электрондун орбитасынын радиусу $5\cdot10^{-9}$ *см*; $m_e = 9\cdot10^{-31}$ *кг*; $m_p = 1{,}7\cdot10^{27}$ *кг*; $\gamma = 6{,}7\cdot10^{-11}\frac{Нм^2}{кг^2}$.

§ 64. Электр талаасы

Биз мурунку темаларда нерсенин зарядга ээ же ээ эмес экендигин электрометрдин жана электроскоптун жардамы менен билебиз дегенбиз. Ал куралдар болбосо сүрүлгөн (заряддалган) нерсени кагаздын майда бөлүктөрүнө жакындатып же крандан агып жаткан суунун ичке агымына жакындатып тийгизбестен,

Фарадей Майкл (1791–1867) – англиялык улуу окумуштуу, бардык кубулуштар бирдиктүү көзкарашта талкууланган электр-магниттик кубулуштар жөнүндөгү жалпы окууну жаратуучу. Ал биринчи жолу электр жана магнит талаалары жөнүндөгү түшүнүктөрдү киргизген. «Математиктер алыска аракет этүүчү күчтүн чыңалуу борборун көргөн жерде, Фарадей ортодогу агентти көргөн. Алар аралыктан башка эч нерсени көрбөстөн, электрдин флюиддерге (б. а. азыркы көзкараш менен заряддар) аракет эткен күчтөрдүн жайланышуу законун таптык деп өздөрүнө ыраазы болуп турган кезде Фарадей чөйрөдө болуучу чыныгы кубулуштун маңызын издеген» (Д. Максвелл).

жөн гана жакындаткан кезде алардын аракетин байкарыбызды көптөгөн тажрыйбалар далилдейт.

Мунун себептери эмнеде? Ушундай суроолорду окумуштуулар өз алдыларына көп ирет коюп келишкен. Себептерин англиялык окумуштуулар М. Фарадей, кийин Максвелл жана башкалар табышып, төмөнкүдөй болжолдоолорго келишкен: заряддалган ар кандай нерсенин айланасында электр талаасы түзүлөт. Талаанын негизги касиети ал заряддалган нерсе башка нерселерге кандайдыр бир күч менен аракет этет. Ошол электр талаасынын таасири астында жогорудагы кубулуштар байкалат.

Фарадейдин идеясы боюнча электр заряддары бири-бири менен түздөн-түз аракеттенишет. Алардын ар бири айланасындагы мейкиндикте электр талаасын түзүшөт. Бир заряддын талаасы экинчи зарядга жана тескерисинче аракет этишет.

Бул аракеттин таралуу ылдамдыгы абдан чоң. Ал эми Максвелл бул электр-магниттик аракеттин таралуу ылдамдыгы жарыктын боштуктагы таралуу ылдамдыгындай, б. а. 300 000 $\frac{км}{с}$ экендигин тапкан. Ошентип, электр талаасы эмне деген суроого түздөн-түз жооп берүү кыйын болсо дагы ага төмөнкүдөй жооп табылган.

- Биринчиден, электр талаасы заряддалган ар кандай нерсенин айланасында пайда болот;
- экинчиден, электр талаасы заряддалган башка нерсеге жасаган аракети (күчү) менен байкалат;
- үчүнчүдөн, ал Ньютондун механика закондоруна баш ийбеген бир топ касиеттерге ээ.

Бир сөз менен айтканда, *ал материя, материалдык чөйрө, материянын өзгөчө формасы – талаа формасы болуп эсептелинет.*

Материя – зат жана талаа деген эки формада экени белгилүү. Зат формасы – биздин сезүү органдарыбыз аркылуу түздөн-түз

сезилет, көрүнөт, кармалат, даамы жана жыты болот. Ал эми электр талаасы түздөн-түз сезүү органыбыз аркылуу сезилбейт, бирок, кыйыр тажрыйбалар аркылуу (электрометр, электроскоп ж. б. менен) бар экенин билебиз. Ошондуктан ал материянын өзгөчө – талаа формасы болуп эсептелет.

Кыймылсыз заряддан электр талаасы түзүлсө, ал электр-статикалык талаа деп аталат (туруктуу электр талаасы).

Электр-статикалык талаа электр заряды аркылуу гана түзүлөт (өзгөрмө электр талаасы да болот, ал жөнүндө кийин өтүлөт).

Электр талаасынын чыңалышы жана бирдиги. Суперпозиция принциби

Мурунку темадан электр талаасынын негизги касиеттеринин бири – бул талаага алып келинген зарядга кандайдыр бир күч аракет этишинде деген элек.

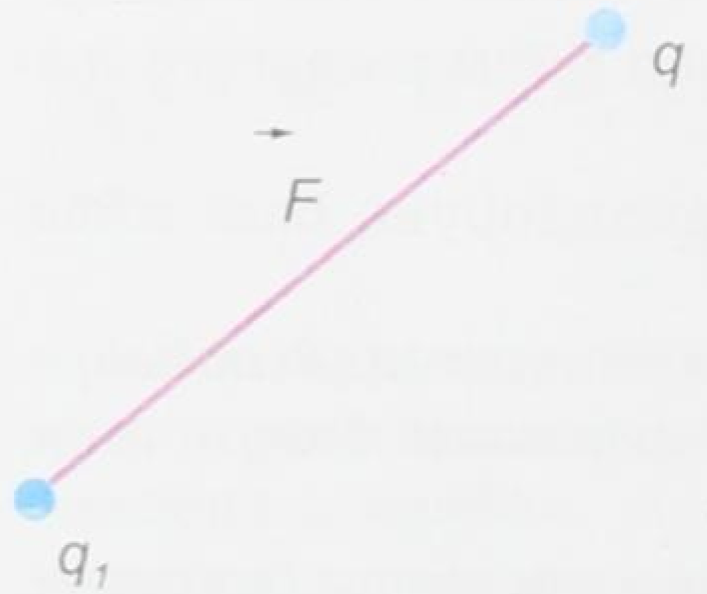
Эгер талаа кандайдыр бир q_1 заряддан түзүлсө, ошол талаага q зарядын алып келсек, анда талаа ага $\vec{F}$ күчү менен таасир этет (143-сүрөт).

Ошол күчтүн зарядга болгон катышы электр талаасынын чыңалышы ($\vec{E}$) деп аталат, б. а. $\vec{E} = \dfrac{\vec{F}}{q}$. (13.6)

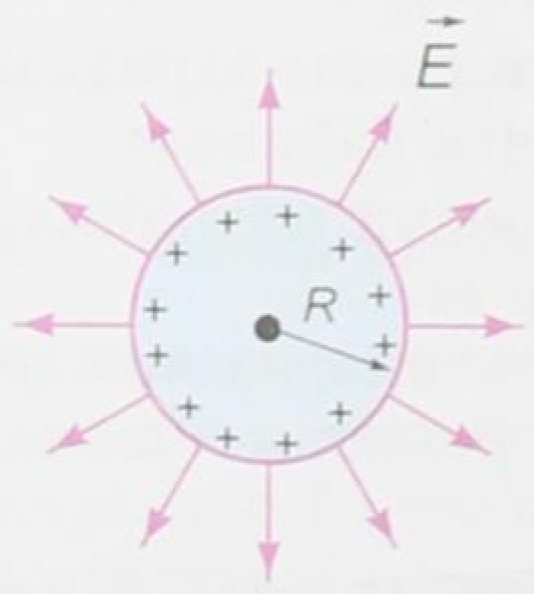
Электр талаасынын чекиттик зарядга аракет эткен күчүнүн ошол зарядга болгон катышына барабар болгон чоңдук талаанын чыңалышы деп аталат.

Электр талаасынын чыңалышы вектордук чоңдук, анын багыты талаага алып келинген зарядга талаанын аракет эткен күчүнүн багыты менен дал келет. Ошондуктан (13.6) формуладан $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ болот.

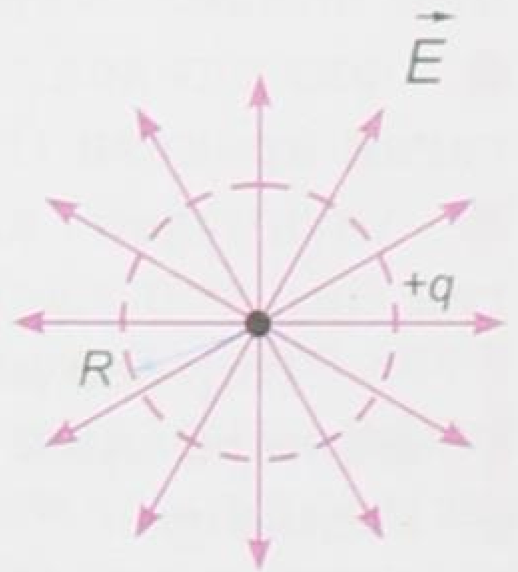
Эгер заряд оң болсо, $\vec{E}$ менен $\vec{F}$ багыттары дал келет. Эгер заряд терс болсо, $\vec{E}$ менен $\vec{F}$ тин багыттары карама-каршы болот (144–145-сүрөттөр).



143-сүрөт.

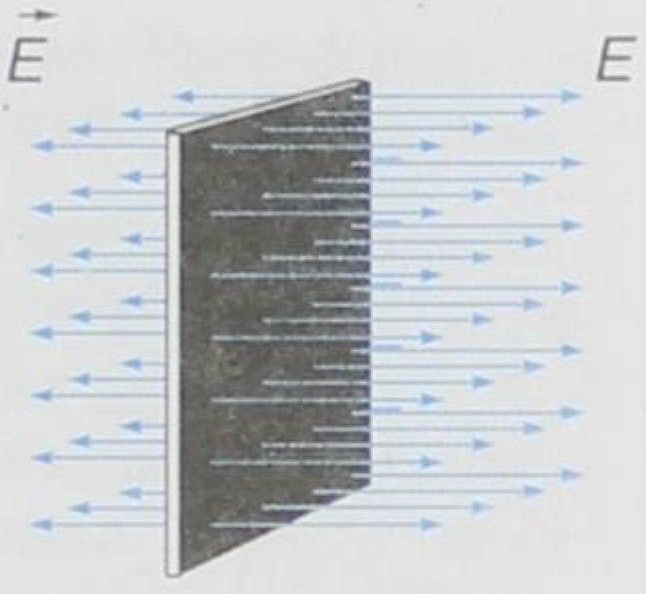


144-сүрөт.



145-сүрөт.

Чыңалыштын СИдеги бирдиги: $\frac{Н}{Кл}$.



146-сүрөт.

Эгер электр талаасы чекиттик заряддан түзүлсө, анын чыңалышы, мис., талаа q_0 заряддан түзүлсө, ал заряддан r аралыгында q заряды жайланышса, анда Кулон күчү аракет этип $\vec{F} = k\frac{|q|\cdot|q_0|}{r^2}$, ал эми чыңалышы $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{|q|} = k\cdot\frac{|q|\cdot|q_0|}{|q|\cdot r^2}$ болот, б. а. $\boxed{\vec{E} = k\cdot\frac{|q_0|}{r^2}}$. (13.7)

Бул чекиттик заряддын талаасынын чыңалышы. Ал эми чексиз тегиздиктин талаасынын чыңалышы төмөнкүгө барабар (146-сүрөт). Чынында чексиз тегиздик болбойт, бирок шарттуу түрдө кабыл алууга болот, анда

$$\boxed{E = k\cdot\frac{2\pi}{\sigma}}, \qquad (13.8)$$

мында $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, σ – заряддын беттик тыгыздыгы, (13.5) формуласы боюнча ал $\sigma = \frac{q}{S}$ ке барабар болот, б. а. заряддын чоңдугунун беттин аянтына болгон катышы. СИдеги бирдиги: $\frac{Кл}{м^2}$. Ушундай эле R радиустагы өткөргүч шардын талаасынын чыңалышы чекиттик заряддын талаасынын чыңалышына окшош:

$$\boxed{\vec{E} = k\cdot\frac{|q|}{R^2}}. \qquad (13.9)$$

Эгер $r = R$ болсо, анда $\vec{E} = k\cdot\frac{|q|}{R^2}$ болот.

Эгер талаа бир нече заряддан түзүлсө, анда талаанын жалпы чыңалышы:

$$\boxed{\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots + \vec{E}_n}. \qquad (13.10)$$

Бул талаанын суперпозиция (кабатталыш) принциби деп аталат.

Бир нече заряддан түзүлгөн электр талаасынын жалпы чыңалышы айрым заряддардан түзүлгөн электр талааларынын чыңалыштарынын геометриялык суммасына барабар. Бул талаанын суперпозиция принциби деп аталат.

§ 65. Электр талаасынын күч сызыктары

(13.6) формуласынын негизинде, биз, электр талаасынын чыңалышы вектордук чоңдук экендигин белгилеп кеткенбиз. Ошондуктан аны чиймеде көрсөтүүгө да болот (147-сүрөт). Аны түз сызыктын багытталган кесиндилеринин жардамы менен

147-сүрөт.

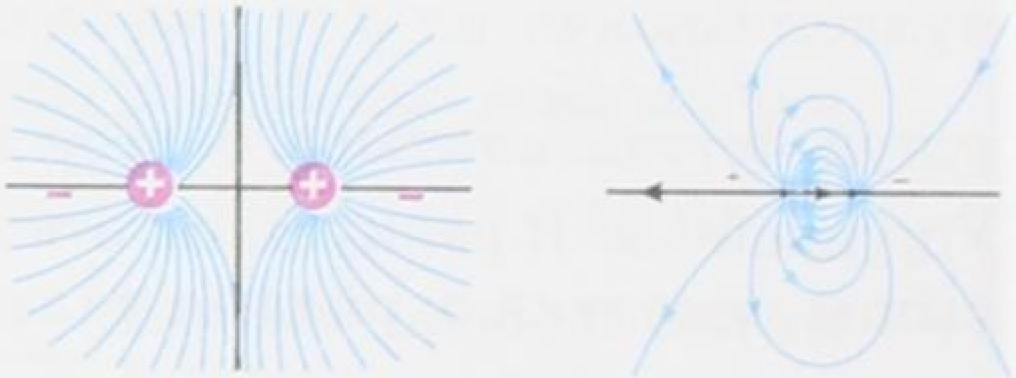
148-сүрөт.

сүрөттөйбүз. Ал сызыктар талаанын берилген чекитинде ага жүргүзүлгөн жаныма сызыктар болушат (148-сүрөт). Эгер сүрөттөгү ийри сызыктар электр талаасынын фронту (чеги) десек, ал эми жанымалар – күч сызыктарын сүрөттөшөт.

Электр талаасынын күч сызыктары оң заряддан башталып, терс заряддан бүтүшөт. Төмөндө чекиттик заряддардын күч сызыктары көрсөтүлгөн (149–151-сүрөттөр).

149-сүрөт.

150-сүрөт.

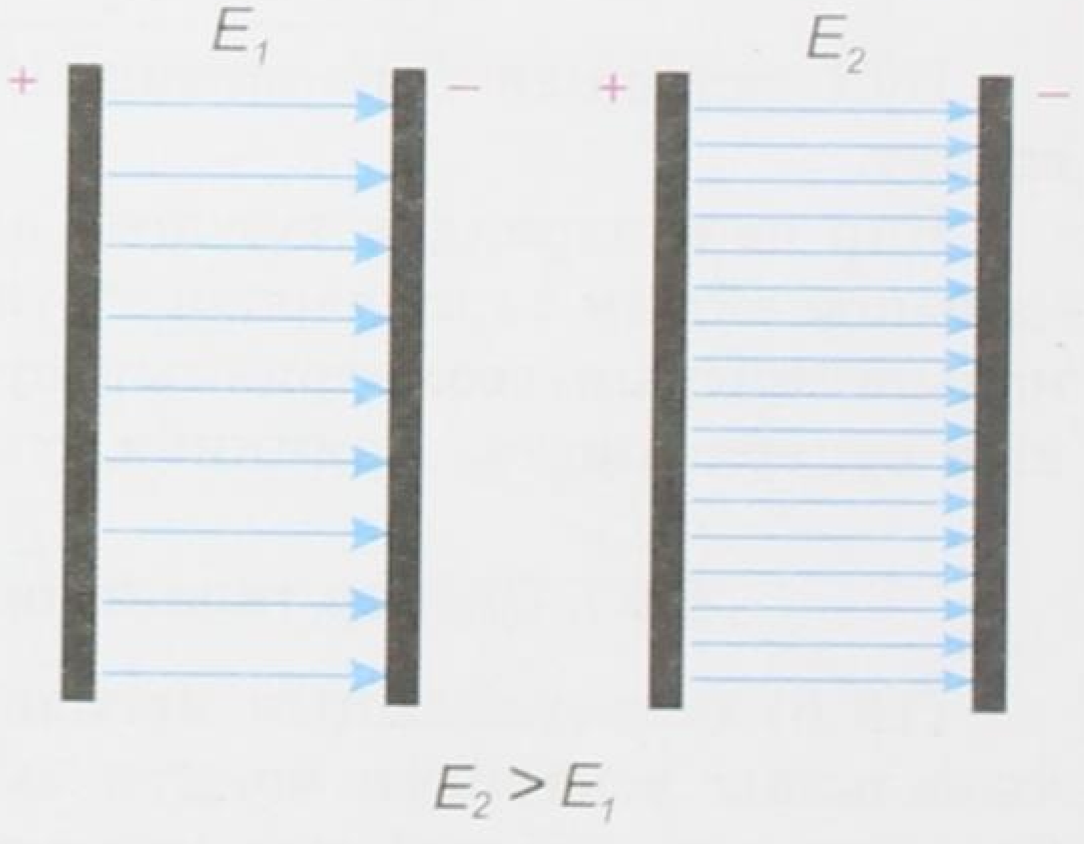


151-сүрөт.

Күч сызыктары өзара параллель жана бирдей жыштыкта болгон талаа бир тектүү электростатикалык талаа деп аталат.

Электр талаасынын күч сызыктары жыш болсо, чыңалыштын модулу чоң, сейрек болсо, кичине деп түшүнүү керек (152-сүрөт), б. а. $\vec{E}_2 > \vec{E}_1$ дегендик болот.

Ошентип электр талаасынын чыңалышы талаанын күч боюнча мүнөздөмөсүн берет.



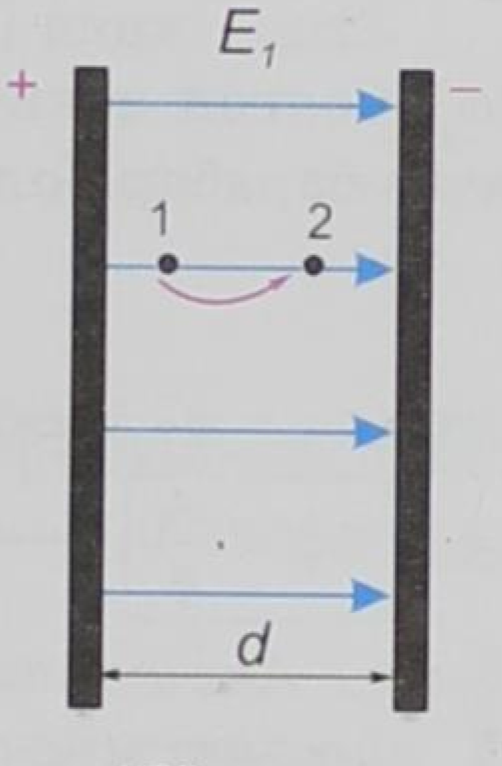
152-сүрөт.

§ 66. Потенциал. Потенциалдар айырмасы. Талаанын чыңалышы менен потенциалдар айырмасынын байланышы

Заряддалган нерселер тартылышат жана түртүлүшөт. Демек, алардын арасында аракеттешүү күчү бар. Ал күчтүн натыйжасында заряддалган нерсе кандайдыр аралыкка жылат. Ал эми аракет эткен күч жана аралык болсо, анда талаа азбы (күчсүзбү) же көппү (күчтүүбү), баары бир жумуш аткарылат. Жумуш аткарылса анда, талаа энергияга ээ болгон болуп эсептелинет.

Башкача айтканда заряддалган нерсе же нерселердин тобу (системи) электр-статикалык деп аталган потенциалдык энергияга ээ болот. Эгер электр-статикалык талаанын чыңалышы $\vec{E}$ болуп, ал q зарядына $\vec{F}$ күчү менен аракет этип, аны талаанын бир чекитинен экинчи чекитине жылдырса, анда ал күч жумуш аткарат (153-сүрөт) жана ал жумуш төмөнкүгө барабар. $A = \vec{F} \cdot d$, бирок $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ болгондуктан

$$\boxed{A = \vec{E} \cdot q \cdot d}\ , \qquad (13.10)$$



153-сүрөт.

мында d – заряд которулган аралык. d аралыгын түрдүү формада (түз кесинди, ийри сызык, сынык сызык) алсак зарядды которуудагы жумуш $A = \vec{E} \cdot q \cdot d$ формуласы менен аныкталарын көптөгөн тажрыйбалар ырастап, төмөнкүдөй жыйынтык чыккан.

Электр-статикалык талаада зарядды которууда аткарылган жумуш жолдун формасына көзкаранды болбостон, заряддын баштапкы жана акыркы аралыктарына, талаанын чыңалышына жана заряддын чоңдугуна көзкаранды болот.

Ошондой эле механикадагы жумуш сыяктуу потенциалдык энергиянын өзгөрүшүнө барабар деп айтабыз, б.а.:

$$\boxed{A = W_p = \vec{E} \cdot q \cdot d}\ , \qquad (13.11)$$

мында W_p – потенциалдык энергия. Ал эми ΔW_p – потенциалдык энергиянын өзгөрүшү. Эгер заряд потенциалдык энергиясы ΔW_{p1} ден ΔW_{p2} ге которулса, анда жумуш: $A = W_{p2} - W_{p1} = \Delta W_p$ болуп, төмөнкүгө ээ болобуз:

$$\boxed{A = \Delta W}\ . \qquad (13.12)$$

Потенциалдык энергиянын заряддын чоңдугуна болгон катышы менен өлчөнүүчү чоңдук электр талаасынын потенциалы деп аталат. Потенциал φ (фи) тамгасы менен белгиленет. Аныктоо боюнча

$$\boxed{\varphi = \frac{\Delta W_p}{q}}\ . \qquad (13.13)$$

$W_p = \vec{E} \cdot q \cdot d$ болгондуктан $\varphi = \frac{E \cdot q \cdot d}{q} = \vec{E}d$. Демек $\varphi = E \cdot d$ (13.14) келип чыгат. Бул электр талаасынын чыңалышы менен потенциалдын байланышын, б. а. $E = \frac{\varphi}{d}$ ны баяндайт. Бул көрүнүш төмөнкүчө түшүндүрүлөт.

Турмушта көбүнчө потенциал эмес потенциалдар айырмасы колдонулат. Бирдиги $[E] = \left[\frac{В}{м}\right]$.

Эгер заряд (q) потенциалы (φ_1) болгон чекиттен потенциалы (φ_2) болгон чекитке которулса, анда аткарылган жумуш төмөнкүгө барабар болот: эгер $\varphi_1 > \varphi_2$ болсо,

$$\boxed{(A = q \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)},\qquad (13.15)$$

эгер $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$ болсо жана ал айырма өзгөрбөсө, анда $A = q \cdot \Delta\varphi$ же $\boxed{\Delta\varphi = \frac{A}{q}}$. (13.16)

Анда талаанын эки чекити арасындагы потенциалдар айырмасы чыңалуу деп аталат. Ошондуктан (13.16) формуласындагы $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = U$ болот. Чыңалуу U тамгасы менен белгиленет да (13.16) формула төмөнкүдөй жазылат, б. а.

$$\boxed{U = \frac{A}{q}}.\qquad (13.17)$$

$$\boxed{A = q \cdot U}.\qquad (13.18)$$

(13.17) формуласынан төмөнкүдөй жыйынтык чыгарса болот.

Электр талаасынын эки чекити арасындагы потенциалдар айырмасы (чыңалуусу) заряддын ошол эки чекити арасында жылдырууда аткарган жумуштун ошол зарядга болгон катышына барабар. Потенциал жана потенциалдар айырмасынын СИдеги бирдиги

$$[\varphi] = \left[1\frac{Дж}{Кл}\right] = \left[1\frac{В \cdot Кл}{Кл}\right] = 1\ В \text{ (вольт)}.$$ Демек,

1 Клго барабар зарядды талаада жылдырууда 1 Дж жумуш аткарган кездеги потенциал (потенциалдардын айырмасы) 1В деп аталат. Талаанын потенциалы үчүн вольттон кичине жана чоң бирдиктер да колдонулат:

$1\,кВ = 10^3\,В$ $\qquad$ $1\,мВ = 10^{-3}\,В$

$1\,МВ = 10^6\,В$ $\qquad$ $1\,мкВ = 10^{-6}\,В$.

Потенциал (потенциалдар айырмасы) скалярдык чоңдук, ал талааны энергетикалык жактан мүнөздөйт.

Электр-статикалык талаада q зарядды жылдыруудагы жумуш $A=\vec{E}\cdot q\cdot d$ га барабар же $A=q\cdot(\varphi_1-\varphi_2)=q\cdot U$, б. а. $A=q\cdot U$.

Бул эки барабардыктан: $\vec{E}\cdot q\cdot d=q\cdot U$, б. а. $\vec{E}\cdot d=U$ же $\vec{E}=\frac{U}{d}$.

Бул формула талаанын чыңалышы менен чыңалуусунун байланышын туюндурат.

$\vec{E}=\frac{U}{d}$ формуладан чыңалыш үчүн дагы бир бирдик келип чыгат: $\vec{E}=\frac{В}{м}$; $1\frac{В}{м}=1\frac{Дж}{Кл}\cdot\frac{1}{м}=1Н\cdot\frac{м}{Кл}\cdot\frac{1}{м}=\frac{Н}{Кл}$.

Демек, $1\frac{В}{м}=1\frac{Н}{Кл}$.

Эквипотенциалдык бет

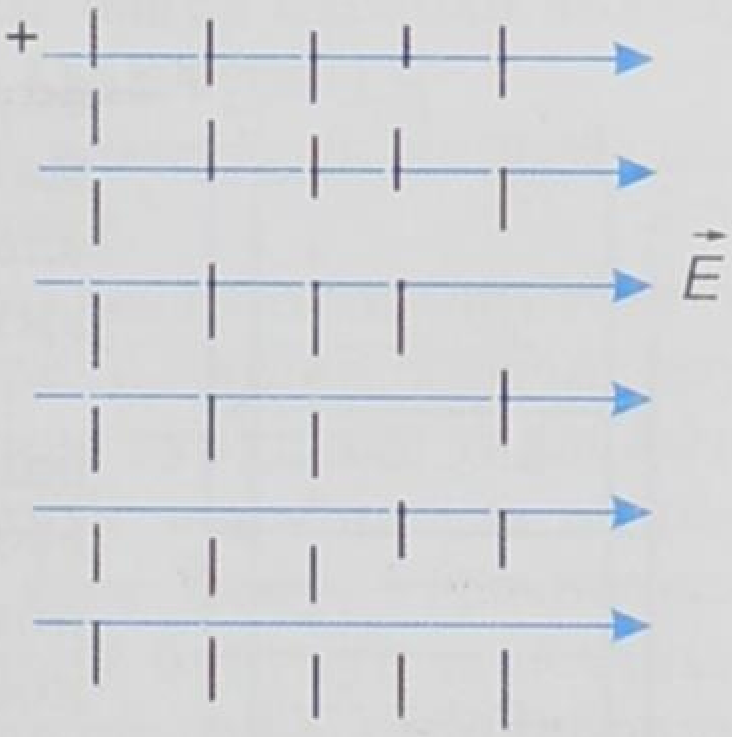
● Зарядды күч сызыктар аркылуу 90°тук бурч боюнча жылдырууда талаа жумуш аткарбайт. Себеби күч жылдырууга перпендикуляр болуп калат.

Бул беттин күч сызыктарга перпендикуляр болгон бардык чекиттери бирдей потенциалга ээ болот дегенди билгизет.

Потенциалдары бирдей болгон беттер эквипотенциалдык беттер деп аталат.

Эквипотенциалдык бетти тагыраак түшүнүү үчүн төмөнкү учурларга токтолук.

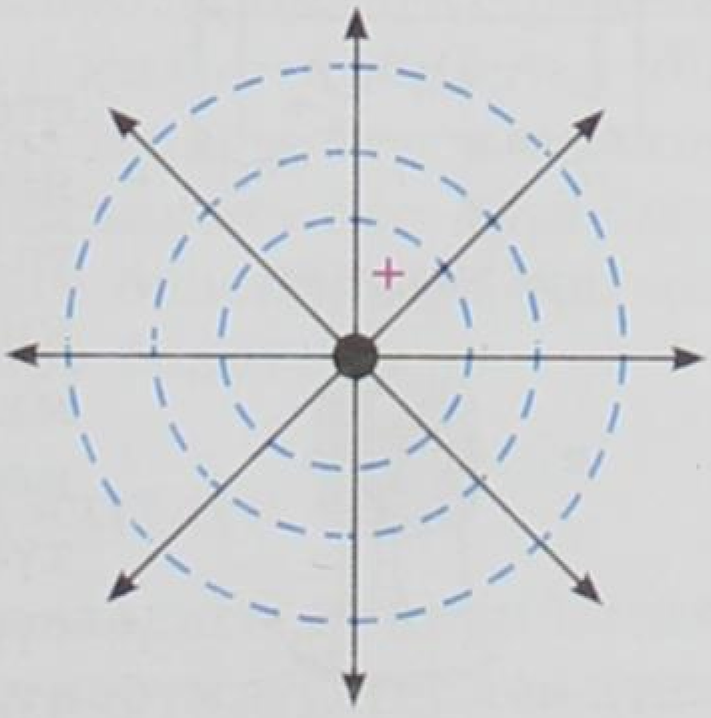
Бир тектүү электр-статикалык талаанын эквипотенциалдык беттери үзүк-үзүк сызыктар менен көрсөтүлгөн тегиздиктер болушат (154-сүрөт).



154-сүрөт.

Чекиттик заряддын эквипотенциалдык беттери пунктир менен көрсөтүлгөн айланалар болуп эсептелет (155-сүрөт). Электр-статикалык талаадагы ар кандай өткөргүчтүн бети эквипотенциалдык бет болот.

Потенциал, потенциалдар айырмасы электрометр менен өлчөнөт.



155-сүрөт.

? 1. Электр талаасынын чыңалышы деп эмнени айтабыз? **2.** Чыңалыштын *E* бирдиктери кайсылар? **3.** Электр талаасынын потенциалы, потенциалдар айырмасы деп эмнени айтабыз? **4.** Потенциалдын бирдиктери кайсылар? **5.** Эквипотенциалдык бет деп кандай бетти айтабыз?

25-к ө н ү г ү ү

1. Чоңдугу $2 \cdot 10^{-7}$ *Кл* болгон зарядга талаа $15 \cdot 10^{-3}$ *Н* күч менен таасир этсе, талаанын ошол чекиттеги чыңалышы канчага барабар?

2. Абада, $8 \cdot 10^{-6}$ *Кл* чекиттик заряд менен түзүлгөн талаадан 30 *см* аралыктагы чекиттин чыңалышы канчага барабар?

3. Талаа $1{,}6 \cdot 10^{-8}$ *Кл* чекиттик заряд менен түзүлгөн. Заряддан 6 *см* аралыкка алыстатылган чекиттеги талаанын чыңалышы канчага барабар? Талаа ошол чекиттен $1{,}8 \cdot 10^{-9}$ *Кл* зарядга кандай күч менен аракет этет?

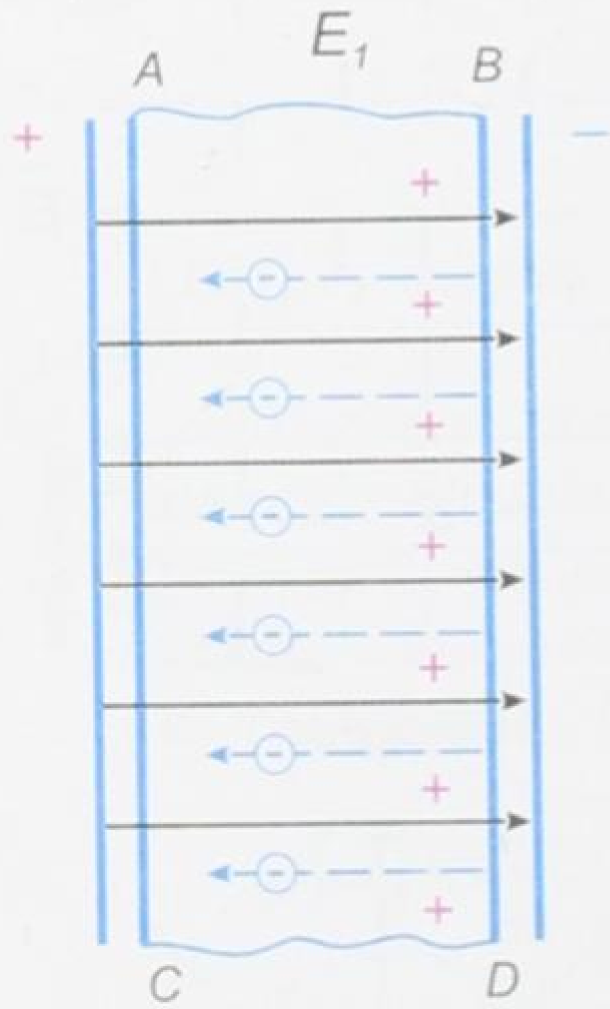
4. Массасы $1 \cdot 10^{-4}$ *г* болгон тамчы бир тектүү электр-статикалык талаада тең салмактуулук абалында турат. Талааның чыңалышы $98 \frac{Н}{Кл}$ болсо, заряддын чоңдугу канча?

