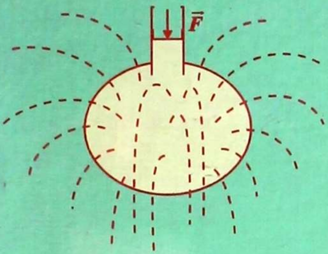
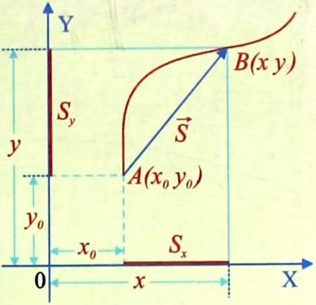




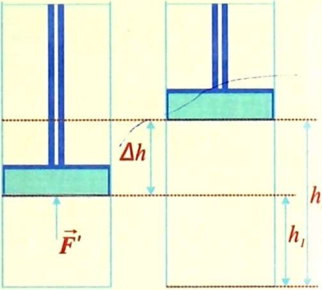
ФИЗИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ

1-КИТЕП

МЕХАНИКА

•

МОЛЕКУЛАЛЫК ФИЗИКА



КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН
БИЛИМ БЕРҮҮ ЖАНА ИЛИМ МИНИСТРЛИГИ

ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИ

ЖАЛПЫ ФИЗИКА ЖАНА ФИЗИКАНЫ ОКУТУУНУН УСУЛДУГУ КАФЕДРАСЫ

**Папиев М., Арзыкулов А., Кожобекова П.,
Калбекова М., Эгемназарова А., Алиева Ч.**

ФИЗИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ

1-КИТЕП

Механика ● Молекулалык физика

Орто мектептердин 10-класстарынын окуучулары жана жогорку окуу жайларынын даярдоо бөлүмүнүн угуучулары, жалпы физика курсун окуган студенттери үчүн окуу колдонмосу

Ош – 2012

УДК 53: 531/534:539.19
ББК
Ф50

Ош Мамлекеттик Университетинин Окумуштуулар Кенешинин чечими менен басмага сунушталган.

Рецензенттер: ЭТФ кафедрасынын башчысы ф.м.и.д., профессор Б. Арапов,
ОшТУнун физика кафедрасынын башчысы т.и.к., доцент А. Б. Сатыбалдыев.

Илимий редактор: п.и.д., профессор Д. Бабаев

Авторлор: М. Папиев, А. Арзыкулов, П. Кожобекова, М. Калбекова, А. Эгемназарова, Ч. Алиева

Ф50 **Физиканын негиздери. 1-китеп.** *Механика. Молекулалык физика:* Орто мектептердин 10-класстарынын окуучулары жана жогорку окуу жайларынын даярдоо бөлүмүнүн угуучулары, жалпы физика курсун окуган студенттери үчүн окуу колдонмосу. Авторлор: М. Папиев, А. Арзыкулов, П. Кожобекова, М. Калбекова, А. Эгемназарова, Ч. Алиева.
- Ош: «Ошбасмакана», 2012. - 312 б.

ISBN

Колдонмодо орто мектептердин физика курсунун программасына киргизилген окуу материалдары толук камтылган, алар жеткиликтүү берилген. Мындагы окуу материалдары жалпы физика боюнча программалардын талаптарына да негизинен жооп берет. Ошондуктан колдонмону мектеп окуучуларынын, жогорку окуу жайларынын даярдоо бөлүмдөрүнүн угуучуларынын, төмөнкү курстарынын студенттеринин пайдалануусу үчүн сунуш кылабыз.

Ф 1604090000-08
ISBN

УДК 53: 531/534:539.19
ББК

Ушул китепти автордук топтун жетекчиси катарында, алардын макулдугу менен, А. Арзыкулов экөөбүздүн агайыбыз Айтмурзаев Ташмырзага арнаймын

М. Папиев

КИРИШ СӨЗ

Физикада механикалык кыймылдарды изилдөөнүн натыйжасында топтолгон билимдердин системасын жалпы түрдө механика, ал эми заттын молекулалык түзүлүшүнө негиздеп жүргүзүлгөн изилдөөлөрдөн улам илимге киргизилген билимдердин єистемасын молекулалык физика деп атайт.

Механика кинематика, динамика жана статика деген бөлүмдөрдөн турат. Кинематикада телонун ар түрдүү кыймылдары (мисалы, жантык орнотулган ноодон төмөн көздөй тоголонуп бараткан шариктин, же тик өйдө ыргытылган таштын кыймылдары, д.у.с.) математикалык түрдө жазылат. Мындай кыймылдарды мүнөздөгөн чоңдуктардын ортосундагы байланыштар аныкталат. Бирок, анда «тело эмне үчүн ушундайча кыймылга келет?» деген суроо талданбайт. Бул суроо динамикада каралат. Демек, кинематикада «тело кандайча кыймылдайт?» деген суроого жооп берилсе, динамикада «ал тело эмне үчүн ушундайча кыймылдайт?» деген суроого жооп табылат. Ал эми статикада телонун кандай шарттарда тең салмактуу абалда болору изилденет.

Бул китепте материалдык чекиттин кинематикасы жана динамикасы түз сызыктуу бир калыптагы, түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү, айлана боюнча бир калыптагы кыймылдардын мисалында каралды. Ушул кыймылдарга мүнөздүү түшүнүктөр киргизилди. Алар үчүн механиканын негизги маселесинин кандайча чечилери көрсөтүлдү. Бул түшүнүктөр жана механиканын негизги маселесин чечүүдө пайдаланылган усулдар ар түрдүү, башка, татаал кыймылдарды изилдөөдө да, б.а. кинематиканын, динамиканын башка бөлүмдөрүндө да пайдаланылат.

Ушундай эле ыкма ушул китептеги «молекулалык физика», кийинки экинчи китепке киргизилүүчү «электродинамика», «кванттык механика» боюнча берилүүчү окуу материалдарына да мүнөздүү. Аларды да физиканын тиешелүү бөлүмдөрүнүн кийинки мазмундук баскычтарында пайдаланууга болот. Ошондуктан биз китепти «Физиканын негиздери » деп атадык.

Китепте тиешелүү физикалык түшүнүктөр, закондор окурмандарды алардын эрежелерин, формулаларын жаттап калууга багыттагандай абалда эмес, алардын маани-маңызына түшүнүү менен өздөштүрүүгө өбөлгө түзгөндөй мазмунда берилген. Анда орто мектептердин физика боюнча программаларына киргизилген окуу материалдары толук камтылган, алар жеткиликтүү берилген. Мындан сырткары китептеги окуу материалдары «Жалпы физика» боюнча программалардын талаптарына да негизинен жооп берет. Ошондуктан китепти мектеп окуучуларынын, жогорку окуу жайларынын даярдоо бөлүмдөрүнүн угуучуларынын жана төмөнкү курстарынын студенттеринин пайдалануусу үчүн сунуш кылабыз.

Сиздерден, урматтуу окурмандар сын-пикирлерди, китепти структуралык жана мазмундук жагынан өркүндөтүү боюнча сунуштарды күтөбүз. Ал үчүн алдын ала ыраазычылыгыбызды билдиребиз.

Биздин дарегибиз: 714000, Ош шаары, Ленин көчөсү 331, Ош мамлекеттик университети, жалпы физика жана физиканы окутуунун усулдугу кафедрасы.

Авторлор

Орто мектептердин физиканын системалуу курсу окулган класстарында пайдаланууга мүмкүн болгондой китеп жазуу ишин биз мындан жыйырма жылдай илгери баштаган болчубуз. Анда ушул саптардын автору Ош шаарында өзү уюштурган «Ак-Буура» менчик мектебинде сабак берчү, Арзыкулов Абибилла Кара-Суу райондук элге билим берүү бөлүмүнүн башчысы кызматында иштечү.

Китепти жеткиликтүү жазуу боюнча негизги, аныктоочу, тажрыйбаны биз «Ак-Буура» менчик мектебинин бир классында, андагы окуучулар 9, 10, 11 класстарда окуган мезгилдеринде жүргүздүк. Ар бир сабак үчүн окуу материалынын тексттин ар кимибиз өзүбүзчө даярдап келип, чогуу талкуулоочубуз. Натыйжада окуучуларга сунуш кылынуучу негизги текст түзүлчү. Сабактар ушул окуу материалынын негизинде өтүлөр эле. Сабактардан кийин бул тексттерди кайрадан талкуулап, китеп формасына келтирип турчубуз. (Бул класстын окуучулары мектепти 1997-жылы бүтүрүшкөн).

Кээде Абибилла айтып калар эле: «Райондук билим берүү бөлүмүнүн башчысы болсом, анан ушинтип сен өтө турган сабактардын планын түзүшүп отурсам, бул ишти башкалар угушса, ишенишпесе да керек» - деп. Сөзүн улап, институтту аяктагандан тартып ушул кызматка келгенге чейин мектептерде директор болуп иштегенин, ушу мезгилдерде дайыма сабак берүү ишин биринчи планга койгонун айта келчү да «Сабактарды өтүүгө карата болгон мындай жоопту мамиле менде экөөбүздүн агайыбыз, тагыраак айтканда, сенин агайың Ташмырза Айтмурзаевдин таасиринен улам калыптанган. Менимче, сендеги физиканы маңызына жете түшүнүү менен өздөштүрүү адаты да ошол агайыңдын койгон талабынын, көрсөткөн ишениминин негизинде башталып, өнүксө керек» деп өзүнчө канааттануу менен белгилеп калар эле.

Кээде студенттик кезибизди эстечүбүз. Т.Айтмурзаев агай Ош мамлекеттик growth педининституту...

Москвага барган бир командировкасы учурунда мени Москва мамлекеттик университетине которуу жөнүндө сүйлөшүп келиптир. Паспортум, граждандыгым туура келбегендиктен мен ал жакка которулбай калдым. Бул ишке агайдын менден өтө кыжаалаттанганы күнү бүгүнкүдөй эсимде.

Лекцияларын да, практикалык сабактарын да башка мугалимдерге тапшырып койбой өзү өтчү, бир жолу да анын сабагын өтүү үчүн бизге башка мугалим кирген эмес. Командировкага кетчү болсо, кээде ага чейин, кээде бизге эскертип коюп, андан келгенден кийин өтчү. Ушулардан улам студенттер сүйлөшүп калчубуз: «өзү ректор болсо, бизге сабак беришкен мугалимдердин ичинен эмгекчили да, өз предметин ийне-жибине чейин билген билимдүүсү да ушул агай болсо… Бул – не деген педагог!».

Студенттик күндөрдөн бери ондогон жылдар өтсө да Абибилла экөөбүз ушуларды эстеп, эгерде жазып жаткан китебибиз татыктуу чыкса, аны Айтмурзаев Ташмырза агайыбызга арнап коелу деп ниет кылчубуз.

Мен азыр ушул миссияны аткарып жатам.

Биз мындай ниеттенгенден бери ондогон жылдар өттү. Китеп басма үчүн зарыл болгондой деңгээлге жеткирилбей көп кармалды. Ушул абалдан чыгып, аны бүтүрүүгө китеп жазып жүргөндүгүбүз жөнүндө кабары болгон агайыбыз, кесиптешибиз профессор Б. Араповдун ишеними, тапшырмасы багыт берди. Кыргыз Республикасынын «Физика коомунун» төрагасынын орун басары катарында, ошол коомдун физика боюнча азыркы окуу китептеринин абалы талкууланган чогулушунан кийин ушундай тапшырма коюлган болчу.

Китепке башка авторлор кошулуп, анын жазылып бүтүшүнө өзүлөрүнүн татыктуу салымдарын кошушту. Мен аларга болгон терең ыраазылычыгымды билдирем.

М.Папиев

I бөлүм

МЕХАНИКА

I Бап. КЫЙМЫЛ ЖӨНҮНДӨ АЛГАЧКЫ МААЛЫМАТТАР

1-§. Механикалык кыймыл. Кыймылдын траекториясы

Физиканын механика бөлүмүндө телолордун механикалык кыймылы изилдеп үйрөнүлөт.

Телонун механикалык кыймылы деп эмнени айтабыз? Биз ушул суроого жооп берели.

Көз алдыбызга төмөнкү жагдайды келтирип көрөлү: тээ алыстан кайсы бир автомашина көзгө илешсин. Ошого жалт карап эле анын кыймылдап бара жатканын, же тынч турганын билүүгө болор беле?

Албетте, жок. Аны билүү үчүн ошол автомашинаны бир канча убакыт бою көз айырбай карап туруу керек. Эгерде убакыттын өтүшү менен ал баштапкы ордунан которулуп кетсе, башкача айтканда өзүн курчап турган башка телолорго, мисалы, жол боюндагы дарактарга, салыштырмалуу абалын өзгөртсө, аны кыймылдап бара жаткан экен дейбиз. Ошондуктан, физикада телонун абалынын башка телолорго салыштырмалуу убакыттын өтүшү менен өзгөрүшүн телонун *механикалык кыймылы*, же жалпы түрдө *механикалык кыймыл* деп атоо кабыл алынган.

Тело дайыма кайсы бир сызык боюнча кыймылдайт. Кыймылдагы тело артында калтыруучу мындай үзгүлтүксүз сызыкты физикада кыймылдын *траекториясы*, же кыскача *траектория* деп атайт. Эгерде траектория түз сызык болсо, кыймыл - *түз сызыктуу*, айлана болсо, *айлана боюнча болгон кыймыл*, каалагандай ийри сызык болсо - *ийри сызыктуу кыймыл* деп белгиленет. Булардан башка тело термелүү кыймылына келиши да мүмкүн.

Демек, траекториясына жараша телолордун кыймылынын негизги үч түрүн бөлүп көрсөтүүгө болот: түз сызыктуу кыймыл, ийри сызыктуу кыймыл (айлана боюнча кыймыл) жана термелүү кыймылы.

2-§. Механиканын негизги маселеси

Механикалык кыймылдын аныктамасынан көрүнүп тургандай, тигил же бул телонун механикалык кыймылын изилдеп үйрөнүү дегендик, ошол телонун абалынын мейкиндикте кайсыл бир башка телого салыштырмалуу убакыттын өтүшү менен кандайча өзгөрөрүн изилдеп үйрөнүү дегендикке жатат. Мисалы, аялдамадан жылып жөнөгөн автобустун кыймылын изилдөө үчүн анын абалынын аялдамага салыштырмалуу убакыттын өтүшү менен кандайча өзгөрөрүн билүү керек.

Ал үчүн, баарыдан мурда, анын ар кандай убакыт моментиндеги абалын аныктоо зарыл. Мисалы, аялдамадан жылгандан баштап 1*мин.*, 1,5*мин.*, 2*мин.*, 2,5*мин.* , д.у.с. убакыт өткөн моменттеринде автобустун кайсыл жерде болгонун (абалын) билүү зарыл.

Дагы бир мисалды талдайлы.

Милиция кызматкери автомобилдин айдоочусунун жанында отуруп, башка автомобилдеги кылмышкерди кубалап баратсын. Ал рация боюнча, же өзүнүн уюлдук телефону менен милициянын кезмет бөлүмүнө төмөнкүдөй маалыматтарды тынымсыз берип турат: саат 9^{17} - Ош районунда баратабыз; 9^{20}-Семетей кинотеатарына жеттик; 9^{27}-жылуулук борборуна жетип, темир жолду кесип өттүк; 9^{31}-Наримандагы милиция бөлүмүнүн тушунан өтүп баратабыз; 9^{32}-Кашкар-Кыштакка бурулбай түз кеттик, д.у.с.

Бул маалыматтарды уккан кезметтик бөлүмдүн кызматкери кылмышкердин кыймылын толук элестей алат: ал Оштон чыгып Карасууну көздөй баратат. Шаар ичинде 100*км/саат* тан кем болбогондой ылдамдык менен кыймылдады, д.у.с. Ушул маалыматтардын негизинде кезметтик бөлүм кылмышкерди кармоо боюнча тиешелүү иштерди уюштурушу мүмкүн.

Физиканын тили менен айтканда, кылмышкерди кубалап бараткан милиция кызматкери анын ар бир убакыт моментиндеги абалын түшүнүктүү айтып берди. Бул фактыны «милиция кызматкери кезметтик бөлүмгө кылмышкердин кыймылын берди» деп белгилөөгө да болот.

Мындан төмөнкүдөй маанилүү тыянак келип чыгат: эгерде телонун ар бир убакыт моментиндеги абалы берилген болсо, анын кыймылы берилди деп айтууга болот.

Ушул маселени, башкача айтканда телонун ар бир убакыт моментиндеги абалын тиешелүү ыкманын жардамы менен берүү маселесин, физикада механиканын негизги маселеси деп атайт. Жогорудагы мисалда кыймылдын траекториясы жана ошол траекториядагы телонун ар бир убакыт моментиндеги абалы берилип, механиканын негизги маселесине жооп табылды. Кыймылды берүүнүн мындай ыкмасын физикада табигый ыкма деп атайт.

Мындай ыкмада кыймылдын берилиши анчалык так болбойт, аны теңдеме түрүндө жазып калтыруу ыңгайсыз. Ошондуктан телонун кыймылын берүүнүн башка ыкмасын издейбиз.

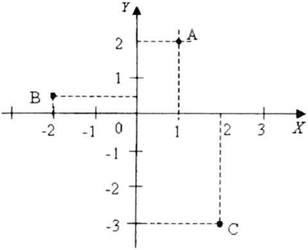
Албетте, телонун кыймылын теңдеме түрүндө жазып калтыруу үчүн, башкача айтканда, анын ар бир убакыт моментиндеги абалын табууга мүмкүндүк берген математикалык теңдемени жазуу үчүн, барыдан мурда, кайсы бир убакыт моментиндеги телонун абалын сүрөттөп бере билүү керек.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Механикалык кыймылга физикада кандай аныктама берилет? Эмне үчүн ушундай аныктама берилгенин түшүндүргүлө.
2. Механиканын негизги маселеси деп кандай маселени айтабыз?

3-§. Материалдык чекит

Жогоруда айтылгандай, механиканын негизги маселесин чечүү дегендик, берилген телонун башка телого салыштырмалуу убакыттын ар кандай моментиндеги абалын аныктоого мүмкүндүк берүүчү теңдемени негиздеп жазуу дегендикке жатат. Ал үчүн, баарыдан мурда, ошол телонун башка телого салыштырмалуу абалын математикалык түрдө жаза билишибиз зарыл.



1.3.1-сүрөт

Математикадан белгилүү болгондой, тигил же бул координаттар системасына салыштырмалуу чекиттин абалы, анын координаталары аркылуу берилет, же тескерисинче, чекиттин координаталары берилген болсо анын ошол координаттар системасындагы абалы сүрөттөп көрсөтүлөт. Мисалы, 1.3.1-сүрөттө көрсөтүлгөн XOY координаттар системасындагы A чекитинин координаталары $x=1$, $y=2$. Аны математикада $A(1;2)$ деп белгилейт. B чекитинин координаталары $x=-2$, $y=0{,}5$ болсо, ал $B(-2;0{,}5)$ деп белгиленет. Демек, XOY координаттар системасындагы чекиттердин абалдары алардын координаталары аркылуу берилет. Эгерде бизге кандайдыр бир C чекитинин координаталары белгилүү болуп, $C(2;-3)$ түрүндө берилсе, анда бул чекитти координаттар системасында көрсөтүүгө болот. Ал үчүн $x=2$ чекитинен OX огуна, $y=-3$ чекитинен OY огуна перпендикуляр сызыктарын жүргүзөбүз. Алардын кесилиши XOY координаттар системасындагы C чекитин көрсөтөт.

Демек, берилген телонун башка телого салыштырмалуу белгилүү бир убакыт моментиндеги абалын математикалык түрдө жазуу үчүн, биринчиден, баштальшы ошол башка тело менен дал келген координаттар системасын тандап алуу керек. Экинчиден, берилген телонун ошол координаттар системасына салыштырмалуу белгиленген убакыт моментиндеги абалын анын координаталары аркылуу берүү зарыл. Ушундай эле жол менен тандап алынган координаттар системасына салыштырмалуу телонун ар кандай башка убакыт моменттериндеги абалдарын аныктоого, демек механиканын негизги маселесин чечүүгө болор эле.

Бирок, механиканын негизги маселесинде сөз телонун кыймылы жөнүндө жүрүп жатат. Ар кандай тело белгилүү өлчөмдөргө ээ, ал чекит эмес.

Ушул айтылгандардан мындай бир ой келип чыгат: эгерде телону чекит катарында алууга мүмкүн болсо, анда ошол тело үчүн негизги маселени чечсе болот. Ал эми телону чекит деп алууга мүмкүнбү? Албетте, айрым учурларда мүмкүн. Мисал үчүн түз чыйыр боюнча эңкейиштен сыйгаланып келе жаткан чананы алалы. Анын бардык чекиттери бирдей кыймылга келишет. Бардык чекттеринин абалдары жол боюндагы ар кандай башка телого салыштырмалуу бирдей өзгөрүшөт. Ошондуктан бул учурда чананын бир эле чекитинин кыймылын изилдөө жетиштүү. Башкача айтканда, чананын кыймылын изилдөөнүн ордуна анын каалагандай бир чекитинин кыймылын изилдөө жетиштүү болот. Демек, бул учурда чананы (телону) чекит катары кароого мүмкүн.

Мындай пикирди айлануу кыймылына келген тело үчүн, мисалы, сааттын жебеси үчүн айтуу туура эмес. Анткени бирдей эле убакыт ичинде жебенин борбордон алыс жайгашкан чекиттери, ага жакын жайгашкан чекиттерине караганда чоңураак аралыкка которулушат. Жебени түзгөн чекиттердин кыймылдары бирдей болбойт жана айлануу кыймылына келген телону чекит катарында алуу мүмкүн эмес.

Бардык чекиттери бирдей кыймылга келген телонун кыймылын физикада *алга умтулуу кыймылы* деп атайт. Мындай кыймылга келген телону чекит деп алууга болот.

Дагы бир мисалды талдайлы. Бизден $500-600м$ алыстыкта автомашина жүрүп бара жатсын. Анын өлчөмү бизге чейинки аралыкка салыштырганда өтө эле кичине. Ошондуктан автомобилдин биз турган орунга салыштырмалуу абалын аныктоо жөнүндө сөз болгондо анын өлчөмүн эске албай коюга, аны чекит деп эсептөөгө болот. Эгерде ошол эле автомобиль бизден $5-6м$ аралыкта бараткан болсо, анын өлчөмүн эске албай коюуга мүмкүн эмес.

Демек, берилген телонун өлчөмдөрү, анын кыймылы салыштырып карала турган башка телого чейинки аралыкка салыштырмалуу өтө эле кичине болсо, же тело алга умтулуу кыймылына келсе, анда телону чекит катары кароого болот.

Мындай, берилген шартта чекит катарында алууга мүмкүн болгон телолорду физикада *материалдык чекит* деп атайт.

Биз мындан ары материалдык чекит катарында кароого мүмкүн болгон гана телолордун кыймылын, башка сөз менен айтканда, материалдык чекиттердин гана кыймылын изилдейбиз. Анткени материалдык чекиттердин гана абалын жана абалынын өзгөрүшүн, башкача айтканда кыймылын математикалык жол менен изилдөө мүмкүн. Маселелердин текистинде сөз «тело», «автомобиль», «велосипедчи» д.у.с. жөнүндө жүрө бериши мүмкүн, бирок бардык учурда алар материалдык чекит катарында каралат.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Материалдык чекит түшүнүгү кандай зарылдыкка байланыштуу киргизилди?
2. Материалдык чекит деген эмне?
3. Кандай шарттарда телону материалдык чекит катарында кароого болот?
4. Айдын диаметри $3476км$ ге барабар. Аны материалдык чекит деп эсептөөгө болобу? Жообуңарды негиздегиле.
5. Материалдык чекитке бир нече мисалдарды келтиргиле.

XOY координаттар системасын тургузуп, анда $A(-2;-1)$, $B(2;-2)$, $C(3;2)$, $D(-2;1)$ чекиттерин көрсөткүлө.