5. Чоңдугу 4,6 *мкКл* болгон зарядды потенциалынын айырмасы 200 *В* болгон талаада которууда кандай жумуш аткарылат?

6. Чоңдугу $12 \cdot 10^{-3}$ *Кл* зарядды талаанын эки чекитинин арасында которууда талаа тарабынан 0,36 *Дж* жумуш аткарылды. Бул эки чекиттин потенциалдарынын айырмасы канчага барабар?

§ 67. Электр талаасындагы өткөргүчтөр жана диэлектриктер

Ар кандай нерселер өздөрүнүн электрдик касиеттери боюнча өткөргүчтөргө жана өткөрбөгүчтөргө (диэлектриктерге) бөлүнүшөт.



156-сүрөт.

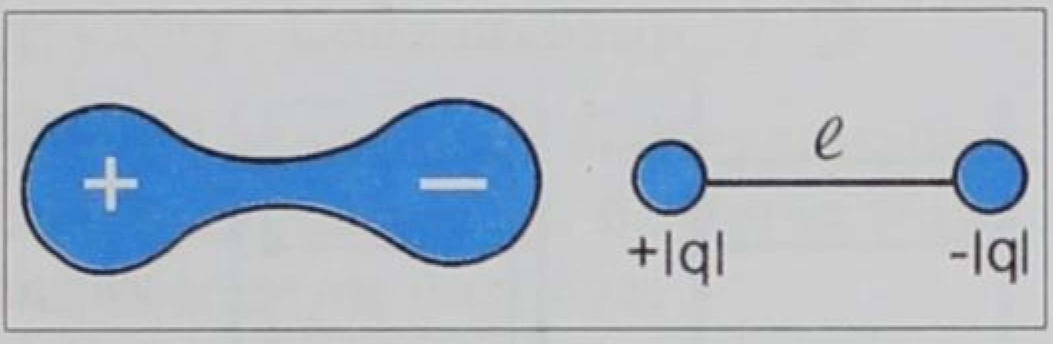
157-сүрөт.

Өткөргүчтөрдүн негизги касиеттеринин бири, өткөргүчтүн бетинде заряддын тең салмактуулугу келип чыкканда анын ичинде электр талаасынын болбогондугунда. Муну эмне менен түшүндүрүүгө болот?

Өткөргүчтүн ичинде эркин заряддалган бөлүкчөлөр болушат, мисалы металл өткөргүчтөрүндө ал эркин электрондор өзүнүн оң иондору менен болгон байланышын жоготкон электрондор эркин электрондор болуп эсептелишет. Эми өткөргүчтөрдүн электр талаасындагы абалына токтолуп көрөлү.

Чыңалышы *E* болгон бир тектүү электр-статикалык талаага *АВСД* өткөргүчү жайланышсын дейлик (156-сүрөт). Анда сырткы талаанын таасири астында өткөргүчтөгү эркин электрондор талаанын багытына карама-каршы багытта кыймылга келишип өткөргүчтүн ичинде кошумча электр талаасын түзүшөт. Ал талаанын күч сызыктары 156-сүрөттө үзүк-үзүк сызыктар менен көрсөтүлгөн жана анын багыты сырткы талаанын багытына карама-каршы багытталган болот.

Натыйжада натыйжалоочу талаанын чыңалышы начарлайт, б. а. эркин электрондун кыймылына таасир этүүчү талаанын күчү начарлап калат. Бул электрондордун кыймылы өткөргүчтүн ичиндеги талаанын чыңалышы нөл болгон кезде токтойт. Демек, заряддардын тең салмактуулугу келип чыккандан кийин өткөргүчтүн ичинде электр талаасы болбойт.



158-сүрөт.

Бул кубулуш, б. а. өткөргүчтүн ичинде электр талаасынын болбой калган кубулушу, электр-статикалык коргонуу сырткы талаанын таасиринен нерселерди коргоо максатында колдонулат. Мисалы, электрди сезгич куралдарды металл жашиктерде (несгораемый) сакташат (157-сүрөт).

Бул кубулушту М. Фарадей сезгич электрометрди колуна кармап, металл тордун ичине кирип изоляцияланган отургучка отуруп, сырттан металл торчого зарядды бергизгенде, курал талаанын жоктугун көрсөткөнүнөн байкап, жогоркудай жыйынтыкка келген.

Өткөргүчтөрдөн айырмаланып, диэлектриктерде дээрлик эркин заряддар болбойт. Диэлектриктин каалагандай көлөмүн алсак, андагы оң жана терс иондордун саны өзара барабар болуп, нерсе заряд жагынан нейтралдуу абалда (158-сүрөт).

Диэлектриктердин оң-терс заряддары электрдик диполь деп аталган байланышкан заряддардан турушат.

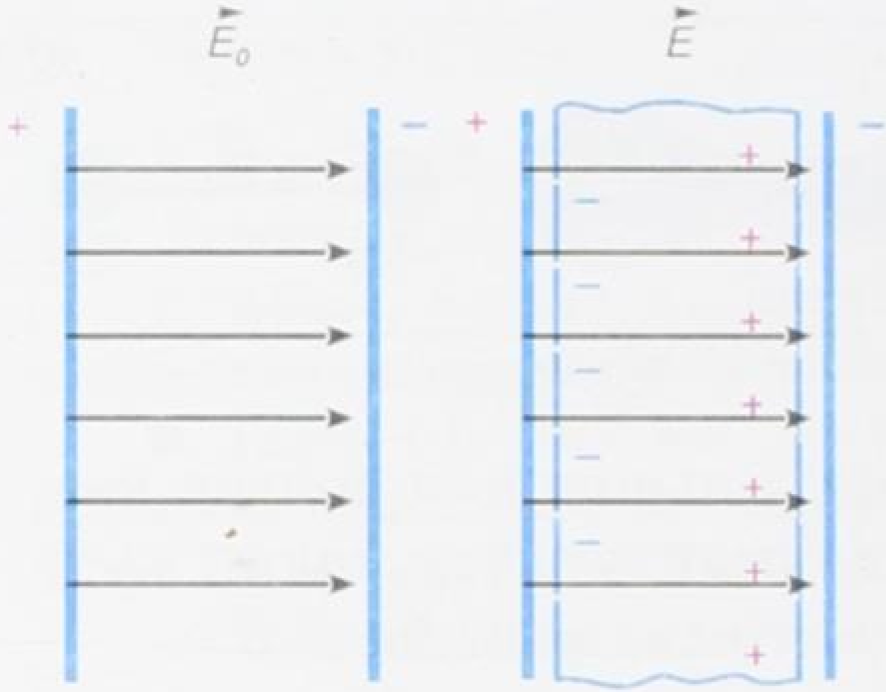
Эгер ошондой диполдордон турган диэлектрикти бир тектүү электр-статикалык талаага жайлаштырсак, анын диполдору сырткы талаанын таасиринен ошол ордунда туруп эле талаанын багытына карама-каршы багытта «бурулуу» жасашат да оң потенциалга ээ болгон жагына диполдун терс иону, терс потенциалга ээ болгон жагына диполдун оң иону бурулуп жайланышып калат. Баары бир, көлөм бирдигинде оң, терс диполдордун саны бирдей эле бойдон калышат.

Сырткы талаанын таасири астындагы диэлектриктеги заряддардын жылышып (бурулуп) калуу кубулушу диэлектриктин уюлданышы, же поляризациясы деп аталат, ал эми диэлектриктин өзү поляризацияланган деп аталат.

Эгер ошол учурда диэлектрикти экиге бөлсөк, эки жагында тең эле бирдей өлчөмдө оң, терс иондору болот.

§ 68. Диэлетриктик өткөрүмдүүлүк

Диэлектриктин электр-статикалык талаадагы поляризациялануу даражасы, заттын диэлектриктик өткөрүмдүүлүгү деп аталган өзгөчө чоңдук менен мүнөздөлөт.



159-сүрөт.

Эгер бир тектүү электр-статикалык талаанын вакуумдагы чыңалышы $\vec{E}_0$ болсун десек, ал эми ошол талаага кандайдыр бир диэлектрикти жайлаштырсак, анда ал талаанын чыңалышы өзгөрүп, $\vec{E}$ болуп калат (159-сүрөт).

Анда талаанын вакуумдагы чыңалышынан ошол эле чөйрөдөгү (диэлектриктеги) чыңалышка болгон катышын, чөйрөнүн диэлектриктик өткөрүмдүүлүгүн алабыз. Диэлектриктик өткөрүмдүүлүк гректин ε (эпсилон) тамгасы менен белгиленет. Жогорку тактоонун негизинде төмөнкү формуланы алабыз, б. а.

$$\varepsilon = \frac{\vec{E}_0}{\vec{E}}, \tag{13.19}$$

мында E_0 – вакуумдагы, E – чөйрөдөгү талаанын чыңалыштары.

Электр-статикалык талаанын вакуумдагы чыңалышынын чөйрөдөгү чыңалышына болгон катышы менен өлчөнүүчү чоңдук чөйрөнүн диэлектриктик өткөрүмдүүлүгү деп аталат.

Ал бирдиксиз, эселик сан, б. а. чөйрөнүн берилген чекитиндеги талаанын чыңалышынын вакуумдагы чыңалышынан канча эсе кичине болоорун көрсөтүүчү сан.

Ошол эле чекиттеги чөйрөнүн диэлектриктик өткөрүмдүүлүгү түрдүү чөйрөдө түрдүүчө болот. Мисалы, боштукта $\varepsilon = 1$ десек, сууда $\varepsilon = 81$; парафинде $\varepsilon = 2$, эбонитте $\varepsilon = 4$ ж. б. Ал үчүн маселе китебинде атайын таблица берилген.

Практикада абанын диэлектриктик өткөрүмдүүлүгүн 1ге барабар деп алышат, б. а. вакуумдукуна эле барабар (өтө жакын).

Эгер чөйрөнүн диэлектриктик өткөрүмдүүлүгүн ε эске алсак, анда Кулон закону СИде төмөнкүдөй жазылат:

$$F = \frac{|q_1|\cdot|q_2|}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon\cdot r^2}. \tag{13.20}$$

Ал эми чексиз тегиздиктин, шардын, чекиттик заряддын талааларынын чыңалышы төмөнкүгө барабар: чексиз тегиздик үчүн $E = k\cdot\frac{2\cdot\pi\cdot|\sigma|}{\varepsilon}$, (13.21) чекиттик заряд үчүн $\vec{E} = k\cdot\frac{|q|}{\varepsilon\cdot r^2}$, (13.22)

шар үчүн $$\vec{E} = k\cdot\frac{|q|}{\varepsilon\cdot R^2}. \tag{13.23}$$

§ 69. Электр сыйымдуулугу. Конденсатор

Нерселерди заряддоо үчүн түрдүү жолдорду пайдаланабыз, б. а. сүрткүлөйбүз, тийгизебиз, жакындатабыз ж. б. Ошол учурда тигил же бул өткөргүчкө заряд топтогон болобуз.

Эми практикада маанилүү нерсе, кандай шартта өткөргүчкө көбүрөөк заряд топтоого болот?

Өткөргүчтүн зарядды топтоого жөндөмдүүлүгүн мүнөздөө үчүн электр сыйымдуулугу деп аталган физикалык чоңдук киргизилет же болбосо, өткөргүчкө берилген заряд көбөйсө, анда өткөргүчтүн учтарында пайда болгон потенциалдар айырмасы көбөйөт, б. а. $q \sim \varphi$ же $q = C \cdot \varphi$, мындан

$$\boxed{C = \frac{q}{\varphi}}\,. \tag{13.24}$$

Өткөргүчтөгү заряддын чоңдугунун анын потенциалына болгон катышы менен өлчөнүүчү физикалык чоңдук өткөргүчтүн электр сыйымдуулугу деп аталат, же жөн эле сыйымдуулук деп аталат. Анда (13.24) формуласындагы турактуу (с) чоңдугу берилген өткөргүчтүн электр сыйымдуулугун түшүндүрөт.

Сыйымдуулуктун СИдеги бирдиги (13.24) формуланын негизинде аныкталат, б. а. $[C] = \left[\frac{q}{\varphi}\right] = \frac{1Кл}{1В} = 1Ф$.

Эгер фараданын СИ жана СГСЭтеги сан маанилерин эсептеп көрсөк, ал төмөнкүгө барабар: $1Ф = \frac{1Кл}{1В}$, ал эми $1\ Кл = 3 \cdot 10^9$ СГСЭ жана $1В = \frac{1}{300}$ СГСЭ, анда $1Ф = \frac{1Кл}{1В} = \frac{3 \cdot 10^9}{\frac{1}{300}} см$, б. а.

$1Ф = 9 \cdot 10^{11} см \approx 10^{12} см = 10^7\ км$, же $1Ф \approx 10^7\ км$. Бул эң чоң сан.

Демек, радиусу $\approx 10^7\ км$ болгон шар 1Ф сыйымдуулукка ээ болот экен. Эгер Жерди шар формасында десек, ал канча сыйымдуулукка ээ болоорун карап көрөлү. Жердин радиусу $R_ж = 6400\ км$, анын вакуумдагы сыйымдуулугу $C_ж = R_ж$ болот. Бул төмөнкүчө далилденет: $C = \frac{q}{\varphi}$, ал эми Жердин шар формасындагы абалы вакуумда болсо, анын потенциалы $\varphi = \frac{q}{R_ж}$, анда $C = \frac{q}{\varphi} = \frac{q \cdot R_ж}{q} = R_ж$.

Демек $C_ж = R_ж$. Ошондуктан сыйымдуулуктун СГСЭдеги бирдиги *«см»* болуп жатат. Эми Жердин вакуумдагы сыйымдуулугунун сан маанисин карап чыгалы. $C_ж = R_ж = 6400\ км$;

$C_ж = 6400 \ км \approx 6{,}4 \cdot 10^3 \ км$, б.а. $C_ж \approx 6{,}4 \cdot 10^3 \ км$, ал эми $1Ф \approx 10^7 \ км$. Демек, радиусу 6400 *км* келген Жер дагы 1 фарада сыйымдуулукту түзө албайт экен, б. а.

$$C_ж = 6{,}4 \frac{10^3}{10^7} Ф = 6{,}4 \cdot 10^{-4} Ф.$$

Демек, $1Ф \approx 10^7 \ км$ болгондуктан бул бирдик жөнүндө ойлонууга туура келет, б. а. фарада абдан чоң бирдик болгондуктан, иш жүзүндө микро, пикофарада бирдиктери кеңири колдонулат.

$1Ф = 10^6 мкФ$ $\qquad$ $1мкФ = 10^{-6} Ф$

$1Ф = 10^{12} пкФ$ $\qquad$ $1пкФ = 10^{-12} мкФ$ ж. б.

Демек, өткөргүчтүн сыйымдуулугу чоң болсо заряд чоң (көп), потенциалдарынын айырмасы канча кичине болсо, сыйымдуулук ошончо чоң болот деп жыйынтык чыгарып жогорудагы суроого жооп беребиз.

Потенциалдарынын айырмасы 1В болгон өткөргүчкө 1Кл заряд топтолгон кездеги сыйымдуулук 1 фарада деп аталат.

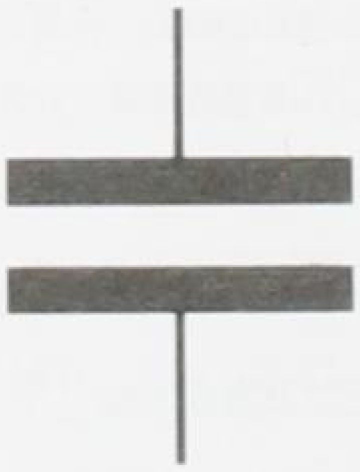
Заряд топтоого арналган түзүлүш конденсатор болуп эсептелет.

Ортосундагы диэлектригинин калыңдыгы өткөргүчтүн өзүнүн өлчөмүнөн кичине болгон эки өткөргүч конденсатор деп аталат (160-сүрөт).

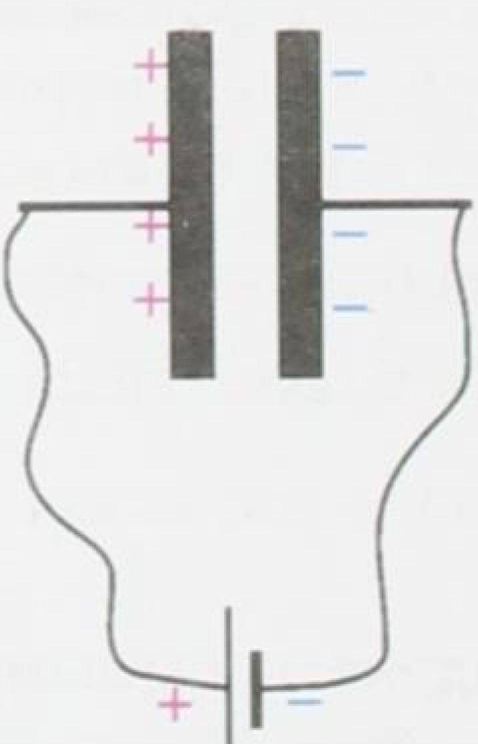
Ал эми эки өткөргүч пластинка конденсатордун обкладкалары деп аталышат.

Конденсаторду заряддоо үчүн, анын бир обкладкасын ток булагынын бир уюлуна, экинчисин экинчи уюлуна бириктиребиз, же бир обкладканы ток булагына бириктирип экинчисин жердештирип коюу жетиштүү болот (161–162-сүрөттөр).

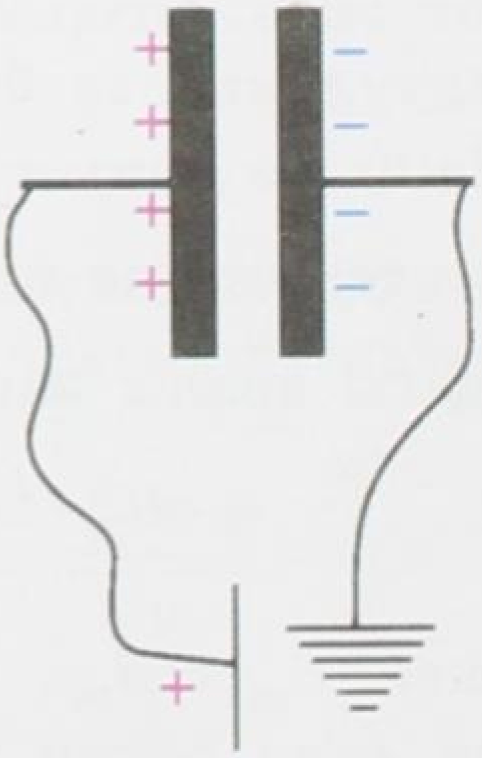
Конденсатордун заряды анын бир обкладкасынын зарядынын чоңдугунун модулуна барабар: $|q|$.



160-сүрөт.



161-сүрөт.



162-сүрөт.

Сыйымдуулугу: $C = \frac{|q|}{\varphi}$ болот.

Конденсатор жалпак, цилиндр, шар ж. б. формаларда болушат.

§ 70. Жалпак конденсатордун электр сыйымдуулугу

Кандайдыр аралыкта жайланышып, ортосу диэлектрик менен бөлүнгөн жарыш эки пластинка жалпак конденсатор деп аталат.

Эми жалпак конденсатордун электр сыйымдуулугун эсептейлик. Ал үчүн жалпак конденсатор берилсин, анын обкладкаларынын аянты S болуп, ал эми обкладкаларынын ортосундагы аралык d болсун. Потенциалдарынын айырмасы U болсун. Конденсатордун электр талаасы анын эки обкладкасынын арасына топтолгон болот да, чыңалышка ээ (163-сүрөт). $2\vec{E}$ болгон себеби ал эки обкладкадан турат.

Эгер конденсатордун обкладкасынын ар бирин чексиз тегиздик деп эсептесек, жалпы чыңалыш ($\vec{E}$) төмөнкүгө барабар болот: $\vec{E} = 2\vec{E}_1 = k \cdot 4 \cdot \pi \frac{|\sigma|}{\varepsilon}$, б. а.

$$\boxed{\vec{E} = k \cdot 4 \cdot \pi \frac{|\sigma|}{\varepsilon}}, \qquad (13.25)$$

мында $\sigma = \frac{q}{S}$ – заряддын беттик тыгыздыгы. Бирдиги $\frac{Кл}{м^2}$ экендиги белгилүү.

Ал эми $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot 4$ жана $\sigma = \frac{q}{S}$ экенин эске алсак:

$$\vec{E} = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot q}{S \cdot \varepsilon} \quad \text{же} \quad \boxed{\vec{E} = \frac{q}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}}. \qquad (13.26)$$

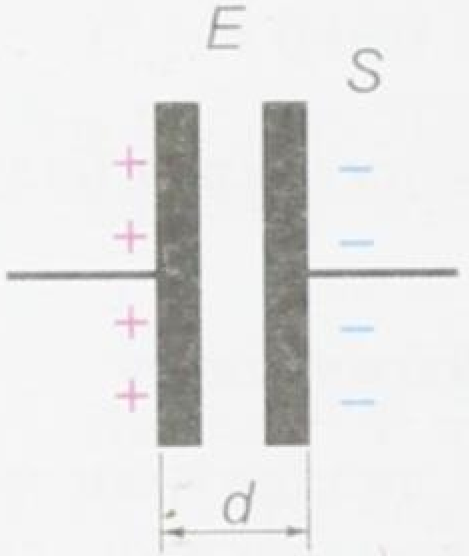
Бул конденсатордун талаасынын жалпы чыңалышы. Чыңалышы менен чыңалуу (13.14) формуласынын негизинде $U = \vec{E} \cdot d$ формуласы менен байланышкан. Эгер (13.26) формуладан $\vec{E}$нин маанисин эсепке алсак:

$$\boxed{U = \frac{q \cdot d}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot S}} \qquad (13.27)$$

Бул конденсатордун обкладкалары арасындагы чыңалуу. Эгер (13.24) формуласындагы $C = \frac{q}{\varphi}$ дан $\varphi = U$ болсо, анда $C = \frac{q}{U}$. (13.28)

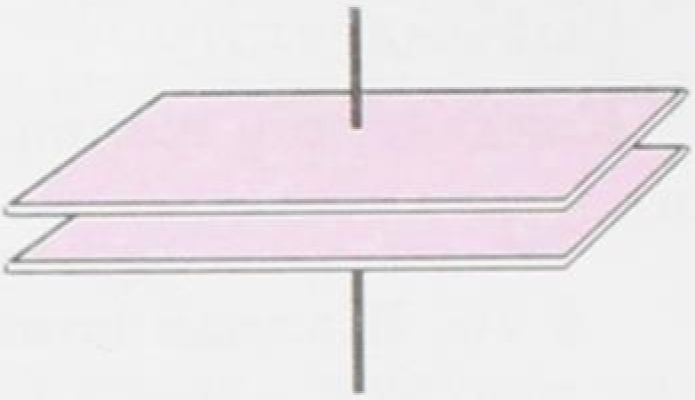
Анда жалпак конденсатордун сыйымдуулугу төмөнкүгө барабар болот:

$$C = \frac{q}{\frac{q \cdot d}{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}, \qquad \text{б. а.} \qquad C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}. \qquad (13.29)$$



163-сүрөт.

164-сүрөт.



165-сүрөт.

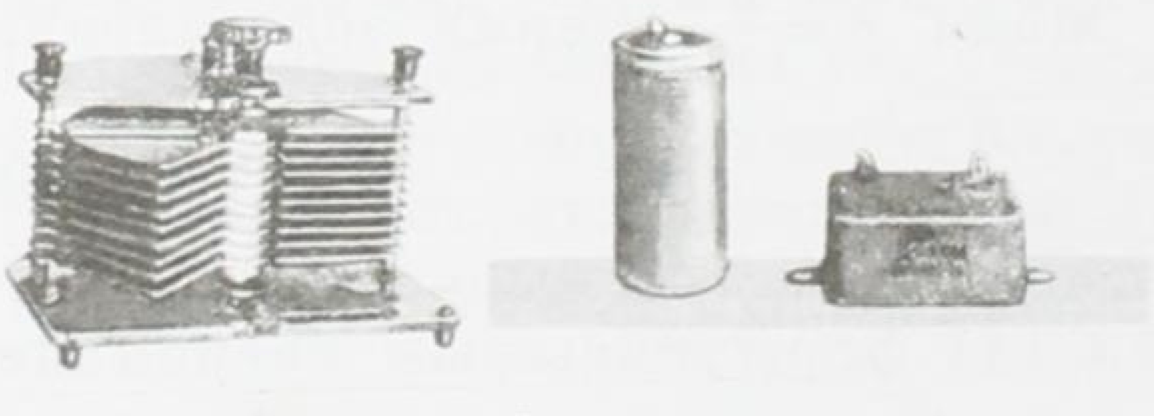
Демек, *жалпак конденсатордун электр сыйымдуулугу обкладканын аянтына түз, диэлектриктин калыңдыгына тескери пропорциялаш болот.*

Сыйымдуулугу боюнча конденсаторлор өзгөрмө жана турактуу сыйымдуулукта болушат (163, 164, 165-сүрөттөр).

Конденсатор формасы, өлчөмү боюнча ар түрдүү болот. Диэлектриктин түрүнө жараша слюдалуу, кагаз, парафин ж. б. түрдө болушат (166-сүрөт).

Турактуу жана өзгөрмө сыйымдуулуктагы конденсаторлор радиотехникада, телекөрсөтүүдө, автоматикада ж. б. жерлерде колдонулат. Конденсаторлорду параллель жана удаалаш бириктирип, конденсаторлордун батареяларын пайдаланышат.

Заряддалган конденсаторлор энергияга ээ. Төмөнкү формулалар менен конденсаторлордун энергиясы эсептелет:



166-сүрөт.

$$\boxed{W_p = \frac{qU}{2}}, \qquad (13.30)$$

$$\boxed{W_p = \frac{C \cdot U^2}{2}}, \qquad (13.31)$$

$$\boxed{W_p = \frac{q^2}{2C}}. \qquad (13.32).$$

? **1.** Өткөргүч электр-статикалык талаада эмне болот? **2.** Диэлектрик электр-статикалык талаада эмне болот? **3.** Электр сыйымдуулугу деп эмнени айтабыз? Бирдиктери кайсылар? **4.** Конденсатор жөнүндө эмне билесиңер? **5.** Жалпак конденсатордун сыйымдуулугунун формуласы кандай?

26-көнүгүү

1. Өткөргүчкө $8 \cdot 10^{-3}$ *Кл* заряд берген кезде анын потенциалы 100 *В* болгон өткөргүчтүн сыйымдуулугу канча болгон?

2.Конденсатордун обкладкасы аянты $4{,}7 \cdot 10$ $см^2$ болуп, 15 парафин баракчасынан (листинен) турган станоил. Парафиндин баракчасынын калыңдыгы 0,03 *мм*. Бул конденсатордун сыйымдуулугун эсептегиле.

3.Слюдалуу конденсатордун обкладкасынын аянты 36 $см^2$, диэлектригинин калыңдыгы 0,14 *см*. Конденсатордун обкладкаларындагы потенциалдардын айырмасы 300 *В* болсо, $\varepsilon = 7$ болгон учур үчүн бул конденсатордун сыйымдуулугун, зарядын, энергиясын эсептегиле.

4. Жалпак конденсатордун ар бир обкладкасынын аянты 520 $см^2$ ка барабар. Анын сыйымдуулугу абада 46 *пкФ* болсун үчүн, обкладкаларын бирибиринен кандай аралыкка жайлаштыруу керек?

Электр-статикага маселе чыгаруунун мисалдары

1. Иоффенин тажрыйбасында бир тектүү электр-статикалык талаада, түрдүү аттуу заряддалган өзара жарыш эки пластинканын арасында массасы $m = 1 \cdot 10^{-8}\ г$ болгон чаң бүртүкчөсү турат. Пластинкалар арасындагы потенциалдар айырмасы $(\varphi_1 - \varphi_2) = 5000\ В$, пластинкалар арасындагы аралык d=10 *см*. Электр-статикалык талаада тең салмактуулукта турган чаң бүртүкчөсүнүн зарядын аныкта.

Берилди:

$m = 1 \cdot 10^{-8}\ г = 1 \cdot 10^{-11}\ кг$
$\varphi_1 - \varphi_2 = 5000 В$
$d = 10\ с = 10^{-1}\ м$
$g = 10\ \frac{м}{с^2}$

q – ?

Чыгаруу:

Чаң бүртүкчөсү тик төмөн багытталган оордук күчүнө ээ. Ал $\vec{P} = m \cdot g$. Ошондой эле талаанын күчү $\vec{F} = \vec{E} \cdot q$ аракет этет. Тең салмактуулук шарты $\vec{P} = \vec{F}$ же $m \cdot \vec{g} = \vec{E} \cdot q$. Ал эми талаанын чыңалышы ($\vec{E}$) менен потенциалдар айырмасы чыңалуу (U) өзара байланышта, $\varphi_1 - \varphi_2 = U$; $U = \vec{E} \cdot d$; $\vec{E} = \frac{U}{d}$, мындан $m \cdot \vec{g} = \frac{U}{d} \cdot q$ же $m \cdot \vec{g} \cdot d = U \cdot q$, мындан $q = \frac{m \cdot \vec{g} \cdot d}{U}$. Чоңдуктардын сан маанилерин коюп эсептөө жүргүзсөк: $q = 2 \cdot 10^{-14}\ Кл$.

Эсептөө СИде чыгарылды.

2. Конденсатор жасоо үчүн узундугу 157 *см*, туурасы 90 *мм* болгон алюминий фольгасын пайдаланышкан. Парафиндеги кагаздын калыңдыгы 0,1 *мм* болгон. Бул конденсатордун сыйымдуулугу канча болгон? Андагы чыңалуу 400 *В* болсо, энергиясы канчалык?

Берилди:

$\ell = 157\ см = 1{,}57\ м$
$h = 90\ мм = 9 \cdot 10^{-2}\ м$
$d = 0{,}1\ мм = 1 \cdot 10^{-3}\ м$
$U = 400\ В$

Чыгаруу:

Жалпак конденсатордун сыйымдуулугу $C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}$, ал эми обкладкасынын аянты S, мында $S = h \cdot \ell$. Бул учурда жалпак кон-

$\varepsilon_0 = \frac{1}{36} \cdot \pi 10^9 \frac{Ф}{м}$; $\varepsilon = 2$	
$C - ?$ $W - ?$	

денсатордун сыйымдуулугу $C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot h \cdot \ell}{d}$ болот. Ал эми энергиясы $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$ формуласы менен аныкталат. СИде эсептегенде:

$$C = \frac{2 \cdot 9 \cdot 10^{-2}\,м \cdot 1{,}57\,мКл^2}{36 \cdot \pi \cdot 10^9\,Н \cdot м^2 \cdot 1 \cdot 10^{-4}\,м} = 25 \cdot 10^{-9}\,Ф = 25 \cdot 10^{-3}\,мкФ.$$

$$C = 25 \cdot 10^{-3}\,мкФ \cdot$$

$$W = \frac{25 \cdot 10^{-9}\,Ф \cdot 16 \cdot 10^4\,В^2}{2} = 0{,}002\,Дж. \quad W = 0{,}002\,Дж.$$

XIII главадагы эң негизги маалыматтар

Главада электр талаасы заряддалган ар кандай нерсенин айланасында пайда болору айтылды. Кыймылсыз заряддын талаасы электр-статикалык талаа деп аталат. Электр-статикалык талаадагы чекиттик заряддардын өзара аракеттешүү күчү (Кулон күчү).

$\vec{F} = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$, мында $k = \frac{F \cdot r^2}{|q_1| \cdot |q_2|}$ пропорциялаштык коэффициенти, турактуу сан, ал төмөнкүгө барабар: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$.

СИде $k = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0}$, ε_0 – вакуумдун электрдик турактуулугу, $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{Кл^2}{Н \cdot м^2}$. СИде Кулон закону $F = \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$.

Электр-статикалык талааны күч жагынан чыңалыш мүнөздөйт: $\vec{E} = k \cdot \frac{q}{r^2}$; $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}\left(\frac{Н}{Кл}\right)$.

Ал эми талааны энергетикалык жактан потенциал, потенциалдар айырмасы, же чыңалуу мүнөздөйт, ал (φ), ($\Delta\varphi$), (U).

$\varphi = \frac{W_p}{q}$, $\varphi = \frac{A}{q}$, $U = \frac{A}{q}$ ж. б. чыңалуунун бирдиги вольт менен өлчөнөт.

Электр-статикалык талаа зарядды которуу боюнча жумуш аткарат: $A = \vec{E} \cdot q \cdot d\,[Дж]$. Чыңалуу ($U$) менен чыңалыш ($\vec{E}$) өзара байланыштуу:

$E = \frac{U}{d}$, $U = \vec{E} \cdot d$, $A = q \cdot U$.

Электр сыйымдуулугу заряддын потенциалга болгон катышы $- C = \frac{q}{\varphi}$, ал фарада деген бирдикте өлчөнөт: $1Ф = 1\frac{Кл}{В}$.

Жалпак конденсатордун сыйымдуулугу: $C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{d}$.

Энергиясы: $W_р = \frac{qU}{2}$, $W_р = \frac{C \cdot U^2}{2}$, $W_р = \frac{q^2}{2C}$.

XIV глава

ТУРАКТУУ ЭЛЕКТР ТОГУ

§ 71. Электр тогу. Ток күчү. Токтун пайда болуу шарттары

Биз мурунку өтүлгөн темаларда затты түзгөн майда бөлүкчөлөр: атом, молекулалар же атомдун курамындагы оң, терс заряддалган бөлүкчөлөр жылуулук кыймылында болушат дегенбиз. Бул кыймыл хаотикалык, башаламан, ирээтсиз.