6. Сан огун жүргүзгүлө жана андан координатасы $2м$, $3{,}5м$, $5м$ болгон чекиттерди көрсөткүлө.

4-§. Эсептөө системасы

Материалдык чекиттин ар кандай убакыт моментиндеги абалын аныктоого мүмкүндүк берүүчү теңдемени келтирип чыгаруу үчүн, башкача айтканда механиканын негизги маселесин чечүү үчүн, тиешелүү *координаттар* системасын тандап алуу зарыл деп жогоруда белгиледик (3-§). Мындай системада, анын башталышы үчүн кайсыл телонун тандап алынганына жараша, берилген материалдык чекиттин абалы түрдүүчө сүрөттөлүшү мүмкүн. Мисалы, Ош университетинин каерде экенин сураган кишиге биз «Алай мейманканасынан Курманжан датка көчөсү менен жогору көздөй 300 метрдей жүрсөңүз университеттин имаратына барасыз» деп түшүндүрөбүз. Бул айтылгандарды математиканын тилинде төмөнкүчө берсе болот: башталышы айтылган мейманкана менен дал келген, Курманжан датка көчөсү боюнча жогору көздөй багытталган координата огу тандап алынды. Анан материалдык чекиттин (университеттин имаратынын) координатасы берилди. Эгерде координата башталышы үчүн башка тело (мисалы, Сузак чайканасы, же Сулайман тоосу) тандап алынган болсо, анда координата огу дагы, материалдык чекиттин координатасы дагы башкача берилмек.

Координата системасынын башталышы үчүн тандап алынган телону физикада «эсептөө телосу» деп атайт. Ал дагы чекит катарында алынат. Жогорудагы мисалдан көрүнүп тургандай, эсептөө телосу жана координаттар системасынын октору, коюлган маселенин шартына жараша, эсептөөлөр үчүн ыңгайлуу болгондой тандап алынат.

Эми дагы бир мисалды талдайлы. Биз жайлоодон келатканбыз. Жолдон бир жолоочу жолугуп, койлорун жоготуп коюп издеп жүргөнүн айтып калды. Эгерде биз ошол койлорду көргөн болсок алардын каерде экенин жолоочуга кантип түшүндүрөр элек?

Баарыдан мурда, биз ага, анын койлору жүргөн жердеги өзгөчө бөлүнүп турган кандайдыр бир тело (чоң таш, же дөңсө, дарак д.у.с.) жөнүндө сөз кылып, биз көргөн койлор ошол телонун кайсыл тарабында, канчалык аралыкта жүргөнүн айтып бермекбиз. Бул жерде биз эсептөө телосун (чоң ташты), аны менен байланышкан координат огун (кайсыл тарапта экенин айтуу менен) жана материалдык чекиттин (койлордун) координатасын (канчалык аралыкта жүргөнүн көрсөтүү менен) аныктап көрсөттүк.

Ушул жерде дагы бир суроо жаралат: «Жолоочу биз айтып бергендер боюнча өзүнүн койлорун сөзсүз таба алар беле?» Бул суроого «Жок, таба албайт болчу»- деп жооп берүүгө болот. Анткени койлор башка жакка басып (которулуп) кетиши мүмкүн. Ошондуктан койлорду саат канчада көргөндүгүбүздү, андан бери канча убакыт өткөнүн, ошол кезде койлор кайсыл тарапка карай бара жатканын кошо айтышыбыз керек.

Демек, кыймылга келүүчү телонун абалы жана абалынын өзгөрүшү каралган учурда убакыт да кошо айтылышы керек.

Ошентип, телонун кыймылын изилдөө үчүн башталышы эсептөө телосу менен дал келген координаттар системасын тандап алып, убакыттын баштапкы моментин белгилеп, телонун баштапкы абалын жана баштапкы ылдамдыгын көрсөтүү зарыл.

Башталышы эсептөө телосу менен дал келген координаттар системасы жана баштапкы моменттен кийинки убакытты өлчөөнүн ыкмасы көрсөтүлгөн система эсептөө системасы деп аталат. Демек, телонун (материалдык чекиттин) кыймылын изилдөө үчүн дайыма тиешелүү эсептөө системасын тандап алуу талап кылынат жана телонун кыймылы ошол эсептөө системасына салыштырмалуу изилденет.

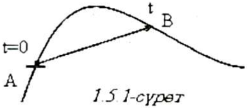
Суроолор жана тапшырмалар

1. Эсептөө системасы жөнүндөгү түшүнүк кандай зарылдыкка байланыштуу киргизилди? Эсептөө системасы деп эмнени айтабыз?
2. Эсептөө системасы түшүнүгүнүн механиканын негизги маселесине кандай тиешеси бар?
3. Мектебиңердин каерде экенин сураган кишиге кантип түшүндүрөрүңөрдү айтып, ага физикалык (математикалык) талкуу бергиле.
4. Мектептин дене тарбия мугалими окуучуларды 100*м* ге чуркоо боюнча сыноодон өткөрүп жаткан учурун элестеп, ага физикалык талкуу бергиле.

5-§. Которулуш

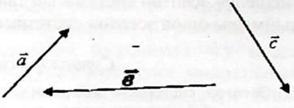
Айталы, телонун баштапкы орду, башкача айтканда $t = 0$ моменттеги абалы белгилүү болсун (1.5.1-сүрөттөгү A чекити). Ошол баштапкы абалга салыштырмалуу анын ушундан кийинки кайсы бир t убакыт моментиндеги абалын аныктоо талап кылынсын. Ал үчүн телонун өзүнүн баштапкы абалына салыштырмалуу кайсыл багытта, канчалык аралыкка которулганын билүү керек.

Телонун кайсыл багытта, канчалык аралыкка которулганын төмөнкүчө көрсөтөбүз: барыдан мурда, телонун баштапкы жана ушул t убакыт моментиндеги абалдарын түз сызык менен туташтырабыз (1.5.1-сүрөт). Бул кесиндинин узундугу телонун $t = 0$ убакыт моментинен баштап, t убакыт моментине чейинки мезгилде канчалык жолду басып өткөнүн эмес, канчалык аралыкка которулуп кеткенин көрсөтөт. Эгерде биз түз сызыктын ушул кесиндисинин тиешелүү учун жебе (стрелка) түрүндө белгилеп койсок, анда ал телонун (чекиттин) которулуусунун багытын да көрсөтүп калат. Демек, телонун өзүнүн баштапкы абалына салыштырмалуу каалагандай t убакыт моментиндеги абалын, ошол абалдарды туташтыруучу багытталган кесинди аркылуу берүүгө болот. Же, тескерисинче, эгерде ушундай багытталган кесинди белгилүү болсо, телонун t убакыт моментиндеги абалы, анын баштапкы абалына салыштырмалуу аныкталган болот. Мындай багытталган кесиндини, башкача айтканда телонун баштапкы жана t убакыт моментиндеги абалдарын туташтыруучу багытталган кесиндини физикада телонун *которулушу*, же жөн эле, *которулуш вектору* деп атайт.



1.5.1-сүрөт

Түз сызыктын багытталган кесиндиси физикада жана математикада вектор же вектордук чоңдук деп аталат. Аны үстүнө жебе көрсөтүлгөн тамгалар менен белгилейт. Мисалы, $\vec{a}, \vec{в}, \vec{c}$ д.у.с. векторлор (1.5.2-сүрөттү карагыла).

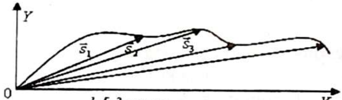


1.5.2-сүрөт

Сан менен туюнтулуучу вектордун узундугун, анын модулу деп атайт. Аны үстүндө жебеси жок, тиешелүү тамга менен белгилейт. Мисалы, $\vec{a}$ векторунун модулун a деп, д.у.с.

Демек, *которулуш* - бул телонун баштапкы жана каалагандай t убакыт моментиндеги абалын туташтыруучу вектор болуп саналат. Ал ошол телонун мурдагы ордунан t убакыты ичинде кайсыл багытта жана канчалык аралыкка которулуп кеткенин көрсөтөт.

Кандайдыр бир телонун (материалдык чекиттин) $t_1 = 1c$, $t_2 = 2c$, $t_3 = 3c$, д.у.с. убакыт аралыктарындагы которулуштары $\vec{s}_1, \vec{s}_2, \vec{s}_3$ д.у.с. белгилүү болсун. Ушул телонун кыймылын башталышы, анын баштапкы орду менен дал келген эсептөө системасына салыштырмалуу талдайлы (1.5.3-сүрөт): сүрөттөн көрүнүп тургандай, мындагы $\vec{s}_1$ вектору (тактап айтканда анын жебелүү учу) телонун t_1 убакыт моментиндеги абалын, $\vec{s}_2, \vec{s}_3 ...$ векторлору анын $t_2, t_3 ...$ убакыт моменттериндеги абалдарын көрсөтөт.



1.5.3-сүрөт

Демек, телонун ар кандай убакыт аралыктарындагы которулуштары белгилүү болсо, телонун ошол которулуштар аяктаган моменттердеги абалдарын аныктоого болот. Башка сөз менен айтканда, ар түрдүү убакыт аралыктарындагы которлуштарды табуу аркылуу, механиканын негизги маселесин чечүү мүмкүн. Которулуш түшүнүгүнүн негизги мааниси мына ушунда турат.

Суроолор жана тапшырмалар

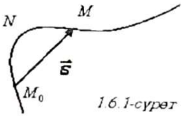
1. Которулуш жөнүндөгү түшүнүк кандай зарылдыкка байланыштуу киргизилген? Которулуш деп эмнени айтабыз?
2. Которулуш түшүнүгүнүн механиканын негизги маселесин чечүүдөгү мааниси эмнеде?
3. Жогорудагы суроолорго толук жооп берүү үчүн 1.5.3-сүрөткө таянуу менен жүргүзүлгөн талдоолорду түшүнүп окугула, аларды көз алдыңарга келтирип, элестей билгиле.

6-§. Жолдун узундугу же өтүлгөн аралык

Жогоруда айтылгандай, кыймылдагы тело артында калтыруучу үзгүлтүксүз сызыкты физикада *кыймылдын траекториясы*, же кыскача *траектория* деп атайт. Эгерде траектория түз сызык болсо, *кыймыл-түз сызыктуу*, айлана болсо, *айлана боюнча болгон кыймыл*, каалагандай ийри сызык болсо - *ийри сызыктуу кыймыл* деп белгиленет.

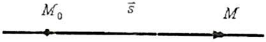
Кыймылдын траекториясы боюнча каалагандай t убакыт ичинде телонун басып өткөн аралыгын физикада *жолдун узундугу* же *өтүлгөн аралык* деп атайт.

Бул түшүнүктүн маанисине жакшырак түшүнүү максатында мисалдарга кайрылабыз. Мейли, кандайдыр бир тело (материалдык чекит) ийри сызыктуу траектория боюнча кыймылдап, t убакыт ичинде анын M_0 чекитинен M чекитине келсин (1.6.1-сүрөт). Бул телонун басып өткөн жолу траекториянын M_0NM (ийри) сызыгынын узундугуна барабар болот. Салыштыруу максатында ошол телонун t убакыты ичиндеги $\vec{s}$ которулуш векторун жүргүзөбүз (1.6.1-сүрөттү карагыла). Бул сүрөттү талдоонун негизинде ийри сызыктуу кыймыл учурунда жолдун узундугу менен которулуштун модулу барабар болбойт деген тыянакка келебиз (сүрөттү талдап, бул тыянактын тууралыгын текшергиле).



1.6.1-сүрөт

Дагы бир мисалды карайлы: тело (материалдык чекит) түз сызыктуу траектория боюнча кыймылдап, t убакыты ичинде ал M_0 чекитинен M чекитине келсин (1.6.2-сүрөт). Бул, учурда, сүрөттөн көрүнүп тургандай, жолдун узундугу менен которулуштун модулу барабар болот.



1.6.2-сүрөт

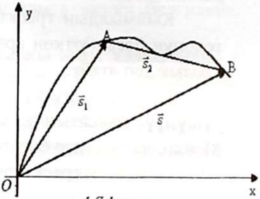
Жолдун узундугун вектордук белгиси жок s тамгасы менен белгилейт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Жолдун узундугу же өтүлгөн аралык деп эмнени айтабыз? Бул түшүнүктү киргизүүнүн зарылдыгы эмнеде?
2. Жолдун узундугу менен которулуштун модулу кандай учурларда барабар, кандай учурларда барабар эмес болушат?

7-§. Векторлор менен жүргүзүлгөн амалдар

5-§, 6-§ тарда айтылгандай, которулуш вектордук чоңдук болуп саналат. Физикада мындан башка да вектордук чоңдуктар көп, мисалы ылдамдык, күч д.у.с. Мындай чоңдуктардын маанисин, мазмунун жакшы түшүнүү үчүн векторлор менен жүргүзүлгөн амаларды билишибиз керек. Алар математикада да каралат. Биз аны которулуш векторунун мисалында талдап көрсөтөбүз.



1.7.1-сүрөт

Айталы, берилген тело кандайдыр бир траектория боюнча кыймылдап, эсептөө башталгандан $t_1 = 10c$ убакыт өткөн моментте анын A чекитине келсин. Анда телонун которулушу $\vec{s}_1$ болот (1.7.1-сүрөт). Ушул моменттен баштап $t_2 = 5c$ өткөн моментте ал тело B чекитине жеткен болсун. Бул $t_2 = 5c$ ичиндеги телонун которулушу $\vec{s}_2$ болот (которулуштун аныктамасын эсиңерге келтиргиле). Ал эми ошол телонун $t = t_1 + t_2 = 15c$ убакыты ичиндеги которулушу $\vec{s}$ болуп саналат.

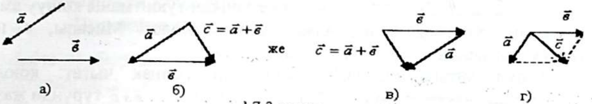
Бул айтылгандарды 1.7.1-сүрөт боюнча талдоодон улам төмөнкүдөй тыянакка келебиз: телонун $t_1 = 10c$ убакыт ичиндеги $\vec{s}_1$ жана андан кийинки $t_2 = 5c$ убакыт ичиндеки $\vec{s}_2$ которулуштарынын суммасы, анын $t = t_1 + t_2 = 15c$ убакыт ичиндеги $\vec{s}$ которулушуна барабар, башкача айтканда

$$\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$$

болот.

Демек, 1.7.1-сүрөттөн көрүнүп тургандай, эки вектордун суммасы биринчи вектордун башталышы менен экинчи вектордун учун туташтыруучу вектор болуп саналат. Векторлордун суммасын аныктоонун бул эрежесин үч *бурчтук эрежеси* деп атайт. Анын негизинде ар кандай жайгашкан векторлордун суммасын аныктоого болот. Ал үчүн биринчи вектордун учуна экинчи вектордун башталышы дал келгендей кылып, ошол экинчи векторду жарыш жылдырабыз. Андан кийин башталышы биринчи вектордун башталышы менен, ал эми учу болсо экинчи вектордун учу менен дал келгендей үчүнчү векторду жүргүзөбүз. Ушул вектор биринчи жана экинчи векторлордун суммасына барабар болот.

Бул эрежени конкреттүү мисалдарга пайдаланалы. Мейли, бизден $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорунун суммасын аныктоо талап кылынсын (1.7.2-сүрөт). Аны аныктоо үчүн $\vec{a}$ векторунун учуна $\vec{в}$ векторунун башталышы дал келгендей кылып, $\vec{в}$ векторун жарыш жылдырып



1.7.2-сүрөт

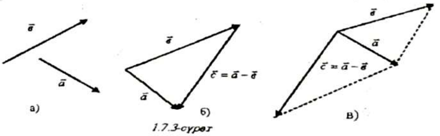
келебиз жана башталышы $\vec{a}$ векторунун башталышы, учу болсо, $\vec{в}$ векторунун учу менен дал келген үчүнчү $\vec{c}$ векторун жүргүзөбүз. Ал вектор $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорунун суммасына барабар болот (1.7.2б - сүрөттү карагыла). Ушул эле $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорунун суммасын биринчи вектор катарында $\vec{в}$, экинчи вектор катарында $\vec{a}$ векторун алуу менен да аныктоо мүмкүн (1.7.2в - сүрөт). Бул эки учурда тең натыйжа бирдей эле болот (1.7.2б - жана 1.7.2в - сүрөттөрдөгү $\vec{a}$ векторун салыштыргыла).

Эки вектордун суммасын башкача түзүү менен да аныктоого болот. Ушундай жолду жогорудагы эле $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорунун мисалында көрсөтөлү. Биз бул векторлорду алардын башталыштары дал келгендей кылып жылдыралы жана бир жагы $\vec{a}$, экинчи жагы $\vec{в}$ векторлорунан түзүлгөн параллелограммды тургузалы (1.7.2г - сүрөттү карагыла). Анан, аталган векторлордун башталышы жаткан чокусунан диогонал жүргүзөлү жана бул кесиндинин учун жебе менен белгилейли, башкача айтканда аны вектор катарында алалы. Эми, ушул алынган векторду мурда алынган $\vec{c}=\vec{a}+\vec{в}$ вектору менен салыштыралы 1.7.2б -, в -, г - сүрөттөрүндөгү $\vec{c}$ векторлорун салыштыралы). Анда параллелограммдын диагоналы катарында алынган вектор менен үч бурчтук эрежесинин негизинде алынган вектордун дал келгенин (багыттары да, модулдары да бирдей болорун) көрөбүз. Мындан эки вектордун суммасын тиешелүү параллелограммды түзүү жолу менен да аныктоого болот деген тыянакка келебиз. Векторлордун суммасын аныктоого мүмкүндүк берүүчү бул эрежени физикада жана математикада параллелограмм эрежеси деп атайт.

Ошентип, векторлордун суммасы үч бурчтук же параллелограмм эрежелеринин негизинде аныкталат деген жалпы тыянакка келдик.

Эми эки вектордун айырмасынын кантип аныкталарын карайлы.

Айталы, бизден $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорунун (1.7.3а - сүрөт) айырмасын аныктоо, башкача айтканда $\vec{c}=\vec{a}-\vec{в}$ векторун тургузуу талап кылынсын. Бул тапшырманы аткаруу үчүн, бизге белгилүү болгон төмөнкү маалыматтарды эске түшүрөбүз: 1) векторлордун суммасы үч бурчтук же параллелограмм эрежеси



1.7.3-сүрөт

менен аныкталат; 2) кемитүү амалы катышкан туюнтманы кошуу амалы катышкан туюнтма менен алмаштырууга болот. Мисалы, $4 = 10 - 6$ туюнтмасы менен $10 = 4 + 6$ туюнтмасын, д.у.с.

Ушул айтылгандардан төмөнкүдөй тыянак чыгат: коюлган тапшырманы аткаруу үчүн $\vec{c} = \vec{a} - \vec{в}$ туюнтмасын $\vec{a} = \vec{в} + \vec{c}$ түрүндө жазып, $\vec{c}$ векторун векторлорду кошуунун эрежелерин пайдалануу менен аныктоо керек. Башка сөз менен айтканда, $\vec{в}$ вектору менен кошкондо $\vec{a}$ векторун бере тургандай $\vec{c}$ векторун жүргүзүү керек. Ал үчүн: 1) $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорун өз-өзүнө жарыш жылдырып, башталыштары дал келгендей кылып жайгаштырабыз; 2) кемитүүчү $\vec{в}$ векторунун учу менен кемүүчү $\vec{a}$ векторунун учун туташтырган, кемүүчү $\vec{a}$ векторунун учу тарапка багытталган $\vec{c}$ векторун жүргүзөбүз (1.7.3б - сүрөт). Ушул вектор $\vec{a}$ жана $\vec{в}$ векторлорунун айырмасына барабар болот. Чынында эле $\vec{c}$ векторун ушундайча жүргүзгөн учурда $\vec{в}$ жана $\vec{c}$ векторлорунун суммасы $\vec{a}$ векторуна барабар болору 1.7.3б- сүрөтүнөн көрүнүп турат.

Эгерде биз параллелограмм эрежесинен пайдалангыбыз келсе, бир жагы кемитүүчү $\vec{в}$ вектору, диагоналы кемүүчү $\vec{a}$ вектору боло тургандай параллелограмм тургузабыз жана анын экинчи жагын вектор түрүндө көрсөтүү менен $\vec{c}$ векторун аныктайбыз (1.7.3в - сүрөтүн карагыла). Мында дагы $\vec{в}$ жана $\vec{c}$ векторлорунун суммасынын $\vec{a}$ векторуна барабар болору көрүнүп турат.

Векторду скалярга көбөйтүү. Физикада вектордук чоңдукту, мисалы $\vec{a}$ векторун, скалярдык чоңдукка, мисалы k скалярына (санына) көбөйткөн учурлар көп кездешет. Мындай амалды векторду скалярга көбөйтүү деп атайт. $\vec{a}$ векторун k скалярына көбөйтүүнүн натыйжасында $k\vec{a}$ вектору алынат. Бул вектордун багыты, эгерде $k > 0$ болсо $\vec{a}$ векторунун багыты менен дал келет, ал эми $k < 0$ болсо, анын багытына карама-каршы багытталган болот. Модулу болсо, $\vec{a}$ векторунун модулу менен k скалярынын (санынын) көбөйтүндүсүнө барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар

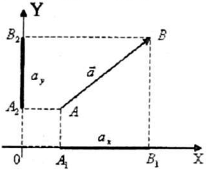
1. Векторлорду кошуунун үч бурчтук эрежесин 1.7.1-сүрөтүнүн негизинде түшүндүргүлө.
2. Бири-бирине перпендикуляр жайгашкан, биринин модулу экинчисинен 2 эсе чоң болгон эки вектордун суммасын жана айырмасын үч бурчтук жана параллелограмм эрежелеринен пайдалануу менен түзүп көрсөткүлө.
3. Бири-бирине паралелль жайгашкан, бирдей багытталган, биринин модулу экинчисиникинен 2 эсе чоң болгон эки вектордун суммасын аныктагыла. Эгерде ушул векторлор карама-каршы багытталышкан болсо, алардын суммасынын эмнеге барабар болорун көрсөткүлө.
4. Эки вектордун модулдары барабар, бирок багыттары бирдей эмес. Ушул векторлорду барабар деп айтууга болобу?
5. Векторду 2ге көбөйтүүнүн натыйжасында эмнени алабыз? 3кө көбөйтсөчү?

8-§. Вектордун координата окторундагы проекциялары. Проекциялар менен жүргүзүлгөн амалдар

5-§та белгиленгендей, телонун ар түрдүү убакыт аралыктарындагы которулуштарын табуу аркылуу механиканын негизги маселесин чечүүгө болот. Бул ишти аткаруу үчүн которулуш векторунун тиешелүү октордогу проекцияларын аныктай билүү зарыл. Ошондуктан бул параграфта векторлордун координат окторундагы проекцияларын аныктоону карайбыз.

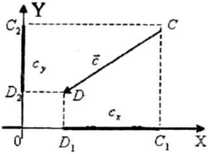
Мейли, бизге XOY координаттар системасынын тегиздигинде жаткан $\vec{a}=\overrightarrow{AB}$ вектору берилсин. Ал вектордун башталыш A жана бүтүш B чекиттеринен OX огуна перпендикулярларды тургузабыз (1.8.1-сүрөттү карагыла). Бул перпендикуляр сызыктардын OX огу менен кесилишкен A_1 жана B_1 чекиттеринин ортосунда камалган A_1B_1 кесиндисин $\vec{a}=\overrightarrow{AB}$ векторунун OX огундагы проекциясы деп атайт.

Ошол эле $\vec{a}=\overrightarrow{AB}$ векторунун A жана B чекиттеринен OY огуна перпендикуляр сызыктарды тургузабыз. Бул сызыктардын ок менен кесилишкен A_2 жана B_2 чекиттеринин ортосунда камалган A_2B_2 кесиндиси $\vec{a}=\overrightarrow{AB}$ векторунун OY огундагы проекциясы болот.



1.8.1-сүрөт

1.8.2-сүрөттө көрсөтүлгөн $\vec{c}=\overrightarrow{CD}$ векторунун проекцияларын көрсөтөбүз. Ал үчүн анын C жана D чекиттеринен OX жана OY окторуна перпендикуляр сызыктарды жүргүзөбүз. Анда C_1D_1 кесиндисинин узундугу берилген вектордун OX огундагы, C_2D_2 кесиндиси ал вектордун OY огундагы проекциясы болот.



1.8.2-сүрөт

Вектордун координат окторундагы проекциялары ошол вектор белгиленген тамга менен эле белгиленет. Бирок анын үстүнө жебе көрсөтүлбөйт, себеби ал скалярдык чоңдук болот. Ошол вектор проекцияланып жаткан ок, ал тамганын индексинде көрсөтүлөт. Мисалы $\vec{a}$ векторунун OX огундагы проекциясы a_x, OY огундагы проекциясы a_y деп, $\vec{c}$ векторунун ошол октордогу проекциялары тиешелүү түрдө c_x жана c_y деп белгиленет.

$\vec{a}=\overrightarrow{AB}$ (1.8.1-сүрөт) жана $\vec{c}=\overrightarrow{CD}$ (1.8.2-сүрөт) векторлорунун OX жана OY окторунундагы проекцияларынын салыштырып талдайлы. $\vec{a}=\overrightarrow{AB}$ векторунун проекциясын туюнткан a_x кесиндинин баштапкы A_1 чекитинен, кийинки B_1 чекитине өтүү үчүн октун багыты боюнча жылуу керек (1.8.1-сүрөт). Ал эми $\vec{c}=\overrightarrow{CD}$ векторунун проекциясын туюнткан c_x кесиндисинин баштапкы C_1 чекитинен кийинки D_1 чекитине өтүү үчүн октун багытына карама-каршы багытта жылуу керек (1.8.2-сүрөт).

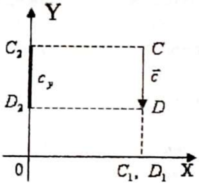
Бул фактыларды айырмалоо үчүн физикада жана математикада $\vec{a}$ векторунун проекциясы a_x , A_1B_1 кесиндисинин оң («+») белги менен алынган узундугуна, ал эми $\vec{c}$ векторунун проекциясы c_x, C_1D_1, кесиндисинин терс («-») белги менен алынган узундугуна барабар болот деп жазуу кабыл алынган, башкача айтканда

$$a_x = A_1B_1; c_x = -C_1D_1$$

Ушулар сыяктуу эле $a_y = A_2B_2, c_y = -C_2D_2$ болот.

Бул айтылгандардан төмөндөкүдөй тыянакка келебиз: кандайдыр бир вектордун тигил же бул октогу проекциясын табуу үчүн анын башталыш жана бүтүш чекиттеринен ошол окко перпендикуляр сызыктарды жүргүзөбүз. Эгерде октун биринчи перпендикуляр менен кесилишкен чекитинен экинчи перпендикуляр менен кесилишкен чекитине өтүү үчүн октун багыты боюнча жылыш керек болсо, вектордун проекциясы октогу ушул чекиттер менен чектелген кесиндинин оң белги менен алынган узундугуна барабар болот. Ал эми мындай өтүү үчүн октун багытына карама-каршы багытта жылуу керек болсо, анда вектордун проекциясы тиешелүү кесиндинин терс белги менен алынган узундугуна барабар болот.

Ушул, тыянакты пайдаланып, 1.8.3-сүрөтүндө көрсөтүлгөн $\vec{c}=\overrightarrow{CD}$ векторунун координат окторундагы проекцияларын аныктайлы.



1.8.3-сүрөт

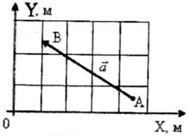
Анын OX огундагы проекциясы нөлгө барабар: $c_x = 0$. Анткени ал вектордун башталыш C чекитинен түшүрүлгөн перпендикуляр дагы, анын бүтүш D чекитинен түшүрүлгөн перпендикуляр дагы OX огу менен бир эле чекитте кесилишет, демек C_1 жана D_1 чекиттери дал келишет. Бул учурда C_1 D_1 деген кесинди жок, же анын узундугу нөлгө барабар.

Ал эми бул вектордун OY огундагы проекциясы $c_y = -C_2D_2$ болот. 1.8.3-сүрөттөн көрүнүп тургандай C_2D_2 кесиндисинин узундугу $\vec{c} = \overrightarrow{CD}$ векторунун модулуна тең.

Демек, эгерде вектор координата огуна перпендикуляр болсо, анын бул октогу проекциясы нөлгө барабар болот. Ал эми вектор координата огуна параллель жайгашса, анда бул вектордун ушул октогу проекциясы анын «+» (эгерде вектор менен октун багыты дал келсе), же «-» (эгерде вектор менен октун багыты карама-каршы болсо) белгиси менен алынган модулуна барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Вектордун координат огундагы проекциясы деп эмнени айтабыз?
2. Вектордун проекциясы вектордук чондукбу же скалярдыкбы?
3. Вектордун координат огундагы проекциясынын сан мааниси жана белгиси кандайча аныкталат?
4. 1.8.4-сүрөттө көрсөтүлгөн $\vec{a} = \overrightarrow{AB}$ векторунун координат окторундагы проекцияларын аныктагыла.
5. Вектордун кандай октогу проекциясы анын «+» белгиси менен аныкталган модулуна, кандай октогу порекциясы «-» белгиси менен алынган модулуна, кандай октогу проекциясы нөлгө барабар болот?



1.8.4-сүрөт

9-§. Механиканын негизги маселесин чечүүдө которулуш векторунун проекциясын аныктоонун мааниси

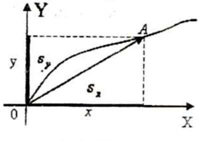
Мейли, баштапкы моментте 0 чекитинде болгон тело (материалдык чекит) кандайдыр бир траектория боюнча кыймылдап, эсептөө башталгандан t убакыты өткөн моментте анын A чекитине келсин (1.9.1-сүрөт). Телонун ушул абалын аныктоо талап кылынсын.

Ал үчүн $\vec{s}$ которулуш векторун жүргүзүп, аны эсептөө системасынын окторуна проекциялайбыз. Бул проекцияларды A чекитинин координаттары менен салыштырып,

$$x = s_x, \; y = s_y \qquad (1.9.1)$$

болору жөнүндөгү тыянакка келебиз (1.9.1- сүрөттү карагыла).

Демек, телонун которулуш векторунун проекциялары белгилүү болсо, анын абалын (1.9.1) формуласы менен аныктоого болот, (Эгерде телонун кыймылы, башталышы анын баштапкы орду менен дал келген эсептөө системасына салыштырмалуу каралган болсо).



1.9.1-сүрөт

Эми телонун кыймылын, башталышы

анын баштапкы орду менен дал келбеген эсептөө ситемасына салыштырмалуу изилдейли. Бул учурда дайыма телонун ошол эсептөө системасына салыштырмалуу баштапкы абалы, башкача айтканда анын убакыттын $t=0$ моментиндеги координаталары берилген болот.

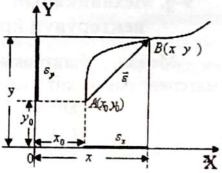
Айталы, убакыттын баштапкы $t=0$ моментинде XOY эсептөө системасына салыштырмалуу $A(x_0,y_0)$ абалында турган тело (материалдык чекит) кандайдыр бир траектория боюнча кыймылдап, t убакыт өткөн моментте $B(x,y)$ абалына келсин. Телонун ушул абалын, башкача айтканда анын t убакыт моментиндеги абалын түюнтуучу x, y координаталарын аныктоо талап кылынсын (1.9.2- сүрөт).

Бул маселени чечүү өчүн, мурдагы маселедегидей эле, $\vec{s}$ коорулуш векторунун жүргүзөбүз жана аны эсептөө системасынын окторуна проекциялайбыз. Бул проекциялардын A жана B чекиттеринин координаталары менен болгон байланышын 1.9.2-сүрөттүн негизинде талдап,

$$x = x_0 + s_x$$
$$y = y_0 + s_y \tag{1.9.2}$$

болору жөнүндөгү тыянакка келебиз.

Демек, телонун тандап алынган эсептөө системасына салыштырмалуу баштапкы абалы жана ар кандай t убакыт аралыгындагы которулушарынын проекциялары белгилүү болсо, (1.9.2) формуласынын негизинде анын ар кадай t убакыт моментиндеги абалдарын аныктоого болот. Башка сөз менен айтканда, телонун ар кандай убакыт аралыктарындагы которулуштарынын тиешелүү эсептөө системасынын окторундагы проекциялары белгилүү болсо, анын кыймылы үчүн механиканын негизги маселесинин чечими (1.9.2) формуласынын жардамы менен табылат. Механиканын негизги маселесин чечүүдөгү которулуш векторунун проекциясын аныктоонун мааниси ушунда, ал аркылуу механиканын негизги маселеси чечилет.



1.9.2-сурөт

Суроолор жана тапшырмалар.

1. (1.9.1) - жана (1.9.2) - сүрөттөрдү талдап түшүнгүлө. Алардын жалпылыгын жана айырмачылыгын талдагыла.
2. (1.9.1) жана (1.9.2) формулалары, тиешелүү эсептөө системасына салыштырмалуу механиканын негизги маселесинин чечимин түюнтат деп деп айттык. Эмне үчүн?

Кыймылда болгон телонун (материалдык чекиттин) убакыттын ар кандай моментиндеги координаталарын (демек, абалдарын) аныктап, механиканын негизги маселесин чечүү үчүн которулуш векторунун тиешелүү эсептөө системасынын окторундагы проекцияларын билүү керек (9-§ты карагыла). Демек, бул максаттагы башкы аракет которулуш векторунун проекцияларын аныктоого жумшалыш керек.

Механиканын негизги маселесин чечүүнү, кыймылдын эң жөнөкөй моделин тандап алып, аны изилдөөнүн жүрүшүндө көргөзөбүз.

Кыймылдын эң жөнөкөйү болуп түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл эсептелет. Биз ушундай кыймылды, демек кыймылдын ушундай моделин изилдейбиз.

10-§. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл жана анын ылдамдыгы

Мейли, биринчиден, материалдык чекит (тело) түз сызыктуу траектория боюнча кыймылдасын; экинчиден, ал убакыттын ар кандай барабар аралыгында, мисалы, ар бир $\Delta t = 2c$ убакыт ичинде бирдей которулуш жасасын (2.10.1-сүрөт). Мындай кыймылды түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл деп атайт.

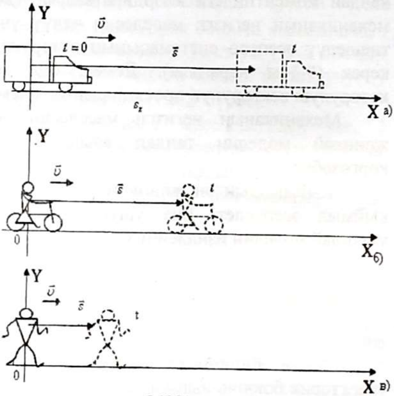
2.10.1-сурөт

Мисал катарында төмөнкүдөй телолордун ушундай кыймылдарын карап, аларды салыштыралы. Автомобилист, велосипедчен киши жана жөө киши түз сызыктуу жол менен бир калыпта баратышсын. Бул телолордун кайсынысынын болсо да кыймылын изилдөө үчүн тиешелүү эсептөө системасын тандап алуу керек. Мындай эсептөө системасынын башталышы үчүн, биз ошол телонун кыймылын байкоого алалы деп, убакыт моментин белгилеген кезибиздеги, башкача айтканда убакыттын баштапкы моментиндеги ээлеген ордун (абалын) алабыз. Ал эми анын бир огу үчүн кыймыл жүргөн түз сызык боюнча багытталган окту, экинчиси үчүн бул окко перпендикулярдуу жүргүзүлгөн окту алабыз.

Айталы, убакыттын баштапкы моментинде телолор теңелишип, бир жерге келип калышкан болсун (2.10.2-сүрөт).

Биз $t=0$ моментинен баштап кандайдыр бир t убакыты өткөндөн кийинки телолордун абалдарын белгилейли да, ушул убакыт ичиндеги алардын аткарган которулуштарын салыштыралы.

Бул телолор бири – биринен озуп кетишет жана бирдей эле убакыт ичинде алар түрдүүчө которулуштарды жасашат (2.10.2-сүрөттү карагыла).



2.10.2-сүрөт

Биз башталышында бардык телолорду түз сызыктуу жол менен бир калыпта баратсын, башкача айтканда алардын бардыгы түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келишсин деп шарт койгон элек. Эми ушул шарт менен акыркы айтылган фактыны бирге талдасак, төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келебиз : түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдардын бардыгы бирдей болушпайт, мындай кыймылдар бири–биринен которулуштарынын тездиги менен айырмаланышат. Биз кыймылдын мына ушул касиетин мүнөздөй турган түшүнүктү физикага киргизишибиз керек.

Мындай түшүнүктү физикада түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы деп атайт. Анын эмнеге барабар болорун туюнткан формуланы негиздеп жазуу үчүн биз дагы жогорудагы мисалга кайрылабыз. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келген автомобилист ошондой эле кыймылдагы велосипедчен кишиге караганда ылдамыраак жүргөндүктөн, демек ылдамдыгы чоңураак болгондуктан, бирдей эле убакыт ичинде узагыраак жолду басып өтөт, башкача айтканда чоңураак аралыкка которулат. Демек, бирдей эле убакыт ичинде кайсыл тело чоңураак аралыкка которулса, башкача айтканда чоңураак которулуш жасаса ошол телонун ылдамдыгы чоңураак болот. Мындан ылдамдык менен которулуш түз көз карандылыкта болушат деген тыянакка келебиз.

Жогорудагы эле мисалды башкачарак тандайлы. Түз сызыктуу бир калыпта кыймылга келишкен автомобилист менен велосипедчен киши бирдей аралыкка которуулары керек болсун. Анда автомобилист бул аралыкка велосипедчен кишиге караганда азыраак убакыт ичинде которулат. Демек, бирдей эле аралыкка кайсыл тело азыраак убакыт ичинде которулса ошол телонун ылдамдыгы чоңураак болот. Башкача айтканда ылдамдык менен убакыт тескери көз карандылыкта болушат.

Ушинтип, түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгын төмөнкү формула менен туюнтса болот деген тыянакка келебиз:

$$\vec{\upsilon} = \frac{\vec{s}}{t} \qquad (2.10.1)$$

Мында $\vec{\upsilon}$ - түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы; $\vec{s}$ - телонун t убакыт ичиндеги которулушу; t – телонун ушундай которулушу үчүн кеткен убакыт аралыгы.

Демек, ылдамдык кыймылдын тездигин жана багытын мүнөздөгөн вектордук чоңдук. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы которулуш векторунун, ошол которулуш аткарылган убакыт аралыгына болгон катышына барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл деп кандай кыймылды айтабыз? Кандай максатта мындай кыймыл каралып жатат?
2. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы эмнени мүнөздөйт, ал эмнеге барабар?
3. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы түшүнүгүнүн киргизилишине кандай фактылар түрткү берди? Анын аныктамасын туюнткан формула кандайча талкуунун негизинде жазылды?

11-§. Ылдамдыктын багытын жана сан маанисин аныктоо

Жогоруда белгиленгендей ылдамдык - бул вектордук чоңдук. Ошондуктан ылдамдыктын анык болушу үчүн анын багыты да, сан мааниси да белгилүү болушу керек. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгынын багытын аныктоо үчүн (2.10.1) формуласына кайрылабыз. Андагы $\vec{s}$ вектордук, ал эми t скалярдык чоңдук. Бул формуланы $\vec{\upsilon} = \frac{1}{t}\vec{s}$ деп жазып алууга, башкача айтканда теңдеменин оң жагын скаляр менен вектордун көбөйтүндүсү катарында жазып алууга болот. Математикадан белгилүү болгондой, скаляр менен вектордун көбөйтүндүсү да вектор болуп саналат (9-§ты карагыла). Эгерде скаляр нөлдөн чоң болсо баштапкы жана кийинки векторлордун багыттары бирдей, ал эми нөлдөн кичине болсо ал векторлордун багыттары карама – каршы болушат.

Айтылган формуладагы t саны (скаляры) дайыма нөлдөн чоң болот (анткени убакыт дайыма оң маанини алат). Ошондуктан түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы дайыма которулуштун багыты менен дал келет деген тыянакка келебиз.

Ар кандай вектордук чоңдук сан мааниге эле эмес, багытка да ээ болот. Ошондуктан вектор түрүндө жазылган формулалар тиешелүү чоңдуктардын сан мааниси жөнүндөгү маалыматтарды эле эмес, алардын багыттары жөнүндөгү маалыматтарды да камтыйт. Ушул себептен улам тигил же бул чоңдуктун сан маанисин эсептөө үчүн вектор түрүндө жазылган формуланы пайдаланууга болбойт. Бул максатта жалаң скалярдык чоңдуктар катышкан формуладан гана пайдалануу керек. Демек, чоңдуктардын сан маанисин эсептөө үчүн вектор түрүндө жазылган формулаларды скаляр түрүнө келтирип алуу зарыл.

Математикадан белгилүү болгондой (10-§ты карагыла) вектордун тиешелүү координата окторундагы проекциялары скалярдык чоңдук болушат. Демек вектор түрүндө жазылган формуланы скаляр түрүнө келтирүү үчүн андагы векторлорду тиешелүү координата окторундагы проекциялары менен алмаштыруу керек.

Ушул айтылгандарды түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн, мисалы, жогоруда сөз болгон автомобилисттин кыймылы үчүн пайдаланабыз (2.10.2-сүрөт). Эсептөө системасынын, айталы ox огуна (2.10.1) формуласындагы векторлорду проекциялап, скаляр түрүндө жазылган төмөнкү формуланы алабыз:

$$\upsilon_x = \frac{s_x}{t} \qquad (2.11.1)$$

Мында υ_x $-OX$ огундагы ылдамдыктын, s_x- ошол эле октогу которулуштун проекциялары.

Эгерде ылдамдыктын проекциясы белгилүү болсо, которулуштун проекциясын (2.11.1) формуласынан табабыз :

$$s_x = \upsilon_x t \qquad (2.11.2)$$

Ылдамдык жана которулуш векторлорунун OX огундагы проекциялары υ_x жана s_x ал векторлордун модулуна барабар болушат. Анткени алардын багыттары аталган октун багыты менен дал келет. Ал эми ылдамдыктын модулу түз сызыктуу траектория боюнча бир калыпта аткарылган кыймылдын ылдамдыгына, которулуштун модулу ошол траектория боюнча өтүлгөн жолдун узундугуна тең болот. Демек, түз сызыктуу траектория боюнча бир калыпта аткарылган кыймылдын ылдамдыгы ошол траекторияны бойлото багытталган координат огундагы ылдамдык векторунун, ал эми мындай кыймыл кезиндеги өтүлгөн жолдун узундугу ошол эле октогу которулуш векторунун проекциясына барабар. Эгерде бул учурдагы ылдамдык υ, өтүлгөн жол s менен белгиленсе (2.10.2) формуласы төмөнкү түргө келет :

$$\upsilon = \frac{s}{t} \tag{2.11.3}$$

Демек берилген траектория боюнча бир калыпта кыймылдаган телонун ылдамдыгы кандайдыр бир убакыт аралыгындагы өтүлгөн жолдун узундугунун ошол убакыт аралыгына болгон катышына барабар болот.

Эгерде ушундай кыймыл кезиндеги телонун ылдамдыгы белгилүү болсо анын каалагандай убакыт ичиндеги басып өткөн жолунун узундугун табуу үчүн (2.11.3) формуласынын төмөнкү түрүнөн пайдаланабыз :

$$s = \upsilon t \tag{2.11.4}$$

Биз жогоруда чоңдуктардын сан маанисин эсептөө үчүн скаляр түрүндө жазылган формулалардан пайдалануу зарыл деп белгиледик эле. Жогорудагы (2.11.1)-(2.11.4) формулалары скалярдык формулалар. Демек, ылдамдыктын, которулуштун, жолдун узундугунун сан маанилерин эсептөө үчүн ушул формулалардан пайдалануу керек.

Физикалык чоңдуктарды сан мани жагынан баалоо үчүн алардын бирдигин да билүү зарыл. Ошондуктан биз эми ылдамдыктын бирдигин аныктоо жөнүндө сөз кылабыз.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Ылдамдык векторунун багыты кандайча аныкталат?
2. Физикалык чоңдуктун сан маанисин аныктоо үчүн бул чоңдук вектор түрүндө катышкан формулаларды пайдаланууга болобу? Эмне үчүн?
3. Вектор түрүндө жазылган формулалар скаляр түрүнө кандайча келтирилет?
4. (2.11.1) жана (2.11.3), (2.11.2) жана (2.11.4) формулаларын салыштырып талдагыла, алардын айырмасы, жалпылыгы эмнеде экенин түшүндүргүлө.

12-§. Физикадагы негизги жана туунду бирдиктер. Ылдамдыктын бирдиги

Физикада бирдиктерди негизги жана туунду бирдиктер деп экиге бөлөт. Негизги бирдиктерге узундуктун (которулуштун) жана убакыттын бирдиктери кирет (башка негизги бирдиктер менен убагы келгенде таанышабыз). Негизги бирдиктер башка бирдиктерден көз карандысыз аныкталат жана башка чоңдуктардын бирдиктерин аныктоо үчүн колдонулат. Туунду бирдиктер болсо буга чейин белгилүү болгон башка бирдиктер аркылуу аныкталат.

Ылдамдыктын бирдигинин мисалында туунду бирдиктерди аныктоонун жолун көрсөтөбүз.

Айталы, тело түз сызык боюнча бир калыпта кыймылдап $1c$ убакыт ичинде $1м$ жолду басып өтсүн. Ушул маанилерди (2.11.3) формуласына коюп, бул учурдагы ылдамдыкты аныктайбыз :

$$[\upsilon]=\frac{1м}{1c}=1\frac{м}{c}$$

Ушул $1м/c$га барабар болгон ылдамдык ылдамдыктын бирдиги үчүн кабыл алынат. Башкача айтканда ылдамдыктын бирдиги үчүн 1с ичинде 1м жолду басып өткөн түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы кабыл алынат. Ар кандай ылдамдыктар ушул бирдикке салыштырып бааланат. Мисалы, эгерде тело 1 секундада 5м жолду өтсө анын ылдамдыгы $5м/c$, 3 секундада 9м жолду өтсө ылдамдыгы $3м/c$ болот.

Ылдамдыктын бул бирдигин физикада «метр секундасына» деп атайт жана аны «$м/c$» деп белгилейт.

Аталган бирдик ылдамдыктын СИ системасындагы бирдиги. Физикада жана техникада ылдамдыктын мындан башка да бирдиктери пайдаланылат: $1км/c$, $1км/саат$, $1см/c$ д.у.с. Бирок маселе чечүүдө булардын бардыгын СИ системасына келтирип алуу керек.

Ушинтип, туунду бирдиктерди аныктоо үчүн тиешелүү чоңдуктун аныктоосун чагылдырган скаляр түрүндөгү формуланы тандап алып, ага жогорудагыдай талкуу жүргүзүү керек.

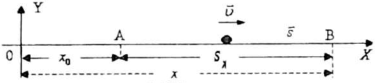
Суроолор жана тапшырмалар

1. Негизги жана туунду бирдиктер деп кандай бирдиктерди айтабыз?
2. Туунду бирдиктер кандайча аныкталат?
3. Ылдамдыктын СИ системасындагы бирдиги эмнени түшүндүрөт?
4. Телонун ылдамдыгы $7м/c$ га барабар дегендик эмнени түшүндүрөт?