Эгерде электр талаасын пайда кылсак, ошол оң жана терс заряддалган бөлүкчөлөр талаанын таасири астында ирээттүү кыймылга келсе, анда өткөргүчтө электр тогу пайда болот.

Электр талаасынын таасири астындагы заряддалган бөлүкчөлөрдүн ирээттүү кыймылы электр тогу деп аталат.

Ал заряддалган бөлүкчөлөр чөйрөгө жараша же оң, же терс болушу мүмкүн, бул жөнүндө толугураак кийинки главада токтолобуз.

Ток багытка ээ. Токтун багыты үчүн шарттуу түрдө оң заряддалган бөлүкчөлөрдүн кыймыл багыты, б. а. оң уюлдан терс уюлду көздөй кеткен багыт кабыл алынган.

Ал эми 19-кылымдын аягында электрон терс заряддалган элементардык бөлүкчө катары атомдун курамынан табылгандан кийин жана көп чөйрөдө токту алып жүрүүчү ошол электрондор экендиги белгилүү болгондон кийин, токтун чыныгы багытын кабыл алышкан.

Токтун *чыныгы багыты* үчүн терс уюлдан оң уюлду көздөй кеткен багыт кабыл алынган. Демек, бул багыт токтун чыныгы багыты болуп эсептелет.

Токтун бар же жок экендигин кантип билебиз? Лаборатория шартында өлчөгүч куралдардын жардамы менен билебиз. Ал эми башка шарттачы? Мисалы, үйдө, мектепте. Анда биз лампаны күйгүзөбүз, үтүктү саябыз же электр коңгуроосунун, муздаткычтын иштешинен улам билебиз. Мына ушунун бардыгы электр тогунун түрдүү аракеттери болуп эсептелет.

Ошондуктан токтун бар же жок экендигин анын төмөнкү аракеттери боюнча билебиз:

1. Ток жылуулук аракетине ээ. Мисалы, электр ысыткыч куралдарынын ысышы, кызытма лампанын жарык бериши, электр меши ж. б.

2. Ток химиялык аракетке ээ, б. а. өткөргүчтүн химиялык курамын өзгөртөт. Мисалы, жез купоросун ($CuS0_4$) жезге (Cu)

Ампер Андре Мари (1775–1836) – франциялык физик жана математик. Ал электрдик жана магниттик кубулуштардын байланышын туюнтуучу биринчи теорияны түзгөн. Магнетизмдин жаратылышы жөнүндөгү гипотеза Амперге таандык, ал физикага «электр тогу» түшүнүгүн киргизген.

жана $S0_4$ группасына ажыратат, б. а. молекулалык диссоциация процесси жүрөт. Буларга аккумулятор, батарея, гальваниканын, Вольтанын элементтерин мисалга алсак болот жана анын химиялык аракетин байкайбыз.

3. Ток магниттик аракетке ээ. Мисалы, тогу бар өткөргүч магниттик касиетке ээ болуп, тогу бар башка өткөргүчкө, магнит жебесине, компаска аракет эте баштайт. Электр-магниттерди алсак мунун бардыгы токтун магниттик аракети болуп эсептелет.

4. Ток механикалык аракетке ээ, б. а. ток ар кандай механикалык жумуш аткарат.

Мунун мисалдары: кир жуучу, тигүүчү машинелер, желдеткич, муздаткычтын иштеши. Ошондой але бардык түрдөгү ар кандай кубаттуулуктагы электр кыймылдаткычтарынын (электрмоторлордун) иштеши.

Мына ушул жана ушуга окшогон аракеттери боюнча токтун бар же жок экенин билебиз.

Ток чоң да, кичине да боло алат, б. а. ток күчү менен мүнөздөлөт.

Убакыт бирдигинде өткөргүчтүн туурасынан кесилиши аркылуу агып өткөн заряддын санына барабар чоңдук ток күчү деп аталат, же:

Убакыт бирдигинде өткөргүч боюнча агып өткөн заряддын ошол убакытка болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук ток күчү деп аталат. Ток күчү I тамгасы менен белгиленет.

Анда жогорку аныктама боюнча төмөнкү формуланы алабыз:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \qquad (14.1)$$

мында Δq – өткөргүчтүн туурасынан кесилиш аянты аркылуу Δt убакытта өткөн заряддын саны.

СИде ток күчүнүн бирдиги үчүн, анын магниттик аракетинин негизинде, француз окумуштуусу Андре Мари Ампердин (1775–1836) урматына ампер (*А*) кабыл алынган. Бул негизги бирдик болуп эсептелет.

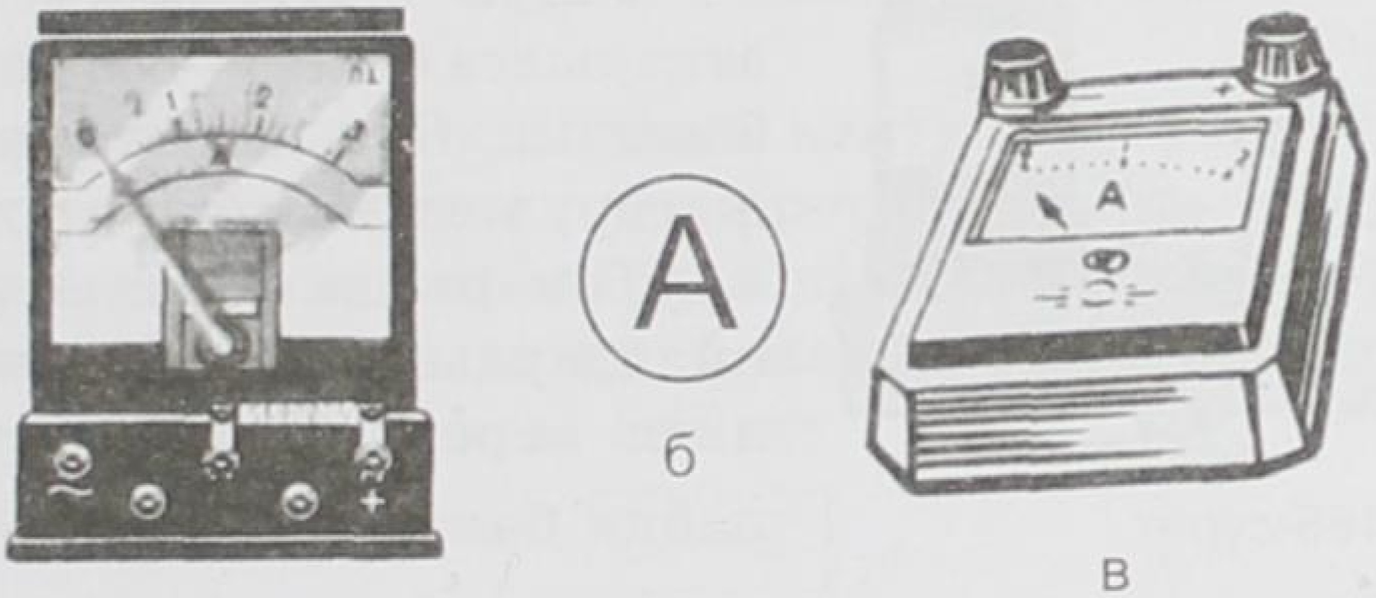
Практикада амперден чоң, кичине бирдиктер колдонулат.

Мисалы, 1 *кА* $= 10^3$А, 1 *мкА* $= 10^{-6}$ *А*, 1 *МА* $= 10^6$ *А* ж. б.

Эгерде өткөргүчтүн туурасынан кесилиш аянты аркылуу бирдей убакытта бирдей сандагы заряд өтүп турса, же убакыттын өтүшү менен токтун күчү өзгөрбөсө, андай ток туруктуу ток деп аталат. Токтун чоңдугу, күчү төмөнкү чоңдуктардан да көзкаранды.

$$\boxed{I = en_0\vartheta s}\ , \qquad (14.2)$$

мында e – элементардык заряддын чоңдугу, n_0 – көлөм бирдигиндеги заряддын саны, ϑ – заряддалган бөлүкчөнүн кыймыл ылдамдыгы, S – өткөргүчтүн туурасынан кесилиш аянты.



а б в

167-сүрөт.

Мына ушул чоңдуктардын бардыгы чоң болсо, ток да күчтүү болот. Ток күчү амперметр деп аталган курал менен өлчөнөт. Ал электр чынжырына удаалаш туташтырылат. Амперметр формасы, өлчөмү боюнча ар түрдүү жана туруктуу ток үчүн, өзгөрмө ток үчүн ар башка болот (167-сүрөт). Схемада 167-*б*, сүрөттөгүдөй белгиленет. Электр чынжырын жыйнасак ал 168-сүрөттөгүдөй болот.

Эгерде куралдын бетинде «=» же «–» белги болсо, туруктуу токко, ал эми «~» (синусоида) белгиси болсо, ал өзгөрмө токко арналган болот.

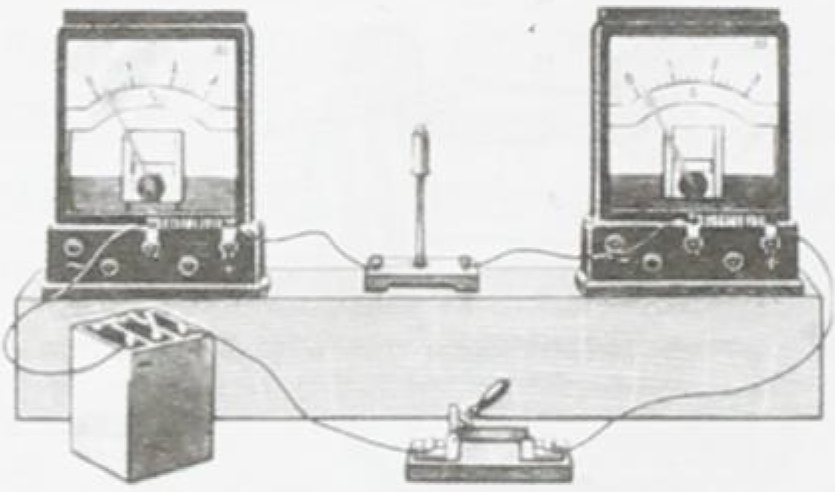
Ток күчүнүн өткөргүчтүн туурасынан кесилиш аянтына болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук токтун тыгыздыгы деп аталат. Ал j тамгасы менен белгиленет, б. а. $j = \frac{I}{S}$. *СИде* $\frac{A}{м^2}$ менен ченелет.

Ток деген бул заряддалган бөлүкчөлөрдүн бир багытта ирээттелген кыймылы дедик. Демек, токтун пайда болушу үчүн төмөндөгү негизги шарттардын болушу зарыл:

- 1. Нерседеги заряддалган эркин бөлүкчөлөрдүн болушу, мисалы, металлдарда өз оң иондору менен болгон байланышын оңой эле жеңе алган эркин электрондордун болушу керек.
- 2. Ошол заряддалган бөлүкчөлөргө ирээттүү багытталган кыймыл бере турган күчтүн болушу керек: $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ дан $\vec{F} = q\vec{E}$.

3. Бул күч пайда болсун үчүн электр талаасы болушу керек. Ал эми талаанын негизги касиети анын башка зарядга аракет этүүчү күчкө ээ болушу. Ошондуктан электр талаасы бар болсо күч да болот.

4. Ал эми электр талаасы бар болсун үчүн потенциалдар айырмасынын болушу, өткөргүчтүн бир учунда потенциал жогору, экинчи учунда төмөн болушу зарыл. Заряддалган бөлүкчөлөр потенциалы жогору болгон жактан потенциалы төмөн болгон жакты көздөй ирээттүү кыймылга келет. Ал эми анын өзү заряддын ирээттелген багыттуу кыймылы электр тогу болот.


168-сүрөт.

Ушул жогорудагы төрт шарт аткарылса өткөргүч боюнча ток жүрө баштайт. Бул шарттарды төмөндөн жогору көздөй айтууга да болот.

Ток пайда болсун үчүн потенциалдардын айырмасын пайда кылыш керек, анда электр талаасы пайда болот да, талаа $\vec{F} = q\vec{E}$ күчү менен эркин заряддарга ирээттелген, багытталган кыймыл берип электр тогу пайда болот деп айтсак да ылайыктуу.

Демек, өткөргүчтө ток үзгүлтүксүз болуп турушу үчүн потенциалдар айырмасын пайда кылуу керек. Потенциалдар айырмасы туруктуу болсо, пайда болгон ток да туруктуу болот. Бул жыйынтык сөзсүз, көптөгөн окумуштуулардын бай тажрыйбаларынын жыйынтыгынан келип чыккан.

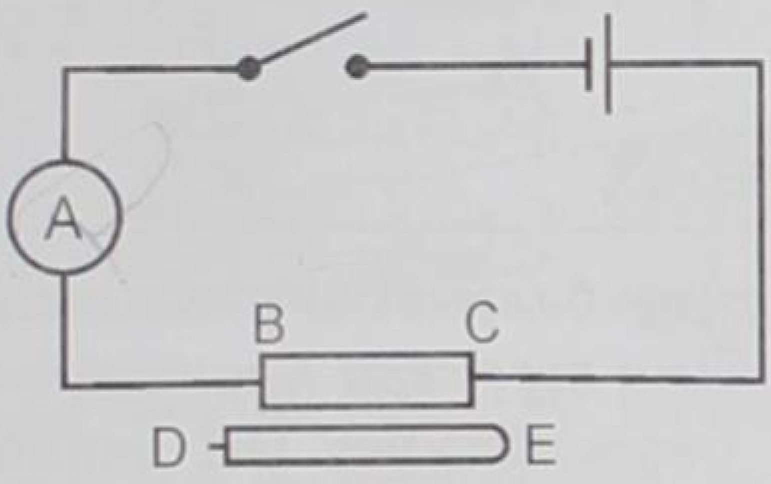
§ 72. Чынжырдын бөлүгү үчүн Ом закону. Өткөргүчтүн каршылыгы. Салыштырма каршылык

Электр тогунун аракети, мисалы, жылуулук, химиялык, магниттик, механикалык ж. б. ток күчүнүн өзгөрүшү менен өзгөрө тургандыгы иш жүзүндө байкалган. Токту өзгөртүү менен токтун аракеттерин да өзгөртүүгө болот.

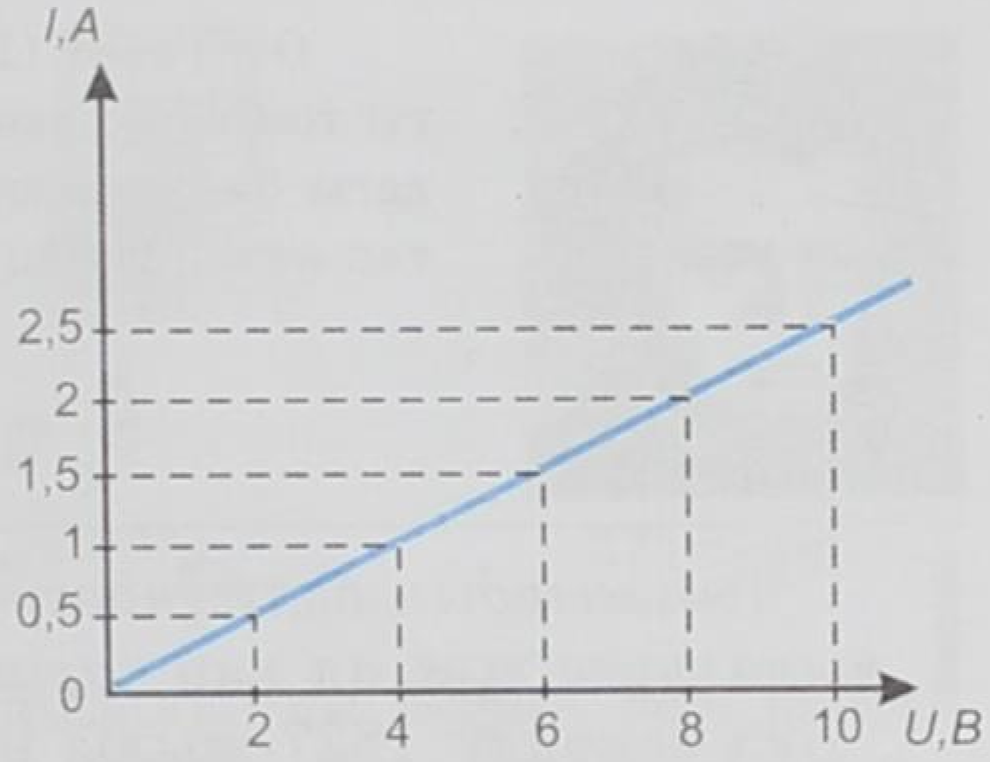
Бирок чынжырдагы токту башкаруу мүмкүнчүлүгүнө ээ болуу үчүн ал эмнеге жана кандайча көзкаранды экендигин билүү керек.

Жөнөкөй электр чынжырын жыйнайбыз (169-сүрөт). Ал ток булагынан, ачкычтан, амперметрден, вольтметрден жана каршылыктан турат. Чынжыр боюнча ток жиберип, *BC* участогундагы ток күчүн амперметр, чыңалуусун вольтметр менен өлчөйбүз.

Ток булагын өзгөртүү менен чынжырдагы токтун да, чыңалуунун да өзгөргөндүгүн байкайбыз. *BC* участогунун учтарындагы чыңалуу канча чоңойсо, андагы ток да ошончо чоңоёру байкалган (169-сүрөт). Эгерде *BC*нын ордуна *DE* өткөргүчүн би-



169-сүрөт.



170-сүрөт.

риктирип жогорудагы тажрыйбаны кайталаган учурда деле ошол өткөргүчтөгү ток чыңалууга түз пропорциялаш экендиги байкалган. Ушундай тажрыйбалардан кийин өткөргүчтүн учтарындагы чыңалууну U, ток күчүн I менен белгилеп, төмөнкүдөй барабардыкты жазабыз, б. а. $I \sim U$ же

$$\boxed{I=kU}\quad, \tag{14.3}$$

мында k – өткөргүчтүн касиетине көзкаранды болгон коэффициент. k чоң болсо, (U) чыңалуунун бирдей эле маанисинде (I) ток күчү да чоң болгон жана берилген бир өткөргүч үчүн ток күчү менен чыңалуунун ар кандай маанилеринде турактуу болуп, төмөнкү формула менен аныкталган:

$$\boxed{k=\frac{I}{U}}\quad. \tag{14.4}$$

Бул учурда өткөргүчтүн температурасы өзгөрбөшү керек. Бул чоңдук өткөргүчтүн касиетин мүнөздөйт да, электр өткөрүмдүүлүк, же жөн эле өткөрүмдүүлүк деп аталат.

Ток күчү менен чыңалуунун ортосундагы көзкарандылыкты (14.3) формуласынын негизинде төмөнкүчө жыйынтыктоого болот.

Өткөргүчтөгү токтун күчү өткөргүчтүн өткөрүмдүүлүгү менен анын учтарындагы чыңалууга түз пропорциялаш.

Графикте бул көзкарандылык пропорциялаштыктын сызыгын берет (170-сүрөт). Бул график чынжырдын вольт-ампердик мүнөздөмөсү (B менен Aнын арасындагы көзкарандылыктын графиги) деп аталат.

- Өткөргүчтүн өткөрүмдүүлүгүнө тескери чоңдук $\frac{1}{k}=R$ – өткөргүчтүн каршылыгы деп аталат. Анда $\frac{1}{k}=R$ экенин эске алсак, жогорку (14. 4) формуласы $I=\frac{U}{R}$ (14.5) болуп калат.
- Бул чынжырдын бөлүгү үчүн Ом законунун математикалык формуласы. Ал төмөнкүчө окулат.

Ом Георг (1787–1854) – немец физиги, чынжырдагы ток күчү, чыңалуу жана каршылык үчөөнүн арасындагы байланышты туюнтуучу законду теориялык жактан ачып, тажрыйбада ырастаган.

Чынжырдын бөлүгүндөгү ток күчү бөлүктүн учтарындагы чыңалууга түз, ал эми каршылыгына тескери пропорциялаш.

Бул законду 1827-жылы немец окумуштуусу Ом ачкандыктан анын урматына чынжырдын бөлүгү үчүн Ом закону деп аталып калган. Бул законду теорияда ачып, анан экспериментте далилдеген, б. а. ток күчү менен чыңалуунун байланышын ачкан.

Металлдар менен электролиттерде Ом закону бирдей, толук аткарылат. Газдар үчүн бул закон татаалыраак формада. Ом законунан (14.5 формуладан) чыңалууну тапсак:

$U=IR$. (14.6) Бул электр-техникада чыңалуунун төмөндөшү деп аталат. Чынжырдын бөлүгүндөгү чыңалуу участоктун каршылыгына түз пропорциялаш.

Өткөргүчтүн каршылыгы. Ом законунан каршылыкты тапсак төмөнкүдөй болот:

$$\boxed{R=\frac{U}{I}}\;. \qquad (14.7)$$

Каршылыктын СИдеги бирдиги *Ом* деп аталат, б. а. $[\,U\,]=1\,B$;

$[\,I\,]=1\,A$ болгондо $[R]=\left[1\dfrac{B}{A}\right]=[1\,Ом]$ же $[\,R\,]=[\,1\,Ом\,]$.

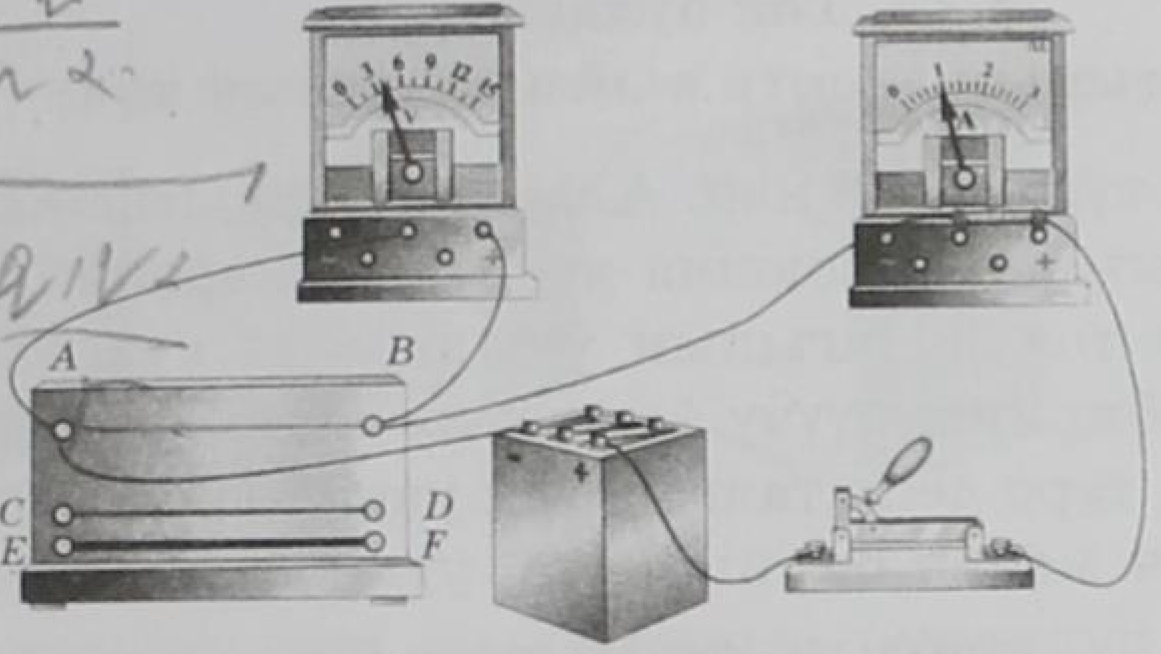
Каршылыктын бирдиги бул законду ачкан окумуштуу Г. Омдун урматына *Ом* деп аталганы закончэнемдүү жана ал төмөнкүдөй окулат:

Учтарындагы чыңалуу 1Вко барабар болуп, өткөргүч боюнча 1А ток өткөн кездеги өткөргүчтүн каршылыгы 1 Ом деп аталат.

Омдон 1000 эсе чоңу *кОм* жана *1 кОм* $=10^3$ *Ом*, 1000 эсе кичинеси *мОм* жана 1 *мОм*$=10^{-3}$ *Ом*. 1000 000 эсе чоңу *мегаОм (МОм)* жана 1*МОм*$=10^6$ *Ом*. 1000 000 эсе кичинеси *мкОм* жана 1 *мкОм* $=10^{-6}$ *Ом* ж. б. бирдиктери колдонулат. Каршылык амперметр (*A*) жана вольтметрдин (*V*) көрсөтүүлөрү боюнча, же омметр деген курал менен өлчөнөт.

Салыштырма каршылык

Өткөргүчтүн каршылыгы өткөргүчтүн материалына жана геометриялык өлчөмдөрүнө көзкаранды. Чынжырдын (171-сүрөт) *AB* бөлүгүнө түрдүү материалдан же түрдүү өлчөмдөгү бирдей материал-



171-сүрөт.

дардан өткөргүчтөрдү коюп, каршылыкты өлчөп эсептешип, төмөнкүдөй жыйынтыкка келишкен:

Өткөргүчтүн каршылыгы анын узундугуна түз, туурасынан кесилиш аянтына тескери пропорциялаш жана өткөргүч жасалган материалга, температурага көзкаранды болот.

Формула түрүндө ал төмөнкүдөй жазылат:

$$\boxed{R = \rho \frac{\ell}{S}}, \qquad (14.8)$$

мында ℓ – өткөргүчтүн узундугу, S – туурасынан кесилиш аянты, ал эми ρ (ро) – өткөргүчтүн касиетин мүнөздөп, салыштырма каршылык деп аталат. Анда (14.8) формуласынан салыштырма каршылык төмөнкүчө аныкталат:

$$RS = \rho\ell, \text{ мындан } \boxed{\rho = \frac{RS}{\ell}}. \qquad (14.9)$$

Түрдүү материалдардын салыштырма каршылыктары ар башка жана бир эле материалдын учурунда бирдиктердин кайсы системада алынгандыгына жараша болот.

Эгерде узундук ℓ (*м*) менен, туурасынан кесилиш аянты S (*мм*^{2}) менен алынса, анда анын бирдиги $[\rho] = 1\,\frac{Ом \cdot мм^2}{м}$ болот. Ал эми бирдиктердин интернационалдык системасында (СИде) $[\rho] = 1 \cdot 10^{-6}$ *Ом · м*.

Бирдей өлчөмдө (ℓ, S) алынган түрдүү материалдардан жасалган өткөргүчтөрдүн ом менен алынган каршылыгы салыштырма каршылык деп аталат.

Маселелер жыйнагы китептеринде салыштырма каршылыктын таблицасы бар. Аны менен таанышып отуруп, таза металлдардын салыштырма каршылыктары кичирээк, ал эми аралашмалардыкы чоң экендигин байкайбыз.

Таза өткөргүчтөр токту коромжусуз ташуу учурунда колдонулат, ал эми аралашмалардан ысыткыч приборлордун зымдары (спиралдары) жасалат, себеби салыштырма каршылык (ρ) чоң болсо, R каршылыгы да чоң, анда ал зымдан жылуулук көбүрөөк бөлүнүп чыгат.

§ 73. Ток булагы. Ток булагынын электр кыймылдаткыч күчү

Ток булагынын түрү абдан көп. Алардын бардыгында оң жана терс заряддарды ажыратуу боюнча жумуш аткарылат. Ажыратылган бөлүкчөлөр ток булагынын уюлдарына кыскычтар менен өткөргүчтөрдү бириктирүүчү жерге чогулат. Ар кандай ток булагында оң жана терс деп аталган эки уюлу болот. Эгерде бул эки уюлду өткөргүч менен бириктирсе, уюлдар арасында жана аларды туташтырган өткөргүчтө электр талаасы пайда болот. Бул талаанын таасири астында өткөргүчтөгү эркин заряддалган бөлүкчөлөр кыймылга келип, электр тогу пайда болот.

Ток булактарында заряддалган бөлүкчөлөрдү ажыратуу боюнча аткарылган жумуштун натыйжасында механикалык, химиялык жана ички энергия электр энергиясына айланат.

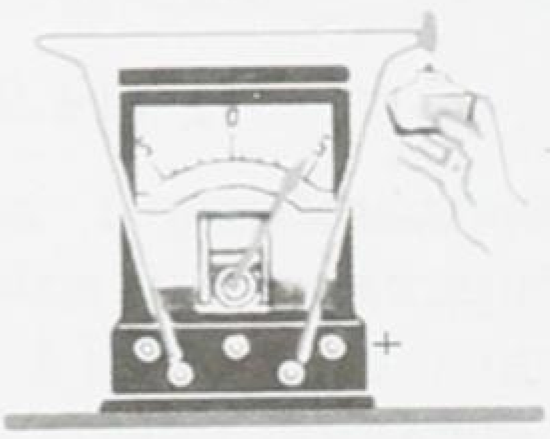
Мисалы, электрофор машинесинде механикалык энергия электр энергиясына айланат (172-*а*, сүрөт). Термоэлементте эки түрдүү металлдын кандалган жерин ысытканда ички энергия электр тогуна айланат (172-*б*, сүрөт).

Селен, кремний, жез оксиди сыяктуу элементтерди жарык менен жарыктандырганда жарык энергиясы түздөн-түз электр энергиясына айланат, бул фотоэффект кубулушу деп (172-*в*, сүрөт) аталат. Ал эми гальваникалык элементте, Вольта элементинде, аккумулятордо химиялык энергия электр энергиясына айланат (172-*г*, сүрөт).

Андан сырткары ГЭС, ТЭС, АЭС, МГД ж. б. ток булактарынын бардыгында эле тигил же бул энергия электр энергиясына айланат.

Мына ушул ток булактарындагы зарядды өткөргүч боюнча жылдырууга шарт түзгөн күч, кулондук күч эмес, ал тескерисинче, заряд-

а



б

в

г

172-сүрөт.

173-сүрөт.

ды өткөргүч боюнча жылдырууда кулондук күчкө карама-каршы жумуш аткарат. Бул күч бөтөн күч деп аталат. Бөтөн күчтүн ролу ток булагынын ар башка түрүндө ар кандай жаратылышка ээ. Мисалы, токтун химиялык булактарында: аккумулятор, Вольта, Гальвани элементтеринде химиялык жаратылышка ээ (173-сүрөттөр).

Электр станцияларынын генераторлорунда ГЭС, ТЭС, АЭС ж. б. өткөргүчтөрдүн кыймылдагы электрондоруна магнит талаасы тарабынан аракет эткен күч ж. б.

Бөтөн күчтүн аракети электр кыймылдаткыч күчү (ЭКК) деп аталган физикалык чоңдук менен мүнөздөлөт.

Туюк контурда зарядды жылдыруу боюнча бөтөн күчтүн аткарган жумушунун зарядга болгон катышы электр кыймылдаткыч күчү деп аталат.

ЭККү ε (эпсилон) тамгасы менен белгиленет. Анда жогорку аныктаманын негизинде төмөнкү формула келип чыгат:

$$\boxed{\varepsilon = \frac{A_{б.к.}}{q}} \; . \qquad (14.\ 10)$$

СИдеги бирдиги:

$[\varepsilon] = \left[1\,\frac{Дж}{Кл}\right] = \left[1\,\frac{B \cdot A \cdot c}{A \cdot c}\right] = [1\,B],\ \ [\varepsilon] = [1\,B]$ болот. Демек,

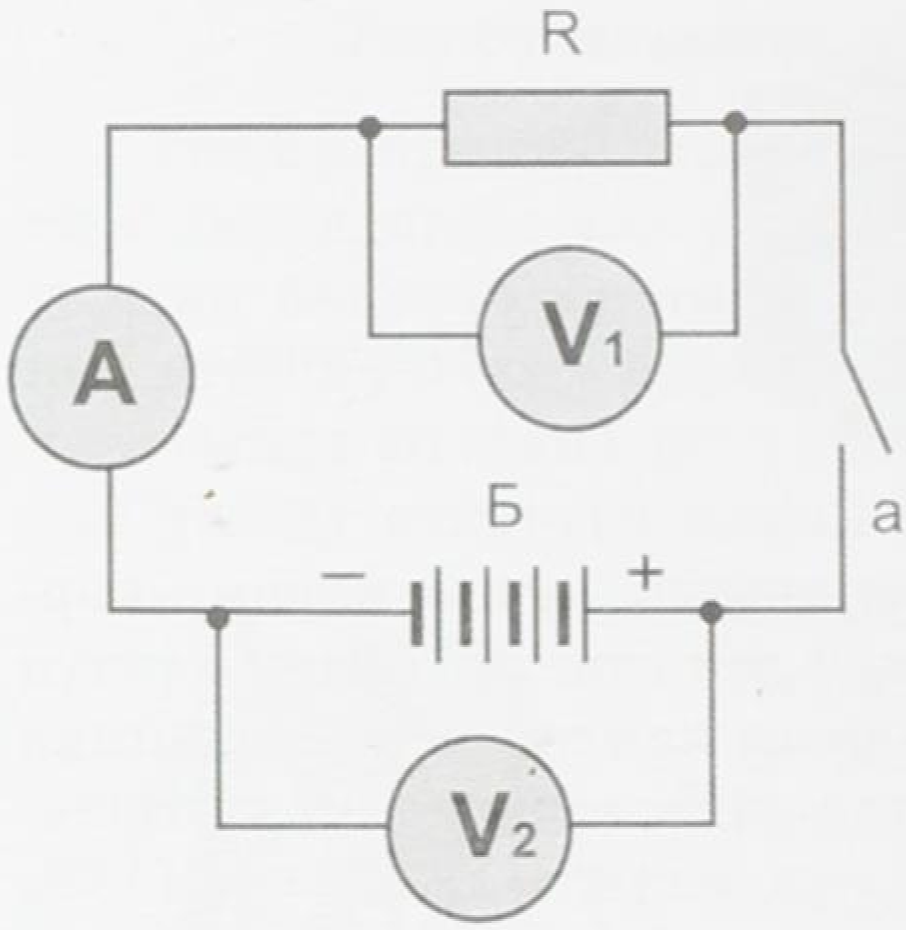
учтарындагы потенциалдар айырмасы 1В болгон чынжыр боюнча 1 Клго барабар зарядды жылдырууда 1 Дж жумуш аткарылган кездеги ЭКК.