13-§. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечилиши

Ушул баптын башталышында айтылган ойго кайрылып, түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин кандайча чечиле турганын карайлы.

Кандайдыр бир тело түз сызык боюнча $\vec{\upsilon}$ (же υ_x) ылдамдыгы менен кыймылдасын. Биз анын кыймылын изилдейли деп убакытка караган мезгилибизде, башкача айтканда эсептөөнүн башталышында ($t=0$ моментинде) ал координатасы $x_0=OA$ болгон чекиттен өтүп бараткан болсун (2.13.1-сүрөт). Телонун ушундан баштап каалагандай t убактысы өткөн моменттеги абалын, башкача айтканда $x = OB$ координатасын аныктоо талап кылынсын.



2.13 1-сүрөт

Маселенин шарты боюнча материалдык чекит (тело) тандап алынган XOY эсептөө системасына салыштырмалуу t убактысы ичинде A абалынан B абалына которулган. Тиешелүү которулуш векторунун OX огундагы проекциясын s_x деп белгилеп алалы. Анда, чиймеден көрүнүп тургандай, биз издеген x координатасы x_0 менен s_x тин суммасына барабар болот :

$$x = x_0 + s_x \qquad (2.13.1)$$

(Бул теңдеме менен (1.9.2) теңдемесин салыштырып талдагыла).

Бул теңдемедеги s_x ти (2.11.2) формуласынан пайдаланып, υ_x менен туюнтабыз. Анда

$$s_x = \upsilon_x t \qquad (2.13.2)$$

болот.

Эми (2.13.1) формуласындагы s_x тин ордуна (2.13.2) туюнтмасын коебуз. Анда берилген материалдык чекиттин t убакыт моментиндеги абалын аныктоого мүмкүндүк берүүчү төмөндөгү теңдемени алабыз :

$$x = x_0 + \upsilon_x t \qquad (2.13.3)$$

Эгерде ушул теңдемедеги x_0 жана υ_x белгилүү болсо, анда убакытка ар кандай маани берип, x тин тиешелүү маанилерин аныктоого, башкача айтканда убакыттын каалагандай моментиндеги чекиттин абалын аныктоого болот. Мисалы $t = 0$ кезинде $x = x_0$; $t = 1{,}5c$ моментинде $x = x_0 + 1{,}5\upsilon_x$; $t = 3c$ моментинде $x = x_0 + 3\upsilon_x$ д.у.с.

Демек, түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы белгилүү болсо (2.13.3) теңдемесинин жардамы менен материалдык чекиттин убакыттын каалаган моментиндеги абалын аныктоого болот. Башка сөз менен айтканда (2.13.3) теңдемеси, берилген кыймыл үчүн *механиканын негизги маселесинин чечими* болуп саналат. Ошондуктан ал тендемени физикада «*түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын теңдемеси*» деп атайт.

Биз ушинтип, түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн механиканын негизги маселесин чечтик.

Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келген материалдык чекиттин (телонун) траектория боюнча басып өткөн жолунун узундугу анын которулушунун кыймылдын багыты боюнча багытталган октогу проекциясына барабар болот (2.13.1-сүрөттү карагыла), башкача айтканда $s = s_x$. (2.13.1) же (2.13.2) формулаларын эске алып, өтүлгөн жолдун узундугун туюнткан формулаларды табабыз :

$$s = x - x_0 \text{ же } s = \upsilon t \tag{2.13.3}$$

Суроолор жана тапшырмалар

1. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечилиш жолун талдап түшүнгүлө.
2. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын теңдемесин жазгыла. «Кыймылдын теңдемеси» деген түшүнүккө аныктама бергиле.
3. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл кезиндеги телонун траектория боюнча басып өткөн жолунун узундугу кандайча аныкталат?

III Бап. ТҮЗ СЫЗЫКТУУ БИР КАЛЫПТА ЭМЕС КЫЙМЫЛДАР

Механиканын негизги маселесин чечүү үчүн кыймылдын жөнөкөй түрлөрүн, моделдерин талдап, ошолорго мүнөздүү болгон ыкмаларды пайдаланышыбыз зарыл деп айттык эле. Ушуга байланыштуу мурдагы главада материалдык чекиттин түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын изилдеп, негизги маселенин чечимин таптык. Бирок мындай кыймыл сейрек кездешет. Кыймылы изилденүүчү телолор өзүнүн жолунун кичинекей гана бөлүгүндө түз сызыктуу жана бир калыпта кыймылдашы мүмкүн. Көбүнчө алардын ылдамдыгы өзгөрүлмөлүү болот. Өзгөрүлмөлүү ылдамдыкка ээ болгон кыймылды физикада бир калыпта эмес кыймыл деп атайт. Бул главада биз ушундай, бир калыпта эмес кыймылды, түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймылдын мисалында изилдеп үйрөнөбүз.

14-§. Бир калыпта эмес кыймылдын ылдамдыгы

1. Орточо ылдамдык

Мейли, автобус бири-биринен 100*км* аралыкта жайгашкан эки шаардын ортосундагы жолду 2*саатта* басып өтсүн. Мындай маалыматты укканда биз автобус орточо 50*км*/*саат* ылдамдык менен жүрүптүр деп калабыз. Бул учурда автобустун бир калыпта жүрбөгөндүгү өзүнөн өзү түшүнүктүү: ал ылдамдыгын аялдамалардан, светофору бар жолдордун кесилишинен жылганда улам көбөйтүп, аларга жакындаганда азайтып отурат; өр тартып баратканда улам акырындап, эңкейишке келгенде ылдамдап кыймылдайт. Бул биринчиден. Экинчиден, айтылгандай жол деги эле түз сызыктуу болбойт. Ушундай болсо да биз бул кыймылды түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл деп элестеп, анын ылдамдыгын ушундай кыймылдын ылдамдыгын аныктаган сыяктуу аныктадык: которулуштун модулун ошол которулуу болуп өткөн убакыт аралыгына бөлдүк.

Демек, өтө тактыкты талап кылбаган эсептөөлөрдө телонун кыймылынын траекториясын, же траекториясынын белгилүү участогун түз сызык деп, ал эми ошол участоктогу телонун кыймылын бир калыпта деп алууга болот. Натыйжада берилген телонун кыймылынын ылдамдыгын түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгы сыяктуу аныктоонун мүмкүндүгү түзүлөт.

Ушундайча аныкталган ылдамдыкты физикада орточо ылдамдык деп атайт. Демек, траекториянын түз сызык деп алынган участогундагы орточо ылдамдыкты төмөнкүчө аныктоого болот:

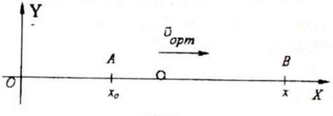
$$\vec{\upsilon}_{орт} = \frac{\vec{s}}{t} \tag{3.14.1}$$

Мында $\vec{s}$ - траекториянын түз сызык деп алынган участогундагы которулуш вектору; t – баштапкы моменттен, ошол которулуш аткарылганга чейинки кеткен убакыт аралыгы (интервалы).

Демек, түз сызыктуу да, бир калыпта да эмес кыймылга келген телонун кыймыл ылдамдыгы жөнүндө сөз болгондо, анын орточо ылдамдыгын аныктап, кыймыл тездигин ошого жараша баалоого болот. Бул учурда, биринчиден, кыймылдын траекториясы, же анын белгилүү участогу түз сызык катарында алынат. Экинчиден, ошол траекториядагы, же анын участогундагы кыймыл бир калыпта деп эсептелинет. Телонун ушундай шартта аныкталган которулушунун, ошол которулуу аткарылганга кеткен убакыт аралыгына болгон катышы телонун орточо ылдамдыгы катарында алынат.

2. Кирпик каккычактагы ылдамдык

Орточо ылдамдык жөнүндөгү түшүнүктү турмушка байланышкан, практикалык маанидеги маселелерди чыгарууда пайдаланса болот. Бирок аны бир калыпта эмес кыймыл үчүн механиканын негизги маселесин чечүүдө колдонуу мүмкүн эмес. Башка сөз менен айтканда, аны пайдалануу менен телонун ар бир убакыт моментиндеги абалын аныктоого болбойт. Бул фактынын мазмунун конкреттүү мисалды талдоонун жүрүшүндө ачып көрсөтөлү.



3.14.1-сүрөт

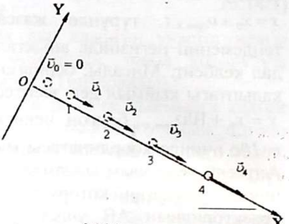
Убакыттын баштапкы моментинде XOY эсептөө системасына салыштырмалуу координатасы x_0 болгон A чекитинде турган тело, түз сызыктуу траектория боюнча бир калыпта эмес, улам ылдамдатылган кыймылга келсин. Кандайдыр бир t убакыты өткөн моментте ал траекториянын B чекитине жетсин (3.14.1-сүрөт). Траекториянын AB бөлүгүндөгү анын орточо ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_{орт}$ болсун. Ушул телонун кыймылы үчүн механиканын негизги маселесин чечүүнү максат кылып коелу.

Бул маселеде телонун орточо ылдамдыгы жөнүндө сөз кылуу менен, биз траекториянын АВ бөлүгүндөгү анын түз сызыктуу бир калыпта эмес кыймылын, ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_{орт}$ болгон түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл менен алмаштырдык. Мындай кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечиминин кандай түрдө болору бизге белгилүү (13-§). Аны эске алуу менен маселеде сөз болгон телонун кыймылы үчүн механиканын негизги маселесинин чечимин $x = x_0 + \upsilon_{орт,x}\, t$ түрүндө жазсак болор эле. Бирок телонун бул теңдеменин негизинде аныкталган абалы, анын чыныгы абалы менен дал келбейт. Мисалы, берилген телонун кыймылын түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл деп эсептесек, ал $t=10с$ моментинде координатасы $x = x_0 + 10\upsilon_{орт,x}$ болгон чекитке келмек. Ал эми, тело чындыгында $t=10с$ ичинде координатасы мындан кичинерек болгон чекитке жетет. Анткени тело улам ылдамдап кыймылдагандыктан, анын биринчи $10с$ ичинде аткарган которулушуна туура келген орточо ылдамдыгы, траекториянын АВ участогундагы орточо ылдамдыгына караганда кичине болот. Демек, орточо ылдамдыкты пайдаланып бир калыпта эмес кыймыл үчүн механиканын негизги маселесин чечүүгө, башкача айтканда телонун убакыттын каалагандай моментиндеги абалын аныктоого мүмкүн эмес.

Бул мисалдан дагы бир маанилүү тыянак чыгат: орточо ылдамдык жөнүндө сөз болгондо анын траекториянын кайсыл участогу үчүн, же канчалык убакыт ичинде аткарылган которулуш үчүн мүнөздүү болорун кошо көрсөтүү керек. Мисалы, $t_1=0,2с$ моментинен $t_2=0,7с$ моментине чейинки убакыт аралыгында аткарылган которулушка туура келген орточо ылдамдык, $t_3=0,3с$ моментинен $t_4=0,6с$ моментине (ошондой эле $t_5=0,4с$ моментинен $t_6=0,5с$ моментине, $t_7=0,44с$ моментинен $t_8=0,46с$ моментине д.у.с.) чейинки убакыт аралыктарына туура келген орточо ылдамдыктарга барабар болбойт. Ар бир убакыт аралыгында аткарылган которулуш үчүн өзүнүн орточо ылдамдыгын көрсөтүү керек. Убакыт аралыгы канчалык кичине тандап алынса, изилдөө ошончулук так болот. Эгерде талдоону ушундайча уланта берсек, анда убакыттын чексиз кичине аралыгында аткарылган чексиз кичине которулушка туура келген орточо ылдамдык жөнүндө сөз кылууга болот. Анда мындай орточо ылдамдык, убакыттын берилген моментиндеги, же траекториянын берилген чекитиндеги ылдамдыкты берип калат. Аны физикада ***кирпик каккычактагы же көз ирмемдеги*** ылдамдык деп атайт.

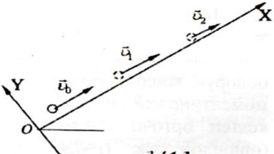
Демек, траекториянын берилген чекитиндеги же убакыттын берилген моментиндеги телонун ылдамдыгы анын кирпик каккычактагы (же көз ирмемдеги) ылдамдыгы деп аталат. Бул ылдамдык дагы вектордук чоңдук. Түз сызыктуу кыймыл кезинде ал ошол түз сызык боюнча багытталат.

Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл кезинде ылдамдык турактуу болгондуктан анын багыты да, сан мааниси да убакыттын өтүшү менен өзгөрүлбөйт. Траекториянын бардык чекиттериндеги телонун ылдамдыктары, башкача айтканда телонун ошол чекиттердеги кирпик каккычактагы ылдамдыктары бирдей болот. Ал түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгына барабар.



3.14.2-сүрөт

Бир калыпта эмес кыймыл учурунда телонун кирпик каккычактагы ылдамдыгы өзгөрүлүп турат. Мисалга кайрылалы: кичинекей шарик (материалдык чекит) жантык беттен төмөн көздөй түз сызык боюнча кыймылдап баратсын (3.14.2-сүрөт). Анын 1, 2, 3 ж.у.с. чекиттердеги кирпик какычактагы ылдамдыктары барабар болбойт, ар бир кийинки чекиттеги кирпик каккычактагы ылдамдыгы мурдагыларына караганда модулу боюнча чоңурак болот: $\upsilon_{1x} < \upsilon_{2x} < \upsilon_{3x} \cdots$. Ал эми белгилүү маанидеги баштапкы ылдамдыкка ээ болгон шарик түз сызык боюнча жантык беттен жогору көздөй кыймылдап бараткан болсо, анын ар бир кийинки чекиттеги кирпик каккычактагы ылдамдыгы модулу боюнча, мурдагыларга караганда кичине болот: $\upsilon_{0x} > \upsilon_{1x} > \upsilon_{2x} \cdots$ (3.14.3-сүрөт).



3.14.3-сүрөт

Бул мисалдарды талдоодон улам төмөндөгүдөй да тыянакка келебиз: бир калыпта эмес кыймылдарды изилдөө үчүн, барыдан мурда, кирпик каккычактагы ылдамдыктардын убакыттын өтүшү менен кандайча өзгөрөрүн билүү, мындай өзгөрүүнү мүнөздөй турган чоңдукту киргизүү зарыл. Бул ишти аткаруу үчүн биз бир калыпта эмес кыймылдардын эң жөнөкөй түрүн – ***түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү*** кыймылды карайбыз.

Суроолор жана тапшырмалар

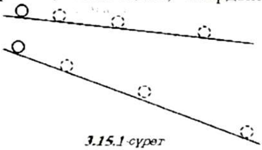
1. Орточо ылдамдык деп кандай чоңдукту айтабыз? Ал кандайча аныкталат?
2. Кирпик каккычактагы ылдамдык деген эмне? Ал кандайча аныкталат?
3. Орточо ылдамдык жана кирпик каккычактагы ылдамдык жөнүндөгү түшүнүктөрдүн кандайча берилгенин талдап окугула, тиешелүү кубулуштарды көз алдыңарга келтиргиле.

15-§. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл. Ылдамдануу

(3.14.2)- жана (3.14.3)-сүрөттөрдө келтирилген кыймылдар түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга мисал боло алышат. Эки учурда тең түз сызыктуу траектория боюнча кыймылдаган шариктердин кирпик каккычактагы ылдамдыктары бир калыпта өзгөрүлөт, башкача айтканда убакыттын ар бир кийинки барабар аралыктарында алардын кирпик каккычактагы ылдамдыктарынын мааниси бирдей чоңдукка өзгөрөт. Мындай кыймылдарды физикада түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдар деп атайт.

Демек, убакыттын ар кандай барабар аралыгында ылдамдыгы бирдей чоңдукка өзгөрүлгөн кыймылды ***бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл*** деп атайт. Мындай кыймылдын эки түрү бар: бир калыпта ылдамдатылган (3.14.2-сүрөт) жана бир калыпта акырындатылган (3.14.3-сүрөт).

Төмөнкү мисалды талдайлы. Жантайыш бурчтары түрдүүчө болгон эки жантык тегиздиктен шариктерди жарыштырып бош кое берели (3.15.1-сүрөт). Байкап турсак булардын бирөөнүн, чоңурак бурчка жантайган тегиздикте кыймылдаган шариктин, озуп кеткенин көрөбүз. Көңүл бөлөлү: биринчиден, убакыттын башталышында экөөнүн тең ылдамдыгы нөлгө барабар эле; экинчиден, алардын кыймылы бир мезгилде башталды; үчүнчүдөн, эки шарик тең түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келишти. Ушундай болсо да шариктердин бири озуп кетти. Аны кантип түшүндүрүүгө болот? Бул суроого бир маанидеги гана жооп бар: озуп кеткен шариктин ылдамдыгы берки шариктин ылдамдыгына караганда тезирек чоңоет. Демек, берилген түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдар бири-биринен ылдамдыктарынын өзгөрүшүнүн тездиктери менен айырмаланышат. Биз эми кыймылдын мына ушул касиетин мүнөздөөчү жаңы чоңдукту, түшүнүктү киргизишибиз керек.



3.15.1-сүрөт

Бул максатта дагы бир мисалга кайрылабыз (ылдамдык жөнүндөгү түшүнүктүн кандайча аныкталганы туурасында айтылган маалыматтарды эстегиле: 10-§).

Мейли, бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келген телонун, мисалы, $t_1=1c$ моментиндеги ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_1$, $t_2=4c$ моментиндеги ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_2$ болсун. Анда убакыттын (t_2-t_1) аралыгындагы ылдамдыктын өзгөрүшү $(\vec{\upsilon}_2-\vec{\upsilon}_1)$ге барабар болот. Ылдамдыктын өзгөрүшүнүн тездигин мүнөздөөчү биз аныктай турган жаңы чоңдук ылдамдыктын ушундай өзгөрүшү менен түз көз карандылыкта болушу керек. Анткени берилген убакыт аралыгындагы ылдамдыктын өзгөрүшү чоң дегендик ылдамдыктын өзгөрүү тездиги чоң дегендикке жатат. Физикада биз аныктай турган бул жаңы түшүнүктү ***«ылдамдануу»*** деп атайт. Демек, ылдамдануу берилген убакыт аралыгындагы ылдамдыктын өзгөрүшү менен түз көз карандылыкта болот.

Мисалды эми башкача мазмунда талдайлы. Айталы, бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдагы телонун ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_1$ ден $\vec{\upsilon}_2$ ге өзгөрүүсү үчүн бир учурда, мисалы *t=5с*, экинчи учурда *t=7с* убакыт кетсин. Бул учурлардын кайсынысында ылдамдыктын өзгөрүү тездиги, башкача айтканда кыймылдын ылдамдануусу чоң? Албетте, биринчи учурда: ылдамдыктын $(\vec{\upsilon}_2-\vec{\upsilon}_1)$ өзгөрүүсү канчалык аз убакытта жүрсө, анын өзгөрүү тездиги, демек ошол кыймылдын ылдамдануусу ошончолук чоң болушу керек. Демек, ылдамдануу ылдамдыктын $(\vec{\upsilon}_2-\vec{\upsilon}_1)$ өзгөрүүсүнө кеткен убакыт аралыгы менен тескери көз карандылыкта болот. Ушул талдоолордун негизинде төмөндөкүдөй тыянакка келебиз. Ылдамдануунун мазмунун чагылдырган формуланы төмөнкү түрдө жазуу мүмкүн, ылдамданууну «$\vec{a}$» деп белгилөө менен

$$\vec{a}=\frac{\vec{\upsilon}_2-\vec{\upsilon}_1}{t_2-t_1} \qquad (3.15.1)$$

Мында $\vec{\upsilon}_2$ жана $\vec{\upsilon}_1$ - телонун t_2 жана t_1 убакыт моменттериндеги кирпик каккычактагы ылдамдыктары. $(\vec{\upsilon}_2-\vec{\upsilon}_1)$ - ылдамдыктын өзгөрүшү; (t_2-t_1)- ылдамдыктын ушундай өзгөрүшүнө кеткен убакыт аралыгы.

Демек, ылдамдануу ылдамдыктын өзгөрүшүнүн тездигин мүнөздөйт. Бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдын ылдамдануусу ылдамдыктын өзгөрүшүнүн ошол өзгөрүш болуп өткөн убакыт аралыгына болгон катышына барабар болот.

Эгерде эсептөө $t_1=0$ моментинен башталса (3.15.1) формуласын төмөнкүдөй жазууга болот:

$$\vec{a}=\frac{\vec{\upsilon}-\vec{\upsilon}_0}{t} \qquad (3.15.2)$$

Мында $\vec{\upsilon}_0$ жана $\vec{\upsilon}$ - баштапкы жана t убакыт моментиндеги ылдамдыктар. t - ылдамдыктын $(\vec{\upsilon}-\vec{\upsilon}_0)$ - өзгөрүшүнө кеткен убакыт аралыгы.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл деп кандай кыймылды айтабыз? Мындай кыймылдын кандай түрлөрү бар?
2. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдын ылдамдануусу эмнени мүнөздөйт? Ал эмнеге барабар?
3. Ылдамдануу түшүнүгүнүн киргизилишине кандай фактылар түрткү берди ? Анын аныктамасы кандайча берилди?
4. (3.15.1) жана (3.15.2) формулаларын негиздеп жазгыла.

16-§. Ылдамдануунун багытын жана сан маанисин аныктоо. Ылдамдануунун бирдиги

Математикадан белгилүү болгондой, векторлордун айырмасы да вектор болот (7-§ты карагыла). Ошондуктан (3.15.1) же (3.15.2) формуласынан көрүнүп тургандай ылдамдануу да вектордук чоңдук (11-§тагы ылдамдыктын вектордук чоңдук боло тургандыгы жөнүндөгү талкууну карагыла). Анын багыты ылдамдыктын багыты боюнча эмес, $\Delta\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0$ векторунун багыты боюнча багытталат.

Эгерде кыймыл түз сызыктуу бир калыпта ылдамдатылган болсо, ылдамдануунун багыты ылдамдыктын, башкача айтканда кыймылдын багыты менен дал келет. Ал эми бир калыпта акырындатылган кыймыл учурунда ылдамдануунун багыты кыймылдын багытына карама-каршы багытталат (3.15.2 формуласын талдагыла).

Мурда айтылгандай (11-§) физикалык чоңдуктун сан маанисин эсептөөдө вектор түрүндө жазылган формуланы пайдаланууга болбойт. Ошондуктан ылдамданууну сан маани жактан талдоо үчүн (3.15.2) формуласын төмөнкүдөй скаляр түрүндө жазып алабыз (вектордук формулаларды скаляр түрүндө келтирүү жөнүдөгү маалымат дагы 11-§ та берилген).

$$a_x = \frac{\upsilon_x - \upsilon_{ox}}{t} \qquad (3.16.1)$$

Мында a_x - ылдамдануунун *OX* огундагы проекциясы; υ_{ox} жана υ_x - кирпик каккычактагы ылдамдыктардын (баштапкы жана t убакыт моментиндеги ылдамдыктардын) *OX* огундагы проекциялары (*OX* огу баштапкы ылдамдык $\vec{\upsilon}_o$ дун багыты боюнча багытталган).

Ылдамдануунун жана кирпик каккычактагы ылдамдыктардын сан маанилерин эсептөөгө байланышкан маселелерди чечүүдө (3.16.1) формуласынан пайдаланабыз.

Эми ылдамдануунун бирдигин аныктайлы. Бул максатта ылдамдануунун аныктоосун туюнткан скаляр түрүндөгү (3.16.1) формуласына кайрылабыз (12-§ты карагыла).