Бул бардык контурдагы эмес, берилген бөлүктөгү гана бөтөн күчтөрдүн салыштырма жумушу болот. Мисалы, гальваникалык же Вольта элементинде ЭКК элементтин ичинде бардык оң зарядды бир уюлдан экинчи уюлга которуудагы бөтөн күчтүн жумушу болуп эсептелет.

§ 74. Толук чынжыр үчүн Ом закону

Толук же туюк чынжыр ток булагынан (гальваникалык элемент, аккумулятор же башка бир генератор), сырткы керектөөчүлөрдөн жана өлчөгүч приборлордон турат.

Берилген электр чынжырында ток булагы *Б*, ачкыч *a*, амперметр *A*, вольтметрлер (V_1 же V_2) жана токту керектөөчү *R* резисто-



174-сүрөт.

ру бар (174-сүрөт). Ток булагы да каршылыкка ээ, ал ички каршылык деп аталып, r менен белгиленет.

Туюк чынжыр үчүн Ом закону ток булагынын ЭКК, сырткы, ички каршылыктарды жана туюк чынжырдагы токтун күчүн байланыштырат. Эгерде өткөргүчтүн туурасынан кесилиши аркылуу Δt убакытта Δq заряды өтсө, анда ошол Δq зарядды жылдыруу боюнча бөтөн күчтүн аткарган жумушу (14.10) формуласынын негизинде төмөнкүгө барабар болот, б. а.

$$\boxed{A_{б.к.} = \varepsilon \cdot \Delta q} \,. \tag{14.11}$$

Бул жумушту аткарууда чынжырдын ички жана сырткы бөлүгүндө жылуулук саны бөлүнүп чыгат. Ал жылуулук сандары Джоуль – Ленц закону боюнча төмөнкүгө барабар:

$$\boxed{Q = I^2 R\Delta t + I^2 \Delta t \cdot r} \,, \tag{14.12}$$

мында Q – ички жана сырткы чынжырдан бөлүнүп чыккан жылуулук саны.

Ток өткөн өткөргүчтөн бөлүнүп чыккан жылуулуктун саны ток күчүнүн квадратына, өткөргүчтүн каршылыгына жана ток өткөн убакытка пропорциялаш. Бул Джоуль – Ленц закону экени бизге VIII класстан белгилүү, б. а. $Q = I^2 Rt$. *(14.13) бул айырма чынжырдын бөлүгү үчүн.*

Энергиянын сакталуу закону боюнча: $A_{б.к.} = Q$.

Анда $\varepsilon \Delta q = I\Delta t \cdot IR + I\Delta t \cdot I \cdot r$. Эгерде (14.1) формуладагы $\Delta q = I\Delta t$ ны эске алсак, анда $\varepsilon I \Delta t = I\Delta t \cdot I(R + r)$, $\varepsilon = I(R + r)$,

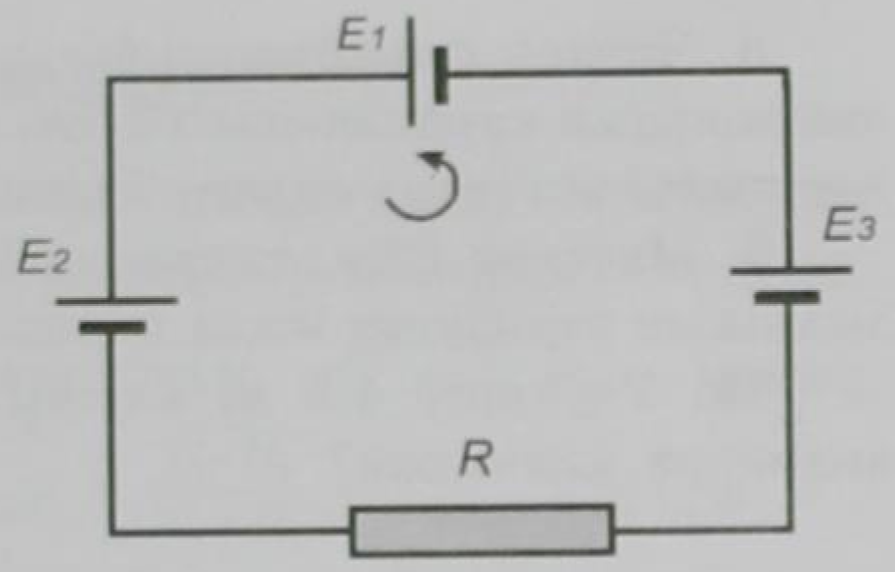
мындан $\boxed{I = \dfrac{\varepsilon}{R+r}}$ (14.14). Бул туюк чынжыр үчүн Ом законунун математикалык формуласы. Демек,

туюк чынжырдагы ток күчү булактын ЭККнө түз, ал эми ички жана тышкы каршылыктардын суммасына тескери пропорциялаш.

Эгерде ток булагынын ички каршылыгы r сырткы каршылыктан R көп кичине, б. а. $r \ll R$ болсо, анда ички каршылык токтун чоңдугуна анча таасир этпейт. Бул кезде булактын кыскычтарындагы чыңалуу ЭККнө барабар болот, б. а. r эсепке алынбаса:

$$\boxed{U = IR = \varepsilon} \,. \tag{14.15}$$

Эгерде электр чынжырында бир эмес бир нече удаалаш бириктирилген булактар болсо, анда чынжырдын толук ЭКК айрым элементтердин ЭККнүн алгебралык суммасына барабар болот.



175-сүрөт.

Булактын ЭККнүн багытын аныктоо үчүн, алдынала контурду айланып өтүүнүн оң багытын тандап алуу керек (175-сүрөт).

Схемада R резисторунан жана үч элементтен (булактан) турган электр чынжыры берилген. Айланып өтүү багыты саат жебесине карама-каршы багытталган.

Эгерде айланып өтүүдө булактын терс уюлунан оң уюлуна өтсө, анда $\varepsilon > 0$, бөтөн күч булактын ичинде оң жумуш аткарат, ал эми оңдон терске өтсө, б. а. $\varepsilon < 0$ терс болот да, бөтөн күч булактын ичинде терс жумуш аткарат.

Схеманын негизинде: $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = |\varepsilon_1| - |\varepsilon_2| + |\varepsilon_3|$.

? **1.** Ток деп эмнени айтабыз? Токтун бар экенин кантип билебиз? **2.** Ток күчү деп эмнени айтабыз? **3.** Токтун тыгыздыгы, бирдиги кайсылар? **4.** Чынжырдын бөлүгү үчүн Ом закону кандай окулат? **5.** Каршылык, салыштырма каршылык деп эмнени айтабыз? **6.** Кандай ток булактарын билесиң? **7.** Ток булагынын ЭККү деп эмнени айтабыз? Формуласы, бирдиги кандай? **8.** Толук чынжыр үчүн Ом закону кандайча окулат?

27-к ө н ү г ү ү

1. Үтүктүн ысыткычтарындагы чыңалуу 220 *В*ко барабар. Зымынын каршылыгы 50 *Ом* болсо, ток күчү канчалык?

2. Диаметри 0,8 *мм*, узундугу 24,2 *м* константан зымынан жасалган ысыткычтын каршылыгын эсептегиле?

3. Диаметри 0,8 *мм* болгон никелин зымынан каршылыгы 6 *Ом* болгон реостат жасоо үчүн канча узундуктагы зым алуу керек? Ток күчү 1,5 *А* болсо, реостат толук токко кошулган кезде андагы чыңалуунун төмөндөшү канчалык?

4. Каршылыгы 1,72 *Ом*, туурасынан кесилиш аянты 0,5 $мм^2$ болгон өткөргүчтү даярдоого канча салмактагы жез керек?

5. Генератордуи ички каршылыгы 0,6 *Ом*. Аны 6 *Ом* сырткы каршылыкка бириктиргенде анын кыскычтарындагы чыңалуу 120 *В* болуп калат. Чынжырдагы токтун күчүн, генератордун ЭККнү эсептегиле?

6. Ички каршылыгы 0,5 *Ом* болгон ток булагы узундугу 12,5 *м*, туурасынан кесилиш аянты 0,5 $мм^2$ болгон никелин зымы менен туташтырылган. Эгер булактын кыскычтарындагы чыңалуу 5,25 *В* болсо, ток күчү менен булактын ЭККүн тапкыла?

7. Ички каршылыгы 0,2 *Ом*, ЭККүн 2 *В* болгон аккумулятор узундугу 5 *м*, салыштырма каршылыгы $0,1 \cdot 10^4$ *Ом* $\cdot$*м*. зым менен туюкталган. Эгер чынжырдагы ток күчү 5 *А* болсо, зымдын туурасынан кесилиш аянты канчалык болгон?

8. Чөнтөк фонарынын батарейкасынын ЭККү 4,5*В*ко барабар. Сырткы чынжырдын каршылыгы 12 *Ом*, андагы ток күчү 0,3 *А*. Батарейканын ички каршылыгын жана андагы чыңалуунун төмөндөшүн эсептегиле?

9. Массасы 82 *г*, туурасынан кесилиш аянты 0,5 $мм^2$ болгон никелин зымынын узундугун жана каршылыгын аныктагыла?

10. Узундугу 4,8 *м*, каршылыгы 24 *Ом* болгон нихром өткөргүчүнүн диаметри канчалык?

Туруктуу токко маселе чыгаруунун мисалдары

1. Ток булагынын ЭККү менен ички каршылыгын лабораториялык иш учурунда аныктап жатып, окуучу сырткы каршылык 1 *Ом* кезинде 1,1 *А*; 2 *Ом* кезинде 0,61 *А* ток күчүн өлчөдү. Ушул маанилердин негизинде окуучу кандай ε жана ички каршылыкты (r) алды?

Берилди:	Чыгаруу:
$R_1 = 1\,Ом$ $I_1 = 1{,}1\,A$ $R_2 = 2\,Ом$ $I_2 = 0{,}61\,A$	Булактын ЭКК (ε) менен ички каршылыгы (r) туруктуу жана сырткы керектөөчүгө көзкаранды эмес. Биринчи жана экинчи учурларда ЭККү төмөнкүгө барабар:
$\varepsilon - ?\quad r - ?$	$\varepsilon_1 = I_1(R_1 + r)$ $\varepsilon_2 = I_2(R_2 + r);\quad \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \text{const}$ Демек, $I_1(R_1 + r) = I_2(R_2 + r)$.

Кашааны ачып белгилүүлөрүн бир жакка, белгисиздерин бир жакка топтоп ички каршылыкты (r) табабыз.

$$I_1R_1 + I_1r = I_2R_2 + I_2r$$
$$I_1R_1 - I_2R_2 = I_2r - I_1r$$
$$I_1R_1 - I_2R_2 = (I_2 - I_1)r$$
$$r = \frac{I_1R_1 - I_2R_2}{I_2 - I_1}.$$

Чоңдуктардын сан маанилерин коюп эсептөө жүргүзүп $r = 0{,}24\,Ом$ду алабыз. Ал эми εду табуу үчүн Rди табабыз. $R = R_1 + R_2 = 3\,Ом$. $R = 3\,Ом$. Анда толук чынжыр үчүн Ом законунан $\left(I = \frac{\varepsilon}{R+r}\right)$, εду аныктайбыз, б. а. $\varepsilon = I(R + r)$. Анда $\varepsilon = 1{,}36\,B$ болот.

Жооптору: $r = 0{,}24\,Ом$; $\varepsilon = 1{,}36\,B$.

2. ЭКК 2 *В* жана ички каршылыгы 0,8 *Ом* болгон аккумуляторго жарыш кылып $R_1 = 3\,Ом$, $R_2 = 6\,Ом$ каршылыктары бириктирилген. Бириктирүүчү зымдардын каршылыгы $R_{от} = 1{,}2\,Ом$. Ар бир өткөргүчтөгү ток күчүн табуу керек?

Берилди:	Чыгаруу:
$\varepsilon=2\ B$ $r=0{,}8\ Ом$ $R_1=3\ Ом$ $R_2=6\ Ом$ $R_{орт}=1{,}2\ Ом$ $I_1-?\ I_2-?$	Чынжыр параллель бириккендиктен андагы чыңалуу турактуу U. Ом закону боюнча U=const. $I_1=\frac{U}{R_1}$; $I_2=\frac{U}{R_2}$, мындан $U=I_1 R_1$ жана $U=I_2 R_2$. Ал эми $R_{кар}=\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1+R_2}$; $R_{кар}=2 Ом$. Толук чынжыр үчүн Ом закону боюнча: $I=\frac{\varepsilon}{R+r}$.

$R=R_{кар}+R_{орт}=2Ом+1{,}2Ом=3{,}2Ом,\quad R=3{,}2Ом.$

$I=\frac{2B}{3{,}2\ Ом+0{,}8\ Ом}=0{,}5\,A$, $I=0{,}5\,A$, $U=I\,R_{кар}=1B$, $U=I\,R_{кар}=1B$, $U=1B$. Эми ток күчтөрүн аныктайбыз: $I_1=\frac{U}{R_1}$ жана $I_2=\frac{U}{R_2}$. Сан маанилерин коюп эсептөөлөр жүргүзсөк:

$I_1=\frac{1B}{3\,Ом}=0{,}33\,A$, $I_1=0{,}33\,A$ жана $I_2=\frac{1\,B}{6\,Ом}=0{,}16\,A$,

Жооптору: $I_1=0{,}33\,A$; $I_2=0{,}16\,A$.

XIV главадагы эң негизги маалыматтар

Главада турактуу ток, анын закондору жөнүндө сөз болот.

Заряддалган бөлүкчөлөрдүн багытталган ирээттүү кыймылы электр тогу деп аталат. Эгер убакыттын барабар аралыгында өткөргүч аркылуу бирдей сандагы заряд өтүп турса, бул турактуу ток деп аталат (өзгөрмө ток XI класста окулат). Токту аракеттери боюнча байкайбыз: механикалык, жылуулук, химиялык, магниттик. Ток күчү: $\boxed{I=\frac{\Delta q}{\Delta t}}$.

Ток күчүнүн бирдиги *ампер* (A), аны ченей турган курал амперметр, ал чынжырга удаалаш туташтырылат. Схемада –Ⓐ– деп белгиленет.

Чынжырдын бөлүгү үчүн Ом закону I, U, Rди байланыштырат: $I=\frac{U}{R}$, мында $U=IR$ – бул чыңалуунун төмөндөшү деп аталат.

$R=\frac{U}{I}$ же $\boxed{R=\rho\frac{\ell}{S}}$ – каршылык өткөргүчтүн тегине жана геометриялык өлчөмүнө көзкаранды. Ток жумуш аткарат, б. а. $\boxed{A=IUt}$. Ток кубаттуулукка ээ $P=IU$. Булар мурунку класстарда каралган.

Ток жылуулукка айланат. Джоуль – Ленц закону: $\boxed{Q=I^2Rt}$.

Толук чынжыр үчүн Ом закону $I=\frac{\varepsilon}{R+r}$. ε – электр кыймылдаткыч күч (ЭКК). $\varepsilon=\frac{A_{б.к.}}{q}$, мында $A_{б.к.}$ – зарядды туюк чынжыр боюнча жылдыруудагы бөтөн күчтүн жумушу. Бирдиги – B (*вольт*). ($R+r$) –толук каршылык. Буларды билүү зарыл.

XV глава

ТҮРДҮҮ ЧӨЙРӨДӨГҮ ЭЛЕКТР ТОГУ

§ 75. Металлдардын электр өткөрүмдүүлүгү. Каршылыктын температурага көзкарандылыгы. Ашыкча өткөрүмдүүлүк

Бул главада беш түрдүү чөйрөдөгү токтун табиятын карайбыз. Алар: металлдар, электролиттер, газдар, вакуум чөйрөсү жана жарым өткөргүчтөр.

Дегеле заттар электрди өткөрүү жөндөмдүүлүгү боюнча: өткөргүчтөр, өткөрбөгүчтөр жана жарым өткөргүчтөр болуп бөлүнөт.

Зарядды ташып жүрүүчү эркин заряддалган бөлүкчөлөрү салыштырмалуу көп болгон заттар өткөргүчтөр тобуна кирет.

Өткөрбөгүчтөрдө тескерисинче, эркин заряддалган бөлүкчөлөр дээрлик болбойт. Болбойт десе эле аларда заряддалган бөлүкчөлөр такыр эле жок деген сөз эмес, жөн гана оң, терс иондору (заряддары) бири-бири менен бекем байланышта болуп, нейтралдуу молекула, атомдордон турушат дегенди түшүндүрөт. Ал эми өткөргүч менен өткөрбөгүчтүн ортосундагылар жарым өткөргүчтөр. Булар токту жарым-жартылай өткөрүшөт.

Бул чөйрөлөрдүн ар бирине өзүнчө токтолобуз.

Металлдардагы токтун табияты. Металлдарда токту алып жүрүүчүлөр кайсылар экендигин айтуудан мурда, металлдын ички түзүлүшүн карайлы. Рентген нурунун жардамы менен алынган металлдын кесегинен мейкиндик торчосуна көңүл бөлсөк, ал схема түрүндө 176-сүрөттө берилген. «+» белгиси атомдун оң иондорун, «–» белгиси (майда чекиттер) электрондорду түшүндүрөт. Металлдардын оң иондорду бири биринен болжолдуу бирдей аралыкта (себеби металл – кристалл), мейкиндик торчосунун түйүндөрүндө жайланышкан, алар кандайдыр бир орточо аралыкта термелип, алга-артка кыймылга келишет. Ал эми электрондору оң иондорду оңой эле таштап, металлдын чегинде башаламан, ирээтсиз кыймылга келишет. Ошондуктан алар эркин электрондор деп аталышат.

176-сүрөт.

Электр талаасы болбогон кезде алар башаламан, ирээтсиз кыймылдагандыктан, бири бирин тең салмактаган сыяктуу болушат да, анда ток болбойт.

Эми ошол металлдын кесегинин эки учуна чыңалуу берсек, потенциалдар айырмасын пайда кылсак, б.а. ток булагына ту-

таштырсак, анда электр талааасы пайда болот да, талаанын заряддалган бөлүкчөлөргө таасир эткен күчүнүн натыйжасында, баягы эркин, башаламан кыймылдаган электрондор эми багытталган ирээттүү кыймылга келишет, анын өзү электр тогу болуп эсептелет.

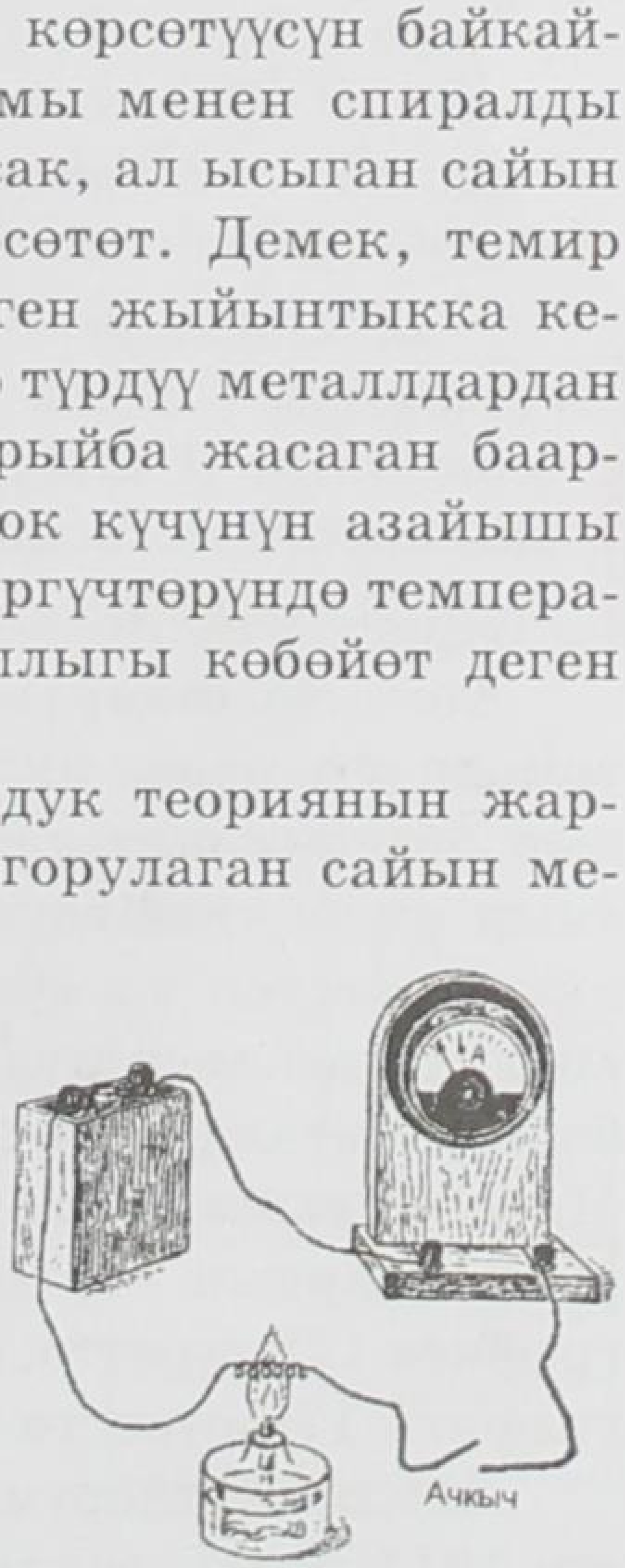
Металлда талаанын таасири астында ирээттүү кыймылга келген электрондор экендиги көптөгөн окумуштуулардын бир кыйла тажрыйбаларынан далилденген. Мисалы 1913-жылы Мандельштам (мурунку советтик физик) жана Папалекси, 1916-жылы Стюарт менен Толмендер тарабынан тажрыйбада далилденген. Ошентип төмөнкү жыйынтыкка келебиз:

Электр талаасынын таасири астында эркин электрондордун ирээттүү кыймылынан металлдарда электр тогу пайда болот.

Демек, металлдардын электр өткөрүмдүүлүгү электрондук деген жыйынтыкка келебиз.

Каршылыктын температурага көзкарандылыгы. 177-сүрөттөгүдөй ток булагынан, амперметрден, ачкычтан жана темир спиралынан турган жөнөкөй электр чынжырын жыйнайбыз да, ал боюнча токту жиберип, амперметрдин көрсөтүүсүн байкайбыз. Андан кийин спиртовканын жардамы менен спиралды ысытып, амперметрдин көрсөтүүсүн байкасак, ал ысыган сайын ток кичирейип жатканын амперметр көрсөтөт. Демек, темир өткөргүч ысыганда каршылык көбөйөт деген жыйынтыкка келебиз. Темир спиралынын ордуна башка ар түрдүү металлдардан жасалган спиралдарды туташтырып, тажрыйба жасаган баардык эле учурда каршылыктын көбөйүп, ток күчүнүн азайышы байкалат. Мындан, бардык эле металл өткөргүчтөрүндө температуранын жогорулашы менен анын каршылыгы көбөйөт деген жыйынтыкка келебиз.

Мунун себебин классикалык электрондук теориянын жардамы менен түшүндүрсөк, температура жогорулаган сайын металлдагы оң жана терс заряддалган бөлүкчөлөрдүн ылдамдыктары өсүп, башаламан ирээтсиз кыймылы күчөйт. Оң иондордун термелип кыймылдашында алардын термелүү амплитудалары өсөт. Мына ушундай шартта электрондордун бир багыттагы ирээттүү кыймылына көрсөтүлгөн тоскоолдук да чоңоёт, натыйжада ток күчү кичиреет, демек, каршылык көбөйөт. Эгерде өткөргүчтүн 0°C деги каршылыгын R_0, ал эми t°C деге-



177-сүрөт

син R_t деп белгилесек, анда $\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 \cdot t}$ (15.1) формуласын алабыз, мында α – каршылыктын температуралык коэффициенти деп аталат. Жогорку (15.1) формуласын бир аз өзгөртсөк:

$\alpha R_0 t = R_t - R_0$ жана андан t°C деги каршылыкты тапсак

$R_t = R_0(1 + \alpha t)$ (15.2) болот.

Эгерде (15.2) формуладагы 0°Сге каршылык R_0 белгилүү болсо, анда каалаган металлды t°Сге ысыткан кездеги анын каршылыгын (R_t) эсептей алабыз. α нын бирдиги $\frac{1}{град} = град^{-1}$.

Бул коэффициент түрдүү металлдарда түрдүүчө. Маселе китебиндеги таблицаны карасак, таза металлдарда (α) чоңураак. Аралашмаларда ал кичирейип калганы байкалат. Ошол температуралык коэффициенти (α) аз аралашмалардан ысыткыч куралдардын спиралдары жасалат. Ошондой эле каршылыктын температурага көзкарандылык касиети, температураны ченей турган термокаршылыктарды, б. а. металл термометрлерин жасоодо колдонулат. Мисалы, платина термометри абдан ыңгайлуу, аны менен –200°С ден +600°С –700°С ге чейинки температураларды ченөөгө болот.

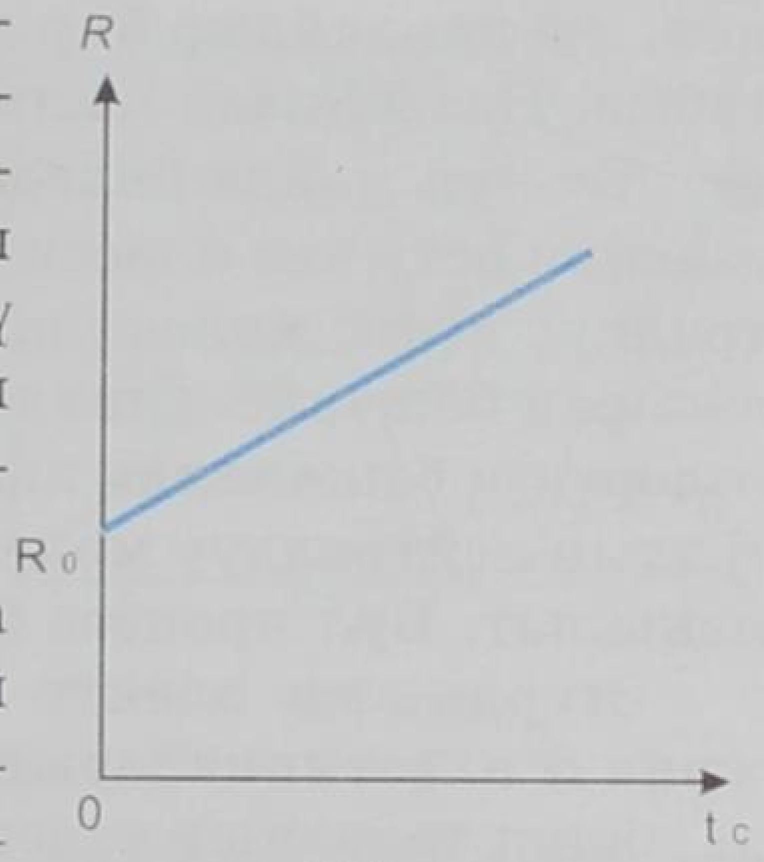
Демек, температуранын жогорулашы менен R өсөт, ал эми температуранын төмөндөшү менен R азаят деген бүтүмгө келебиз.

Б. а. өткөргүчтү 1°Сге ысыткан кездеги каршылыктын чоңдугунун анын баштапкы каршылыгынын ошол эле өткөргүчтүн 0°С деги каршылыгынын чоңдугуна болгон катышы каршылыктын температуралык коэффициенти деп аталат. Ал α тамгасы менен белгиленет деп жогоруда айтылды.

Ашыкча өткөрүмдүүлүк. Металлдардын температурасынын төмөндөшү менен анда бир кызык кубулуш байкалган. Кандайдыр бир төмөнкү температурадан баштап, ар кайсы металлда анын өзүнө тиешелүү гана бир температурада каршылыгы кескин төмөндөп ал «0» нөлгө чейин жетип кетет. Бул кубулуш ашыкча өткөрүмдүүлүк деп аталат. Себеби анда ток абдан чоң болот. Металлдардын ашыкча өткөрүмдүүлүгү өтө төмөн болот. Мисалы, сымапта ал 2,4°К, коргошунда –7,2°К, калайда –3,7°К. Металлдардын каршылыгынын температурага көзкарандылык графиги 178-сүрөттө, ал эми калай үчүн ашыкча өткөрүмдүүлүктүн графиги 179-сүрөттө көрсөтүлгөн.

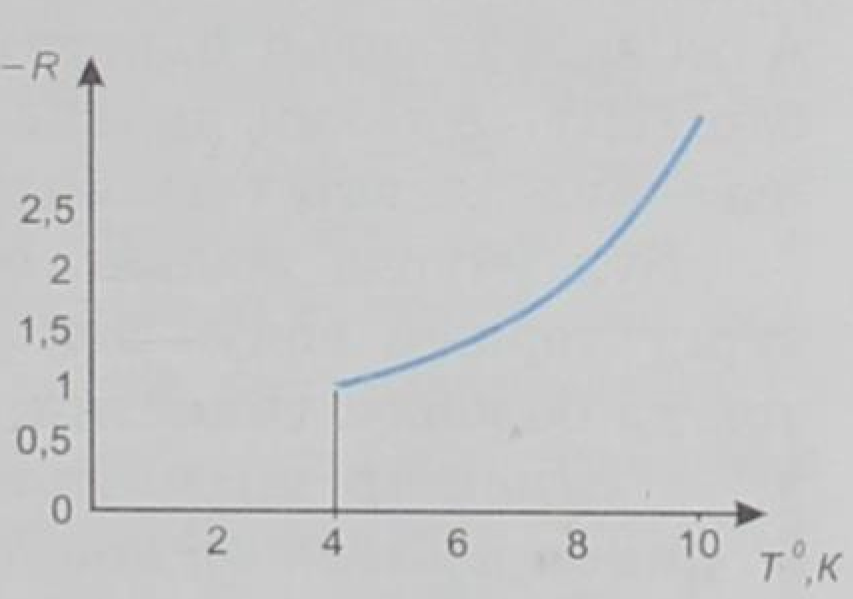
Ашыкча өткөрүмдүүлүк, же жогорку өткөрүмдүүлүк кубулушу 1911-жылы голландиялык физик Камерлинг-Оннес тарабынан байкалган.

Эгерде ашыкча өткөрүмдүүлүк абалындагы шакек формасындагы өткөргүчкө ток берип кайра ажыратып койсок, ал ток көпкө чейин өзгөрбөйт. Ал эми кадимки эле ашыкча өткөрүмдүү болбогон өткөргүчтү токко бириктирип кайра ажыратсак, анда бат эле ток токтолот.



178-сүрөт.

Ашыкча өткөрүмдүүлүк практикада көп колдонулат. Мисалы, көпкө чейин энергияны коротпой, күчтүү магнит талаасын түзүүчү ашыкча өткөргүчтүү орому бар кубаттуу электр-магниттер жасалат. Ашыкча өткөргүчтүү магниттер элементардык бөлүкчөлөрдүн тездеткичтеринде, МГД –магнит-гидро-динамикалык генераторлордо ж. б. колдонулат. Эгерде бөлмө температурасында ашыкча өткөрүмдүү материалдарды түзүүгө мүмкүн болгон болсо, көптөгөн эң маанилүү техникалык проблемалар чечилген болор эле. Ашыкча өткөрүмдүүлүк кубулушу 1957-жылдары гана квант теориясынын жардамы менен түшүндүрүлө баштаган. Мындай түшүндүрүү америкалык окумуштуулар Дж. Бардин, Л. Купер, Дж. Шриффер жана советтик окумуштуу Н. Н. Боголюбовдор тарабынан жүргүзүлгөн.

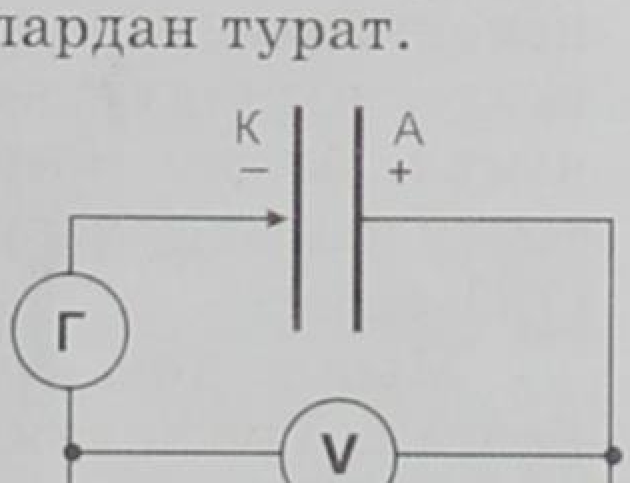


179-сүрөт.

§ 76. Газдардагы токтун табияты. Разряд жана анын түрлөрү

Газ кадимки нормалдык шартта электр тогун өткөрбөгүч болот, себеби ал нейтралдуу атом, молекулалардан турат.

Эгерде *K* жана *A* пластинкаларынан, сезгич гальванометрден, вольтметр, реостат, ачкыч жана ток булагынан турган жөнөкөй чынжырды жыйнап, ачкычты бириктирсек, чынжырда ток жок (180-сүрөт). Себеби, *A* жана *K* пластинкалары арасында газ бар, ал нейтралдуу атом, молекулалардан турат. Тажрыйбанын түрүн өзгөртөбүз. *A* жана *K* пластинкалары арасындагы аба катмарын, мисалы, ширеңкенин, же башка күйө турган нерсенин жалыны ме-



180-сүрөт.

нен, же кандайдыр бир нурлар – рентген, γ нурлары менен ысытабыз. Натыйжада чынжырда ток пайда болот.

Токтун пайда болгон себеби, жалындын, оттун, нурлардын таасири астында пластинкалар арасындагы абанын (газдын) нейтралдуу атом, молекулалары оң жана терс иондорго, электронго ажырай баштайт. Ошол эле учурда кээ бир оң жана терс иондор өздөрүнүн башаламан кыймылында кайрадан жолугушуп калып, газдын нейтралдуу молекулаларын түзүшөт, б. а. рекомбинацияланышат. Бул процесс башаламан, ирээтсиз жүрө берет.

Эгерде эми электр чынжырын туюктай турган болсок, *A* жана *K* пластинкаларынын айланасында электр талаасы түзүлөт да, ошол талаанын таасири астында оң иондор терс заряддалган *K* пластинкасын көздөй, ал эми терс иондор менен электрондор *A* оң заряддалган пластинканы көздөй ирээттүү кыймылга келе баштайт. Ал эми заряддалган бөлүкчөлөрдүн ирээттүү кыймылы – бул электр тогу болуп эсептелет.

Бул учурда жалын, от, нурлар – ионизаторлордун, иондоштургучтардын ролун аткарышат. Эгерде алар болбосо чынжырда ток да болбойт. Ошентип, төмөнкүдөй жыйынтыкка келебиз:

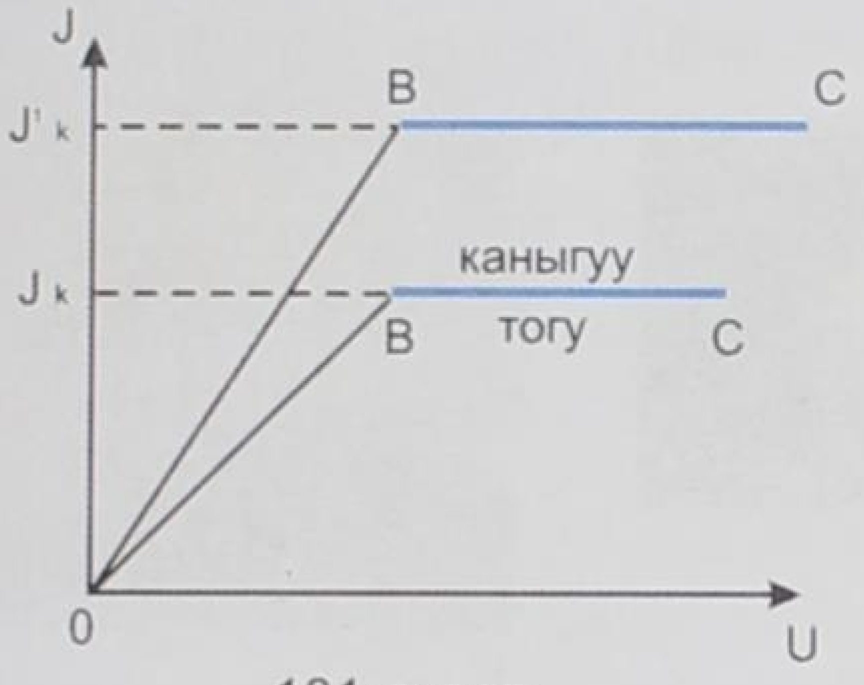
Электр талаасынын таасири астындагы ионизатор пайда кылган оң иондордун терс пластинканы көздөй, терс иондор менен электрондордун оң пластинканы көздөй багытталган ирээттүү кыймылынан газдарда электр тогу пайда болот.

Демек, газдын электр өткөрүмдүүлүгү иондук жана электрондук деп аталат. Металлдарда электрондук гана өткөрүмдүүлүк болот.

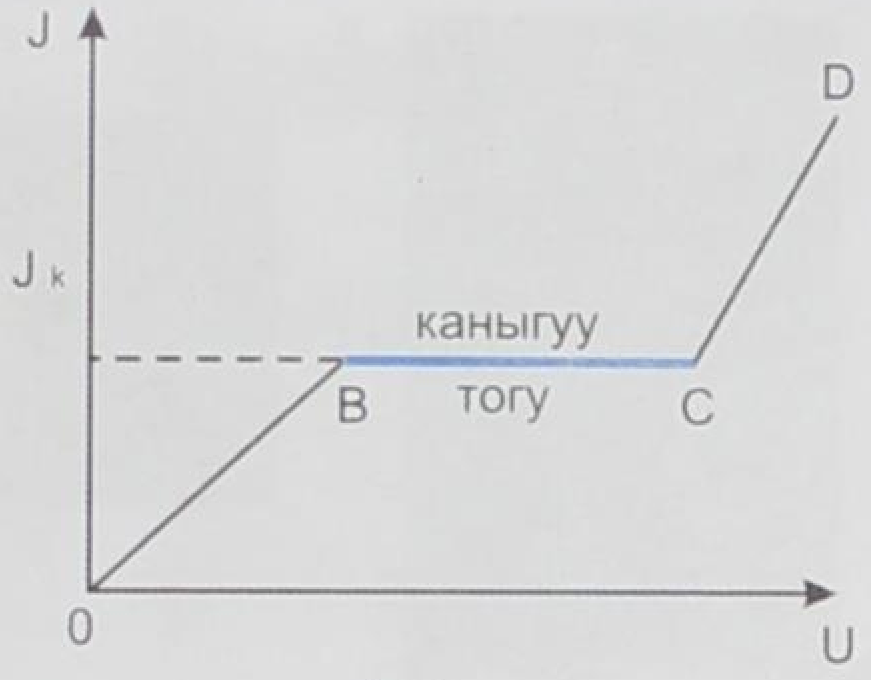
Газдагы ток – газ разряды деп аталат. Газдагы токтун учурунда, металлдардагыдай болуп ток күчү (I) менен чыңалуунун (U) ортосунда түз пропорциялаштык болбойт, бул көзкарандылык татаалыраак.

Схемасы берилген тажрыйбаны бир эле ионизатордун учуру үчүн, чыңалуусун реостаттын (потенциометрдин) жардамы менен акырындап чоңойто беребиз. Анда ток да өсө берет. Бир кезде, чыңалуу чоңойсо да, ток чоңойбой калган учур келип чыгат. Андай токту, б. а. чыңалууга көзкаранды болбой калган токту каныгуу тогу дейбиз. Бул учур графикте төмөнкүчө көрүнөт (181-сүрөт).

Мында ток күчү (I) менен чыңалуунун (U) байланышы каралган. Графиктин *OB* бөлүгү чыңалууга дээрлик пропорциялаш болуп токтун өсүп жатышын, ал эми *BC* сызыгы каныгуу тогу, чыңалуу өссө да ток күчү чоңойбой, каныгып калган абалын көрсөтөт. Каныгуунун себеби эмнеде? Себеби, бир эле ионизатордун учурунда убакыт бирдигинде пайда болгон иондор менен электрондор максимум абалга жетет да, ошондо ток туруктуу болуп калат.



181-сүрөт.



182-сүрөт.

Эгерде дагы күчтүүрөөк ионизаторду пайдалансак, анда деле каныгуу баары бир келип чыгат, бирок каныгуу тогунун күчү көбүрөөк болот. Эгерде чыңалууну болбой эле чоңойто берсек, анда бир кезде ток күчү кескин чоңоёт. Бул учурда чыңалуунун ушунча чоң болушунун натыйжасында иондор менен электрондордун ылдамдыктары, демек кинетикалык энергиясы чоң болгондуктан жолундагы молекулаларды согуп, аны иондорго ажыратып кете берет. Бул согуу аркылуу иондоштуруу процесси болуп эсептелет. Бул кезде сырткы ионизаторсуз эле газда ток пайда боло берет (182-сүрөт). Графиктеги *CD* сызыгы токтун кескин өсүп кетишин көрсөтөт. Бул учурда электрондордун «көчкүсү» пайда болду деп коюшат.

Ионизаторсуз эле пайда болгон газдагы ток (газ разряды) өз алдынча газ разряды деп аталат.

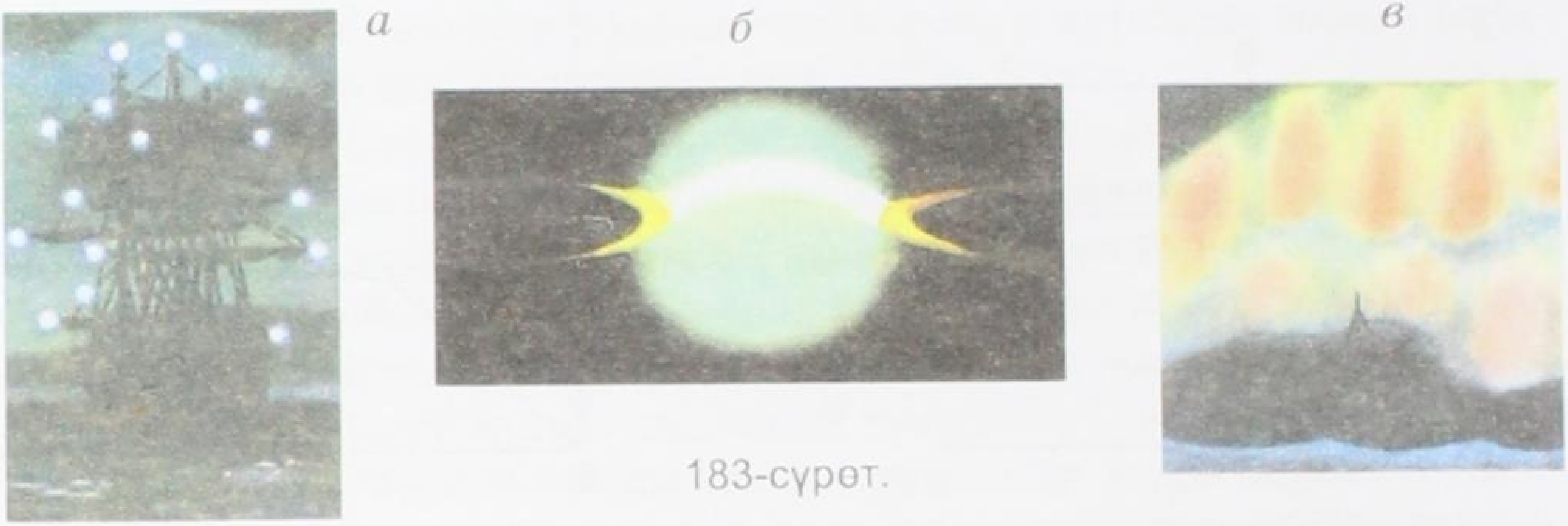
§ 77. Өз алдынча разряддын түрлөрү

Өз алдынча разряд, эч кандай ионизатору жок эле пайда болгон газдагы ток. Өз алдынча разряддын көп түрү бар. Биз алардын айрымдарына токтолобуз.

Учкун разряды. Жогорку чыңалуунун булагына эки изоляцияланган өткөргүчтөрдү бириктиребиз да, алардын ачык учтарын бири бирине жакындатабыз.

Белгилүү бир чыңалууда ал экөөнүн арасында учкун пайда болгондугун байкайбыз. Учкун разряды чартылдаган үндөр менен коштолот да, атмосферада белгилүү бир өлчөмдө озон пайда болот. Мындай разряддарды жогорку вольттуу линиялардын кошулган орундарындагы изолятор гирляндаларынын арасынан да байкоого болот (183-*а, б, в* сүрөттөр). Учкундарды байкоо, сүрөткө тартып алуу менен, учкун газдагы туруктуу агып турган ток эмес, ал үзгүлтүктүү мүнөзгө ээ экендигин байкоого болот. Пайда болгон учкун тез эле өчүп, анын ордуна жаңысы

а *б* *в*

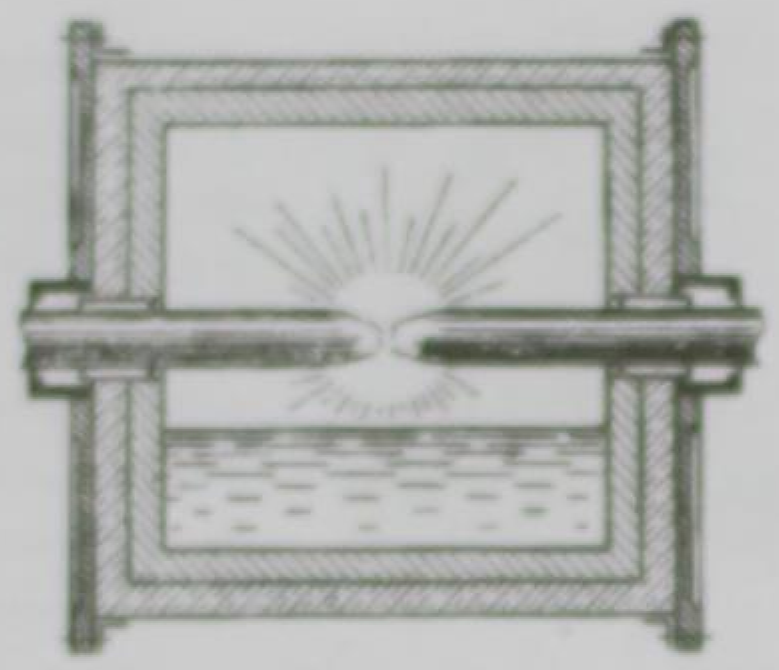


183-сүрөт.

пайда болуп, ал өчүп ж. б. боло берет. Учкундар ширетүү ишинде, ал гана эмес караңгы бөлмөдө чечинип, кийинген мезгилде (өзгөчө синтетика кийимдери болсо) байкалат. Троллейбус зымдары менен анын ток кабыл алгычынын ортосунда, ал чыгып кеткен учурда көп байкалат.

Чагылган. Жаратылышта байкалган эң кубаттуу учкун разряддары – бул чагылган. Чагылган булут менен Жердин, же булут менен булуттун ортосунда байкалат. Чагылган, М. В. Ломоносов түшүндүргөндөй, абадагы нымдын конденсациясы менен Жерден көтөрүлгөн аба агымынын ортосундагы процесстердин натыйжасында келип чыгат (184-сүрөт). Жерден көтөрүлгөн аба агымы болгон учурда суунун тамчылары электрленип, майда тамчыларды пайда кылат. Майда тамчылар терс заряддалып, чоңураактары оң заряддалып калат. Мындай тамчылардын көп чогулган жерлеринде күчтүү электр талаасы пайда болот. Талаадагы чыңалуу белгилүү бир чоңдукка жеткен учурда чагылган пайда болот. Чагылгандын узундугу 50 *км* ге, ал эми ошол учурдагы разряд тогу 10÷12 миң *А*ге жетиши ыктымал. Болжолдуу эсептөөлөр боюнча, бул учурдагы чыңалуу 150 млн. *В*ко жетет. Чагылгандын узактыгы 0,0001 *с*дан 0,02 *с*га чейин созулат. Чагылгандын жарыгы пайда болгондон бир топ убакыт өткөндөн кийин анын күркүрөгөн үнү угулат. Экөө бир эле учурда пайда болот. Үн болсо чагылган пайда болгон жердеги температуранын кескин жогорулашынын натыйжасында басымдын кескин чоңоюп, булутту, атмосферанын катмарын термелтүүнүн натыйжасында пайда болгондугун түшүнүшүбүз керек. Жарык менен үндүн таралуу ылдамдыктарынын түрдүүлүгүнө жараша биз аларды ар башка убакытта кабыл алабыз. Азыркы кездеги окумуштуулардын алдындагы проблема – ошол чагылгандан пайда болгон чоң токту канткенде өнөржайы үчүн пайдалануунун жолун табуу болуп эсептелет.

184-сүрөт.



185-сүрөт.

Электр жаасы. Практикалык жактан эң чоң мааниге ээ болгон разряддардын бири – бул электр жаасы.

Электр жаасын алуу үчүн бири бирине жакын жайлаштырылган эки көмүр өзөкчөнү пайдаланышат (185-сүрөт).

Көмүр өзөкчөлөргө 40–50 *В* чамасындагы чыңалууну берет да, адегенде ал экөөнү бири бирине тийгизип туруп, кайра акырындык менен алыстатат.

Кандайдыр бир анча чоң эмес аралыкта өзөкчөлөр ортосунда көздү уялткан, жаага окшогон жаркыроо (жарык) пайда болот, анын формасы жаага окшош болгондуктан аны жаа разряды деп аташат. Анод болуп эсептелген көмүр өзөкчөсүндө анча чоң эмес чуңкур – кратер пайда болот. Ушу кездеги температура абдан жогору, мисалы кратерде (аноддо) ал 4000°C ге, катоддо 3000°C ге жетет. Жогорку температуранын натыйжасында көмүр өзөкчөлөрү күйө баштайт, температурасы жогоруураак болгондуктан, анод тез күйөт. Электр жаасы 1802-жылы орустун атактуу физиги В. В. Петров тарабынан ачылган, бирок көпкө чейин, ал акыйкатсыз түрдө Петровдон 10 жыл кийин, 1812-жылы ачкан англиялык Дэвиге ыйгарылып келген. Электр жаасы көп жерлерде, мисалы, жарык булагы катары проекциялык аппараттарда, кино тартуучу жайларда, прожектордо, маякта, бакенде ж. б. абадан түздөнтүз азот окисин алуу үчүн химия өнөржайында, металлдарды эритип, ар кандай куймаларды алууда, б. а. электр мештеринде, ширетүүнүн бардык түрлөрүндө кеңири колдонулат.

Жогоркулардан сырткары таажы түрүндөгү разряд, бүлбүлдөк разряд ж. б. бар.

§ 78. Плазма жана анын колдонулушу. Плазманы изилдөөдөгү республикабыздагы окумуштуулардын салымы

Эң төмөнкү температурада бардык заттар катуу абалда болушат. Ысытуудан алар суюк, андан кийин газ абалына өтөт. Андан ары температура жогорулаганда тез кыймылга келген атомдордун же молекулалардын кагылышуусунан газдардын иондошуусу башталат. Мында ал зат плазма деп аталган жаңы абалга өтөт.

Оң жана терс заряддарынын тыгыздыгы иш жүзүндө бирдей болгон, жарым-жартылай, же толук иондошкон газ плазма деп аталат.

Толук иондошкон плазмада нейтралдуу атом болбойт. Газды өтө ысытуу жолу менен же ионизаторлорду колдонуу менен да

Жеенбаев Жаныбек (1931–2007) – физика-математика илимдеринин доктору, профессор, Кыргыз Улуттук илимдер академиясынын президенти болгон. Кыргыз мамлекеттик университетин бүтүргөн. Адегенде илимий кызматкер, лаборатория башчысы, физика-математика институтунун деректиринин 1-орунбасары, деректири, 1993-жылдан баштап вице-президент болуп иштеп келген. Төмөнкү температуралуу плазма жана атомдук спектроскопия боюнча адис. 300гө жакын илимий эмгектин, ондогон монографиялардын, көптөгөн автордук күбөлүктөрдүн ээси. Илимдин бир нече докторлорун жана кандидаттарын даярдап чыгарган.

плазманы түзүүгө болот, мында төмөнкү температурадагы плазма пайда болот.

Айрым бир касиеттерине карата плазманы заттын төртүнчү абалы деп да аташат.

Плазма боюнча Кыргыз Республикасынын Улуттук илимдер академиясынын Физика институтунда окумуштуулар Ж. Жеенбаев, В. С. Энгельшт тарабынан атом жана молекула спектроскопиясы деген жалпы (мурдагы союздук) проблема боюнча илимий-изилдөө иштери аткарылууда. Бул багыттагы фундаменталдык изилдөөлөр төмөнкү температуралуу плазмадагы физикалык жана физика-химиялык процесстерди изилдөөгө, жарыктын жаңы булактарын түзүүгө, жаа разрядынын теориясы менен плазматронду өнүктүрүүгө арналган. Кыргыз окумуштуулары ачык атмосферада же газда жүрүүчү плазманын электрмагниттик ылдамдануусун жана плазманын агымсыз куюлушун эсепке алуу менен газдын агымында электр жаасынын математикалык моделин түзүшкөн. Бул моделдер жана эксперименттик иштердин цикли плазманы диагноздоонун ыкмаларынын комплексин түзүүгө жана иондолгон газда жылуулук, динамикалык нур чыгаруу механизмдеринин жеткиликтүү толук сүрөтүн алууга мүмкүндүк берди. Ошондой эле төмөнкү температуралуу плазманын электрдик генераторлору, плазматрондордун жаңы конструкциялары иштелип чыкты. Ал стабилдүүлүктүн натыйжасы плазмохимияда, плазмалык башка тармактарда колдонулууда.

И. Р. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык университетте плазманы диагноздоо максатында жана бир катар куралдарды: 66 газ-разряддуу фаза айландыргыч, антенна, плазмалык күчөткүчтөрдү, генераторлорду, кайра өзгөрткүчтү колдонуу ж. б. үчүн жогорку жыштыктагы электр-магниттик толкундар менен плазманын өзара аракеттешүүсү изилденген. Плазманы диагноздоо үчүн топография ыкмасын пайдалануу иши жүргүзүлүүдө.

Жайнаков Аманбек 1941-жылы туулган. Физика-математика илимдеринин доктору, профессор. Кыргыз Республикасынын УИАнын академиги. Кыргыз мамлекеттик университетин бүтүргөн. 100дөн ашык илимий эмгектин, көптөгөн монография, окуу-усулдук колдонмолордун автору. 10дон ашуун илимдин кандидатын даярдап чыгарган.

Азыр болсо курулуш жана башка материалдарды плазмалуу технологиялык иштетүүнү өнүктүрүү боюнча изилдөөлөр башталды. Бул боюнча кыргыз окумуштууларынан Жайнаков Аманбектин эмгеги зор.

Плазма төмөндөгү касиеттерге ээ: плазма электр жана магнит талааларында оңой жылат. Плазмада ар түрдүү термелүүлөр жана толкундар жеңил эле келип чыгат. Иондошуу даражасы өскөн сайын, анын өткөрүмдүүлүгү да жогорулайт. Толук иондошкон плазма ашыкча өткөрүмдүүлүк касиетине жакын касиетке ээ болот.

Ааламдагы заттардын көпчүлүгү (99%) плазма абалында. Күн жана күн сыяктуу жылдыздар толук иондошкон плазмалар. Галактикалар менен жылдыз аралык мейкиндикти толтуруп турган чөйрө плазма абалында болот. Булар төмөнкү температурадагы плазмалар болушат. Биздин планетабыз да плазма менен курчалган. Жер атмосферасынан жогору жаткан Жердин радиациялык курчоосу да плазма болуп эсептелет ж. б.

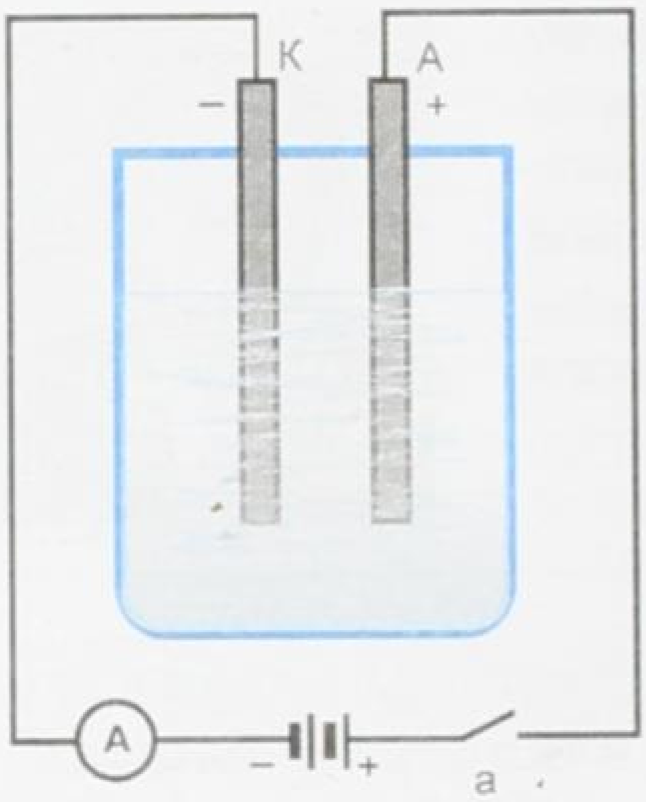
Газдарда: бүлбүлдөө, жаа, учкун ж. б. да плазма пайда болот.

Жарнама түтүгүндө, күндүзгү жарык лампасында, газ лазеринде, МГД – генератордо плазма кеңири колдонулат. Жакында плазматрон деп аталган курал түзүлдү. Ал металлдарды кесүүдө, ширетүүдө, катуу тектерден турган скважиналарды бургулоодо ж. б. колдонулат.

Башкарылуучу термоядролук реакцияларды түзүү үчүн жогорку температуралуу плазманы колдонуунун келечеги чоң экенин окумуштуулар изилдеп жатышат, мындан зор маселелердин чечилиши адам баласына энергиянын түгөнгүс булагын берет.

§ 79. Суюктуктардагы электр тогунун табияты. Электролиз

Суюктуктар да өткөргүч, өткөрбөгүч жана жарым өткөргүч суюктуктар болуп бөлүнүшөт. Дистиллирленген суу диэлектрик, ал эми туздардын, кычкылдардын, кислоталардын, жегичтердин эритиндилери – электролиттер деп аталып, өткөрүүчү суюк-



186-сүрөт.

туктар, ал эми эритилген селен жана сульфиддердин эритмелери жарым өткөргүчтөр болуп эсептелишет.

Электролиттердин суу менен кошулуусунда электролиттик диссоциация процесси жүрөт, б. а. эритменин нейтралдуу молекулалары оң жана терс иондорго ажырайт, ошол эле учурда молизация же рекомбинация, б. а. оң, терс иондор өздөрүнүн башаламан кыймылында жолугуп калышып, кайра нейтралдуу молекуланы пайда кылышат. Тажрыйбага кайрылалы.

Чоң идишке дистиллирленген таза суу куюп, ага эки өзөкчөнү же пластинканы салабыз, алар электроддор деп аталат. Амперметр, ток булагы, ачкычтан турган электр чынжырын алабыз (186-сүрөт).

Эки электроддун бири K катод, экинчиси – A анод болот. Эгерде ачкыч «а» ны бириктирип, амперметрдин көрсөтүүсүн карасак, ал чынжырда ток жок экенин көрсөтөт. Себеби эки электрод дистиллирлеген таза суугa матырылып, бири бирине тийбей тургандыктан чынжыр үзүк, ал эми дистиллирленген суу өткөрбөгүч. Эгерде чынжырды ажыратып туруп, идиштеги сууга электролиттен бир аз куйсак, анда жогоруда айтылган диссоциация, молизация же рекомбинация процесстери башаламан, ирээтсиз жүрө баштайт.

Эгерде биз чынжырды туюктасак, анда анод, катоддун арасында электр талаасы түзүлөт да талаанын таасири астында суюктуктагы оң, терс иондор эми ирээттелген, багыттуу кыймылга келе баштайт. Мунун өзү электр тогу болуп эсептелет.

Электр талаасынын таасири астындагы оң иондордун катодго, ал эми терс иондордун анодго багытталган ирээттүү кыймылынан эритмеде (суюктукта) электр тогу пайда болот.

Диссоциация процесси бир топ электролиттерде төмөнкүчө жүрөт:

$CuSO_4 \rightarrow Cu^{++} + SO_4$ $\qquad$ $H_2SO_4 \rightarrow H_2^{++} + SO_4^{--}$

$NaCl \rightarrow Na^{+} + Cl^{-}$ $\qquad$ $HCl \rightarrow H^{+} + Cl^{-}$

Жогорудагылар диссоциациянын мисалдары. Ошону менен бирге рекомбинация, тескери процесс да жүрөт. Металлдар менен суутек иону оң, SO_4, Cl ж. б. терс иондор болушат.

Электролиз. Диссоциациянын натыйжасында пайда болгон иондор талаанын таасири астында электроддорго барып, айрымдары (мисалы металлдар катодго) жабышып, айрымдары (SO_4 ж. б.) нейтралдуу молекулаларга айланат.

Эритме аркылуу ток өткөн кезде электроддо заттын катмарынын бөлүнүп чыгуу кубулушу электролиз деп аталат.

Эгерде жез купоросу аркылуу ток өтсө, катод жездин катмары менен капталат, алтын тузу аркылуу ток өтсө электрод (катод) алтындын катмары менен капталат.

Электролиз техникада ар кандай максаттарда кеңири колдонулат. Мисалы, электролиз жолу менен металлдын бетин дат баспай турган асыл металлдар менен капташат. Ушул жол никель менен капталган кашык, айры, самоор, чайнек, бычак ж. б., же алтын менен капталган кашык, айры, сөйкө, шакек, билерик ж. б. ушул сыяктуулар жасалат, мында нерселерди дат басуудан сакташат. Бул гальваностегия деп аталат. Ушундай жол менен рельефтик беттер алынат. Полиграфияда көчүрмөлөрдү (стереотиптерди) матрица менен алышат. Жогорку сапаттуу китептер үчүн электролиз жолу менен алынган стереотиптер колдонулат. Электролиз жолу менен көңдөй фигуралар алынат, ал гальванопластика деп аталат. Бул орус окумуштуусу Б. С. Якоби тарабынан 1836-жылы иштелип чыккан, Ленинграддагы Исаакиевский соборунун көңдөй фигураларын жасоодо колдонулган.

Электролиз жолу менен металлдарды таза түрүндө бөлүп алышат, мисалы, жезди рафинирлөөдө, кенден таза жезди, бокситтердин эритмесинен таза алюминийди алышат ж. б. Алар көптөгөн колдонулуштарга ээ.

§ 80. Электролиз үчүн Фарадей закондору

Фарадейдин биринчи закону

Эритме аркылуу ток өткөн кезде электроддо заттын катмарынын бөлүнүп чыгуу кубулушу электролиз деп аталарын мурунку параграфта айтканбыз.

1833–1834-жылдарда англиялык физик М. Фарадей, түрдүү электролиттер аркылуу ар кандай чоңдуктагы токту жиберип, электродго бөлүнүп чыккан заттардын массаларын текшерип, электролиздин эки законун ачкан.

Фарадей биринчи законунда эритме аркылуу ток өткөн кездеги электродго бөлүнүп чыккан заттын массасы менен эритме аркылуу өткөн заряддын санынын ортосундагы көзкарандылыкты изилдеген.

Электролиз кезинде электродго бөлүнүп чыккан заттын массасы эритме аркылуу өткөн заряддын чоңдугуна түз пропорциялаш болуп төмөнкү формула түрүндө жазылат:

$$\boxed{m = k \cdot q}\ , \qquad (15.3)$$

мында электродго болүнүп чыккан заттын массасы – m; эритме аркылуу өткөн заряддын саны – q, ал эми k – заттын электрхимиялык эквиваленти деп аталган турактуу чоңдук. Бул чоң-

дук түрдүү заттар үчүн ар түрдүү болот. Эгерде эритме аркылуу 1 *Кл* заряд өтсө, анда $m = k$, б. а. k – сан жагынан эритме аркылуу 1 *Кл* заряд өткөн кездеги электродго бөлүнүп чыккан заттын массасына барабар чоңдук.

Эгерде $q = It$ экенин эске алсак, анда (15.3) формуласы төмөнкү түргө келет, б. а. $\boxed{m = kIt}$ (15.4) болуп калат.

Бул Фарадейдин биринчи законунун математикалык туюнтмасы болуп эсептелет.

Демек, эритме аркылуу канча көп заряд өтсө же ал аркылуу өткөн ток канчалык чоң болсо жана канча узак убакыт өтсө, анда ошончо чоң массадагы зат электродго топтолот экен. Жогорудагы (15.3) жана (15.4) формулалардан

$\boxed{k = \frac{m}{q}}$ (15.5) же $\boxed{k = \frac{m}{It}}$ (15.6) келип чыгат. Анда k нын СИдеги бирдиги: $[k] = \left[1 \frac{кг}{Кл}\right]$ же $k = \left[1 \frac{мг}{Кл}\right]$.

Маселе китептин аягында берилген таблицада көптөгөн заттар үчүн анын мааниси берилген. Мисалы күмүш үчүн k нын маанисин карап көрөлү.

● $k_{күм} = 1{,}118 = \frac{мг}{Кл}$ – бул күмүштүн тузу аркылуу 1 *Кл* заряд өтсө, электроддо 1,118 *мг* күмүш бөлүнүп чыгат деген сөз. Эгерде $q = 100$ *Кл* өтсө, анда $m = 1{,}118 \cdot 100$ *мг* $= 111{,}8$ *мг* ж. б. деген сөз.

Фарадейдин экинчи закону

Фарадейдин экинчи закону электр-химиялык эквивалент менен заттын атомдук массасын жана валенттүүлүгүн байланыштырат.

Заттардын электр-химиялык эквиваленти атомдук массага түз, ал эми валенттүүлүккө тескери пропорциялаш.

Атомдук массанын валенттүүлүккө болгон катышы заттын химиялык эквиваленти деп аталат. Анда Фарадейдин экинчи закону төмөнкүдөй айтылат.

Заттын электр-химиялык эквиваленти анын химиялык эквивалентине пропорциялаш.