Мейли, бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга ээ болгон телонун ылдамдыгы *t=1с* ичинде *1м/с* га өзгөрүлсүн. Ушул маанилерди (3.16.1) формуласына коюп, бул учурдагы ылдамдануунун сан маанисин аныктайбыз:

$$a = \frac{1м/с}{1с} = 1м/с^2$$

1м/с^2 ылдамдануунун СИ системасындагы бирдиги үчүн кабыл алынат, демек ылдамдануунун бирдиги үчүн ылдамдыгы *1с* ичинде *1м/с* га өзгөргөн бир калыпта өгөрүлмөлүү кыймылдын ылдамдануусу кабыл алынат. Бул бирдикти физикада ***«метр секунд квадрат»*** деп атайт жана аны ***м/с***$^{\mathbf{2}}$ деп белгилейт.

Эгерде телонун ылдамдыгы секундасына, мисалы, *5м/с* га өзгөрсө, анын ылдамдануусу *5м/с*^{2}, *3с* ичинде *9м/с* га өзгөрсө, ылдамдануусу *3м/с*^{2} барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар

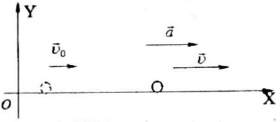
1. Ылдамдануунун багыты жана чоңдугу кандайча аныкталат?
2. Ылдамдануунун биридиги үчүн эмне кабыл алынган? Ал кандай бирдик – негизгиби же туундубу? Негизги жана туунуду бирдиктердин айырмасы эмнеде? Туунду бирдиктер кантип аныкталат?

17-§. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдын кирпик каккычактагы жана орточо ылдамдыктарын аныктоо

Жогоруда белгиленгендей, биздин түпкү максатыбыз болуп, түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл үчүн механиканын негизги маселесин чечүү, башкача айтканда телонун ар бир убакыт моментиндеги абалын аныктоого мүмкүндүк берүүчү теңдемесин жазуу эсептелет.

Бул ишти аткаруу үчүн, барыдан мурда, берилген ылдамдануу менен кыймылдаган телонун кирпик каккычактагы ылдамдыктарын аныктоого мүмкүндүк берүүчү теңдемени келтирип чыгарышыбыз зарыл. Ушул коюлган маселени конкреттештирип алалы.

1-маселе. Мейли, баштапкы ылдамдыгы $\vec{v}_o$ болгон тело $\vec{a}$ ылдамдануусу менен түз сызыктуу траектория боюнча кыймылга келсин. Анын *t* убакыт моментиндеги ылдамдыгын аныктоону максат кылып коелу.



3.17.1-сүрөт

Бул маселени чечүү үчүн, барыдан мурда, *OX* огу $\vec{\upsilon}_o$ векторунун багыты боюнча багытталган эсептөө системасын тандап алабыз (3.17.1-сүрөт). Ушул эсептөө системасына салыштырмалуу телонун көз ирмемдеги ылдамдыгын (3.15.2) формуласынын негизинде аныктайбыз. Анда

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_o + \vec{a}t \tag{3.17.1}$$

болот.

Бул теңдемедеги векторлорду эсептөө системасынын *OX* огуна проекциялап, кирпик каккычактагы ылдамдыктардын сан маанисин эсептөөгө мүмкүндүк берүүчү төмөнкүдөй скаляр түрүндөгү формуланы алабыз:

$$\upsilon_x = \upsilon_{ox} + a_x t \tag{3.17..2}$$

Демек, эгерде телонун баштапкы ылдамдыгы жана ылдамдануусу белгилүү болсо убакыттын каалаган моменттериндеги анын ылдамдыктарын, башкача айтканда телонун кирпик каккычактагы ылдамдыктарын (3.17.1), (3.17.2) формулаларынын жардамы менен аныктоого болот.

Дагы бир маселени талдайлы.

2-маселе. Мейли, түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келген телонун баштапкы ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_o$, ушундан t убакыты өткөн моменттеги ылдамдыгы $\vec{\upsilon}$ болсун. Телонун ушул убакыт аралыгындагы орточо ылдамдыгын табалы.

Мындай кыймыл учурунда ылдамдык бир калыпта өзгөрүлөт. Бир калыпта өзгөрүлгөн чоңдуктун орточо мааниси, анын баштапкы жана акыркы маанилеринин суммасынын жарымына барабар болот. Ушул эрежени эске алып, орточо ылдамдыкты табабыз:

$$\vec{\upsilon}_{\text{орт}} = \frac{\vec{\upsilon}_o + \vec{\upsilon}}{2} \tag{3.17.3}$$

Мындагы векторлорду эсептөө системасынын *OX* огуна проекциялап, орточо ылдамдыкты скаляр түрүндө аныктайбыз:

$$\upsilon_{\text{орт},x} = \frac{\upsilon_{ox} + \upsilon_x}{2} \tag{3.17.4}$$

Демек, түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келген телонун t убакыты ичиндеги орточо ылдамдыгы анын баштапкы жана t убакыт моменттериндеги ылдамдыктарынын суммасынын жарымына барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келген телонун ар кандай убакыт моментиндеги кирпик каккычактагы ылдамдыгы кандайча аныкталат?

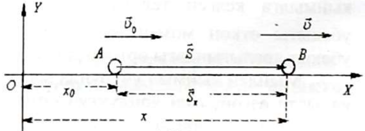
2. Мындай кыймыл учурундагы телонун орточо ылдамдыгы эмнеге барабар? Бул ылдамдык телонун баштапкы жана t убакыт моментиндеги ылдамдыктары менен кандайча байланышкан?

3. Биринчи жана экинчи маселелердин шартын талдап, өз алдыңарча чыгарууга үйрөнгүлө. Андагы физикалык талдоолорду көз алдыңарга келтиргиле.

18-§. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечилиши. Кыймыл теңдемеси

Мурдагы параграфтарда айтылып келаткан ойго кайрылып, түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин кандайча чечиле турганын карайлы.

Маселе. Мейли, баштапкы ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_o$ болгон тело $\vec{a}$ ылдамдануусу менен түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келсин. OX огу $\vec{\upsilon}_o$ ылдамдыгынын багыты менен дал келген эсептөө системасына салыштырмалуу телонун баштапкы координатасы x_0 болсун (3.18.1-сүрөт). Анын ар кандай убакыт моментиндеги координатасын (абалын) аныктоого мүмкүндүк берүүчү теңдемени жазуу, демек телонун түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылы үчүн механиканын негизги маселесин чечүү талап кылынсын.



3.18.1-сүрөт

Маселени чечүү максатында өзүбүзчө төмөнкүдөй шарт коебуз: эсептөө башталгандан кандайдыр бир t убакыты өткөн моментте тело траекториянын B чекитине келсин. Анын XOY эсептөө системасындагы координатасы x болсун. Биз телонун мына ушул, каалагандай тандалып алынган x координатасын аныкташыбыз керек.

9-§ жана 13-§тарда көрсөтүлгөндөй, телонун (материалдык чекиттин) мындай координатасын аныктоо үчүн анын которулуш векторунун проекциясын билүү керек. Ошондуктан берилген телонун которулуш векторун жүргүзүп, аны эсептөө системасынын огуна проекциялайбыз (3.18.1-сүрөттү карагыла). Бул сүрөттөн көрүнүп тургандай,

$$x = x_0 + s_x \tag{3.18.1}$$

болот.

Демек, маселени чечүү үчүн чынында эле s_xти маселенин шартында берилген чоңдуктар менен туюнтушубуз зарыл. Ушул s_x которулушу аткарылган убакыт аралыгындагы орточо ылдамдык төмөнкүгө барабар болот:

$$\upsilon_{орт,x} = \frac{s_x}{t} \tag{3.18.2}$$

(3.17.4) дү эске алуу менен бул формуладан s_x ти табабыз:

$$s_x = \frac{\upsilon_{ox} + \upsilon_x}{2} \cdot t \tag{3.18.3}$$

Мындагы υ_x тин ордуна анын (3.17.2) формуласы менен туюнтулган маанисин коюп, төмөнкүнү алабыз:

$$s_x = \upsilon_{ox} t + \frac{a_x t^2}{2} \tag{3.18.4}$$

Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл кезиндеги которулуштун мааниси ушул формуланын жардамы менен аныкталат. Аны (3.18.1) теңдемесине коюп кыймылы изилденип жаткан телонун координатасын табабыз:

$$x = x_0 + \upsilon_{ox} t + \frac{a_x t^2}{2} \tag{3.18.5}$$

Ушинтип, биз алдыбызга коюлган маселени чечтик.

Эгерде x_o, υ_{ox}, a_x белгилүү болсо, убакытка ар кандай маани берип, бул теңдеменин негизинде x тин тиешелүү маанилерин аныктоого, башкача айтканда убакыттын каалагандай моментиндеги телонун абалын аныктоого, демек механиканын негизги маселесин чечүүгө болот. Ошондуктан (3.18.5) теңдемесин физикада ***«Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдын теңдемеси»*** деп атайт.

Акырында түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келген телонун басып өткөн жолун кантип аныктоого болорун карайлы.

Түз сызыктуу траектория боюнча кыймылга келген телонун басып өткөн жолунун узундугу s анын которулуш векторунун ошол траекторияны бойлото багытталган ox огундагы s_x прекциясына же телонун координаталарынын x-x_0 айырмасына барабар (13-§ ты жана 3.18.1-сүрөттү карагыла). Ошондуктан телонун түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл кезиндеги басып өткөн жолунун узундугун (3.18.4) же (3.18.5) теңдемелеринин негизинде келип чыгуучу төмөнкү формуланын жардамы менен аныктоого болот:

$$s = \upsilon_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2} \qquad (3.18.6)$$

Суроолор жана тапшырмалар

1. Текстте берилген маселенин шартын талдагыла жана аны өз алдынарча чыгарып үйрөнгүлө.
2. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл учурундагы которулуштун проекциясы кантип аныкталат? Траектория боюнча өтүлгөн жолдун узундугучу? Бул чоңдуктардын кандай жалпы жактары жана айырмачылыктары бар?
3. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечимин кайсыл теңдеме туюнтат? Бул теңдемени эмне себептен механиканын негизги маселесинин чечимин туюнтат деп айтабыз?
4. Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келген телонун координатасын (башкача айтканда ушундай кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечимин), которулушунун проекциясын, жолунун узундугун жана кирпик каккычактагы ылдамдыгын туюнткан формулаларды (3.17.2, 3.18.4, 3.18.5, 3.18.6 формулаларын) түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн жазгыла.

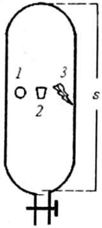
19-§. Телолордун эркин түшүшү. Эркин түшүүнүн ылдамдануусу

Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдын табиятта кездешкен мисалы болуп телолордун эркин түшүшү эсептелет.

Өзүнчө бош кое берилген телолордун бардыгы Жерге түшөрү белгилүү. Жогору ыргытылган телолор да көтөрүлүп барып, кайра Жерге түшүшөт. Бул кубулуштар Жердин тартуу аракетинин бар экенин, башкача айтканда телолорго Жер тарабынан тартуу күчү таасир эте турганын көрсөтөт.

Кадимки шарттардагы байкоолордон улам белгилүү болгондой, ар түрдүү телолор Жерге ар түрдүүчө түшүшөт. Мисалы, кичинекей эле таш бир үзүм пахтага, мыжыга кармалган бир барак кагаз жазы абалында турган бир барак кагазга, парашюту ачыла элек спортсмен парашюту ачык бараткан спортсменге караганда тезирээк түшөт. Мында айтылган телолорго Жер менен катар аба дагы аракет жасайт, аларга Жердин тартуу күчү менен биргеликте абанын каршылык күчү жана архимеддик күч таасир этет.

Биз Жердин гана тартуу аракетинин натыйжасында телолордун кандайча түшөрүн тажрыйбада көрсөтүүнү максат кылып коелу. Мындай түшүүнү физикада телолордун ***эркин түшүүсү*** деп атайт. Телолордун эркин түшүүсүн изилдөө үчүн, аларды абанын аракетин эске албай кое тургандай шартта таштап көрүү керек. Мындай тажрыйбаны ичине бытыра, пробка жана тооктун бир тал канаты салынган, узундугу 1 метрдей келген, бир учу туюкталган, ал эми экинчи учуна кран орнотулган калың айнек түтүгүнүн жардамы менен төмөнкүдөй тажрыйбаны жүргүзүүгө болот (3.19.1-сүрөт). Түтүктүн краны аркылуу анын ичиндеги абаны насос менен сордурабыз жана кранды жаап, түтүктү тик абалга келтиребиз. Бул учурда телолордун бардыгы түтүктүн түбүнө жайгашкан болот. Ушундан кийин түтүктү тез ала салдырабыз. Анда аталган телолордун бардыгынын бирдей түшкөнүн көрөбүз. Бул факт эркин түшкөн телолордун бардыгы бирдей ылдамдануу менен түшө турганын көрсөтөт. Мындай ылдамданууну, башкача айтканда эркин түшкөн телолордун ылдамдануусун физикада ***«Эркин түшүүнүн ылдамдануусу»*** деп атайт жана аны *g* тамгасы менен белгилейт (*g* – латын тилиндеги ***«gravitas - оордук»*** деген сөздүн баш тамгасы).



3.19.1-сүрөт

Эркин түшүү кубулушун XVIII кылымдын башталышында италиялык окумуштуу Галилео Галилей изилдеген. Ал эркин түшүүнүн бир калыпта ылдамдатылган кыймыл болорун, анын ылдамдануусунун тик ылдый көздөй бағытталарын көрсөткөн жана анын модулунун $9,81 м/с^2$ ка барабар болорун далилдеген.

Демек, эркин түшүүнүн ылдамдануусу вертикалдуу төмөн көздөй багытталат, анын модулу болжолдуу түрдө $9,8 м/с^2$ ка барабар. Башка сөз менен айтканда, эркин түшкөн телонун ылдамдыгынын модулу ар секунда сайын $9,8 м/с$ ка чоңоюп отурат. Мисалы, бешинчи кабаттагы үйдүн балконунда туруп колубуздагы ташты бош кое берели. Анда ал $g = 9,8 м/с^2$ ылдамдануусу менен эркин түшөт жана анын кыймыл башталгандан кийинки $1с$ өткөн моменттеги ылдамдыгы $9,8 м/с$ га, $2с$ өткөн моменттеги ылдамдыгы $19,6 м/с$ га барабар болот.

Бул мисалда биз таштын абадагы түшүүсүн эркин түшүү деп атадык. Чыныда бул туура эмес. Анткени ташка Жер менен катар аба дагы аракет жасайт. Бирок абанын аракети Жердин тартуу аракетине караганда өтө эле кичине болот. Ошондуктан абанын аракетин эске албай коюп, таштын же болот шаригинин д.у.с. телолордун абадагы түшүүсүн эркин түшүү катарында кароо мүмкүн. Мындай мисалдарды биз дагы көп кездештиребиз.

Суроолор жана тапшырмалар

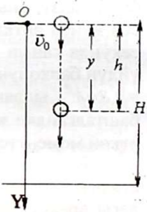
1. Эркин түшүү деп кандай кыймылды айтабыз?
2. Эркин түшүүнүн ылдамдануусу кандай багытталган, анын модулу эмнеге барабар?
3. Спортсмендин парашюту ачыла элек кездеги түшүүсүн эркин түшүү деп алса болобу? Парашюту ачылгандан кийинки түшүүсүнчү?
4. Эгерде телого баштапкы ылдамдык берилген болсо анын эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу өзгөрөбү?

20-§. Эркин түшүү үчүн механиканын негизги маселесинин чечилиши. Эркин түшүүнүн кыймыл теңдемеси

Мындай чечимди аныктоону жана аны талдоону төмөнкү маселени чыгарып көрүү менен ишке ашырабыз.

Маселе. Жердин бетинен H бийиктигинде турган тело вертикалдуу төмөн көздөй $\vec{\upsilon}_0$ ылдамдыгы менен ыргытылган. Ушул телонун кыймылын биринчи учурда башталышы ошол телонун баштапкы орду менен дал келген, огу болсо тик ылдый көздөй багытталган, экинчи учурда башталышы бийиктиктин негизинде жаткан, огу тик өйдө көздөй багытталган эсептөө системаларына салыштырмалуу карап, төмөнкүлөрдү тапкыла: а) ушул эсептөө системаларына салыштырмалуу телонун кыймыл теңдемелерин жазгыла; б) ыргытылгандан кийинки t убактысы ичинде телонун канчалык бийиктикке түшөрүн, ушул убакыт моментинде анын кандай ылдамдыкка ээ болорун аныктагыла.

Маселени чечүү үчүн, баарыдан мурда, аны талдайбыз: телого вертикалдуу төмөн көздөй багытталган $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы берилген. Ал эркин түшөт. Ошондуктан телонун кыймылы түз сызыктуу бир калыпта ылдамдатылган кыймыл болуп саналат.



3.20.1-сүрөт

Ушундай талдоонун жүрүшүндө бизде төмөнкүдөй ой пайда болот: маселени чечүү үчүн түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмө кыймылдын теңдемесинен пайдаланышыбыз керек.

Бул ойду ишке ашыруу максатында, баарыдан мурда, маселеде көрсөтүлгөндөй, биринчи эсептөө системасын тандап алабыз (3.20.1-сүрөттү карагыла). Андан кийин ушул эсептөө системасына салыштырмалуу түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдын теңдемесин жалпы түрүндө жазабыз (3.18.5-формуланы карагыла):

$$y = y_0 + \upsilon_{oy} t + \frac{g_y t^2}{t^2} \qquad (3.20.1)$$

Маселенин шарты боюнча $y_0 = 0$; $\upsilon_{oy} = \upsilon_0$; $g_y = g$. Буларды эске алсак, (3.20.1) теңдемеси төмөнкү түргө келет:

$$y = \upsilon_o t + \frac{gt^2}{2} \qquad (3.20.2)$$

(3.20.2) теңдемеси берилген эсептөө системасына салыштырмалуу эркин түшүү кыймылынын теңдемеси болуп саналат. Анын жардамы менен телонун ар кандай убакыт моментиндеги координатасын, башкача айтканда абалын аныктоого болот.

Эми каалагандай t убактысы ичинде телонун баштапкы ордунан канчалык бийиктикке түшөрүн, же канчалык жолду басып өтөрүн аныктайбыз. Бул бийиктикти физикада h тамгасы менен белгилейт. $h = s = y - y_0$ болорун эске алып, аны (3.20.2) теңдемесин пайдалануу менен табабыз:

$$h = \upsilon_o t + \frac{gt^2}{2} \qquad (3.20.3)$$

Эркин түшкөн телонун каалагандай t убакыт моментиндеги ылдамдыгын, башкача айтканда кирпик каккычактагы ылдамдыгын аныктайбыз. Ал үчүн (3.17.2) формуласын эркин түшүү үчүн жазабыз.

$$\upsilon_y = \upsilon_{oy} + g_y t$$

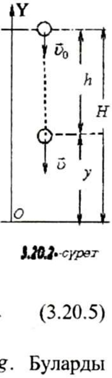
Шарт боюнча $\upsilon_{oy} = \upsilon_o$, $g_y = g$. Эркин түшүү кезиндеги көз ирмемдеги ылдамдыкты υ деп белгилеп алсак, анда

$$\upsilon = \upsilon_o + gt \qquad (3.20.4)$$

формуласын алабыз. Баштапкы ылдамдык υ_o жана эркин түшүүнүн ылдамдануусу g белгилүү болгондуктан (3.20.4) формуласынын жардамы менен ар кандай убакыт моментиндеги телонун ылдамдыгын аныктоого болот.

Ушул эле маселени башка эсептөө системасын пайдалануу менен чечели. Анын башталышы үчүн бийиктиктин негизин, огу үчүн тик өйдө көздөй багытталган окту алалы (3.20.2-сүрөттү карагыла, аны 3.20.1-сүрөт менен салыштыргыла).

Маселени чыгаруу үчүн ушул эсептөө системасына салыштырмалуу түз сызыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймылдын теңдемесин жалпы түрүндө жазуу керек:



3.20.2-сүрөт

$$y = y_0 + \upsilon_{oy} t + \frac{g_y t^2}{2} \qquad (3.20.5)$$

Маселенин шарты боюнча $y_0 = H;$ $\upsilon_{oy} = -\upsilon_o;$ $g_y = -g$. Буларды эске алсак, (3.20.5) теңдемеси төмөнкү түргө келет.

$$y = H - \upsilon_o t - \frac{gt^2}{2} \qquad (3.20.6)$$

Бул кийинки эсептөө системасына салыштырмалуу эркин түшүү кыймылынын теңдемеси. Анын жардамы менен телонун берилген эсептөө системасына салыштырмалуу ар кандай убакыт моментиндеги координатасы, абалы аныкталат.

(3.20.2) жана (3.20.6) бир эле телонун ар түрдүү эсептөө системаларына салыштырмалуу кыймылдарынын теңдемелери.

Телонун баштапкы ордунан t убактысы ичинде түшкөн бийиктигин аныктайлы. (3.20.2) сүрөттөн көрүнүп тургандай

$$h = H - y \tag{3.20.7}$$

Мындагы y тин ордуна анын (3.20.6) теңдемеси менен аныктала турган маанисин коюп, төмөнкүнү алабыз:

$$h = \upsilon_o t + \frac{gt^2}{2}. \tag{3.20.8}$$

Телонун ар кандай убакыт моментиндеги ылдамдыгын аныктоо үчүн (3.17.2) жалпы формуласын ушул маселе үчүн жазабыз:

$$\upsilon_y = \upsilon_{oy} + g_y t$$

Шарт боюнча $\upsilon_y = -\upsilon, \quad \upsilon_{oy} = -\upsilon_o, \quad g_y = -g$. Ошондуктан бул формуладан

$$\upsilon = \upsilon_o + gt \tag{3.20.9}$$

болору келип чыгат.

(3.20.2) жана (3.20.6), (3.20.3) жана (3.20.8), (3.20.9) жана (3.20.9) теңдемелерин тиешелеш салыштырып, төмөнкүдөй тыянакка келебиз: бир эле телонун кыймылы түрдүү эсептөө системаларына салыштырмалуу изилдениши мүмкүн. Бул учурларда кыймыл теңдемелери түрдүүчө жазылат. Бирок ылдамдыктарды, жолдун узундуктарын аныктоо боюнча жыйынтыктар бирдей болот. Бул факт маселе чечүү кезинде тиешелүү эсептөө системасын шартка жараша каалагандай тандап алууга болорун көрсөтөт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Эркин түшкөн телонун тандап алынган эсептөө системасына салыштырмалуу координатасы кандайча аныкталат?
2. Эркин түшкөн телонун түшүү бийиктиги кандайча аныкталат? Кирпик каккычактагы ылдамдыгычы?
3. Параграфта берилген маселенин чыгарылыш жолун маселе чыгарып жаткан кишинин көз карашы менен талдагыла. Анын кандай иштерди аткарганын бөлүп көрсөтүүгө аракеттенгиле.

IV Бап. КЫЙМЫЛДАРДЫ ГРАФИКТИК УСУЛ МЕНЕН ИЗИЛДӨӨ

Биз мурдагы главаларда түз сызыктуу бир калыптагы жана бир калыпта өзгөрмөлүү кыймылдарды карадык. Мындай кыймылдарга келген телолордун ар кандай убакыт моменттериндеги абалдарын аныктоого мүмкүндүк берүүчү теңдемелерди келтирип чыгардык. Бул максатта ылдамдык, ылдамдануу түшүнүктөрүн киргиздик жана аларды формула түрүндө бердик.

Эгерде тигил же бул физикалык кубулуштун касиеттери теңдемелер же формулалар түрүндө чагылдырылса, ал кубулуш аналитикалык усул (метод) менен изилденди деп айтылат. Демек, жогоруда айтылган кыймылдарды талдоодо биз аналитикалык усулду пайдаланганбыз.

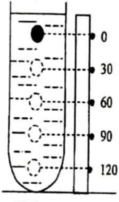
Физикалык кубулуштардын касиеттерин тиешелүү графиктердин жардамы менен чагылдырууга да болот. Мындай учурда графиктик усул пайдаланылды деп айтылат.