Эгерде бир канча санда алынган ар кандай заттардын электр-химиялык эквиваленттери $k_1, k_2, k_3 \ldots k_n$ болуп, ошол эле заттардын химиялык эквиваленттери катары менен $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n$ болсо, анда:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{x_1}{x_2}, \quad \frac{k_1}{x_1} = \frac{k_2}{x_2} = \frac{k_3}{x_3} = \ldots = \frac{k_n}{x_n} \quad \text{болот.}$$

Б. а. заттын электр-химиялык эквивалентинин, ошол эле

заттын химиялык эквивалентине болгон катышы турактуу сан болуп, бардык заттар үчүн бирдей мааниге ээ болот, б. а.

$$\boxed{\frac{k}{x} = c}. \quad (15.7)$$

Атайын таблица боюнча бул катышты текшерип, анын тууралыгына ишенүүгө болот. Мисалы жез (Cu), хлор (Cl) жана суутек (H) үчүн төмөнкүлөрдү алабыз:

Cu үчүн: $\frac{K_{Cu}}{X_{Cu}} = \frac{0,382}{31,8} = 0,01036$

Cl үчүн: $\frac{K_{Cl}}{X_{Cl}} = \frac{0,367}{35,5} = 0,01036$

H үчүн: $\frac{K_{H}}{X_{H}} = \frac{0,0104}{1,008} = 0,01036$

Ошентип, $\frac{k}{x}$ – бардык заттар үчүн бирдей жана ал

$c = 0,01036\,\frac{мг\cdot экв}{Кл} = 0,00001036\,\frac{г\cdot экв}{Кл}$.

Бул c чоңдугу электролит аркылуу 1 *Кл*го барабар заряд өткөн кездеги электродго бөлүнүп чыккан заттын эквивалентин туюндурат.

Фарадейдин экинчи закону төмөндөгү формула менен аныкталат, б. а. (15.7) формуладан: $\boxed{k = cx}$. (15.8)

kнын бул маанисин Фарадейдин биринчи законундагы kнын ордуна коюп, эки закондун байланышын алабыз:

$m = kx = cxq$, $m = cxq$ же $m = cxIt$. (15.10) Ал эми химиядан $x = \frac{A}{n}$ ди эске алсак, анда (15.10) формула боюнча төмөнкү формуланы алабыз, б. а. $m = c\frac{A}{n}It$ (15.11) келип чыгат.

Демек электролиз кезинде элетродго бөлүнүп чыккан заттын массасы заттын атомдук массасына, ток күчүнө жана ток өткөн убакытка түз, ал эми валенттүүлүгүнө тескери пропорциялаш.

Бул эки закондун байланышы, кээде Фарадейдин үчүнчү закону деп да аталат.

§ 81. Жарым өткөргүчтөгү токтун табияты. Өздүк жана кошулмалуу өткөрүмдүүлүк. Донорлор жана акцепторлор

Металл өткөргүчтөрүндө эркин электрондор чоң өлчөмдө экендигин билебиз. Ал эми жарым өткөргүчтөрдө алар аз. Металлдардагы эркин электрондор каалагандай температурада, ал гана эмес, абсолюттук нөл температурада да болушат.

● Жарым өткөргүчтөр менен өткөргүчтөрдүн ортосунда төмөнкүдөй негизги айырма бар.

1. Металлдардын 1 $см^3$ көлөмүндө 10^{22}–10^{23} сандагы эркин электрондор болот. Ал эми жарым өткөргүчтөрдүн 1 $см^3$ көлөмүндө 10^{12}–10^{13} сандагы эле эркин электрондор болот, б. а. жарым өткөргүчтө эркин электрондордун саны өткөргүчтөрдөгүдөн бир нече миллионго аз. Ошондуктан алар жарым-жартылай өткөргүч болуп эсептелет.

2. Металл өткөргүчтөрүнүн каршылыгы температурага дээрлик пропорциялаш өсөт, ал эми тажрыйбалар, жарым өткөргүчтөргө тескерисинче, температуранын жогорулашы менен токтун кескин өсүшү, демек, каршылыктын азайышы байкалат.

Төмөнкү графикте металл менен жарым өткөргүчтүн каршылыгынын абсолюттук температурага көзкарандылык графиги көрсөтүлгөн (187-сүрөт).

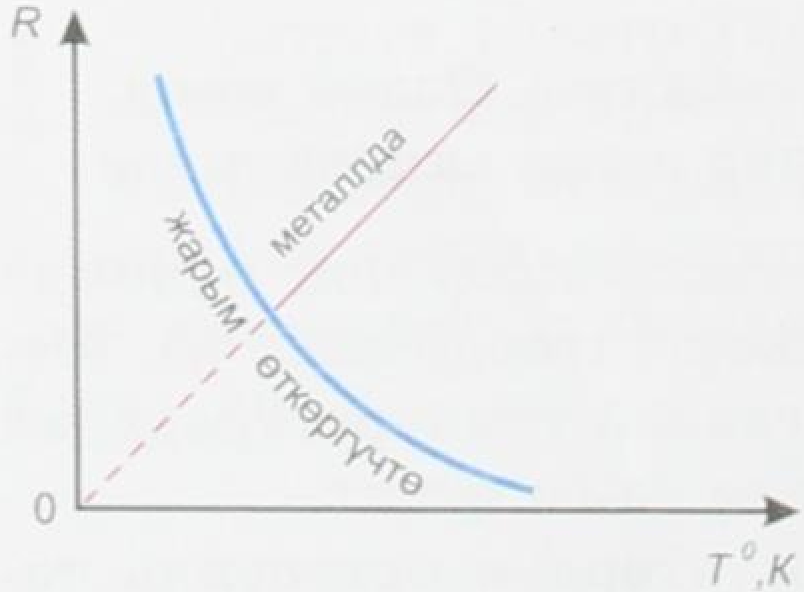
Демек, жарым өткөргүч, металлдан айырмаланып, терс температуралык коэффициентке ээ болот деген жыйынтыкка келебиз.

Муну кандай түшүндүрүүгө болот: жарым өткөргүчтөрдү ысытууда андагы эркин электрондордун саны кескин өсүп кетет. Эгерде жарым өткөргүчтү жетишээрлик жогорку температурага чейин ысытсак, анын салыштырма каршылыгы металлдардын салыштырма каршылыгына жакындап калышы мүмкүн.

Ошондуктан жарым өткөргүчтөрдү ысытуудан каршылыгын аябай өзгөртүүчү түзүлүштөрдө – термокаршылыктарда колдонушат. Мисалы, ММТ-4 термокаршылыгынын температуралык коэффициенти 0,024 $град^{-1}$, ал эми анын 20°Сдеги толук каршылыгы 10 *кОм* чамасында болот.

Жарым өткөргүчтөрдү бир аз эле ысытуу анын каршылыгын кескин азайтып, токту кескин чоңойтот. Анын мына ушул касиети электрдик метод менен температураны ченей турган атайын түзүлүштөрдө, каршылык термометринде колдонулушуна мүмкүнчүлүк түзөт.

Жарыктын таасири астында каршылыгын өзгөрткөн жарым өткөргүчтөр фотокаршылыктар деп аталышат. Фотокаршылыктарда жарыктын таасири астында эркин электрондор кескин көбөйөт да андагы ток күчү жана каршылыгы өзгөрөт. Жарыктаныш канча көп болсо, фотокаршылыктагы ток да ошончо чоң болот. Фотокаршылык жарыктын өзгөрүшүнө өтө сезгич келет. Ошондуктан ал автоматикада, телемеханикада ж. б. кеңири колдонулат. Күкүрттүү коргошун, селендүү коргошундун сезгичтиги өзгөчө күчтүү келет да алардан жасалган фотокаршылыктар астрономиялык изилдөөлөрдө, абдан күчтүү телес-

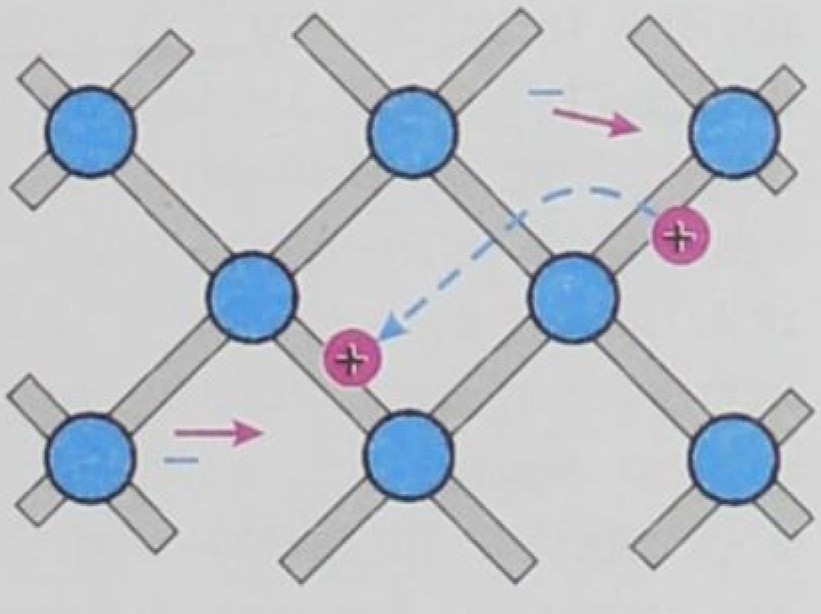


187-сүрөт.

коп менен да адамдар байкай албай турган асман телолорунун нурданткан жарыгын белгилөө (фиксациялоо) үчүн колдонулат.

Өздүк өткөрүмдүүлүк. Аралашмасы болбогон, таза жарым өткөргүчтөрдүн өткөрүмдүүлүгү өздүк өткөрүмдүүлүк деп аталат. Абсолюттук нөл температурада жарым өткөргүч диэлектрик болуп калат, себеби анда эркин электрондор болбой калат. Ал эми ысытуудан аларда өзүнүн оң иондору менен болгон байланышын бузуп, эркин болуп калган электрондор көбөйөт. Мындай электрондор өткөрүмдүү электрондор деп аталат. Өз атомунан бошонуп чыккан электрондордун энергиясы ионизация (иондошуу) энергиясы деп аталат. Бул электрондор металлдардагы эркин электрондор сыяктуу мейкиндик торчо боюнча эркин которула алат. Ал эми иондошкон атомдор мейкиндик торчосунун түйүндөрүнө бекем бекигендиктен башка жакка кете алышпайт. Иондошкон атомдордогу кетип калган электрондордун ордунда бош (вакантттык) орундар пайда болуп, алар бош электрон менен ээленип калышы ыктымал. Ошол бош орун көңдөйчө же көзөнөкчө деп аталат. Эгерде бир көңдөйчөгө коңшу атомдун электрону келип аны ээлеп алса, ал жер бош болбой калат, бирок коңшу атомдо жаңы көңдөйчө пайда болот ж. б. Ушундай кыймыл көңдөйчөлөр да жылып жаткан сыяктуу сезимди пайда кылат.

Ошентип электр талаасы жок кезде мындай эркин электрондор менен көңдөйчөлөрдүн кыймылы ирээтсиз, башаламан боло берет. Таза жарым өткөргүчтөрдө эркин электрондор менен көңдөйчөлөрдүн саны барабар болот да, жарым өткөргүч электр жагынан нейтралдуу болот. Эгерде жарым өткөргүчтү ток булагына бириктирсек, электр талаасынын таасири астында эркин электрондор талаасынын чыңалыш сызыгына каршы, ал эми көңдөйчөлөр оң заряддалган бөлүкчөлөр сыяктуу электронго карама-каршы багытка ирээттүү кыймылга келет (188-сүрөт). Ал эми заряддалган бөлүкчөлөрдүн ирээттүү кыймылы – бул электр тогу. Ошентип, жарым өткөргүчтөрдөгү электр тогу жалаң эле эркин электрондор эмес, көңдөйчөлөрдүн да ирээттүү кыймылынан келип чыгат.



188-сүрөт

Электр талаасынын таасири астындагы эркин электрондордун бир багыттагы, ал эми көңдөйчөлөрдүн карама-каршы багыттагы ирээттүү кыймылынан жарым өткөргүчтөрдө электр тогу пайда болот.

● Демек жарым өткөргүчтөрдүн өткөрүмдүүлүгү электрондук жана көңдөйчөлүү болуп эсептелет.

Анда жарым өткөргүчтөгү толук ток ($I_т$) төмөнкүгө барабар болот: $I_т = I_э + I_к$...., (15.12), мында $I_т$ – толук ток күчү, $I_э$ –эркин электрондордун кыймылынан пайда болгон ток күчү, $I_к$ – көңдөйчөлөрдүн «кыймылынан» пайда болгон ток күчү.

Кошулмалуу өткөрүмдүүлүк. Жарым өткөргүчтүн касиетине жана анын өткөрүмдүүлүк мүнөзүнө аралашма чоң таасир тийгизет. Демейде жарым өткөргүчтө көптөгөн аралашмалар болушат, бирок ошолордун ичинен негизги ролду ойногон бирөө табылат да ошол негизгиси жарым өткөргүчтүн өткөрүмдүүлүгүнө таасир этет.

Таза эмес, кошулмалары бар жарым өткөргүчтөрдүн өткөрүмдүүлүгүн. аралашмалуу же кошулмалуу өткөрүмдүүлүк дейбиз.

Таза жарым өткөргүчтөрдүн атомдору ортосундагы байланыштын табиятын эстейлик, мисалы, германий жарым өткөргүчүндө, анын атому төрт валенттүү, б. а. ядро менен начар байланышкан төрт электронунун ар бири бир эле мезгилде өзүнүн жана коңшу атомдун ядросуна айланып кыймылдайт.

Ошондуктан ар бир байланышка бир мезгилде эки электрон катышат. Ал электрондор түрдүү атомдорго тиешелүү. Атомдордун ортосундагы буга окшош байланыш кош электрондук же коваленттик байланыш деп аталат.

Эгерде төрт валенттүү жарым өткөргүчкө, мисалы, германийге беш валенттүү сурьма (Sb) кошулса, анда германийдин валенттүү төрт электрону менен сурьманын төрт электрону кош электрондук байланыш түзөт да, бир электрон артып калат. Ал электрон өткөрүмдүү, эркин электронго айланат. Мындай түрдөгү жарым өткөргүчтүн кошулмасында токтун негизги алып жүрүүчүсү терс заряддалган, коваленттик байланышка кирбей, ашып калган электрон болгондуктан n – тибиндеги (негатив, терс деген сөздөн) жарым өткөргүч деп аталат же донордук – электронун берүүчү деп аталат.

Эгерде төрт валенттүү германийге эми үч валенттүү, мисалы, индий (J_n) кошулса, коваленттик байланышка эми электрон жетпей калат да, көңдөйчө ашыкча болуп калат.

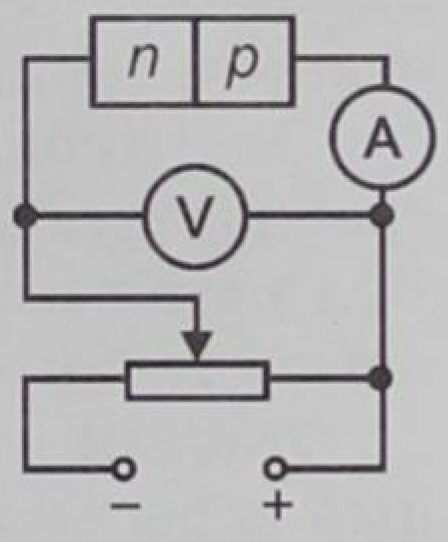
Жарым өткөргүчтөрдүн мындай тиби p-тибиндеги (позитив – p) жарым өткөргүч деп же акцептордук – кошуп алуучу деп аталат. Себеби бул аралашмада электрон жетишпейт, ошондуктан ал кошуп алууга даяр деген мааниде.

Ошентип кошулмалуу же аралашмалуу жарым өткөргүчтөр: n-тибиндеги, заряддын негизги алып жүрүүчүлөрү электрондор болушкан жана p-тибиндеги – көңдөйчөлөр болушкан эки тиби болоору менен тааныштык.

§ 82. $p - n$ контактынын касиети

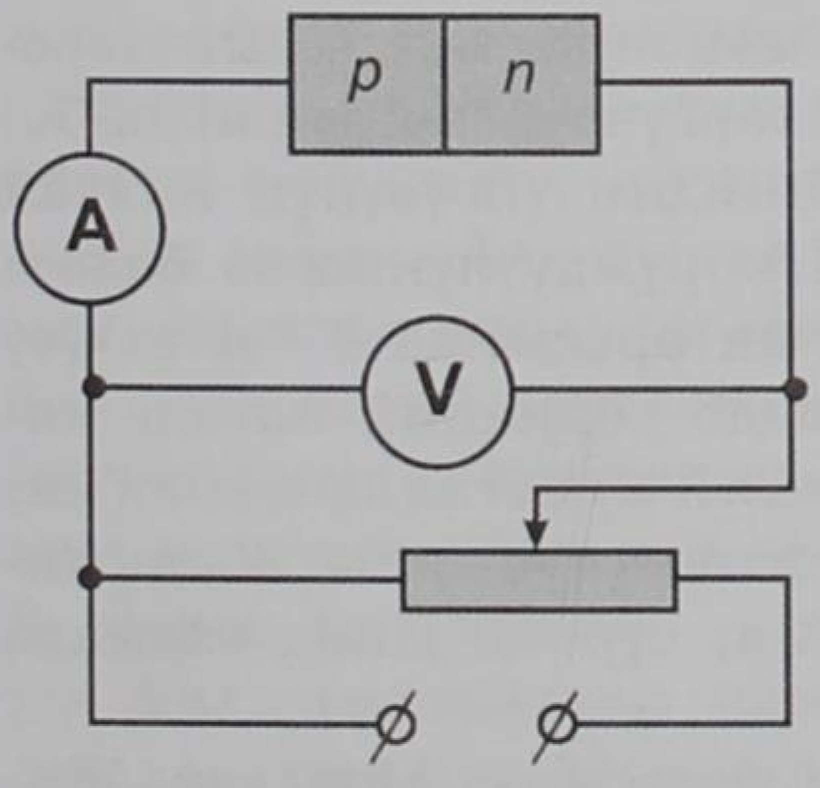
189-сүрөттө сол жак бөлүгү донордук – n-тибиндеги, оң жагы акцептордук – p-тибиндеги кошулмалары болгон жарым өткөргүч сүрөттөлгөн. Бул эки типтеги жарым өткөргүчтөрдүн кошулган жери $n - p$ өтүүсү деп аталат.

Контакт түзүлгөндөн кийин электрондор бир аз n-тибиндегисинен p-тибиндегисине өтөт, ал эми көңдөйчөлөр тескери, карама-каршы багытка өтүшөт, б. а. диффузия кубулушу жүрөт да натыйжада n-тибиндегиси оң, p-тибиндегиси терс заряддалат. Качан гана өтүү зонасында пайда болгон электр талаасы электрондор менен көңдөйчөлөрдүн андан аркы кыймылына тоскоолдук кыла баштаганда диффузия токтолот.

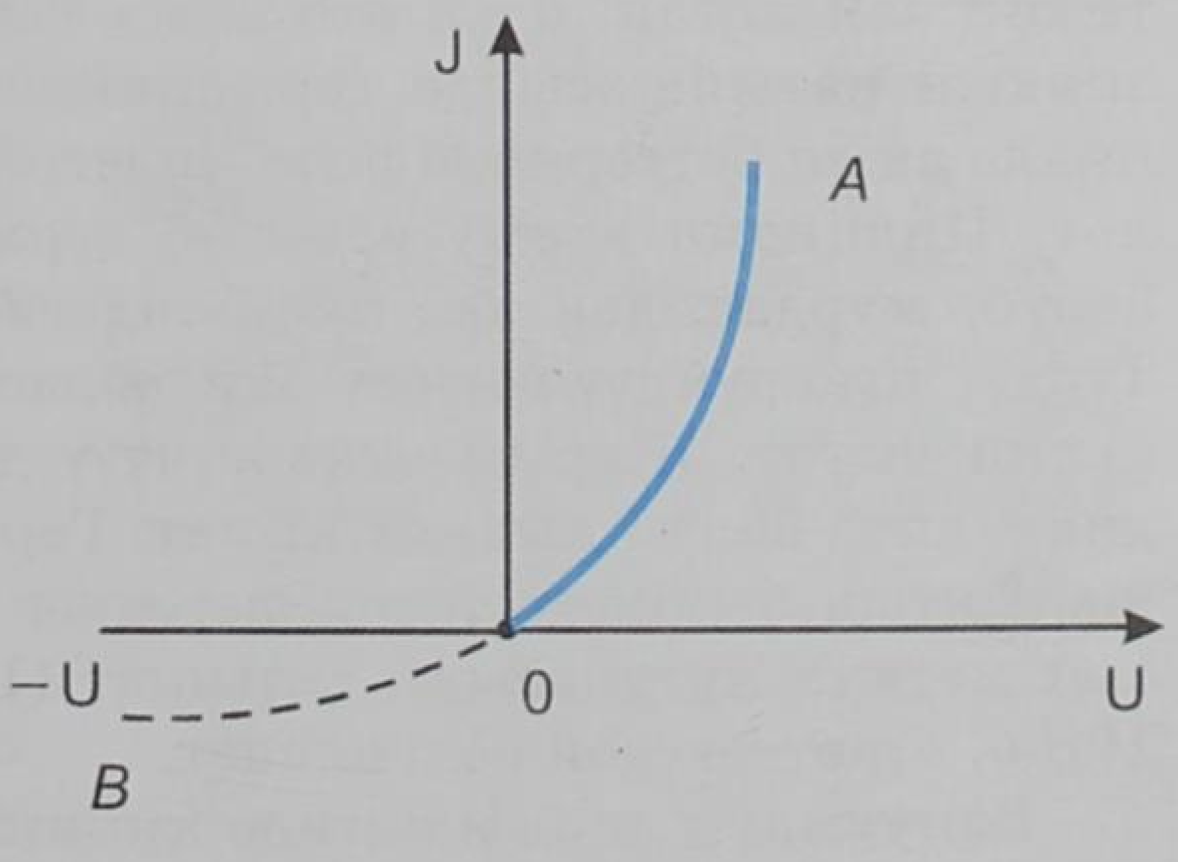


189-сүрөт.

Эми $p - n$ өтүүсү бар өткөргүч менен схемадагы электр чынжырын жыйнайбыз. Чынжыр амперметр, вольтметр, потенциометр – реостат, ток булагынан турат. Адегенде n-тибиндеги жарым өткөргүчтү булактын терс уюлуна, p-тибиндегини – оң уюлуна бириктиребиз (189-сүрөт). Бул учурда nден pга электрондор, pдан nге көңдөйчөлөр өтүп, бүткүл үлгүнүн өткөрүмдүүлүгү көбөйүп, каршылык азаят. Бул көзкарандылык графикте түз өтүү деп аталат (191-сүрөт). Ал OA сызыгы менен көрсөтүлгөн. Эгерде, эми батареянын, ток булагынын уюлдарын алмаштырсак, ушул эле потенциалдын айырмасында чынжырдагы ток кыйла азайып калгандыгын байкайбыз (190-сүрөт). Себеби контакт аркылуу өткөн ток токтун негизги эмес алып жүрүүчүлөрү аркылуу ишке ашып, алардын саны аз болгондугунда. Натыйжада үлгүнүн өткөрүмдүүлүгү азайып, каршылыгы көбөйөт. Жабык катмар деп



190-сүрөт.



191-сүрөт.

аталган катмар пайда болот. Бул өтүү тескери өтүү деп аталат, графикте пунктир сызыгы – OB. Бул график $p-n$ контактынын вольт-ампердик мүнөздөмөсү болуп эсептелет.

Ошентип, $p-n$ өтүүсү токко карата симметриялуу болбойт. Түз өтүүнүн каршылыгы тескери өтүүсүнөн бир кыйла аз болот, $p-n$ контактынын бул касиети өзгөрмө токту түзөтүү үчүн түзөткүчтөрдө пайдаланылат.

Жарым өткөргүчтүү диод. Өзгөрмө электр тогун түзөтүү үчүн азыркы кезде радиосхемаларда эки электроддуу электрондук лампа менен катар, бир топ артыкчылыкка ээ болгон жарым өткөргүчтүү диоддор көп колдонулат.

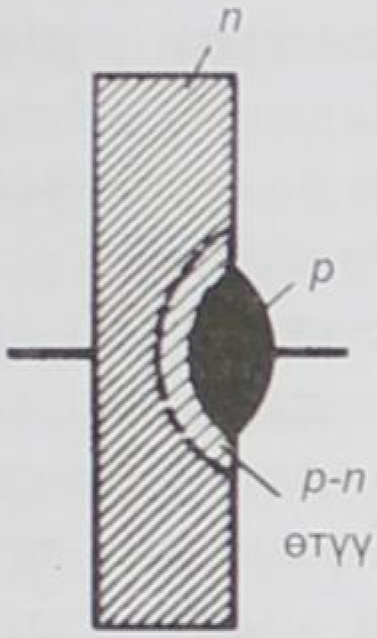
Электрондук лампада зарядды алып жүрүүчүлөр – электрондор – термоэлектрондук эмиссиянын эсебинен пайда болот. Бул катод зымын ысытуучу кошумча электр энергиясынын булагын талап кылат.

Жарым өткөргүчтөрдө болсо, кошумча энергиянын булагынын кереги жок, жөн гана донордук, же акцептордук кошулманы пайдалануу менен ишке ашырылат. Татаал схемаларда энергиянын бул үнөмү бир топ өлчөмдө болот.

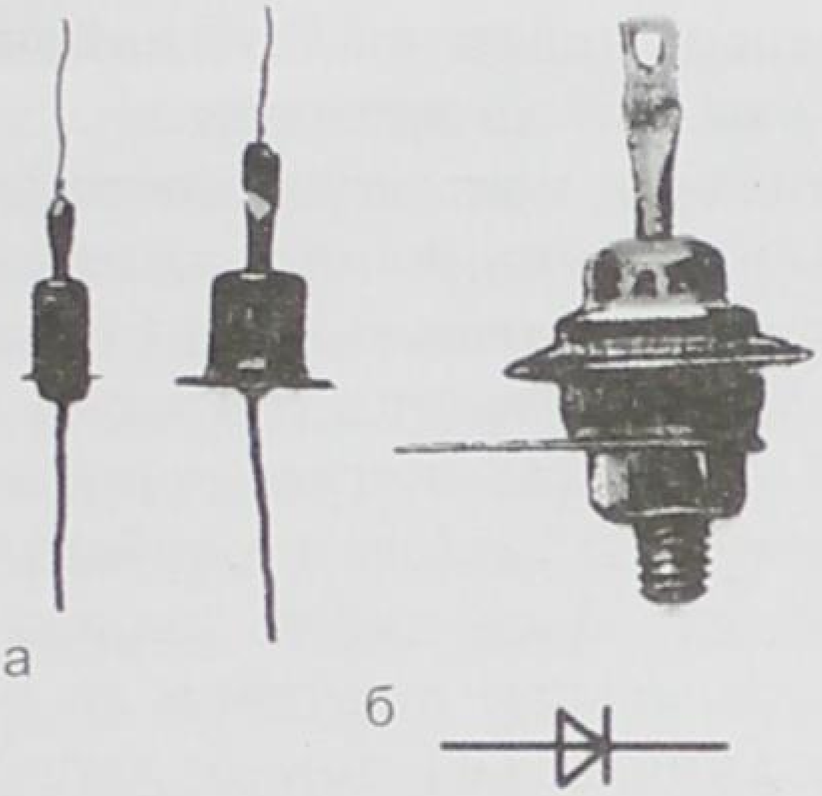
Жарым өткөргүчтүү түзөткүчтөр, вакуумдукка караганда бир кыйла кичине, компакттуу келет. Натыйжада жарым өткөргүчтөрдөн жыйналган радио түзүлүштөр жыйнактуу келишет. Жогорудагы артыкчылыктар Жердин жасалма спутниктеринде, космос кемелеринде, электрондук эсептегич машинелерде ж. б. пайдаланууда өтө маанилүү. Жарым өткөргүчтүү диоддорду германий, кремний, селен ж. б. заттардан жасашат. Мисалы n-тибиндеги өткөрүмдүүлүккө ээ болгон германийди диоддо колдонгондо $p-n$ өтүүнүн калыңдыгы атомдор аралыгынан чоң болбоого тийиш. Ошондуктан үлгүнүн бир бетине индийди эритип туруп жалатышат.

192-сүрөттө n-тибиндеги германийге p-тибиндеги индий эритилип каңдалган, $p-n$ өтө жука катмар түрүндө болот. Диффузиянын натыйжасында германийдин монокристаллынын тереңинде анын беттеринде p-тибиндеги өткөргүчтүү чөйрө пайда болот. Индийдин атому өтпөгөн германийдин үлгүсүнүн калган бөлүгү мурдагыдай эле n-тибиндеги өткөрүмдүүлүккө ээ болот. Түрдүү өткөрүмдүүлүктөгү эки областтын арасында $p-n$ өтүүсү келип чыгат. Жарым өткөргүчтүү диоддо германий катод, индий – анод болуп кызмат кылат. Германий кристаллын абанын, жарыктын зыяндуу таасирлеринен сактоо үчүн, аны жылчыксыз металл кутучасына салышат (193-*а*, сүрөт). Диод схемада 193-*б*, сүрөттөгүдөй белгиленет.

Вакуумдук диод жөнүндө кийинки темаларда айтылат. Жарым өткөргүчтүү диоддор бышык, иштөө мөөнөтү узак болот. Би-



192-сүрөт.



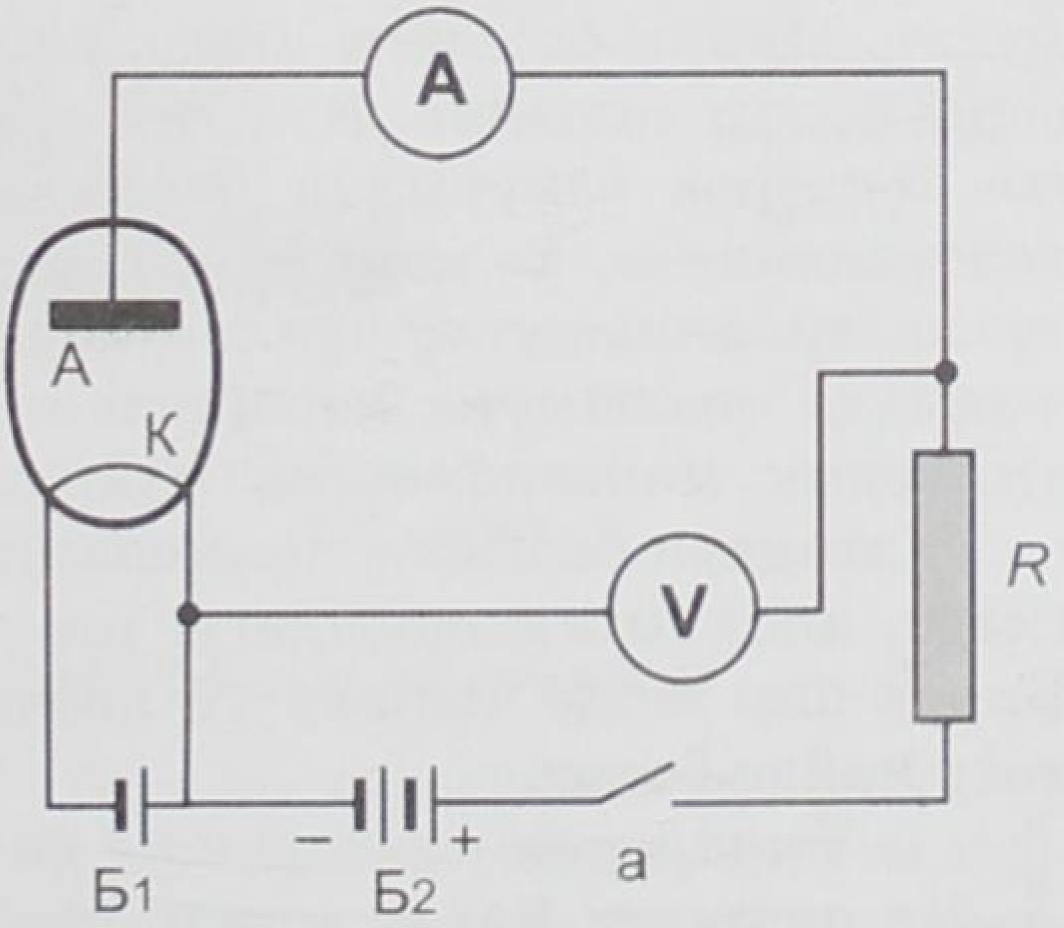
193-сүрөт.

рок алар температуранын белгилүү чектеринде (−70°С ден 125°Сге чейин) иштей алышат.

§ 83. Вакуумдагы электр тогунун табияты

Вакуум – бул боштук, анда катуу, суюк, газ абалындагы заттардын эч нерсеси жок, ошондой эле зарядды ташуучу бөлүкчөлөр да жок. Демек, вакуум токту өткөрбөй турган чөйрө. Бирок белгилүү бир шартта вакуумда да токту өткөрө турган чөйрөнү пайда кылууга болот.

Ал үчүн төмөнкү (194-сүрөт) түзүлүштөгү электр чынжырын алалы. Анда вакуум түтүкчөсү, амперметр, вольтметр, ток булагы, ачкыч жана каршылык бар. Чынжырды жыйнап туруп, ачкычты бириктирип, аны туюктайбыз. Чынжырда ток жок. Себеби, вакуум түтүгүндө зарядды ташый турган бөлүкчөлөр жок, чынжыр үзүк. Түтүктө ток булагынын оң уюлу менен бириккен A – анод, терс уюлу менен бириккен K – катод бар. Экөөнүн ортосу боштук, ошондуктан чынжыр үзүк, ток жок. Эми кандайдыр бир жол менен вакуумга зарядды ташый турган бөлүкчөнү киргизишибиз керек. Ал үчүн катод зымынын экинчи учун сыртка чыгарып, же кошумча кызытма зымды пайдаланып, аны кошумча батарея, б. а. $Б_1$ менен ысытабыз.