Биз бул главада түз сызыктуу бир калыптагы жана бир калыптагы өзгөрмөлүү кыймылдарды графиктик усул менен изилдөөнү карайбыз.

21-§. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылды график түрүндө көрсөтүү

1. Кыймылдын графиги

Глицерин же машинанын майы менен толтурулган узун айнек түтүгүнө болот шаригин таштап жиберели. Анда ал башталышында ылдамдап кыймылдаганы менен азырак аралыкты басып өткөндөн кийин эле бир калыптагы кыймылга ээ болуп, аны улантат. Башкача айтканда ушул моменттен баштап шарик түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келет.



4.21.1-сүрөт

Шариктин ушундай кыймылын тажрыйбада изилдейли. Ал үчүн секундомерди же метрономду[1] пайдаланып, түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл башталгандан кийинки ар бир бешинчи секундадагы шариктин абалын түтүккө жанаша коюлган сызгычта белгилейбиз

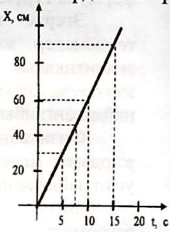
---

[1] Метроном-бул убакыт аралыгын баалоого мүмкүндүк берүүчү физикалык прибор. Ал тажрыйба жүргүзгөн кишинин даярдап койгонуна жараша ар бир 1с, же 2с, же 10с, д.у.с. убакыт өткөн сайын «тык-тык» деп үн чыгарып турат.

(4.21.1-сүрөт). Алынган натыйжаларды жадыбалга түшүрөбүз. Мындай тажрыйбада алынган чоңдуктардын болжолдуу маанилери төмөнкү жадыбалда келтирилген.

t, c	0	5	10	15
X, см	0	30	60	90

Ушул жадыбалдын негизинде шариктин абалы менен убакыттын көз карандылыгын график түрүндө чагылдырабыз. Ал үчүн абсцисса огу боюнча эсептөө башталгандан кийинки убакыт, ордината огу боюнча шариктин координаталары жайгашкан координаталар системасын тургузабыз (тиешелүү масштабдарын көрсөтүү менен). Бул координаталар системасында убакыттын жана шариктин тиешелеш координаталарынын маанилерин белгилеп, алардын көз карандылыгын чагылдырган графикти тургузабыз (4.21.2-сүрөт).



4.21.2-сүрөт

Мындай график кыймылда болгон телонун абалынын убакыттын өтүшү менен кандайча өзгөрөрүн көрсөтөт жана аны физикада ***кыймылдын графиги*** деп атайт (механикалык кыймылдын аныктамасын эсептегиле).

Кыймылдын графигинин жардамы менен телонун ар кандай убакыт моментиндеги абалын аныктоого болот. Мисал катарында жогорудагы график боюнча шариктин $t = 7{,}5c$ убакыт моментиндеги абалын аныктап көрөлү. Ал үчүн абсцисса огуна анын $t = 7{,}5c$ чекитинен перпендикуляр түз сызык жүргүзөбүз. Бул түз сызык менен кыймылдын графигинин кесилишкен чекитинен ордината огуна перпендикуляр тургузабыз жана анын ордината огу менен $x = 45 см$ чекитинде кесилишкенин көрөбүз. Мындан шарик $t = 7{,}5c$ убакыт моментинде координатасы $x = 45 см$ болгон чекитке келгени тууралуу тыянак чыгарабыз.

Эгерде биз кааласак, ушундй эле жол менен шариктин мындан башка дагы убакыт моменттериндеги абалдарын аныктай алабыз.

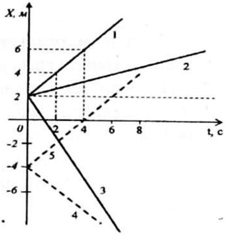
Демек телонун түз сызыктуу бир калыптагы кыймылынын графигин пайдалануу менен ошол телонун ар кандай убакыт моментиндеги абалын аныктоого, башкача айтканда телонун ушундай кыймылы үчүн механиканын негизги маселесин чечүүгө болот.

Ушунтип, биз түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл үчүн механиканын негизги маселесин графиктик усулду пайдалануу менен чечүүгө боло турганын көрдүк.

2. Телонун кыймылын, анын графигинин негизинде изилдөө

Кыймылдын графиги боюнча телонун ар кандай убакыт аралыгындагы которулушун жана анын ылдамдыгын аныктоого, ошондой эле кыймылдын теңдемесин жазууга да болот. Аны төмөнкү маселени чечүү менен көрсөтөбүз.

1-маселе. 4.21.3-сүрөтүндө үч телонун кыймылынын графиктери берилген. Ал графиктер боюнча ар бир телонун каалагандай тандалып алынган убакыт аралыгы ичиндеги которулушун жана алардын ылдамдыгын аныктагыла, кыймыл теңдемелерин жазгыла.



4.21.3-сүрөт

Маселени чечүү үчүн, барыдан мурда, каалагандай убакыт аралыгын тандап алабыз, мисалы $t_1 = 2c$ дан $t_2 = 4c$ га чейинки. Бул убакыт аралыгындагы 1, 2 жана 3 телолордун которулуштарын алардын тиешелүү координаталарынын айырмасы боюнча табабыз: Мындан 1, 2 телолордун OX огунун багыты боюнча, ал эми 3 телонун ал окко карама-каршы багытта кыймылга келгендиктери жөнүндөгү тыянакка келебиз (13-§ ты карагыла).

Телолордун которулуштарынын бул маанилерин алар аткарылган убакыт аралыгына бөлүп, телолордун ылдамдыктарын аныктайбыз:

$$\upsilon_{1x} = 1\,{}^{м}\!/_{c}; \ \upsilon_{2x} = 0{,}25\,{}^{м}\!/_{c}; \quad \upsilon_{3x} = -2\,{}^{м}\!/_{c}.$$

Ылдамдыктардын мындай маанилерин тиешелүү графиктер менен салыштырып талдоонун негизинде төмөнкүдөй тыянак чыгарабыз: кыймылдын графиги канчалык тик жайгашса, анын ылдамдыгы ошончолук чоң болгон болот; эгерде кыймылдын графиги убакыттын өсүшү менен жогору көздөй кетсе ылдамдык менен OX огу бирдей, ал эми төмөн көздөй кетсе ылдамдык менен OX огу карама-каршы багытталган болушат.

Маселенин шартында коюлган акыркы талапты аткаруу үчүн кыймылдын теңдемесин жалпы түрүндө жазабыз (19-§ ты карагыла):

$$x = x_0 + \upsilon_x t \tag{4.21.1}$$

Кыймылдын графиктеринен көрүнүп тургандай бардык телолордун баштапкы координаталары бирдей, башкача айтканда бардык телолор эсептөө башталган моментте бир орунда болушкан:

$$x_{01} = x_{02} = x_{03} = 2м$$

Бул маанини жана 1, 2, 3 телолордун ылдамдыктарынын маанилерин эске алуу менен ошол телолордун кыймыл теңдемелерин жазабыз:

$$x_1 = 2 + t \qquad (4.21.2)$$

$$x_2 = 2 + 0,5t \qquad (4.21.3)$$

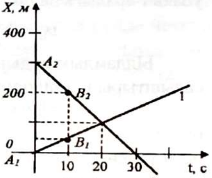
$$x_3 = 2 - 2t \qquad (4.21.4)$$

Эгерде математиканын тили менен айтса (4.21.3) сүрөтүндөгү, мисалы, биринчи график (4.21.2) теңдемеси түрүндө берилген сызыктуу функциянын эки түрдөгү - аналитикалык жана графиктик – берилиши. Тактап айтканда, алар материалдык чекиттин абалын убакыттан көз карандылыгынын, башкача айтканда кыймылынын аналитикалык жана графикттик берилиши болуп саналат.

Физикадагы айрым маселелерди чечүүдө кыймылды берүүнүн эки ыкмасы тең бир мезгилде пайдаланылат: эгерде кыймылдын графиги берилсе анын негизинде тиешелүү теңдеме жазылат (аны биз жогорудагы биринчи маселени чечүүнүн жүрүшүндө көрсөттүк); эгерде кыймылдын теңдемеси белгилүү болсо, анын негизинде тиешелүү график тургузулат. Аны төмөнкү маселени талдап чыгаруу менен көрсөтөбүз.

2- маселе. Эки велосипедисттин кыймылдарынын теңдемелери берилген: $x_1 = 5t;\ x_2 = 300 - 10t;\ (x - м,\ \ t - c)$. Бул кыймылдардын графиктерин тургузгула. Алардын каерде жана качан жолугушарын графиктер боюнча аныктагыла.

Маселени талдайбыз: кыймылдардын теңдемелеринен көрүнүп тургандай биринчи велосипедист OX огунун багыты боюнча, экинчиси ага карама-каршы багытта кыймылдайт. Эсептөөнүн башталышында алар бири-биринен 300 м аралыкта болушкан. Белгилүү убакыттан кийин алар кезигишет. Ушул моментте велосипедисттердин координаталары бирдей болуп калат. Координатанын бул маанисин жана убакытты велосипедисттердин кыймылынын графиктеринин кесилишкен чекити боюнча аныктоого болот.



4.21.4-сүрөт

Маселени чечүү үчүн төмөндөгү иштерди аткарабыз:

1. Координаталар системасын тургузабыз: абсцисса огу боюнча убакытты, ордината огу боюнча велосипедисттердин координаталарынын маанилерин жайгаштырабыз (4.21.4-сүрөт).
2. Масштаб тандап алабыз: 1*см* үчүн 100*м* ; 1*см* үчүн 10с.

3. Тандап алган масштабга жараша кыймылдардын тендемелеринен пайдаланып велосипедисттердин баштапкы абалдарын көрсөтөбүз. Аларды A_1 жана A_2 деп белгилейбиз.

4. Маселенин шартында көрсөтүлгөн тендемелер, же башкача айтканда велосипедисттердин координаталары убакыттынн сызыктуу функциялары болуп саналышат. Демек, ал функциялардын (кыймылдардын) графиктери түз сызык болуш керек. Ал эми түз сызыкты жүргүзүү үчүн анын эки чекитин көрсөтүү керек. Ошондуктан, графикти тургузуу үчүн кыймылдын теңдемеси боюнча кыймылдын графиги өтө турган дагы бир чекитти көрсөтсөк жетиштүү болот. Бул максатта каалагандай, мисалы $t = 10c$, убакыт моментиндеги велосипедисттердин координаталарын кыймылдардын тендемелери боюнча аныктайбыз: $x_1 = 50\,м : x_2 = 200\,м$. Координаталары ушундай болгон чекиттерди сүрөттө көрсөтөбүз: B_1 *жана* B_2.

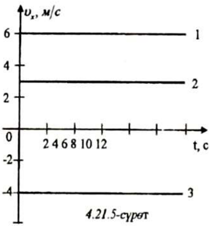
5. A_1 жана B_1, A_2 жана B_2 чекиттери боюнча түз сызыктарды жүргүзөбүз. Алар 1 жана 2 велосипедисттердин кыймылынын графиктери болуп саналышат.

6. Бул графиктердин кесилишкен чекити боюнча велосипедисттердин жолугушкан ордун жана убактысын табабыз: $x_1 = x_2 = 100\,м$, $t = 20c$. Демек, велосипедисттер эсеп башталганда бир велосипедист турган орундан 100 м алыстыкта, андан 10с өткөн моментте кезигишет.

Биз берилген маселени анын талабына жараша график жолу менен чыгардык. Ушул эле маселени силер өз алдыңарча аналитикалык жол менен чыгаргыла.

3. Ылдамдыктын графиги

Физикада кыймылдын графиктери менен катар ылдамдыктын графиктери да колдонулат. Ылдамдыктын графигин билүү үчүн абсцисса огуна белгилүү масыштабдагы алынган убакыттын, ордината огуна ылдамдыктын проекцияларынын маанилери коюлган координаттар системасы тандап алынат (4.21.5-сүрөт). Ушундан кийин ылдамдыктын убакытка жараша кандайча өзгөрө турганын таланат жана ал график түрүндө чагылдырылат.

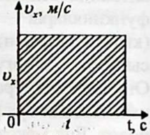


4.21.5-сүрөт

Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл учурунда ылдамдык өзгөрүлбөйт. Ошондуктан андай кыймылдын ылдамдыгынын графиги убакыт огуна жарыш түз сызык болот. 4.21.5-

сүрөттө ылдамдыктары $6\,м/с, 3\,м/с, -4\,м/с$ болгон кыймылдардын ылдамдыктарынын графиктери берилген. Булардын ичинен 1, 2 графиктер OX огунун багыты боюнча, 3 график ага карама-каршы багыттагы кыймылдарга туура келет.

Ылдамыдктын графиги белгилүү болсо ар кандай убакыт аралыгындагы которулуштун проекциясын аныктоого болот. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл кезиндеги которулуштун проекциясы $s_x = \upsilon_x t$ болору бизге белгилүү. (19-§ ты карагыла). Ал эми $\upsilon_x t$ көбөйтүндүсү 4.21.6-сүрөттө штрихтелип көрсөтүлгөн тик бурчтуктун аянтын туюнтат. Демек, которулуштун проекциясы үчүн ушундай тик бурчтуктун аянтын алууга болот. Ошондуктан, телонун ылдамдыгынын графиги белгилүү болсо тиешелүү ченөөлөрдү жүргүзүү менен анын ар кандай убакыт аралыгындагы которулушун, ал аркылуу ар кандай убакыт моментиндеги координаталарын аныктоого болот.



4.21.6-сүрөт

22-§ Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймылды график түрүндө көрсөтүү

1. Кыймылдын графиги

Түз сызыктуу бир калыптагы өзгөрмөлүү кыймылдын графигин эркин түшүүнүн мисалында көрсөтөбүз. Ал үчүн болот шаригинин абадагы түшүшүн тажрыйбада изилдейбиз. Анткени аны эркин түшүү катарында кароого мүмкүн.

Чындыгында шарик түшүп баратканда абанын каршылыгына дуушар болот. Бирок, мындай каршылык шариктин кыймылына сезилерлик таасир көрсөтө албагандыктан аны эске албай коюуга акыбыз бар.

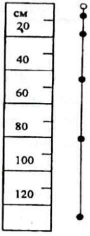
Шарик менен төмөнкүдөй тажрыйба жүргүзөбүз: шкалалары даана көрүнүп турган узун сызгычты караңгы бөлмөгө тип-тик жайгаштырып, анын жогорку учунан шарикти таштап жиберебиз. Ушул моменттен баштап анын мезгилдүү түрдө, мисалы, ар бир 0,1 с сайын, жарыктандырып турабыз[2]. Анда биз шарикти жана сызгычтын шкалаларын ошол моменттерде, башкача айтканда эсептөө башталганда 0,1; 0,2; 0,3 д.у.с. секунда өткөн моменттерде көрө алабыз. Бирок, шариктин ушул абалдарын куралсыз каттап калуу

---

[2] Бул максатта **стробоскоп** деген физикалык прибор пайдаланылат. Ал барабар убакыт аралыктарында жарк этип, кайра өчүп турат. Мындай убакыт аралыктарын тажрыйбанын талабына жараша биз өзүбүз аныктап алышыбыз мүмкүн.

мүмкүн эмес. Ошондуктан фотоаппаратты пайдалануу максатка ылайыктуу. Анткени анын жардамы менен бөлмө жарк эткен моменттердеги шариктин абалдарын толук тартып калууга болот. Ал үчүн шарик түшүп бүткөнгө чейин фотоаппараттын затворун ачык кармап туруу зарыл.

Фотоаппараттын жардамы менен эсептөө башталгандан 0,1с; 0,2с; 0,3с д.у.с. убакыт өткөн моменттердеги шариктин абалдарын чагылдырган сүрөттү алабыз (4.22.1-сүрөттө ушундай сүрөттү элестеткен чийме келтирилген). Анын негизинде тиешелүү жадыбалды түзөбүз жана шариктин кыймылынын графигин тургузабыз (4.22.2-сүрөт).



4.22.1-сүрөт

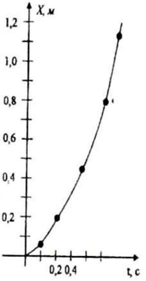
4.22.1-жадыбал

t, с	*0*	*0,1*	*0,2*	*0;3*	*0,4*	*0,5*
X, м	*0*	*0,049*	*0,197*	*0,44*	*0,78*	*1,25*

Бул графиктен төмөндөкүдөй тыянакка келебиз: түз сызыктуу бир калыптагы өзгөрмөлүү кыймылдын графиги түз сызык эмес парабола, квадраттык функциянын графиги. Демек, мындай кыймыл кезинде телонун координатасы менен убакыт квадраттык көз крандылыкта болушу керек.

Түз сызыктуу бир калыптагы өзгөрмөлүү кыймылдын теңдемесин эстесек бул тыянактын тууралыгы жөнүндө ишенимдүү айтууга болот.

Кыймылдын графигин пайдаланып телонун ар кандай убакыт моментиндеги абалын жана ылдамдыгын, каалагандай убакыт аралыгандагы которулушун, ошондой эле ылдамдануусун аныктоого болот (эгерде телонун баштапкы ылдамдыгы белгилүү болсо). Берилген шарик үчүн бул чоңдуктарды, биз тургузган графиктин негизинде өз алдыңарча аныктагыла.



4.22.2-сүрөт

Суроолор жана тапшырмалар

1. Кыймылдын графигин талдап түшүнүү менен тургузгула?

2. Түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын графиги менен түз сызыктуу бир калыптагы эмес кыймылдардын графиктерин салыштырып талдагыла?

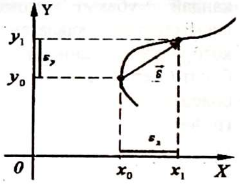
V Бап. ИЙРИ СЫЗЫКТУУ КЫЙМЫЛДАР

Эгерде биз кармап турган ташты бош таштап жиберсек ал түз сызыктуу траектория боюнча тик ылдый түшөт. Аны горизонтко карата кандайдыр бир бурч менен ыргытсак, ал ийри сызыктуу траектория менен кыймылга келет. Траекториялары ийри сызыктар болгон кыймылдарды физикада ийри **сызыктуу кыймылдар** деп атайт. Мындай кыймылдар турмушта да, жаратылышта да, техникада да көп кездешет (ийри сызыктуу кыймылга бир нече мисалды өзүңөрчө келтиргиле).

Биз буга чейин түз сызыктуу кыймылдардын жөнөкөй эки түрүн, эки моделин (бир калыптагы жана бир калыпта өзгөрмөлүү кыймылдарды) карап, аларга мүнөздүү болгон түшүнүктөрдү киргиздик, алар үчүн механиканын негизги маселесин чечтик. Каалагандай ийри сызыктуу кыймыл үчүн мындай маселени чечүү кыйла татаал. Бул китепте аны чечүүнү максат кылып койгонубуз жок. Ошондуктан мындай ийри сызыктуу кыймылдарды сапаттык мүнөздө талдап, тиешелүү физикалык чоңдуктарды киргизүү менен чектелебиз.

23-§. Ийри сызыктуу кыймылга келген материалдык чекиттин координатасы, которулушу жана ылдамдыгы

Мейли, материалдык чекит каалагандай бир ийри сызыктуу траектория менен кыймылга келсин (5.23.1-сүрөт). Анын кыймылын изилдөө үчүн тиешелүү эсептөө системасын тандап алабыз. Телонун түз сызыктуу кыймылы каралган учурда эсептөө системасынын огун траекторияны бойлото багыттап, телонун абалын бир эле координатасы боюнча берүүгө болорун көрсөткөн болчубуз (II, III баптарды карагыла). Ийри сызыктуу кыймыл учурунда телонун ар кандай моментиндеги абалын, декарттык координаталар системасында, бир эле координата менен берүүгө болбой турганы 5.23.1-сүрөттөн көрүнүп турат. Бул чиймеде, мисалы, телонун баштапкы моментиндеги абалы (x_0, y_0) координаталары, кандайдыр бир $t = t_1$ убакыт моментиндеги абалы (x_1, y_1) координаталары аркылуу берилген.



5.23.1-сүрөт

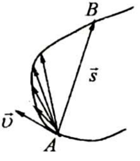
Айталы, бизден телонун ушул x_1 жана y_1 координаталарын табуу талап кылынсын. Анын баштапкы координаталары, которулуш вектору берилген болсун. Бул маселени чечүү үчүн $\vec{s}$ которулуш векторун координата окторуна проекциялайбыз. Чиймеден көрүнүп тургандай, x_1 жана y_1 координаталары төмөнкүгө барабар болот:

$$x_1 = x_0 + s_x$$

$$y_1 = y_0 + s_y$$

Ушундай жол менен ийри сызыктуу кыймылга келген телонун кыймылы үчүн механиканын негизги маселесин чечүүгө болор эле. Бирок, которулуш векторун каалагандай ийри сызыктуу кыймыл үчүн, түз сызыктуу кыймылдагыдай аналитикалык түрдө (теңдеме түрүндө) берүү мүмкүн эмес. Анын себеби төмөнкүдө: түз сызыктуу кыймыл кезинде которулуш вектору, анын координата окторундагы проекциялары, ылдамдыктар жана ылдамдануулар аркылуу туюнтулган формула түрүндө (мисалы, түз сызыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймыл кезиндеги которулуштун проекциясы $s_x = \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$) берилчү эле. Ылдамдыктын багыты менен которулуштун багыты дал келчү. Ийри сызыктуу кыймыл учурунда болсо, ылдамдыктын багыты тынымсыз өзгөрүп турат. Ал аркылуу которулушту жалпы түрүндө туюнтууга болбойт.

Бул айтылгандар түшүнүктүү болсун үчүн ийри сызыктуу кыймылга келген телонун кирпик каккычактагы ылдамдыктарынын багытынын кандайча болорун көрсөтөлү.



5.23.2-сүрөт

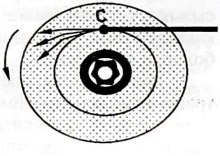
Мейли, тело кандайдыр бир ийри сызыктуу траектория менен кыймылдап, t убакыты ичинде анын A чекитинен B чекитине которулсун (5.23.2-сүрөт). Телонун A чекитиндеги, кирпик каккычактагы ылдамдыгынын багытын аныктайлы. Ал үчүн, баарыдан мурда, $\vec{s} = \overrightarrow{AB}$ которулуш векторун жүргүзөбүз. Бул - телонун t убакыты ичиндеги которулушу. Сүрөттөн көрүнүп тургандай ал ийри сызыкты кесүүчү сызык боюнча багытталат. Анын багытын телонун A чекитиндеги, кирпик каккычактагы ылдамдыгынын багыты үчүн алууга болбойт.

Кирпик каккычактагы ылдамдык – бул тело тарабынан чексиз кичине убакыт аралыгында аткарылган чексиз кичине которулуштун ошол кичине убакыт аралыгына болгон катышына барабар чоңдук (14-§ты карагыла). Ошондуктан телонун A чекитиндеги кирпик каккычактагы ылдамдыгынын багытын аныктоо үчүн телонун ошол чекитке келгенден кийинки чексиз кичине убакыт аралыгындагы, чексиз кичине которулушунун багытын аныкташыбыз керек.

Жогоруда айтылгандай, 5.23.2-сүрөттөгү $\vec{s} = \overrightarrow{AB}$ вектору телонун t убакыты ичинде аткарган которулушу. Анын A чекитинен кийинки эле чексиз кичине убакыт ичиндеги которулушунун, ал аркылуу телонун A чекитиндеги кирпик каккычактагы ылдамдыгынын кандайча багытталарын көрсөтүү үчүн телонун ${}^1\!/_2, {}^1\!/_3, \ldots, {}^1\!/_n$ убакыт аралыктарындагы которулуштарын салыштырабыз. 5.23.2-сүрөтүнөн көрүнүп тургандай, убакыт аралыгы канчалык кичине алынса траекторияны кесип өтүүчү сызык, траекториянын A чекитине жүргүзүлгөн жанымасына ошончолук жакындайт. Демек, телонун траекториянын A чекитиндеги, кирпик каккычактагы ылдамдыгы, траекториянын ошол чекитине жүргүзүлгөн жаныманын багыты боюнча багытталат деп айтууга болот. Ушул тыянак траекториянын башка чекиттериндеги телонун ылдамдыктары үчүн да туура.

Ушинтип, биз теориялык талдоонун негизинде ийри сызыктуу кыймылга келген материалдык чекиттин кирпик каккычактагы ылдамдыктары кыймылдын траекториясынын тиешелүү чекиттерине жүргүзүлгөн жанымалар боюнча багытталары жөнүндөгү жыйынтыкка келдик. Эми ушул жыйынтыктын тууралыгын тажрыйбада көрсөтүү зарыл. Бул максатта чарык таш менен жүргүзүлгөн тажрыйбаны талдайбыз.

Мейли, биз чарык ташты өз огунун тегерегинде айлануу кыймылына келтирели. Анда анын бардык чекиттери айлана, башкача айтканда ийри сызыктуу траектория боюнча кыймылдашат. Биз анын кандайдыр бир С чекитинин ылдамдыгы кандайча багыттала турганын тажрыйбада көрсөтүүнү максат кылып коелу (5.23.3-сүрөт).



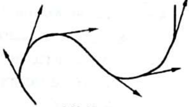
5.23.3-сүрөт

Мейли, чарык таштын кичинекей бир кыпыны андан бөлүнүп кеткен болсун. Анда ал инерция боюнча ошол бөлүнүп чыгар моменттеги кыймылын сактайт. Башка сөз менен айтканда таштын ошол кыпыны таштан ажырап чыгар моментте кандай ылдамдыкка ээ болсо, ошондой ылдамдык менен учуп чыгат. Ошондуктан чарык таштын тигил же бул чекитинин ылдамдыгынын багытын аныктоо үчүн ошол чекиттен кичинекей кыпынды бөлүп чыгарышыбыз керек. Ушул бөлүнүп чыккан кыпындын ылдамдыгынын багыты чарык таштын ошол кыпын турган чекитинин ылдамдыгынын багытын көрсөтөт.

Чарык таштын тигил же бул чекитинен кыпындарды бөлүп чыгаруу үчүн анын ошол чекитине бычактын учун тийгизебиз. Анда таштан бөлүнүп чыккан кыпындар учкун түрүндө көзгө көрүнөт. Алардын учуп чыгуу багыты чарык таштын бычак тийгизилген чекитине жүргүзүлгөн жаныманын багыты менен дал келет. Мындан, айланып жаткан чарык таштын бычактын учу тийип турган чекитинин ылдамдыгы айлананын ошол чекитине жүргүзүлгөн жаныма сызык боюнча багытталары жөнүндөгү жыйынтыкка келебиз.

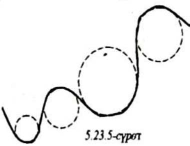
Ушинтип, ийри сызыктуу кыймылга келген материалдык чекиттин ылдамдыгынын багыты жөнүндөгү теориялык талдоонун негизинде алынган тыянактын туура экендиги тажрыйбада көрсөтүлдү.

Демек, ийри сызыктуу кыймылга келген материалдык чекиттин кирпик каккычактагы ылдамдыктары, ошол сызыктын (траекториянын) тиешелүү чекиттерине жүргүзүлгөн жанымалар боюнча багытталат (5.23.4-сүрөт). Ушул сүрөттөн көрүнүп тургандай телонун ылдамдыгынын багыты улам өзгөрүлүп турат. Бул ийри сызыктуу кыймылдын татаал экендигин дагы бир далили. Түз сызыктуу кыймыл кезинде биз ылдамдыктын сан маанисинин өзгөрүшүн гана талдаган болсок, эми анын багытынын өзгөрүшүн да эсепке алышыбыз керек.


5.23.4-сүрөт

Ийри сызыктуу кыймылдын бардык түрлөрүн карап үлгүрүү мүмкүн эмес, бирок анын зарылдыгы деле. жок. Анткени ар кандай ийри сызыктуу кыймылды айланалардын жаасы боюнча жүргөн кыймылдардын удаалаштыгы катарында кароого болот (5.23.5-сүрөт.)

Мындан, материалдык чекиттин айлана боюнча кыймылын изилдеп, алынган натыйжаны ар кандай ийри сызыктуу кыймыл үчүн пайдаланууу мүмкүн деген маанилүү тыянак келип чыгат.


5.23.5-сүрөт

Ошондуктан биз материалдык чекиттердин айлана боюнча болгон кыймылын кароого өтөбүз жана анын эң жөнөкөй түрүн – материалдык чекиттердин айлана боюнча бир калыптагы кыймылын талдайбыз.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Ийри сызыктуу кыймыл үчүн механиканын негизги маселесин чечүү татаал. Бул эмнеге байланыштуу?

2. Ийри сызыктуу кыймылга келген материалдык чекиттин ар кандай Δt убакыт аралыгындагы которулушунун багыты менен анын баштапкы же t убакыт моментиндеги ылдамдыгынын багыты дал келеби?

3. Ийри сызыктуу кыймылга келген материалдык чекиттин ылдамдыгынын багытын аныктоо боюнча жүргүзүлгөн теориялык талдоону жана тажрыйбага берилген талкууну түшүнүп, тиешелүү кубулуштарды көз алдыңарга келтирүү менен окугула.

4. Материалдык чекиттин айлана боюнча кыймылын изилдеп үйрөнүүнүн мааниси эмнеде?

24-§. Айлана боюнча бир калыптагы кыймыл. Борборго умтулуучу ылдамдануу

Телолордун (материалдык чекиттин) түз сызыктуу кыймылын изилдеп үйрөнүүнү, биз анын эң жөнөкөй түрүнөн, түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдан баштаганбыз (II главаны карагыла). Мындайча кыймылдаган телонун ылдамдыгынын сан мааниси дагы, багыты дагы турактуу сакталары, ошондуктан анын ылдамдануусунун нөлгө барабар болору бизге белгилүү.

Айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган материалдык чекиттин ылдамдануусу да нөлгө барабар болобу? Жок. Анткени ылдамдануу ылдамдык векторунун өзгөрүшүн мүнөздөөчү чоңдук (15-§ты карагыла). Ошондуктан материалдык чекиттин ылдамдыгынын сан мааниси дагы, багыты дагы турактуу сакталган учурда гана анын ылдамдануусу нөлгө барабар болушу керек. Ал эми айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган кезде материалдык чекиттин ылдамдыгынын сан мааниси турактуу болгону менен, анын багыты үзгүлтүксүз өзгөрүп турат.

Биз материалдык чекиттин ылдамдыгынын багытынын өзгөрүшүн мүнөздөй турган ылдамданууну, башкача айтканда материалдык чекиттин айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган кезиндеги ылдамдануусун аныктоо жөнүндөгү төмөнкү маселени чечели.

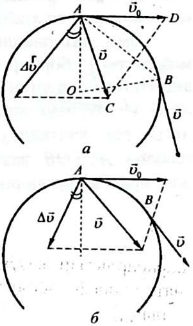
Маселе. Материалдык чекит чоңдугу (сан мааниси) υ га барабар болгон ылдамдык менен радиусу r болгон айлана боюнча бир калыпта кыймылдайт. Ушул материалдык чекиттин траекториянын каалагандай A чекитиндеги ылдамдануусунун багытын жана сан маанисин аныктагыла.

Маселени чечүү үчүн, баарыдан мурда, аны талдайбыз: материалдык чекиттин ылдамдануусу

$$\vec{a} = \frac{\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0}{t} = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{t} \qquad (5.24.1)$$

формуласы менен аныкталары бизге белгилүү. Мында, $\vec{\upsilon}_0$ - материалдык чекиттин баштапкы ылдамдыгы, $\vec{\upsilon}$ - анын t убакыт моментиндеги ылдамдыгы. Бул формуладан көрүнүп тургандай ылдамдануунун багыты $\Delta\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0$ векторунун багыты менен дал келет.

Берилген материалдык чекиттин траекториянын A чекитиндеги ылдамдыгын $\vec{\upsilon}_0$ деп алалы, башкача айтканда эсептөөнү ошол чекиттен баштайлы. Ушундан кандайдыр бир t убакыты өткөн моментте, материалдык чекит траекториянын B чекитине келген болсун. Бул абалдагы анын ылдамдыгын $\vec{\upsilon}$ деп белгилейли (5.24.1-а сүрөт). Ушул t убакыты ичиндеги ылдамдыктын өзгөрүшү $\Delta\vec{\upsilon}$ ны көрсөтүү үчүн $\vec{\upsilon}$ векторун башталышы A чекити менен дал келгендей кылып жарыш которобуз. Андан кийин векторлорду кошуу эрежесинен пайдаланып $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \Delta\vec{\upsilon}$ туюнтмасын чагылдырган параллелограммды тургузабыз жана $\Delta\vec{\upsilon}$ нын багытын аныктайбыз (5.24.1-а сүрөттү, 7-§ тан векторлордун айырмасынын кандайча аныкталарын карагыла). Бул вектор материалдык чекиттин t убакыт ичиндеги, же траекториянын AB участогундагы ылдамдыгынын өзгөрүшү болуп саналат. Ошондуктан анын багытын, материалдык чекиттин A абалындагы, кирпик каккычактагы ылдамдануусунун багыты катарында кабыл алууга болбойт. Аны аныктоо үчүн ${}^{t}\!/_{2}, {}^{t}\!/_{3}, ..., {}^{t}\!/_{n}$ убакыт аралыктарындагы ылдамдыктын өзгөрүүлөрүн салыштырып, ылдамдыктын чексиз кичине убакыт ичиндеги чексиз кичине өзгөрүшүн туюнткан вектордун кандайча багытталары жөнүндөгү тыянакка келишибиз керек.



5.24.1-сүрөт

Эгерде жогорудагыдай талдоону ${}^{t}\!/_{2}$ убакыт аралыгы үчүн жүргүзсөк $\Delta\vec{\upsilon}$ вектору айлананын радиусу менен мурдагыга караганда кичинерек бурч түзгөнүн көрөбүз (5.24.1б - сүрөт). Убакыт аралыгы дагы азырак алынган болсо бул вектор айлананын радиусу менен дагы кичинерек бурч түзгөн болор эле (аны чиймеде өзүңөр көрсөткүлө). Мындан, төмөндөгүдөй тыянак келип чыгат: материалдык чекиттин траекториянын A чекитине келгенден кийинки эле чексиз кичине убакыт аралыгындагы ылдамдыгынын чексиз кичине өзгөрүшү, демек материалдык чекиттин A абалындагы (чекитиндеги), кирпик каккычактагы ылдамдануусу, айлананын ошол чекити аркылуу өткөн радиусу боюнча борборду көздөй багытталат. Бул тыянак траекториянын башка чекиттериндеги материалдык чекиттин ылдамдануулары үчүн да туура. Анткени A чекити каалагандай тандап алынган.

Демек, айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган материалдык чекиттин траекториянын ар кандай чекитиндеги ылдамдануусу ошол айлананын радиусу боюнча, анын борборун көздөй багытталган болот.

Ошондуктан мындай ылдамдануууну физикада ***борборго умтулуучу ылдамдануу*** деп атайт.

Эми материалдык чекиттин траекториянын A чекитине келген моменттеги борборго умтулуучу ылдамдануусунун сан маанисин аныктайлы. Ал үчүн 5.24.1а - сүрөтүнө кайрылабыз. Андагы AOB жана ACD үч бурчтуктары окшош. Анткени, биринчиден алардын экөөсү дагы тең капталдуу ($AO=OB$, $AC=AD$). Экинчиден $\angle AOB=\angle DAC$ (себеби $AC\perp OB$ жана $AO\perp AD$). Окшош үч бурчтуктардын окшош жактарынын пропорциялаш болорун эске алып,

$$\frac{\Delta\upsilon}{AB}=\frac{\upsilon}{r} \tag{5.24.2}$$

барабардыгын жазууга болот. Мында, υ - ылдамдык векторунун, $\Delta\upsilon$ - материалдык чекиттин A чекитинен B чекитине которулган кездеги ылдамдыгынын өзгөрүшүнө барабар болгон вектордун модулдары. r - айлананын радиусу. AB - айлананын $\overset{\smile}{AB}$ жаасына жүргүзүлгөн хорданын узундугу.

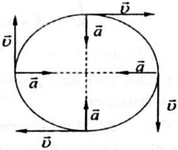
Материалдык чекиттин траекториянын A чекитиндеги, кирпик каккычактагы ылдамдануусунун сан маанисин аныктоо үчүн, жогоруда белгилегендей, убакыт аралыгын чексиз кичине тандап алышыбыз керек. Мындай учурда айлананын хордасы менен анын жаасынын айырмасы болбой калат жана AB хордасынын узундугу үчүн AB жаасынын узундугун алуунун мүмкүндүгү түзүлөт. Бул жаанын узундугу болсо, материалдык чекиттин траектория боюнча басып өткөн жолунун узундугуна, башкача айтканда υt га барабар. Демек, (5.24.2) барабардыгындагы AB нын ордуна υt ны коюуга болот.

Ушул тыянакты эске алып (5.24.2) формуласын төмөнкү түргө келтиребиз:

$$\frac{\Delta\upsilon}{t}=\frac{\upsilon^2}{r} \tag{5.24.3}$$

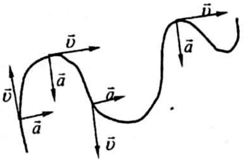
Материалдык чекиттин траекториянын A чекитине келген кездеги ылдамдыгынын чексиз кичине убакыт аралыгы ичиндеги өзгөрүшүнүн ошол убакыт аралыгына болгон катышы, демек убакыт аралыгынын нөлгө умтулган кездеги ($t\rightarrow 0$) $\Delta\vec{\upsilon}/t$ катышы ошол телонун A чекитиндеги кирпик каккычактагы ылдамдануусун берет (15-§ ты карагыла). $\Delta\upsilon/t$ катышы болсо, ошол материалдык чекиттин траекториянын A чекитиндеги борборго умтулуучу ылдамдануусунун модулун, сан маанисин туюнтат. Демек бул чоңдук υ^2/r ге барабар:

$$a=\frac{\upsilon^2}{r} \tag{5.24.4}$$



5.24.2-сүрөт

Мына ошентип, биз материалдык чекиттин траекториянын *A* чекитиндеги борборго умтулуучу ылдамдануусун туюнткан формуланы негиздеп жаздык. Бул формуладан көрүнүп тургандай материалдык чекиттин траекториянын ар кандай чекиттериндеги борборго умтулуучу ылдамдануууларынын сан маанилери бирдей болот. Бирок алардын багыттары бирдей эмес (5.24.2-сүрөттү карагыла). Борборго умтулуучу ылдамдануу дайыма айлананын радиусу боюнча багытталат жана ылдамдык векторуна перпендикулярдуу болот. Ошондуктан аны физикада ***нормалдуу ылдамдануу*** деп да атап коет.



5.24.3-сүрөт

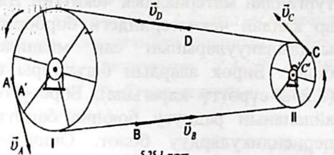
Мурдагы параграфта ар кандай ийри сызыктуу кыймылды айланалардын жаасы боюнча жүргөн кыймылдардын удаалаштыгы катарында кароого боло тургандыгы айтылган (5.24.3-сүрөттү карагыла). Ошондуктан телонун ийри сызыктуу траекториянын ар кандай чекитиндеги борборго умтулуучу ылдамдануусу траекториянын ошол чекит камтылган бөлүгүнө тургузулган айлананын радиусу боюнча багытталган болот. Анын сан мааниси (модулу) ошол айлананын радиусу жана телонун ылдамдыгынын модулу боюнча (5.24.4) формуласынын жардамы менен аныкталат.

Суроолор жана тапшырмр

1. Айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган материалдык чекиттин ылдамдануусу нөлгө барабар деп айтууга болобу? Эмне үчүн?
2. Айлана боюнча бир калыптагы кыймылдын ылдамдануусун эмне себептен борборго умтулуучу ылдамдануу деп атайт? Анын модулу кандай чондуктардан көз каранды?
3. Борборго умтулуучу ылдамдануунун багытын жана модулун аныктоо боюнча берилген талкуунун жүрүшүн көз алдыңарга келтирүү менен түшүнүп окугула.

25-§. Айлануунун мезгили жана жыштыгы

Радиустары ар башкача болгон, кыймылсыз окко бекитилген эки алкакка (шкивге) аларды бириктирип турган, керилип кетпеген тасма кийгизилген (5.25.1-сүрөт). Эгерде алардын бирөөнү, мисалы, 1-син бир калыпта айлануу кыймылына келтирсек, анда 2-си да бир калыпта айланат. Тасма керилип кетпейт. Ошондуктан анын ар бир чекитинин, мисалы *A, B, C, D* чекиттеринин $|\vec{\upsilon}_A| = |\vec{\upsilon}_B| = |\vec{\upsilon}_C| = |\vec{\upsilon}_D|$ көз ирмемдеги ылдамдыктарынын модулдары барабар болушат. Тасманын *A* чекитине тийишип турган алкактын *A′* чекитинин көз ирмемдеги ылдамдыгы, тасманын ошол чекитинин ылдамдыгына барабар. Анткени тасма алкактан сыйгаланып кетпейт. Ушул факт алкактын *C′* чекити үчүн да мүнөздүү. Демек, 1-алкактын *A′* чекитинин ылдамдыгынын модулу, 2-алкактын - *C′* чекитинин ылдамдыгынын модулуна барабар болот. Башкача айтканда ошол чекиттердин кирпик каккычактагы ылдамдыктарынын модулдары бири-бирине барабар болушат. Бирок, 1- алкактын *A′* чекитинин айлануу тездиги менен 2-алкактын *C′* чекитинин айлануу тездиги бирдей эмес. Бул айтылгандардан, айлануу кыймылына келген материалдык чекиттердин кирпик каккычактагы ылдамдыктарынын модулу, айлануунун тездигин мүнөздөй албайт деген тыянакка келебиз. (Ушул айтылгандарды көз алдыңарга келтирүү менен түшүнгүлө).



5.25.1-сүрөт

Ушинтип, бир калыпта айлануу кыймылына келген материалдык чекиттин айлануу тездигин мүнөздөй турган чоңдукту киргизүүнүн зарылдыгы пайда болду. Мындай чоңдукту киргизүү үчүн жогорудагы алкактардын кыймылына дагы кайрылабыз. 2-алкак 1-ге караганда тезирек айланат. Ошондуктан кандайдыр бир *t* убакыты ичинде *C′* чекити *A′* чекитине караганда көбүрөк айлануу жасайт. Демек, материалдык чекиттин айлануу тездиги берилген убакыт ичиндеги анын айланууларынын санынан түз көз карандылыкта болот, башкача айтканда материалдык чекиттин ошол убакыт аралыгындагы айлануусунун саны *N* канчалык көп болсо, анын айлануу тездиги ошончолук чоң болот.

Ушул эле мисалды эми башкача мааниде талдайлы. Мейли, *C′* чекити да, *A′* чекити да, мисалы, 100 айлануу жасашы керек болсун. Анда *C′* чекити үчүн *A′* чекитине караганда азырак убакыт талап кылынат. Мындан материалдык чекиттин айлануу тездиги айлануулар аткарылган убакыт аралыгынан тескери көз карандылыкта болот деген тыянак келип чыгат.

Айлануу тездигин мүнөздөөчү чоңдукту физикада ***айлануу жыштыгы*** деп атайт жана аны гректердин V (ню) тамгасы менен белгилейт. Бул белгилөөнү эске алып, айлануу жыштыгын төмөнкү формула түрүндө туюнтууга болот:

$$\nu = \frac{N}{t} \qquad (5.25.1)$$

Мында – N – айлануулардын саны; t – ошол айлануулар аткарылган убакыт аралыгы.

Эгерде бир калыпта айлануу кыймылына келген материалдык чекиттин 1 *с* (же 1 мин, 1 саат, д.у.с.) убакыт ичиндеги айлануу санын аныктоо керек болсо, анда (5.25.1) формуладан төмөнкүнү алабыз:

$$\nu = N\frac{1}{c} = Nc^{-1} \quad (же\ \nu = N\cdot мин.^{-1}, д.у.с)$$

Мындан айлануунун жыштыгы 1 *с* (же 1 мин, 1 саат, д.у.с.) убакыт аралыгында, башкача айтканда убакыт бирдиги ичинде аткарылган айлануулардын санына барабар болот деген тыянак чыгат.

Демек, ***айлануунун жыштыгы деп убакыт бирдиги ичинде аткарылган айлануулардын санына барабар болгон чоңдукту айтууга болот, ал бир калыпта айлануу кыймылына келген материалдык чекиттин айлануу тездигин мүнөздөйт.*** Мисалы, биринчи материалдык чекиттин айлануу жыштыгы $10c^{-1}$, экинчиси $50c^{-1}$ га барабар, дегенде биз биринчи материалдык чекит 1 *с* ичинде 10, экинчиси 50 айлануу жасайт деп түшүнөбүз жана экинчиси биринчисине караганда 5 эсе тез айланат деп жыйынтык чыгарабыз.

Материалдык чекиттин айлануу кыймылынын тездигин айлануу жыштыгы менен байланышкан дагы бир чоңдук мүнөздөйт. Аны киргизүү максатында дагы I-жана II-алкактардын A' жана C' чекиттеринин кыймылдарын талдайбыз (5.25.1-сүрөт). Бул чекиттердин толук бир айлануулары үчүн кеткен убакыт аралыктарын салыштыралы. Анда C′ чекити A′ чекитине караганда азырак убакыт ичинде толук бир айланууну жасайт деген корутундуга келебиз (чиймеге карап, өзүңөрчө талдагыла). Демек, материалдык чекиттердин бир калыпта айлануу кыймылдары бири-биринен алардын толук бир айланууларына кеткен убакыттары менен айырмаланышат. Ошондуктан бир калыпта айлануу кыймылына келген материалдык чекиттин кыймылынын тездигин, айлануу жыштыгы менен катар, анын толук бир айланyусуна кеткен убакыт аралыгы менен да мүнөздөөгө болот. Мындай убакытты, башкача айтканда телонун (материалдык чекиттин) толук бир айлануусуна кеткен убакытты физикада ***айлануунун мезгили*** деп атайт жана аны T тамгасы менен белгилейт.

Айлануу мезгили жана айлануу жыштыктары бири-бири менен тикеден-тике байланыштуу. Аны конкреттүү мисалда көрсөтөлү. Мейли, материалдык чекиттин айлануу жыштыгы $\nu = 10c^{-1}$ болсун. Бул $1c$ ичинде материалдык чекит 10 айлануу жасайт дегендикке жатат. Ушул ырастаманын негизинде аталган чекиттин толук бир айлануусу үчүн $1c$ нын 1/10 бөлүгүнө барабар болгон убакыт кетиши керек деген тыянак келип чыгат. Демек, айлануунун мезгили менен жыштыгынын ортосундагы байланышты төмөнкү формула аркылуу туюнтууга болот:

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \text{же} \quad \nu = \frac{1}{T} \tag{5.25.2}$$

Айлана боюнча бир калыпта кыймылга келген материалдык чекиттин ылдамдыгынын модулун айлануунун мезгили жана жыштыгы аркылуу туюнталы. Ал көп деле кыйындыкка турбайт. Айлануу мезгили T га барабар болгон убакыт ичинде материалдык чекит айлананын узундугунчалык жолду басып өтөт. Ошондуктан

$$\upsilon = \frac{2\pi r}{T} \tag{5.25.3}$$

Мында r – айлананын радиусу. (5.25.3) жана (5.25.2) формулаларынын негизинде бир калыпта айлануу кыймылына келген материалдык чекиттин ылдамдыгынын модулун айлануу жыштыгы аркылуу төмөнкүчө туюнтууга болот:

$$\upsilon = 2\pi r \nu \tag{5.25.4}$$

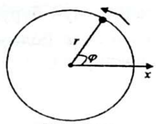
Ошондой эле (5.25.3), (5.25.4) жана (5.24.4) формулаларын пайдаланып, мындай материалдык чекиттин борборго умтулуучу ылдамдануусу менен анын айлануу мезгили жана айлануу жыштыгынын ортосундагы байланышты аныктоо болот:

$$a = \frac{4\pi^2 r}{T^2} \quad \text{жана} \quad a = 4\pi^2 r \nu^2 \tag{5.25.5}$$

Суроолор жана тапшырмалар

1. 5.25.1-сүрөтүнүн негизинде жүргүзүлгөн талкууда айтылгандарды көз алдыңарга келтирүү менен түшүнүп окугула.
2. Бир калыпта айлануу кыймылына келген материалдык чекиттин ылдамдыгынын модулу анын айлануу тездигин мүнөздөйбү?
3. Айлануу жыштыгы жөнүндөгү түшүнүктү киргизүүнүн зарылдыгы эмнеден улам пайда болду? Ал эмнени мүнөздөйт?
4. Айлануу мезгили деп кандай чоңдук айтылат? Анын айлануу жыштыгы менен кандай байланышы бар?