194-сүрөт.

Анда ысытылган катоддон электрондор бөлүнүп чыгып, анын тегерегинде элек-

трон булутчасын пайда кылат, кайсы бир электрондор катодго кайрадан тартылып да кетишет.

Ысытылган катоддон электрондордун бөлүнүп чыгуу кубулушу термоэлектрондук эмиссия деп аталат.

Чынжыр туюкталганда анод (A) менен катоддун (K) ортосунда электр талаасы түзүлөт. Чыңалуу, потенциалдардын айырмасы 80–100 B чамасына жеткенде электрондор анодду көздөй тартылып, ирээттүү кыймылга келе башташат. Ошентип, вакуумда ток пайда болду. Аны пайда кылып жаткан чындыгында эле электрондордун агымы экендиги да текшерилген.

Ал үчүн анодду (A) ток булагынын терс уюлуна кошуп көрүшкөн, анда анод чынжырында ток болбой калган. Себеби, бир аттуу заряддар түртүлүшөт (катоддон бөлүнүп чыккан электрон да терс заряддалат). Мына ошондой жол менен вакуумдагы токту пайда кылган себепчи чынында эле электрон экенин аныкташкан. Ошентип, вакуумдагы ток үчүн төмөнкү жыйынтыкка келебиз.

Электр талаасынын таасири астында ысытылган катоддон бөлүнүп чыккан электрондордун анодго багытталган ирээттүү кыймылынан вакуумда электр тогу пайда болот.

● Демек, вакуумдун өткөрүмдүүлүгү электрондук өткөрүмдүүлүк болот деген жыйынтыкка келебиз.

Вакуум түтүкчөсүнөн A (анод) болуп турган кезде гана токту өткөзүп, карама-каршы багытта токту өткөзбөй калган касиети өзгөрмө токту түзөткүч катары колдонууга мүмкүнчүлүк берет.

● Мына ушул эки электродду, A – аноду жана K – катоду бар вакуум түтүкчөсү эки электроддуу электрондук лампа деп аталат (195-*а*, сүрөт).

Цилиндр формасындагы A – анод, ошол цилиндрге ок катары өткөзүлгөн зым K – катод, ал кызытма зым болуп да эсептелет, кээде электрондун булагы катарында кошумча зым колдонулат. Мунун бардыгы айнек баллонго салынып, ичинен абасы сордурулуп салынат. Бул эки электроддуу электрондук лампа, же кенатрон вакуумдук диод деп аталат. Ал радиотехникада, телевидениеде, телемеханикада, б. а. өзгөрмө токту турактуу токко айландыруучу көп жерлерде колдонулат. Вакуумдук диод схемада төмөнкүчө белгиленет (195-*б*, сүрөт). Диоддун вольтампердик мүнөздөмөсүнө кайрылалык.

Катоддун белгилүү температурасында чыңалууну чоңойткон кезде, анод чынжырындагы ток да пропорциялаш чоңоё берет. Бирок бир кезде чыңалууга көзкаранды болбогон ток, каныгуу тогу пайда болот.

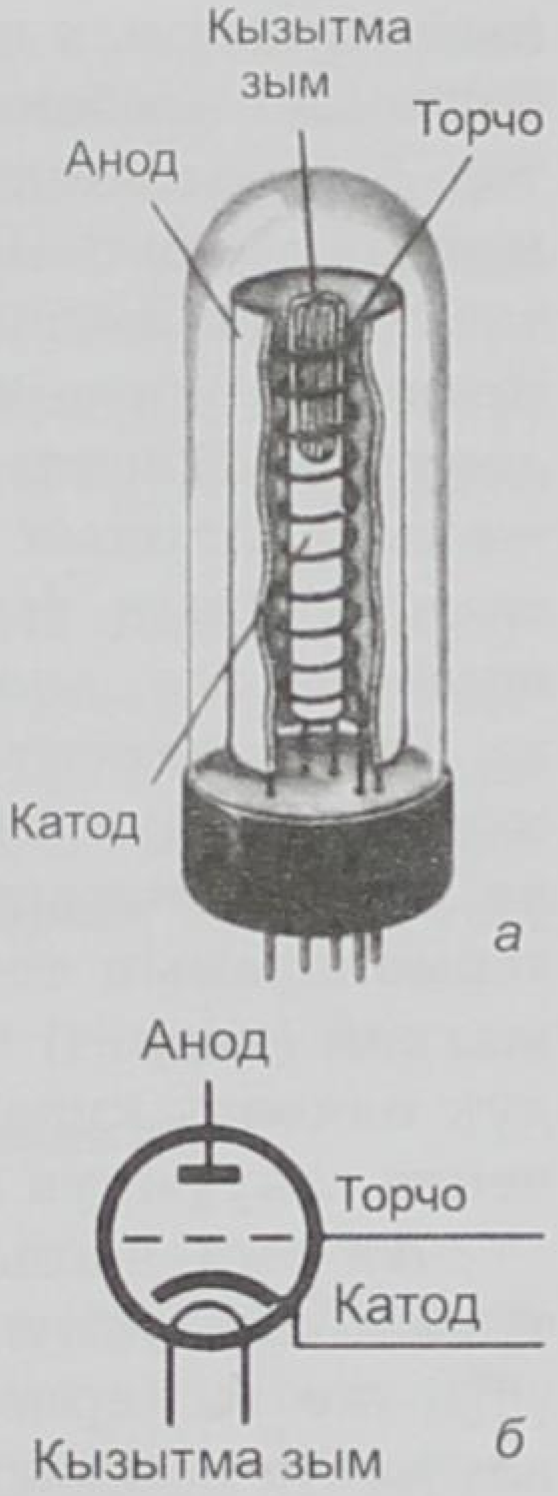
Чыңалууга көзкаранды болбой калган ток каныгуу тогу деп аталат. Каныгуунун себеби, катоддун ошол ысуу температурасында убакыт бирдигинде андан бөлүнүп чыккан элек-

трондордун саны максималдуу абалга жетет. Мына ошол учурдан баштап ток турактуу болуп, графикте чыңалуунун огуна параллель сызык болуп калат (196-сүрөт).

Эгерде катодду дагы жогорураак температурага ысытсак, ток чоңураак болот, бирок бир кезде ал да каныгуу абалына жетет. Жөн гана каныгуу тогу чоңураак болуп калат, себеби жогорураак температурада металлдан көбүрөөк электрондор бөлүнүп чыгышат, демек, ток да чоңураак болот. Ошондуктан графиктеги $I_k^{\text{I}} > I_k$ болот ж. б.

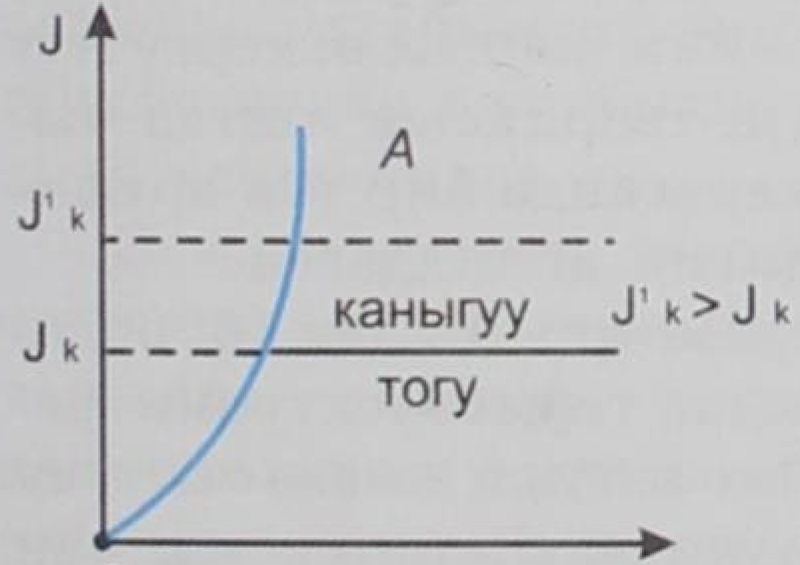
Бул график диоддун вольт-ампердик мүнөздөмөсү, б. а. чыңалуусу менен ток күчүнүн ортосундагы көзкарандылыкты туюндуруучу график.

Термоэлектрондук эмиссияга негизделген диоддон башка триод (үч электроддуу электрондук лампа), төрт, беш ж. б. көп электроддуу лампалар, электрон-нур түтүгү – осциллографта, телевизордо ж. б. колдонулат (197-*а*, *б*, сүрөттөр).

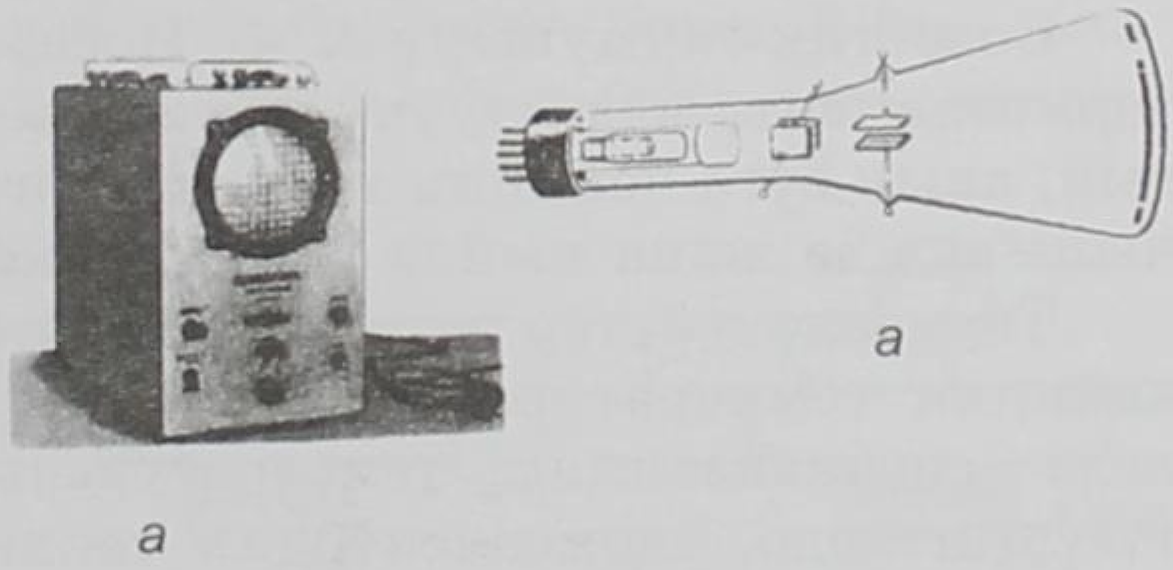


195-сүрөт.

Азыркы кезде вакуумдук куралдарга караганда, мисалы, вакуумдук диодго караганда жарым өткөргүчтүү диоддор, вакуумдук триодго (үч электроддуу электрондук лампага) караганда жарым өткөргүчтүү триод, же транзисторлор, кыскасы вакуумдук куралдардын көпчүлүгү жарым өткөргүчтүү түзүлүштөр менен алмашылууда.



196-сүрөт.



197-сүрөт.

§ 84. Термоэлементтер. Термобатареялар

Термоэлемент (термопара) – бул ар түрдүү эки өткөргүчтөн турган туюк чынжыр. Эгерде контакт болгон жерлериндеги температуралардын айырмасы сакталса, б. а. бир учу муздак, экинчиси ысык бойдон сакталса, анда чынжырда термоэлектрдик

кыймылдаткыч күч пайда болот, б.а. термоэлектрдик ток пайда болот (бул Зеебектин кубулушу). Тескерисинче, чынжырга башка ток булагы кошулса, контакттардын бири ысыйт, экинчиси муздайт – бул Пельтье кубулушу деп аталат. Мындай, термоэлементтен жана гальванометрден (милливольтметр, потенциометрден) турган чынжыр температураны өлчөө үчүн кеңири колдонулат. Мисалы, домна мешинин температурасынан баштап жаныбарлардын денесинин температурасына, өсүмдүктөрдүн ткандарынын температурасына чейин ченейт. Термоэлемент, ошондой эле, электр өлчөгүч техникада кеңири колдонулушка ээ. Термоэлементтин сезгичтигин жогорулатуу максатында термопара – каңдаштырылган эки түрдүү өткөргүч вакуум баллонуна жайлаштырылат. Вакуум даражасынын өзгөрүшүнө жараша термопаранын температурасы да кеңири өлчөмдө өзгөрөт. Бул жагдай (касиет) термопаралык вакуумметрлерде, б. а. вакуумдук өлчөөчү куралдарда 10^{-1} ден 10^{-3} *сым. мам. мм*.ге чейинки чекте вакуумдун басымын өлчөө үчүн колдонулат.

Ал эми жарым өткөргүчтүү термоэлементтер болсо түздөн-түз эле жылуулук энергиясын электр энергиясына айландыруу үчүн же тескерисинче, муздактыкты (төмөнкү температураны) алуу үчүн колдонулат.

Термоэлементте пайда болгон ЭККнүн, же термоэлектрдик токтун күчү, каңдалган жерлердин температураларынан (ысыгынын T_1, муздагынын T_2) көзкаранды жана термопара жасалган өткөргүчтөрдүн материалына көзкаранды болот.

Эгерде термо-ЭККүн ε деп белгилесек, анда $\boxed{\varepsilon = \alpha(T_1 - T_2)}$, мында α – коэффициенти термопаранын материалынын касиетине жана температураларынын айырмасына көзкаранды болгон термо-ЭККнүн же салыштырмалуу термо-ЭККнүн коэффициенти.

Советтик окумуштуу А. Ф. Иоффе кийин жарым өткөргүчтүү термоэлемент, муздатуучу түзүлүштөрдүн теориясын иштеп чыгып, анын буга чейинки түзүлүштөргө караганда бир топ артыкчылыкка ээ жана кыйла үнөмдүү экендигин далилдеген.

Термоэлементтер термоэлектрдик пирометр – 0°Сден 1600°Сге чейинки температураны ченөөчү куралда, термоэлектрдик реледе – сигнализацияда, температураны автоматтык жөнгө салуучу түзүлүштөрдө, термоэлектрдик текшерүүдө ж. б. толуп жаткан түзүлүштөрдө кеңири колдонулат.

Термобатареялар – жарыш, же удаалаш туташтырылган термоэлементтердин тобу болуп эсептелет. Термобатареялар жылуулук энергиясынан түздөн-түз электр энергиясын алуу үчүн жана ошондой эле температураны ченөө үчүн колдонулуучу түзүлүш. Термобатареянын пайдалуу аракет коэфициенти термопаранын каңдоолорунун температураларынын айырмасына пропорциялаш өсөт.

Термобатареялар эки түргө бөлүнөт: металл жана жарым өткөргүчтүү термобатареялар. Металл термобатареяларынын ПАК төмөн (0,2–0,5%), ошондуктан ал кеңири колдонулушка ээ эмес. Жарым өткөргүчтүү термобатареяларынын келечеги чоң. Мисалы, термоэлектрогенератордук лампалардын ПАКи 7–10% чейин жетет. Практикада кеңири колдонулган жарым өткөргүчтүү термобатарея болуп цинк – сурьма жана күкүрттүү – коргошун эсептелет.

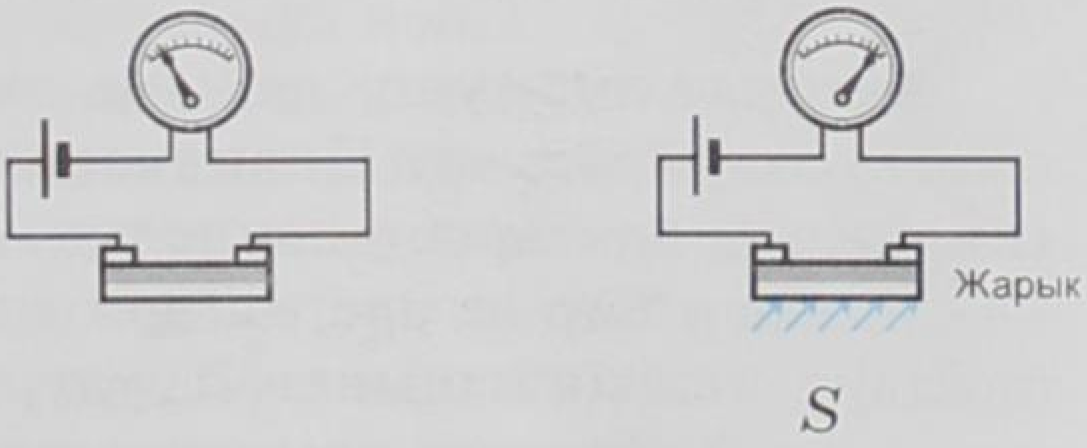
Пельтьенин ачкан кубулушу боюнча андай жарым өткөргүчтүү термобатареялар муздатуучу түзүлүш катары кеңири колдонулушка ээ. Ал аркылуу ток жиберген кезде анын муздак каңдоосу айлана-чөйрөнүн температурасынан төмөнкү температурага чейин муздайт. Бул максатта өзгөчө жарым өткөргүчтүү термобатареялар кеңири колдонулушка ээ.

§ 85. Жарым өткөргүчтүү күн батареялары

Фоторезисторлор – жарым өткөргүчтөрдүн электр өткөрүмдүүлүгү жарык менен жарыктандыруудан да өзгөрөт. Жарым өткөргүчтү жарыктандырганда чынжырдагы ток күчү өсөт. Себеби жарыктын таасири астында жарым өткөргүчтүн өткөрүмдүүлүгү жогорулайт, демек, каршылыгы азаят. Анткени жарыктын таасири астында көптөгөн эркин электрондор – көңдөйчөлөр да пайда болот. Бул кубулуш фотоэлектрдик эффект деп аталат (фотоэффект).

Фотоэффект кубулушуна негизделип иштеген түзүлүш фоторезистор же фотокаршылык деп аталат. Фоторезистордун кичинелиги жана өтө сезгичтиги, узакка иштеши, чыдамдуулугу, чакандыгы ж. б. аларды илим менен техникада жарыктын өтө начар агымдарын каттоого, өлчөөгө мүмкүндүк берет. Фоторезисторлор менен даяр буюмдардын сапаты – формасы, түсү, өлчөмү ж. б. текшерилет.

Эгерде электр чынжырында сырткы электрод катарында селен же жездин кычкылынын абдан жука пластинкасына күндүн жарыгын түшүрсөк, анда ал чынжырда электр тогу пайда болот (198-сүрөттөр).



198-сүрөт

Сүрөттө S жарык булагынан жарым өткөргүчкө жарыктын агымы түшүрүлөт, анда G гальванометри чынжырда ток пайда болгонун көрсөтөт. Бул учурда ЭККнүн булагы жарык болуп эсептелет, б. а. жарым өткөргүчтөн жасалган пластинка жарык энергиясын электр энергиясына айландыруучу электр тогунун

генератору (булагы) болуп калды, чынжырдагы бул ток фотоэлектрдик ток же фототок деп аталат, ал эми жарым өткөргүч күн батареясы болуп эсептелет. Жарыктын күчүнө жараша жарым өткөргүчтүү фотоэлемент бир кыйла чоң ЭККүн пайда кылышы мүмкүн.

Жарым өткөргүчтүү куралдар азыркы мезгилде радиотехникада, автоматикада, телемеханикада, Жердин жасалма жандоочуларында, планеталар аралык корабльдерде өзгөчө күн батареялары электр тогунун булагы катарында колдонулат. Дүйнөнүн көп өлкөлөрүндө үйлөрдүн чатырларына күн батареялары орнотулуп, жылытуу системалары үчүн Күндүн, б. а. жарык энергиясын пайдалануунун долбоорлору иштелип жатат. Күн батареяларында анын негизги бөлүгү болуп $p-n$ контакттуу жарым өткөргүчтөр эсептелет. Академик А. Ф. Иоффенин жарым өткөргүчтөрдү изилдөөдөгү эмгектери дүйнөлүк таанылууга ээ болду, анын жардамы менен көптөгөн маанилүү техникалык проблемалар чечилмекчи.

Ал «Жарым өткөргүчтүү куралдардын жардамы менен келечекте өтө маанилүү фундаменталдуу маселелер, маселен, жылуулук жана жарык энергиясынын түздөн-түз электр энергиясына айланышы, ошондой эле электр энергиясынын механикалык энергияга жана тескерисинче, айлануусу эч кандай машинесиз эле ишке ашаары, эң бир өздөштүрүлгөн радиокабылдагычтар, сигнализация үчүн абдан татаал аппаратуралар, автоматика, телебашкаруу ж. б. эң компакттуу, өтө арзан болорун алдынала көрүп турарлык» деп жазат.

Азыркы мезгилде компьютердик техниканын жетишкендиктери муну далилдеп отурат.

Бул жөнүндө кийин квант физикасында, фотоэффект кубулушун өткөндө дагы кеңири таанышабыз.

§ 86. Күн энергиясын электр энергиясына айландыруу боюнча кыргызстандык окумуштуулар жүргүзгөн изилдөөлөр

Адамзат турмушу дайыма энергетика менен тыгыз байланышта болуп келген. Цивилизация жогору болгон сайын, энергетиканын булактары ошончолук, кеңири пайдаланылып келген.

Мындан бир аз эле илгери энергетиканын өнүгүшү принципиалдуу кыйынчылыкты туудурган эмес, анын өнүгүү кубаты көмүрдүн, нефтинин алынышына гана байланыштуу болгон. Ал эми энергиянын бул – көмүр, нефть, газ сыяктуу түрлөрү адамдардын керектөөлөрү үчүн эң ыңгайлууларынан болуп эсептелет. Азыркы мезгилде энергиянын бул булактары критикалык абалга дуушар боло баштады, себеби алардын сырьелук базалары, б. а. булактары азая баштады. Бул, ал булактар жакынкы эле жылдарда түгөнөт дегендикке жатпайт, жөн гана анын не-

гизинде дүйнөлүк энергетикалык өсүш темпинин сакталышы кыйындады деген сөз.

Мисалы, нефть, газ отун гана болбостон, химия өнөржайы үчүн табылгыс баалуу сырье болуп эсептелет. Ошондуктан, аны отун катары жагып коротуунун кажети жок.

Азыркы мезгилде дүйнөнүн көп жерлеринде энергиянын булагы – бул атомдук энергия, башкарылуучу термоядролук реакциянын энергиясы болуп эсептелет.

Энергиянын жогоруда айтылган булактары айлана-чөйрөнүн, экологиянын бузулушуна алып келет. Бул жөнүндө мурунку главаларда кеңири айтылган эле.

Мына ушулардын бардыгы, энергиянын жаратылыштагы булактарынын түгөнүүсүнө алып келбей турган, айлана-чөйрөнүн булгануусун, экологиянын бузулушун болтурбай турган энергиянын жаңы булактарын табуунун зарылчылыгын пайда кылды.

Азыр көптөгөн өлкөлөрдүн окумуштуулары шамалдын, ташкындоолордун, океандардагы агымдардын, Жердин жылуулугунун ж. б. энергияларын пайдалануунун проблемаларынын үстүндө эмгектенишүүдө.

Бирок бардыгынан кубаттуусу – бул күн нурунун энергиясы болуп эсептелээри белгилүү болду.

Энергиянын бул түрлөрү, планеталар системасы, Күн системасы сакталып турган мезгилде, энергиянын эч качан түгөнгүс булагы болуп эсептелет.

Адамдар пайдаланып жаткан энергиялардын көпчүлүк бөлүгүнүн булагы Күн болуп саналат. Күндүн энергиясынын эсебинен Жердеги жылдык температура 15°Сге жакын болуп турат. Бүткүл жер бетине түшкөн күн нурунун кубаты өтө чоң, аны алмаштыруу үчүн 30 миллионго жакын кубаттуу электр станциялары керектелер эле. Эгерде Күн Жерди күн сайын жарык кылып турбаса, Жерде эмне болоорун элестетүү кыйын эмес. Арктика, Антарктика күн нуру менен начар ысыгандыктан ал жерлерде ызгаардуу суук болуп, түбөлүк муз жана кар менен капталып жатат. Жерде Күндүн энергиясынын эсебинен көлдөрдүн, дарыялардын, океандардын, чоң жана майда суулардын буулануулары тынымсыз жүрүп турат, буу жогору көтөрүлүп булутка айланат да шамал менен Жердин ар түрдүү орундарына жетип, жаан-чачын, мөндүр, кар түрүндө Жерге түшөт. Алар дарыя, деңиздерге кошулат да. айлануу процесси жүрүп турат.

Жердеги өсүмдүктөрдүн, жаныбарлардын тиричилиги Күнгө көзкаранды. Өсүмдүктөрдө Күн энергиясы химиялык энергияга айланат. Ташкөмүр, чымкөң – качандыр бир убакта Жердин кенен мейкин талааларында дүркүрөп өскөн токойлордун калдыктарынын катып калган түрү. Демек, аларда да Күн энергиясы запасталып калган. Өсүмдүктөр менен азыктанган жаныбарлар-

А. Д. Обозов. 1954-ж. туулган. Илимдин доктору. Профессор. Эларалык Академиянын эки жолку мүчө-корреспонденти.

дын энергиясы жана адамдын энергиясы – булардын бардыгы Күндүн өзгөргөн энергиясы.

Азыркы мезгилде окумуштуулар, күн нурунун энергиясын түздөн-түз электр энергиясына айландыруунун ар кандай жолдорун табышты.

Жогорку эффективдүүлүгү, технологиялык деңгээлинин жогорулугу боюнча жарым өткөргүчтүү күн батареялары азыркы кезде алдыңкы орунда турат.

Ал эми күн батареяларынын иштеши фотоэффект кубулушуна негизделгендиги, түзүлүшү жөнүндө мурунку параграфтарда айтылды.

Кыргызстан географиялык абалы боюнча 39 градус жана 43 градус чыгыш кендигинин арасынан орун алгандыктан күн нурунун энергетикалык ресурсу боюнча абдан ыңгайлуу абалды ээлейт. Жылдык гелиоресурсу (күн нурунун энергиясынын өлчөмү боюнча) 4,64 миллиард $МВт \cdot саат$, б. а. территориясынын ар бир $1м^2$ына 24,3 $кВт \cdot саат$ күн нурунун энергиясы туура келет.

Азыркы күндө биздин окумуштуулар Кыргызстандын өнөржай ишканалары үчүн техникалык ПАКи 80% чамасындагы жылуулук күн нурунун коллекторлорун, ПАКи 50% болгон күндүн нуру менен иштөөчү жылытуу системаларын чыгарууну пландаштырып жатат. Ушул иштердин бардыгын турмушка ашырууда А. Д. Обозов, П. М. Яковлев, Л. А. Боровик жана башкалардын эмгектери зор. Алар бийик тоонун шартында радио жана телерелелик станцияларды электр энергиясы менен азыктандыруучу күн – шамал комплексин колдонуунун үстүндө талыкпай эмгектенишүүдө. Алар комплекстүү түрдө электр энергиясы менен камсыздоочу автономиялык Күн үйүнүн системасын ишке ашырышкан.

Гезит, журналдарда жарыяланган материалдар боюнча алда качантан бери эле күн батареялары алыскы ысык чөлдүү жерлердеги малчылар тарабынан колдонулуп келгендиги жөнүндө

П. М. Яковлев,
Л. А. Боровик,
А. Д. Обозов.

жазылып жүрөт. Жарым өткөргүчтүү күн батареяларын бозүйдүн, чатырдын түндүгүнөн күн жакшы тийген тарапка таштап коюшуп, иштелип чыккан электр энергиясын анчалык чоң эмес керектөөлөрү үчүн пайдаланып келишет. Ал эми космостук изилдөөлөрдө күн батареялары абдан кеңири колдонулушка ээ. Мисалы, Айга түшүрүлгөн лунаход, же көптөгөн космос кемесинин аппаратуралары түздөн-түз күн энергиясынын электр энергиясына айланган формасында азыктанышаары белгилүү.

Жогоруда келтирилген мисалдардан улам азыркы мезгилде Кыргызстанда колдонулуп жаткан учурларга күбө болобуз. Мисалы, Бишкек шаарындагы менчик үйдүн чатырына коюлган күн батареясы суткасына 1500 *литр*ге жакын ысык суу, ал эми 4 күн коллектору суткасына 300 литр ысык суу берет. Бишкектеги «Жыргал» саунасынын чатырындагы гелиотүзүлүш сууну ысытууда бир кыйла үнөмдүү келет.

Тоң районунун талаа станындагы жана дыйкан чарбасындагы гелиотүзүлүштөр суткасына 150–200 *литр* ысык суу менен чарбаны камсыз кылаары массалык каражаттардын маалыматынан белгилүү.

Күн нурунун энергиясын пайдаланууда жылына көмүрдөн 65 миң *тонна*, мазуттан 50 миң *тонна,* табигый газдан 45 млн. $м^3$, электр энергиясынан 250 млн. *кВт*, жылуулук энергиясынан 180 миң *Гигакал* үнөмдөйт.

Экологиялык натыйжалуулугун алсак, мисалы, 150 миң $м^2$ аянттагы күн коллектору жылына атмосферага чыгуучу көмүркычкыл газын (CO_2) 35,2–52,8 миң *тонна*га чейин азайтып, 16–23 млн. *сом* үнөмдөлөт. Мындай мисалдардан көптү келтирүүгө болот.

«Кыргызавтомаш» Акционердик Коому тарабынан күн коллекторунун биринчи партиясы керектөөчүлөргө жиберилген.

Бул түзүлүштөр жөнөкөйлүгү жана натыйжалуулугу менен баалуу болуп эсептелет.

Орус окумуштуулары менен бирдикте биметалл куймасын колдонуп, коллектордун негизги бөлүгү (деталы) болгон абсорбер жасалган. Андан сырткары, бул абсорбер антифриздин жардамы менен төмөнкү температурада да түзүлүштүн иштешин камсыз кылат.

Азыркы энергетикалык кризиске учураган заманыбызда анын маанисин түшүндүрүүнүн кажети деле жок.

1. Металлдын электр өткөрүмдүүлүгү эмнеге шартталган? **2.** Металлдын каршылыгы температурадан (±°C) кандайча көзкаранды? **3.** Газ разряды деген эмне? **4.** Өз алдынча разряддын кандай түрлөрүн билесиңер? **5.** Электролиттердеги токтун табияты кандай? **6.** Электролиз үчүн Фарадейдин закондору кандайча окулат? **7.** Жарым өткөргүчтөрдүн өздүк жана

кошулмалуу өткөрүмдүүлүгү кандайча түшүндүрүлөт? **8.** $p-n$-контакттын касиети жана колдонулушу кандай? **9.** Вакуумдагы токтун табияты жөнүндө эмнени билесиңер? **10.** Вакуумдагы диоддон жарым өткөргүчтүү диоддун артыкчылыгы эмнеде?

28-көнүгүү

1. Электролит аркылуу 1,5 *А* ток өткөн кезде 5 *мүн* убакыт ичинде катодго 137 *мг* заттын катмары бөлүнүп чыккан. Бул кайсы зат?

2. Окуучу электр-химиялык эквивалентти аныктоо учурунда 5 *мүн* убакыт бою жез купоросунун эритиндиси аркылуу 1,2 *А* ток өткөзгөн. Ошол учурда катоддун массасы 120 *мг*га чоңойгон. Окуучу жез үчүн кандай электр-химиялык эквиваленттин маанисин алган?

3. Күмүштүн тузу аркылуу (азоттуу кычкыл күмүштүн) 1,5 *мүн* убакыттын ичинде 2 *А* ток өтсө, электроддо канча күмүш бөлүнүп чыккан?

4. Жез купоросунун эритмеси аркылуу ток өткөргөн кезде 50 *мүн*тө катоддо 6 *г* жез бөлүнүп чыккан. Чынжырдагы токтун чоңдугу канча болгон?

5. Тетикти никелдөө тыгыздыгы $0,4\frac{А}{дм^2}$ болгон токтун учурунда жүргүзүлгөн. Токту 8,9 *саат* убакыт жиберүүдө тетикке канчалык калыңдыктагы никель капталган?

6. Буюмду күмүш менен каптоо үчүн тыгыздыгы $0,7\frac{А}{дм^2}$ токту пайдаланышкан. Күмүштүн капталган калыңдыгы 0,05 *мм* болсун үчүн канча убакыт аны электролитте кармоо керек эле?

7. Суутектин электр-химиялык эквивалентин билүү менен суутек атомунун массасын аныктагыла? Суутек ионунун заряды $-1,6\cdot10^{-19}$ *Кл*.

8. Тетикти калыңдыгы 50 *мкм* хромдун катмары менен каптоо керек. Эгерде хромдоо тогунун тыгыздыгы $2\frac{А}{дм^2}$ болсо, аны каптоо үчүн канча убакыт керек?

Түрдүү чөйрөдөгү токко маселе чыгаруунун мисалдары

1. Жез купоросунун эритмеси толтурулган электролиттик ваннага радиусу $R=5$ *см* болгон өткөргүч шар матырылган. Электролиз 30 *мүнөт*кө созулган. Сферанын бетинин ар бир $см^2$на түшкөн заряд секундуна 0,01 *Кл*. Жездин моль массасы $\mu=0,0635\frac{кг}{моль}$. Сферанын массасы канчага чоңойгонун эсептегиле.

Берилди:	Чыгаруу:
$R=5\ см=5\cdot10^{-2}\ м$ $t=30\ мин=1800\ с$ $\Delta q=0,01\ Кл$ $\mu=0,0635\frac{кг}{моль}$ $m-?$	Фарадейдин биринчи закону боюнча электродго бөлүнүп чыккан заттын массасы $m=k\cdot q$ формуласы менен аныкталат. Ал эми шардын бетинин аянты төмөнкүгө барабар: $S=4\pi R^2$. Анда $1см^2$ бетке түшкөн заряддын чоңдугу

$$\Delta q = 0{,}01\frac{Кл}{см^2\cdot с}\cdot 314\ см^2\cdot 1800\ с = 562\ Кл$$ б. а. $\Delta q = 562\ Кл$.

Эми сферанын массасы канчага чоңойгондугун аныктайбыз, б. а. $m = \frac{\mu}{n\cdot e\cdot N_A}\cdot\Delta q = 2\cdot 10^{-3}кг$. Демек $m=2\cdot 10^{-3}кг$.

Жообу: $m = 2\cdot 10^{-3}кг = 2г$.

2. Тетикти никелдөөдө 2 *саат* бою ванна аркылуу $I = 25\ A$ ток өтүп турган. Никелдин электр-химиялык эквиваленти $3\cdot 10^7\ \frac{кг}{Кл}$, тыгыздыгы $8{,}9\cdot 10^3\ \frac{кг}{м^3}$. Эгерде тетиктин аянты $0{,}2\ м^2$ болсо, тетикке капталган никелдин катмарынын калыңдыгы кандай?

Берилди:

$t = 2\ саат = 7200\ с$

$I = 25\ A$

$k = 3\cdot 10^7\ \frac{кг}{Кл}$

$S = 0{,}2\ м^2$

$\rho = 8{,}9\cdot 10^3\ \frac{кг}{м^3}$

$h - ?$

Чыгаруу:

Фарадейдин биринчи закону боюнча:

$$m = kIt\ . \qquad (1)$$

Масса тыгыздык аркылуу төмөндөгү формула менен да аныкталат, б. а. $\rho = \frac{m}{V}$, же $m = \rho V$, мында V – тетикке бөлүнүп чыккан заттын көлөмү. Эгерде ванна цилиндр формасында болсо, анда анын көлөмү төмөнкүгө барабар, б. а. $V = S\cdot h$, мында h – никелдин калыңдык катмарынын бийиктиги. Демек, бөлүнүп чыккан заттын массасы:

$$m = \rho\cdot S\cdot h. \qquad (2)$$

(1) жана (2) барабардыктардын сол жактары барабар болгондуктан алардын оң жактары да барабар болушат, б. а.

$$kIt = \rho\cdot S\cdot h, \qquad мындан\ h = \frac{k\cdot I\cdot t}{\rho\cdot S}. \qquad (3)$$

Эгерде берилген чоңдуктардын сан маанилерин коюп, эсептөөлөрдү жүргүзсөк төмөнкүдөй болот:

$$h = \frac{3\cdot 10^{-7}\ \frac{кг}{Кл}\cdot 25\ A\cdot 7200\ с}{8{,}9\cdot 10^3\ \frac{кг}{м^3}\cdot 0{,}2\ м^2} = 3\cdot 10^{-5}\cdot 10^4\ м = 0{,}3\ мм.$$

Жообу: $h=0{,}3\ мм$.

XV главадагы эң негизги маалыматтар

Главада беш түрдүү чөйрөдөгү ток каралды. Металлда, суюктукта, газда, вакуумда, жарым өткөргүчтө алардын өткөрүмдүүлүгү толук же белгилүү өлчөмдө электрондордун жардамы менен ишке ашты.

Эритмеде, газда иондук өткөрүмдүүлүк, жарым өткөргүчтө электрондук жана көңдөйчөлүү өткөрүмдүүлүк болот.

Эритме аркылуу ток өткөн кезде электролиз жөнүндө Фарадейдин закондорун карадык, б. а. $m=kq$ жана $m=kIt$ себеби $q=I\cdot t$, мында m – электролиз кезинде электродго бөлүнүп чыккан заттын массасы, k – электр-химиялык эквивалент, I – ток күчү, t – убакыт, q – заряд.

$$k = \frac{m}{q} \text{ же } k = \frac{m}{I \cdot t} \frac{мг}{Кл}.$$

Газ аркылуу ток өтүүдө эритмедеги сыяктуу электролиз болбойт, б. а. заттын катмары пайда болбойт.

Жарым өткөргүчтөрдөн жасалган тетиктер, түзүлүштөр, азыркы мезгилде өзүнүн бир топ артыкчылыктарынын негизинде вакуумдук куралдардын аз колдонулушуна алып келүүдө.

Фарадейдин экинчи законунда электр-химиялык эквивалент химиялык эквивалентке пропорциялаш болот.

ЛАБОРАТОРИЯЛЫК ЖУМУШТАР

№ 1. Маятниктин жардамы менен эркин түшүүнүн ылдамдануусун аныктоо.

1. Математикалык маятник деп кандай маятник аталат?

2. Анын термелүү мезгили кандай чоңдуктарга көзкаранды? Кандай чоңдуктарга көзкаранды эмес?

3. Эркин түшүүнүн ылдамдануусун кандай формула менен аныктоого болот?

Иштин максаты: Математикалык маятниктин термелүү мезгилинин $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ формуласынан: $g = 4\pi^2 \frac{\ell}{T^2}$ тын сан маанисин эсептөө. Бул формула эркин түшүүнүн ылдамдануусун аныктоонун бир түрү менен таанышууга жардам берет. g ны билүү өзгөчө мааниге ээ. Анын сан мааниси географиялык кеңдикке жана бийиктикке жараша өзгөрөт. Ошондуктан «g» үчүн колдонулуучу маанилерди таблица менен салыштырып көргүлө.

Куралдар: Бифилярдуу (толгонуу жана термелүү тегиздигин өзгөртпөс үчүн эки жипке илинген) байланган металл шары, вертикаль шкала, сызгыч, саат же секундомер.

Иштин жүрүшү:

1. Маятникти орнотуп, аны кандайдыр бурчка жантайтып, термелүүгө келтирип, $n = 80–100$ жолу термелүүнүн убактысы боюнча (аны бир нече жолу кайталап жасоо керек) термелүү мезгилин аныктоо керек, б. а. $T = \frac{t}{n}$, мында n – термелүүнүн саны, ал эми t – термелүүгө кеткен жалпы убакыт.

2. Маятниктин узундугун ченөө керек. Бирок негизги ката ушул узундукту ченөөдөн кеткендиктен, эки түрдүү ℓ_1 жана ℓ_2 – узундук-

тар үчүн тажрыйбаны бир нече жолу кайталап, бурчтуктун жардамы менен алардын айырмасын ченөө керек.

Анда чындыгында $g=4\pi^2\frac{\ell_1}{T_1^2}$ жана $g=4\pi^2\frac{\ell_2}{T_2^2}$.

Бул формулаларды өзгөртүп түзүп жана $T_1=\frac{t_1}{n_1}$; $T_2\frac{t_2}{n_2}$ экенин эске алып $gT_1^2=4\pi^2\ell_1$ жана $gT_2^2=4\pi^2\ell_2$. Ал эми булардын айырмасынан төмөнкүнү алабыз: $g\cdot(T_2^2-T_1^2)=4\pi 2(\ell_2-\ell_1)$, мындан $g=\frac{4\pi^2(\ell_2-\ell_1)}{T_2^2-T_1^2}$ келип чыгат.

3. Өлчөөлөрдү таблицага жазып, салыштырма жана абсолюттук каталарын да эсептеп, кыскача отчет жазып, мугалимге тапшырасыңар.

Таблица

№	$\ell_2-\ell_1$	T_1	T_2	g	$g_{орт}$	Δg	$\frac{\Delta g}{g_{орт}}$
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							

№ 2 Суюктуктун беттик тартылуу коэффициентин аныктоо

1. Беттик тартылуу коэффициенти деп эмнени айтабыз?
2. Беттик тартылуу коэффициенти суюктуктун түрүнө кандай көзкаранды?
3. Беттик тартылуу коэффициенти суюктуктун температурасына кандай көзкаранды?
4. Беттик тартылуу коэффициентин көбөйтүү же азайтуу үчүн температурадан башка кандай жолду колдонсо болот?

Иштин максаты: Ишти аткаруу менен беттик тартылуу коэффициенти, анын чен бирдиктери жөнүндө түшүнүк алуу.

Колдонулуучу куралдар: Жоллинин таразасы (жасалма), гирялар, *мм* бөлүктөрү бар сызгыч, суу куюлган идиш.

Иштин жүрүшү:

1. Түзүлүштү сүрөттөгүдөй кылып орнотуу (чогултуу).
2. Суусу бар идишти жогору көтөрүп, шакеги толук матырылган абалга жеткизүү. (Шакек зымдан же жука нерседен болушу керек.)
3. Акырын, этияттык менен суусу бар идишти төмөн түшүрүү жана жебе «К1» дин абалын байкоо. Суюктук нымдоочу болгондуктан ал жука цилиндрди элестетип шакек менен кошо көтөрүлөт.
4. Шакек суудан үзүлбөгөн учурдагы жебенин көрсөтүүсү беттик тартылуу күчүнүн чоңдугу болот (аны шкаладан байкоо менен белгилеп калуу керек).

5. Беттик катмарлардын чегинин узундугу шакекченин ички жана сырткы айланаларынын узундуктарынын суммасына барабар болот. Демек, шакектин ички жана сырткы диаметрлерин өлчөйбүз.

6. Беттик тартылуу күчүнүн чоңдугун аныктоо үчүн таразанын табагына гиряларды салып «Kl» дин чоюлган жерине чейин жеткизебиз да ошол гирялардын салмагын алабыз.

7. Ченөөлөрдүн маанилерин таблицага түшүрүп формула боюнча эсептейбиз.

8. Салыштырма жана абсолюттук каталарды эсептеп, отчетко даярдайбыз.

9. Ишти 3 – 4 жолу кайталап жасоо керек.

10. Каталарды эсептеп таблицага жазуу керек.

11. Кыскача физикалык отчет жазып, аны мугалимге тапшыруу керек. Теориядан суюктуктун беттик тартылуу күчүнүн беттик катмарлардын чегинин узундугуна болгон катышы менен ченелүүчү чоңдук беттик тартылуу коэффициенти деп аталат. Формуласы: $\sigma = \frac{F}{\ell}$, мында F – беттик тартылуу күчү, ал гирялардын салмагына барабар; ℓ – беттик катмардын чекитинин узундугу, ал шакектин ички жана сырткы айланаларынын узундуктарынын суммасына барабар. Эгерде d_1 – ички, d_2 – сырткы диаметрлер болсо, $c_1 = 2\pi r_1 = 2\pi \frac{d_1}{2} = \pi d_1$; $c_2 = \pi d_2$, мындан $d_1 C_1 = \pi d_1$ жана d_1 менен d_2 – шакектин ички жана сырткы диаметрлери. Демек, $\sigma = \frac{F}{\Pi d_1 + \Pi d_2}$ формуласы менен эсептейбиз.

№	Суюктук	Беттик тартылуу күчү, F	Шакектин диаметри, *мм* менен		σ	$\sigma_{орт}$	Каталар	
			d_1 ички	d_2 сырткы			абсолюттук $\Delta\sigma$	салыштырма $\frac{\Delta\sigma}{\sigma_{орт}}$
1.								
2.								
3.								
4.								
5.								

№ 3. Ток булагынын ЭКК (ε) жана анын ички каршылыгын (r) аныктоо.

1. Ток булагынын ЭКК (ε) деп эмнени айтабыз?

2. Ал кандай чоңдуктарга көзкаранды?

3. ЭККнүн бирдиги кайсы?

4. Ток булагынын ички каршылыгы кандай чоңдуктарга көзкаранды?

Иштин максаты: Чөнтөк фонарынын ЭКК жана анын ички каршылыгын туюк чынжыр менен эсептөө. Өлчөөчү куралдар менен иштегенди үйрөнүү.

Колдонулуучу куралдар жана материалдар: турактуу ток булагы (аккумулятор, же чөнтөк фонарынын батареясы), лабораториялык реостат же каршылыктар, амперметр, вольтметр, ачкыч жана бириктирүүчү зымдар.

Теориясы:

Булактын ЭКК $\varepsilon = \frac{A_{б.к.}}{q}$ формуласы менен аныкталат.

Ток булагынын бир уюлунан экинчи уюлуна зарядды жылдыруудагы бөтөн күчтүн аткарган жумушунун ошол зарядга болгон катышы ток булагынын ЭКК (ε) деп аталат.

Ал эми ички каршылык токтун химиялык булактарында электроддор арасындагы электролиттердин каршылыгы, индукциялык генератордо болсо, анын роторунун оромдорунун каршылыгы болот.

ЭКК (ε) вольтметр менен өлчөнөт, ал ток булагынын уюлдарына жарыш туташтырылат. Анткени сырткы чынжыр ажырап турган кезде вольтметр булактын уюлдарына жарыш бириктирилген учурдагы вольтметрдин көрсөтүүсү болот.

Ал эми ички каршылыгы болсо туюк чынжыр үчүн Ом закону менен эсептелет.

$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$, мындан $IR+Ir = \varepsilon$. Демек, ток булагынын ички каршылыгы $r = \frac{\varepsilon - IR}{I}$ формуласы менен аныкталат. Бирдиги *Ом* менен чыгышы керек.

Иштин жүрүшү:

1. Солдогу берилген схема боюнча электр чынжырын жыйнагыла.

2. Сырткы чынжырды (ачкычты) бириктирбей туруп ток булагынын ЭКК (ε) ченейбиз. Ал вольтметрдин көрсөтүүсү болуп саналат.

3. Эми ачкычты «а» бириктирип, чынжырдагы ток күчүн жана чыңалууну өлчөйбүз.

4. R каршылыктарды алмаштырып же реостат аркылуу каршылыкты улам өзгөртүп, ток күчү (I) менен чыңалууну (U) бир нече ирээт өлчөгүлө. Формула боюнча эсептеп, жыйынтыгын таблицага жазгыла жана кыскача отчет жазып, мугалимге тапшыргыла.

Таблица

№	ε	I	U	R	r	$r_{орт}$	$\Delta r_{орт}$	$\frac{r}{\Delta r_{орт}}$
1.								
2.								
3.								

КӨНҮГҮҮЛӨРДҮН ЖООПТОРУ

1-көн. 1. 10 *м*. 2. 180 *км*. 3. 340 *м/с*. **2-көн.** 1. –0,5 *м/с*^{2}. 2. 20 *с*. 3. 32400 *км/саат*. **3-көн.** 3. 50 *с* 125 *м*. 4. 50 *с* 40 *м/с* 5. 6,7 *м/с*^{2}, 750 *м*. 6. 250 *м*. 7. 16 *м*. 8. 360000 *м/с*^{2}. 9. 3,8 *м/с*^{2}; 10. 1 нерсе бир калыптагы, 2-, 3-нерселер бир калыптагы кыймылда болушат. *А* чекитинде $\vartheta_{1x}=\vartheta_{2x}=2$ *м/с*, $\vartheta_{3x}=0,5$ *м/с*; *В* чекитинде $\vartheta_{1x}=\vartheta_{3x}=2$ *м/с*; $\vartheta_{2x}=8$ *м/с*; $a_{1x}=0$, $a_{2x}=2$ *м/с*^{2}, $a_{3x}=0,5$ *м/с*^{2}. **4-көн.** 1. 3,14 *м/с;* $2,7\cdot10^{-5}c^{-1}$, 450 *м/с*. 3. 60 *с*. $\frac{1}{60}c^{-1}$. 4. 0,1*м/с*. 5. 628 *м/с*; 628 $\frac{айл}{c}$. 6. 314 *м/с*. 7. ϑ_{c}^{-1}0,084 *см/с*, $\omega_c=0,105\frac{1}{c}$, $\vartheta_{мүн}=0,0035$ *см/с*, $\omega_{мүн}=0,0018\frac{1}{c}$; $\vartheta_{саат}=0,0001$ *см/с*, $\omega_{саат}=0,00015\frac{1}{c}$.
5-көн. 1. 18 *м/с*^{2}. 2. 0,4 *м/с*^{2}. 3. 8 *м*. 4. 62,8 *с*. 5. 11,1 *км/с*. 6. 29,87 *км/с*. 7. 6,25 *м/с*^{2}. 8. $\omega=710^{-5}\frac{1}{c}$; $\vartheta=450$ *км/с*. **6-көн.** 1. 14,7 *м/с*. 2. 7 *м/с*. 3. 1,5 *м*. 4. 2,5. **7-көн.** 1. 10 Н. 2. ≈5540 *Н*. 3. 13 *м/с*^{2}. 4. ≈680 *Н*. 6. 12 *Кн*. 7. 24 *Н*, 20 *Н*. **8-көн.** 1. 40 $кг\frac{м}{c}$. 2. $2\cdot10\ кг\frac{м}{c}$; а) $3\cdot10^4\ кг\frac{м}{c}$. 4. 0,9 *м/с*. 5. 4 *м/с*. 6. 50 *см/с*. 7. $5,2\cdot10^4$*дин*. **9-көн.** 1. $2\cdot10^{20}$*Н*. 2. 0,17 *Н*. 3. $6\cdot10^{24}$ *кг*. 4. а) 1010 *Н*; б) 980 *Н*; в) 940 *Н*; г) 0. 5. 9,8 *Н*, ≈9,77 *Н*. 6. 20 *м/с*. 7. 2,4 *кН*, 3. 8. 8,8 *м/с*^{2}. **10-көн.** 1. 800 *кН*. 2. 360 *Н*. 3. $24\cdot10^5$ *Дж*. 4. 500 *кг*. 5. 0,01. **11-көн.** 1. 9600 *Дж*. 2. $1,8\cdot10^6$ *Дж*. 3. 60 *кДж*. 4. 90 *кДж*. 5. 4500 *Дж*. **12-көн.** 1. 60 *Вт*. 2. 100 *Вт*. 3. 0,0007 *Вт*. 4. 6 т. 5. ≈2 а. к. **13-көн.** $4,5\cdot10^8$*Дж*. 2. октук ≈2,5 эсеге. 3. 50 *кДж*. 4. 2 *кг*; 4 *м/с*. 5. 12 *кг*. **15-көн.** 1. 47,38 *кН*. 2. 0,8 *Н*. 3. 600 *Н*. **16-көн.** 1. 2 *с;* 0,5 *Гц*; П$\frac{1}{c}$. 2. 6 *см*, 50 *Гц*, 20 *см*. 3. –0,25 *м*. 4. 4 *см*, 9 *см*. 5. 1,2 *с*. 7. 0,5 *с*, 2 Гц. 8. 79 *Гц*, 1360 *Гц*. **17-көн.** 1. 44 $\frac{г}{моль}$. 2. 0,056 *моль*. 3. 0,56 *кг*. 4. 7,5 *моль*. 5. $48\cdot10^{23}$ 6. 0,028 $\frac{кг}{моль}$. 7. 0,16 *кг*. 8. 15 *см*^{3}. **18-көн.** 1. $5\cdot10^5$ *Па*. 2. $6\cdot10^{-21}$ *Дж*. 3. $6\cdot10^{21}$ *Дж*. 4. $6\cdot10^{-21}$ *Дж*. 5. $5,3\cdot10^{-26}$ *кг*. 6. 500° *К*. 7. 500 *м/с*. 8. 320°*К*. 9. 1010. 10. 373°*К*. **19-көн.** 1. $2\cdot10^6$ *Па*. 2. 15 *кПа*. 3. 7 5 *кПа*. 4. ≈6,8 *л*. 5. ≈109 *л*. 6. 180 *кПа*. 7. 180° *К*. 8. 0,0224 *м*^{3}*/моль*. 9. $5,8\cdot10^{-3}\frac{кг}{моль}$. 10. 0,15 *м*^{3}.
20-көн. 1. 35700 *Дж*. 2. 1838 *кДж*. 3. 460 $\frac{Дж}{кг\cdot c}$. 4. 6°С. 5. 539,2 *кДж*. **21-көн.** 1. 74 $\frac{мН}{м}$. 2. 289. 3. 0,022 $\frac{Н}{м}$. 4. 15 *см*; 6,3 *см*; 7 *см*. 5. $21\cdot10^{-3}\frac{Н}{м}$. 6. 73,6 $\frac{дик}{см}$. 7. –0,302 *м*. **22-көн.** 1. ≈2,68 *МДж*. 2. 2590980 *Дж*. 3. 2255400 $\frac{Дж}{кг}$. 4. 93,5%; 65%; 45,9%. 5.75%. 6. 80%. 7. 840 *Па*. **23-көн.** 1. 3360 *кДж*. 2. 52,8 *МДж*. 3. 974,4 *кДж*. 4. 9,2 *кг*. 5. 10°С. **24-көн.** 1. $25\cdot10^{-7}$ *кг/м*^{2}. 2. $2\cdot10^{-5}$ *Кл*. 4. ≈$6\cdot10^{-6}$ *Н*. 5. $2,3\cdot10^{39}$ эсе. **25-көн.** 1. $7,5\cdot10^4$ *Н/Кл*. 2. $8\cdot10^5$ *Н/Кл*. 3. $4\cdot10^4$*Н/Кл*; $7,2\cdot10^{-5}$*Н*. 4. $1\cdot10^{-8}$ *Кл*. 5. $9,2\cdot10^{-3}$*Дж*. 6. 30*В*. **26-көн.** 1. $8\cdot10^{-6}$ *Ф*. 2. 0,04 *мкФ*. 3. 160 *пкФ*, $4,8\cdot10^{-6}$ *Кл*; $0,72\cdot10^{-5}$*Дж*. 4. 1 *см*. **27-көн.** 1. 4,4 *А*. 2. 220 *Ом*. 3. 7,2 *м*, 9 *В*. 4. 2,2 *Н*. 5. 20 *А*, 132 *В*. 6. 0,5 *А*, 5,5 *В*, 72,5 *мм*^{2}. 8. 30 *м*, 0,9 *В*. 9. 20 *м*, 17 *Ом*. 10. 0,52 ***мм***. **28-көн.** 1. Эки валенттүү никель. 2. $3,33\cdot10^{-7}$ *кг/Кл*. 3. 201,24 *мг*. 4. 6 *А*. 5. 0,043 *мм*. 6. 1,9 *саат*. 7. $1,6\cdot10^{-27}$ *кг*. 8. 16,7 *мүн*.

МАЗМУНУ

Киришүү 3

I глава. **Кинематиканын негиздери**

§ 1. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл. 4
1-көнүгүү 7
§ 2. Түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймыл. 7
§ 3. Түз сызыктуу бир калыптагы ылдамдатылган кыймыл. Ылдамдануу 10
2-көнүгүү 11
§ 4. Ылдамдатылган кыймыл кезиндеги өтүлгөн жолдун формуласы. 11
3-көнүгүү 14
§ 5. Векторлор. Векторлорду кошуу жана кемитүү 14

II глава. **Ийри сызыктуу кыймыл**

§ 6. Ийри сызыктуу кыймыл 20
§ 7. Нерсенин айлана боюнча кыймылы. Бурчтук жана сызыктуу ылдамдыктар 22
4-көнүгүү 24
§ 8. Борборго умтулуучу ылдамдануу жана борборго умтулуучу күч 25
5-көнүгүү 28
§ 9. Тик өйдө ыргытылган же төмөн түшкөн нерселердин кыймылынын негизги формулалары 28
6-көнүгүү 31

III глава. **Динамиканын негиздери**

§ 10. Ньютондун 1-закону 33
§ 11. Күч. Масса – инерттүүлүктүн чени 36
§ 12. Ньютондун 2-закону 38
§ 13. Ньютондун 3-закону 40
7-көнүгүү 42
§ 14. Импульс. Импульстун сакталуу закону 43
8-көнүгүү 44
§ 15. Бүткүл дүйнөлүк тартылуу күчү. Тартылуунун турактуулугу 45
§ 16. Тартылуу күчүнүн аракеттери. Эркин түшүү жана анын ылдамдануусу. Оордук күчү. Салмак 46
9-көнүгүү 50
§ 17. Жердин жасалма жандоочулары (спутниктери). Биринчи жана экинчи космос ылдамдыктары 52

IV глава. **Жаратылыштагы күчтөр**

§ 18. Сүрүлүү күчү. Сүрүлүү коэффициенти. Сүрүлүүнүн түрлөрү ... 56
§ 19. Сүрүлүүнүн ролу 59
10-көнүгүү 59

V глава. **Жумуш жана энергия**

§ 20. Жумуш. Жумуштун жалпы формуласы 62
11-көнүгүү 64
§ 21. Кубаттуулук. Кубаттуулуктун бирдиктери 64
12-көнүгүү. 66
§ 22. Энергия. Механикалык энергиянын түрлөрү. 67
13-көнүгүү 70
§ 23. Шамалдын жана суунун энергияларын пайдалануу 71
§ 24. Деформация. Серпилгичтүү жана калдыктуу деформациялар 73
§ 25. Серпилгич деформациянын түрлөрү 75
§ 26. Гук закону 77
§ 27. Серпилгичтүү деформацияланган пружинанын энергиясы .. 79

14- көнүгүү 81

VI глава. **Суюктуктардын (газдардын) механикасы**

§ 28. Суюктуктардын касиети. Басым. Паскаль закону. Көтөрүү күчү 83
§ 29. Архимед закону 86

15-көнүгүү 89

§ 30. Ламинардык жана турбуленттик агымдар. Бернулли теңдемеси. Статикалык жана динамикалык басымдар. Пульверизатор. Суюктуктардын кыймылы 89

VII глава. **Механикалык термелүүлөр жана толкундар**

§ 31. Механикалык эркин жана аргасыз термелүүлөр, анын мүнөздөмөлөрү 96
§ 32. Толкун. Толкундун негизги мүнөздөмөлөрү. Толкундун түрлөрү 101
§ 33. Толкундун интерференциясы, дифракциясы. Когеренттүү булактар. Турууучу толкун. Интерференция 103
§ 34. Үн толкундары, анын мүнөздөмөлөрү. Үндүн интерференциясы, резонансы. Турууучу толкундар 106
§ 35. Ультраүн жана анын колдонулушу 109
16-көнүгүү 110

VIII глава. **Молекулалык физика**

§ 36. Молекулалык-кинетикалык теориянын негизги жоболору, алардын иш жүзүндө далилдениши 112
§ 37. Атом. Молекула. Массанын атомдук бирдиги. Моль масса. Заттын саны. Авогадро саны 114
17-көнүгүү 116
§ 38. Идеалдык газ. Кагылышуу саны, эркин жол жүрүүнүн орточо узундугу 117
§ 39. Температура түшүнүгү. Орточо квадраттык ылдамдыктын жана орточо кинетикалык энергиянын температура менен байланышы. Больцман туруктуулугу 120
18-көнүгүү 123

IX глава. **Идеалдык газдын закондору**

§ 40. Газ абалы жана анын параметрлери: *V, P* жана *T*. 126
§ 41. Идеалдык газ абалынын теңдемеси 129
19-көнүгүү 131
§ 42. Реалдык газ. Реалдык газ абалынын теңдемеси. Изотермалар. Заттын газ жана суюк абалдарынын өзара байланышы 131

X глава. **Термодинамиканын негиздери**

§ 43. Идеалдык жана реалдык газдын ички энергиясы, анын өзгөрүү жолдору 136
§ 44. Жылуулук саны жана анын формуласы 138
§ 45. Термодинамикадагы жумуш. Жумуштун *P, V* координата окторунда мүнөздөлүшү 139
§ 46. Газдардын жылуулук сыйымдуулугу 141
20-көнүгүү 142
§ 47. Термодинамиканын 1-закону жана анын математикалык туюнтулушу 142
§ 48. Термодинамиканын 1-закононун түрдүү процесстерде колдонулушу, ал процесстер учурундагы жумуш 144
§ 49. Кайталануучу жана кайталанбоочу процесстер. Жылуулук процессинин кайталанбоочулугу 146
§ 50. Жылуулук кыймылдаткычтары. Карно цикли. ПАК 148
§ 51. Алгачкы түбөлүк кыймылдаткыч. Жылуулук кыймылдаткычтары жана экология 151

XI глава. **Суюктуктар. Суюктуктардын түзүлүшү**

§ 52. Суюктуктар. Беттик тартылуу 156
§ 53. Беттик тартылуу коэффициенти 158
§ 54. Нымдоо жана нымдабоо. Капиллярдуулук. Суюктуктун ийрилик бетиндеги кошумча басымдар 159
21-көнүгүү 162
§ 55. Буулануу 163
§ 56. Кайноо. Кайноо температурасынын басымга көзкарандылыгы 165
§ 57. Абанын нымдуулугу 167
22-көнүгүү 170

XII глава. **Катуу нерселер**

§ 58. Аморфтук жана кристаллдык катуу нерселер 173
§ 59. Катуу нерселердин эрүүсү. Эрүүнүн жана кристаллдашуунун салыштырма жылуулугу 175
§ 60. Катуу нерселердин касиеттерин изилдөө боюнча жергиликтүү окумуштуулардын изилдөөлөрү 177
23-көнүгүү 180

XIII глава. **Электр-динамиканын негиздери. Электр-статика**

§ 61. Электр-динамика эмнени окутат 183
§ 62.Элементардык заряд. Нерселерди заряддоо 183
§ 63. Электр зарядынын сакталуу закону. Кулон закону 185
24-көнүгүү 188
§ 64. Электр талаасы 188
§ 65. Электр талаасынын күч сызыктары 191
§ 66. Потенциал. Потенциалдар айырмасы. Талаанын чыңалышы менен потенциалдар айырмасынын байланышы 193
25-көнүгүү 196
§ 67. Электр талаасындагы өткөргүчтөр жана диэлектриктер 196
§ 68. Диэлектриктик өткөрүмдүүлүк 197
§ 69. Электр сыйымдуулугу. Конденсатор 199
§ 70. Жалпак конденсатордун электр сыйымдуулугу 201
26-көнүгүү 202

XIV глава. **Туруктуу электр тогу**

§ 71. Электр тогу. Ток күчү. Токтун пайда болуу шарттары 205
§ 72.Чынжырдын бөлүгү үчүн Ом закону. Өткөргүчтүн каршылыгы. Салыштырма каршылык..208
§ 73. Ток булагы. Ток булагынын электр кыймылдаткыч күчү 212
§ 74.Толук чынжыр үчүн Ом закону 213
27-көнүгүү 215

XV глава. **Түрдүү чөйрөдөгү электр тогу**

§ 75. Металлдардын электр өткөрүмдүүлүгү. Каршылыктын температурага көзкарандылыгы. Ашыкча өткөрүмдүүлүк 218
§ 76. Газдардагы токтун табияты. Разряд жана анын түрлөрү ... 221
§ 77. Өз алдынча разряддын түрлөрү 223
§ 78. Плазма жана анын колдонулушу. Плазманы изилдөөдөгү республикабыздагы окумуштуулардын салымы 225
§ 79. Суюктуктардагы электр тогунун табияты. Электролиз 227
§ 80. Электролиз үчүн Фарадей закондору 229
§ 81. Жарым өткөргүчтөгү токтун табияты. Өздүк жана кошулмалуу өткөрүмдүүлүк. Донорлор жана акцепторлор 231
§ 82. $p-n$ контактынын касиети .. 235
§ 83. Вакуумдагы электр тогунун табияты 237
§ 84.Термоэлементтер. Термобатареялар 239
§ 85. Жарым өткөргүчтүү күн батареялары 241
§ 86. Күн энергиясын электр энергиясына айландыруу боюнча кыргызстандык окумуштуулар жүргүзгөн изилдөөлөр 242
28-көнүгүү 246

Лабораториялык жумуштар 248

Көнүгүүлөрдүн жооптору 252

Колдонулган окуу китеби жөнүндө маалымат

№	Окуучунун аты-жөнү	Окуу жылы	Китептин абалы	
			жылдын башында	жылдын аягында
1.	Жубатбекова Ажар	2014 – 15	жаңы	жакшы
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				

Учебное издание

Койчуманов М., Сулайманова О.

ФИЗИКА

учебник для 10-го класса средних школ

(на кыргызском языке)

Окуу басылмасы

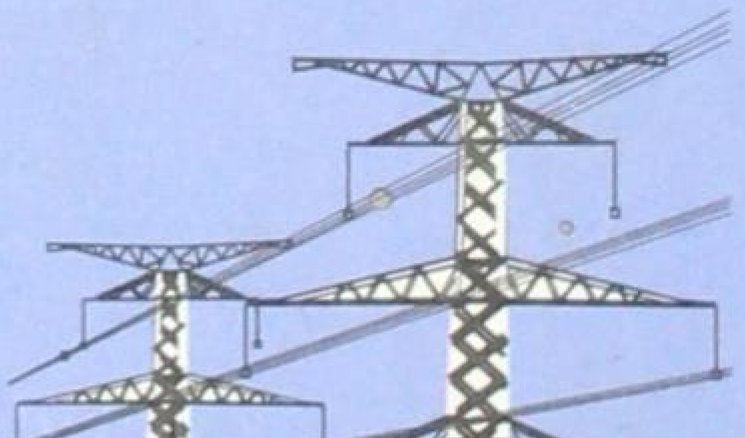
Койчуманов М., Сулайманова О.

ФИЗИКА

Орто мектептердин
10-классы үчүн окуу китеби

Редактору *Байтокова К. Т.*
Сүрөтчүсү *Васильев И. Г.*
Корректорлору *Оросножоева Д., Эстебесова Д.*
Техн. редактору *В.Крутякова.*
Компьютердик калыпка салган *Керимбаева Ж. К.*

Басууга 15.01.08. кол коюлду. Форматы 60х90 1/16.
Офсет кагазы № 1. Көлөмү 16,0 б.т. Нускасы 52 000. Заказ 35.

«Инсанат» басма-полиграфиялык борбору
Бишкек шаары, Н.Исанов көчөсү, 87

«Учкун» ААК басмаканасында басылды
720031, Бишкек ш., С. Ибраимов көчөсү, 24.