26-§. Айлана боюнча бир калыпта кыймылга келген материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы



5.26.1-сүрөт

Айталы, ичке, узун жипке байланган кичинекей таш вертикалдык тегиздикте бир калыптагы айлануу кыймылына келтирилсин. Жиптин узундугун r деп белгилейли, ташты материалдык чекит катарында карайлы (5.26.1-сүрөт).

Анда бул кыймылды материалдык чекиттин радиусу r болгон айлана боюнча бир калыптагы кыймылы катарында кароого болот. Биз ушундай кыймылды талдоону, башкача айтканда материалдык чекиттин айлана боюнча бир калыптагы кыймылын изилдөөнү уланталы.

Айлана боюнча бир калыпта кыймылдап жаткан, ушул мисалдагы таш менен бирге, аны айлануу борбору менен туташтырып турган ичке жип дагы айлануу кыймылына келет. Башкача айтканда материалдык чекитти айлануу борбору менен туташтырып турган сызык, айлануу радиусу дагы тынымсыз бурулуп, айлануу кыймылына келет. Ушул сызыкты, радиусту материалдык чекиттин айлануу радиусу деп атап коелу.

Материалдык чекит канчалык тез айланган болсо, башкача айтканда анын айлануу жыштыгы канчалык чоң болсо, анын айлануу радиусунун, мисалы, OX огунун багыты менен түзгөн бурчу да тез өзгөрөт, демек бул бурчтун өзгөрүү тездиги да чоң болот. (Ушул процессти көз алдыңарга келтирип элестеп түшүнгүлө).

Мындан төмөнкүдөй манилүү тыянак келип чыгат: материалдык чекиттин айлануу радиусунун бурулуу бурчу φ нин өзгөрүү тездиги боюнча да ошол материалдык чекиттин айлануу кыймылынын тездигин баалоого болот. Шарт боюнча материалдык чекит айлана боюнча бир калыпта кыймылдайт. Демек, анын айлануу радиусунун бурулуу бурчу убакыттын өтүшү менен бир калыпта өзгөрөт (түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл кезинде материалдык чекиттин которулушу убакыттын өтүшү менен бир калыпта өзгөргөн сыяктуу, §10 ты карагыла). Бул бурулуу бурчунун өзгөрүү тездигин φ/t катышы туюнтат (түз сызыктуу бир калыпта кыймыл кезинде которулуштун өзгөрүү тездигин $\vec{s}/t$ катышы туюнткан сыяктуу, 10-§ ты карагыла).

Ушул айлануу радиусунун бурулуу бурчунун өзгөрүү тездигин туюнткан, демек материалдык чекиттин айлануу кыймылынын тездигин туюнткан чоңдукту физикада материалдык чекиттин *бурчтук* *ылдамдыгы* деп атайт. Аны гректин ω (омега) тамгасы менен белгилейт.

Демек, материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы анын айлануу радиусунун бурулуу бурчу φ нин, ошол бурулуу аткарылган убакыт аралыгына болгон катышына барабар болот, ал материалдык чекиттин айлануу тездигин мүнөздөйт:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \tag{5.26.1}$$

Мында, φ-материалдык чекиттин айлануу радиусунун баштапкы абалына салыштырмалуу бурулуу бурчу, t-анын ушундай бурулуусуна кеткен убакыт аралыгы, ω-анын бурчтук ылдамдыгы.

Мейли, материалдык чекит радиусу r болгон айлана боюнча бир калыпта кыймылдап жатсын. Анын айлануу мезгили T, айлануу жыштыгы ν болсун. Ушул материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы менен анын айлануу мезгилинин жана айлануу жыштыгынын байланыштарын туюнткан формулаларды негиздеп жазалы (Ушул чоңдуктардын бардыгы аркылуу материалдык чекиттин айлануу кыймылынын тездиги бааланып жатпайбы).

Бир мезгилге барабар болгон убакыт ичинде, башкача айтканда $t = T$ болгон убакыт аралыгында материалдык чекит толук бир айлануу жасайт. Демек, ушул t убакыты ичинде анын айлануу радиусу $\varphi = 2\pi$ бурчуна бурулуп үлгүрөт. Буларды эске алып, материалдык чеиттин бурчтук ылдамдыгын туюнткан формуланы төмөнкүчө жазууга болот:

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} \tag{5.26.2}$$

Материалдык чекиттин айлануу мезгили менен айлануу жыштыгынын байланышын туюнткан (5.25.2) формуласын эске алып, бурчтук ылдамдык менен айлануу жыштыгынын байланышы төмөнкүчө туюнтулат деген тыянакка келебиз:

$$\omega = 2\pi\nu \tag{5.26.3}$$

Белгилүү болгондой материалдык чекиттин айлануу жыштыгы, анын 1с ичиндеги аткарган айлануууларынын санын көрсөтөт. Бул фактыны эске алуу менен (5.26.3)нүн негизинде төмөнкүдөй тянакка келебиз: материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы анын 2π c ичинде аткарган айланууларынын санын көрсөтөт.

Бурчтук ылдамдыктын бирдиги айлануу жыштыгынын бирдиги сыяктуу $\frac{1}{c}$ же c^{-1} болуп саналат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. **Ичке, узун жипке байланган кичинекей таштын айлануу кыймылы материалдык чекиттин айлануу кыймылы катарында каралып жатат. Ушуга акыбыз бар беле? Жообуңарды негиздегиле.**
2. **Материалдык чекиттин айлануу радиусу деп кайсыл сызык айтылат?**
3. **Материалдык чекиттин айлануу кыймылынын тездигин, анын айлануу радиусунун бурулуу бурчунун өзгөрүү тездиги боюнча баалоого болот. Ушул тыянакты негиздеп түшүндүргүлө.**
4. **Материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы деп кайсыл чоңдук айтылат? Жообуңарды негиздеп түшүндүргүлө.**
5. **Материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы анын айлануу мезгили жана айлануу жыштыгы менен кандайча байланышат? Жообуңарды негиздеп түшүндүргүлө.**
6. **Материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгынын бирдиги эмне?**

27-§. Айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган материалдык чекиттин ылдамдыгы. Сызыктуу ылдамдык

Мейли, материалдык чекит радиусу r болгон айлана боюнча бир калыптагы кыймылга келсин. Анын бурчтук ылдамдыгы ω, айлануу мезгили T, айлануу жыштыгы ν болсун.

Ушул материалдык чекиттин ылдамдыгын табалы. Белгилүү болгондой бул ылдамдык траекторияга жүргүзүлгөн жаныма боюнча багытталган болот (21-§ ты карагыла). Бул ылдамдыктын модулун кандай формула туюнтарын негиздеп жазалы.

Аталган материалдык чекит айлана боюнча бир калыпта кыймылдап, бир мезгилге барабар болгон $t = T$ убакыты ичинде толук бир айлануу жасайт. Бул учурда ал айлананын узундугунчалык жолду, башкача айтканда $s = 2\pi r$ ге барабар болгондой жолду басып өтөт.

Демек, анын ылдамдыгынын модулу

$$\upsilon = \frac{s}{t} = \frac{2\pi r}{T} \qquad (5.27.1)$$

болот.

(5.26.2) жана (5.26.3) ни эске алып, (5.27.1) төн айлана боюнча бир калыпта кыймылга келген материалдык чекиттин ылдамдыгы менен анын бурчтук ылдамдыгынын жана айлануу жыштыгынын байланыштыгын туюнткан төмөнкү формулаларды алабыз:

$$\upsilon = \omega r \qquad (5.27.2)$$

жана

$$\upsilon = 2\pi\nu r \qquad (5.27.3$$

Айлана боюнча кыймылга келген материалдык чекиттин ылдамдыгынын модулун (5.27.1), (5.27.2) же (5.27.3) формулаларынын негизинде аныктоо мүмкүн. Бул ылдамдыкты кээде *сызыктуу ылдамдык* деп да атап коет. Мындай атоо материалдык чекиттин ылдамдыгын, анын бурчтук ылдамдыгынан тагыраак айырмалоого мүмкүндүк берет.

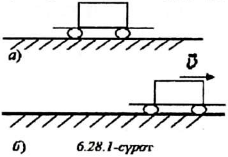
Демек, айлана боюнча бир калыпта кыймылга келген материалдык чекиттин ылдамдыгы, башкача айтканда анын сызыктуу ылдамдыгы айланага жүргүзүлгөн жанымa боюнча багытталат. Анын модулун материалдык чекиттин бурчтук ылдамдыгы же айлануу жыштыгы аркылуу аныктоого болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Айлана боюнча бир калыпта кыймылдаган материалдык чекиттин ылдамдыгын аныктоо жөнүндөгү маселе кандайча коюлду. Жообуңарды негиздеп түшүндүргүлө.
2. (5.27.1), (5.27.2), (5.27.3) формулаларын негиздеп жазгыла, тиешелүү түшүндүрмөлөрдү бергиле.
3. Сызыктуу ылдамдык деп кайсыл ылдамдыкты айтабыз? Материалдык чекиттин сызыктуу ылдамдыгы менен бурчтук ылдамдыгынын байланышы кандай?

28-§. Инерция кубулушу. Ньютондун биринчи закону. Инерциялык эсептөө системалары

Мейли, полдун горизонталдык бетинде арабача тынч турсун жана ал полдун бети боюнча сүрүлүүсүз кыймылга келе алсын. Башкача айтканда арабачанын дөңгөлөктөрү менен полдун ортосундагы сүрүлүү эске алынбагандай кичине болсун.



6.28.1-сүрөт

Арабачага кум салынган каробканы жүктөп (6.28.1а - сүрөт), аны жылдырууга аракеттенели. Ал үчүн арабачаны акырын түртүп көрөбүз, ага аракет этебиз. Бирок арабача жылбайт. Биз дагы күчтүрөөк түртөлү, ошондо арабачанын жылганын, кыймылга келгенин көрөбүз.

Байкоолор бул фактынын жерде жаткан ар кандай башка телолорго да мүнөздүү болорун көрсөтөт. (Силер да ушундай фактыларды көз алдыңарга келтиргиле).

Мындан төмөнкүдөй тыянакка келебиз: тынч турган телолорго аракет эткенде, алар заматта эле жылып, башкача айтканда кыймылдап кетишпейт. Алар Жерге салыштырмалуу өздөрүнүн тынч абалын сактоого умтулушат. Ошондуктан телолорду мындай абалдан чыгаруу үчүн аларга белгилүү чоңдуктагы аракеттин көрсөтүлүшү зарыл.

Айталы, жогорудагы арабача полдун бети боюнча бир калыпта кыймылдап баратсын. Аны токтотууга аракет жасап, анын кыймылынын багытына карама-каршы багытта акырын түртүп көрөбүз. Мындай акырын аракетке ал токтобойт. Бирок биз аракетибизди күчөтсөк, анда арабача акырындап барып токтошу мүмкүн.

Бул мисалга окшогон фактыларды байкап көрсөк, ал Жерге салыштырмалуу кыймылда болгон ар кандай башка телолорго да мүнөздүү экен. (Ушундай фактыларды көз алдыңарга келтиргиле).

Мындан төмөнкүдөй тыянакка келебиз: кыймылдагы телолорго, алардын багытына карама-каршы багыттагы аракет көрсөтүлсө алар тык токтой калышпастан Жерге салыштырмалуу өздөрүнүн кыймылын сактоого умтулушат.

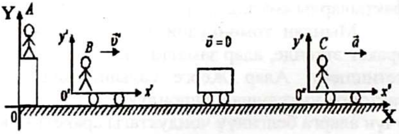
Жогорудагы эки тыянактын негизинде төмөнкүдөй жалпы жыйынтыкка келебиз: ар кандай телолор Жерге салыштырмалуу өздөрүнүн тынч абалын, же бир калыптагы түз сызыктуу кыймылын сактоого умтулушат. Бул кубулуш физикада *инерция* кубулушу деп аталат. Ар кандай телолорго инерция кубулушу мүнөздүү болот.

Мисалы, жүрүп бараткан автобус катуу тормоздогондо, анын салонундагы жүргүнчүлөр алдыга көздөй умтулушат. Бул фактыны төмөнкүчө түшүндүрүүгө болот: жүргүнчүлөр автобус менен бирге Жерге салыштырмалуу кыймылдап баратышкан. Автобус катуу тормоздолуп, токтой баштаганда жүргүнчүлөр мурдагы кыймылын сактоого умтулушуп, алдыга көздөй ынтылышат.

Тынч турган автобус ордунан тез жылсын. Анда анын салонунда тынч турушкан жүргүнчүлөр артка көздөй жүткүнүшөт. Бул фактыны төмөнкүчө түшүндүрүүгө болот: жүргүнчүлөр автобус менен бирге Жерге салыштырмалуу тынч турушкан. Автобус ордунан тез жылганда жүргүнчүлөр мурдагы тынч абалын сактоого умтулушуп, артка көздөй ынтылышат.

Инерция кубулушун Италиялык улуу окумуштуу Галилео Галилей изилдеп, эгерде телого башка телолор аракет этпеген болсо, алар Жерге салыштырмалуу тынч абалын, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактай тургандыгы жөнүндөгү тыянакка келген.

Г. Галилейдин жыйынтыктарын англиялык улуу физик Исаак Ньютон жалпылап, аны кыймылдын негизги закондорунун бири катарына киргизген.



6.28.2-сүрөт

Ушул тыянактын кандай эсептөө системасында туура болорун көрсөтөлү.

Мейли, темир жолдо бир арабача Жер менен байланышкан XOY эсептөө системасына салыштырмалуу тынч турсун (6.28.2-сүрөт). Бул эсептөө системасында турган A байкоочусу арабачанын тынч турганын көрөт.

Бул эсептөө системасынан башка дагы эки эсептөө системасы берилсин. Алардын бирөө, тактап айтканда, $X'O'Y'$ эсептөө системасы Жерге салыштырмалуу $\vec{\upsilon}'$ ылдамдыгы менен түз сызыктуу бир калыпта кыймылдап бараткан платформа менен байланышкан болсун. Анда, бул эсептөө системасында турган B байкоочусу арабачанын, өзүн көздөй $-\vec{\upsilon}'$ ылдамдыгы менен, түз сызыктуу бир калыпта кыймылдап келатканын көрөт.

Үчүнчү, $X''O''Y''$ эсептөө системасы Жерге салыштырмалуу $\vec{a}$ ылдамдануусу менен түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылдап бараткан платформа менен байланышкан болсун. Анда, бул эсептөө системасында турган C байкоочусу арабачанын өзүнөн алыстагандай багытта, $-\vec{a}$ ылдамдануусу менен түз сүзыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймыл менен баратканын көрөт.

Жогорудагы фактыларды жалпылайлы: XOY же $X'O'Y'$ эсептөө системаларына салыштырмалуу арабача же тынч турат, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактайт. Бирок, $X''O''Y''$ эсептөө системасына салыштырмалуу анын тынч абалы да, түз сызыктуу бир калыптагы кыймылы да сакталбайт. Арабача бул эсептөө системасына салыштырмалуу ылдамдануу менен, бир калыпта эмес кыймылдайт.

Мындан төмөндөгүдөй маанилүү тыянакка келебиз: эгерде телого башка телолор аракет этпесе, же алардын аракеттери бирин-бири компенсациялап турган болсо, ал айрым эсептөө системаларына (мисалы, XOY, $X'O'Y'$ эсептөө системаларына) салыштырмалуу өзүнүн тынч абалын, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактайт. Бирок, башка эсептөө системаларына (мисалы, $X''O''Y''$ сыяктуу эсептөө системаларына) салыштырмалуу тело мындай абалын жана кыймылын сактай албайт. Демек, эсептөө системаларын эки типке бөлүүгө болот: физикада алардын биринчилерин (XOY, $X'O'Y'$ эсептөө системалары сыяктууларды) инерциялык эсептөө системалары, экинчилерин ($X''O''Y''$ эсептөө системасы сыяктууларды) инерциялык эмес эсептөө системалары деп атайт. Бир инерциялык эсептөө системасына, мисалы, XOY эсептөө системасына салыштырмалуу түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келген бардык эсептөө системалары инерциялык эсептөө системалары болушат. Себеби алардын баардыгында инерция кубулушу орун алат.

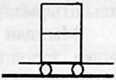
Демек, эгерде телого башка телолор аракет этпесе, же алардын аракеттери бирин-бири компенсациялап турса, тело инерциялык эсептөө системаларына салыштырмалуу тынч абалын, же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактайт. Бул ырастаманы физикада инерция закону же Ньютондун биринчи закону деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телолордун Жерге салыштырмалуу тынч абалын сактоого умтулары жөнүндөгү фактыны негиздеп түшүндүргүлө. Өзүңөр турмуштан мисалдар келтиргиле.
2. Телолордун Жерге салыштырмалуу баштапкы кыймылын сактоого умтулары жөнүндөгү фактыны негиздеп түшүндүргүлө. Өзүңөр турмуштан мисалдар келтиргиле.
3. Инерция кубулушу деп кайсы кубулуш айтылат?
4. Чуркап бараткан бала ташка чалынса алдыга көздөй жыгылат. Эгерде ал чуркап баратып, байкоосуздан кере тартылып турган жипке маңдайы менен тийсе, артты көздөй жыгылат. Бул фактынын себебин түшүндүргүлө.
5. Инерциалдык эсептөө системалары деп кандай эсептөө системалары айтылат? Жообуңарды 6.28.2-сүрөттө берилген тажрыйбага таянуу менен негиздегиле.
6. Ньютондун биринчи законун айткыла.

29-§. Телонун инерттүүлүгү. Телонун массасы

Мурдагы параграфтын башталышында айтылган тажрыйбадагы арабачанын үстүнө кумга толтурулган экинчи, андан кийин үчүнчү, д.у.с. каробкаларды жүктөйлү (6.29.1 - сүрөт). Ал тажрыйбаны кайталап жүргүзөлү: Жерге салыштырмалуу тынч турган арабачаны ордунан жылдырууга, кыймылдап бараткан арабачаны токтотууга аракеттенели. Анда төмөнкүнү байкайбыз: эки каробка жүктөлгөндө бир каробка жүктөлгөндөгүгө, үч каробка жүктөлгөндө эки жана бир каробка жүктөлгөндөгүгө караганда арабачаны жылдыруу же токтотуу үчүн күчтүрөөк аракет көрсөтүү керек болот.



6.29.1-сүрөт

Мындан төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келебиз: инерция кубулушу бардык телолорго мүнөздүү болот. Бирок, айрым телолорго бул кубулуш чоңураак же күчтүрөөк мүнөздүү болсо, айрымдарына кичинерек же начарырак мүнөздүү болот. Мисалы, үч каробка жүктөлгөн арабачага бул кубулуш бир каробка жүктөлгөн арабачага караганда чоңурак, же күчтүрөөк мүнөздүү болот. Демек, телолор бири-биринен өздөрүнө мүнөздүү болгон инерция кубулушунун даражасы боюнча айырмаланышат.

Эми ушул фактыны мүнөздөй турган чоңдукту киргизишибиз керек.

Инерция кубулушу чоңураак, же күчтүрөөк мүнөздүү болгон телолорду физикада инерттүүлүгү чоңурак болгон тело деп атоо кабыл алынган. Анда тиешелүү түрдө инерттүүлүгү кичине болгон тело үчүн инерция кубулушунун даражасы кичине болот.

Телонун инерттүүлүгү - бул анын касиети. Мындай касиети, башкача айтканда инерттүүлүгү чоң болгон телого инерция кубулушу көбүрөөк мүнөздүү болот. Ушундай телонун Жерге салыштырмалуу өзүнүн тынч абалын, же кыймылын өзгөртпөй сактоо мүмкүнчүлүгү чоң болот.

Демек, телонун инерттүүлүгү сандык мүнөзгө ээ, бир телонун инерттүүлүгү чоң болсо, башкасынын инерттүүлүгү кичине болушу мүмкүн. Ошондуктан аны сан түрүндө туюнтуу зарыл.

Физикада телонун инерттүүлүгүн сан түрүндө туюнтуу, сандык мүнөздө көрсөтүү үчүн телонун массасы деген түшүнүк киргизилген. Инерттүүлүгү чоң телонун массасы чоң, инерттүүлүгү кичине телонун массасы кичине болот деп алынган. Ушул мааниде алып караганда, телонун массасы анын инерттүүлүгүнүн чени болуп саналат. Телонун массасын сан түрүндө туюнтуу аркылуу, анын инерттүүлүгүнүн чоңдугуна баа берилет.

Мисалы, телонун жылуулук даражасы анын температурасы аркылуу, идиштин сыйымдуулугу анын көлөмү аркылуу бааланган сыяктуу, телонун инерттүүлүгү анын массасы аркылуу бааланат.

Демек, ар бир тело белгилүү массага ээ болот. Аны физикада m тамгасы менен белгилейт.

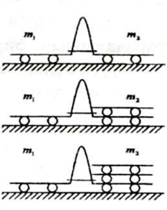
Мейли, бизге эки бирдей арабача берилсин. Алардын биринин массасын m_1, экинчисиникин m_2 деп белгилейли. Бул арабачалардын бирине серпилгичтүү пластинка бекитилген болсун. Аны ийип барып жип менен байлап коебуз. Ушул пластинка аркылуу арабачаларды өз ара аракеттеништиребиз. Ал үчүн экинчи арабачаны, биринчи арабачадагы жип менен байлап коюлган пластинкага тийишип тургандай жайгаштырабыз (6.29..2а - сүрөт).

Шарт боюнча биз эки бирдей арабачаларды тандап алганбыз. Ошондуктан алардын массалары да бирдей болот:

$$m_1 = m_2 \quad же \quad m_1/m_2 = 1$$

Жипти кыркып жиберебиз. Анда пластинканын түзөлүү процессинде арабачалар өз ара аракеттенишет. Мындай аракеттенишүүнүн жүрүшүндө арабачалар өздөрүнүн тынч абалдарынан чыгып, ылдамдануу менен кыймылдашат. Алардын биринчисинин ылдамдануусунун модулун a_1, экинчисиникин a_2 деп белгилейли. Бул ылдамданууларды аныктоого болот. Тажрыйба бул арабачалардын ылдамданууларынын бирдей болорун көрсөтөт.

$$a_1 = a_2, \quad же \quad a_1/a_2 = 1$$



6.29.2-сүрөт

Дагы бир тажрыйба жүргүзөбүз: Экинчи арабачага ошондой эле болгон дагы бир арабачаны жүктөйбүз (6.29.2-в - сүрөт). Алардын жалпы массасын m_2 деп белгилейбиз. Анда $m_1/m_2 = 1/2$ болот.

Бул арабачаларды дагы жогорудагыдай эле өз ара аракеттеништиребиз. Тажрыйба массасы m_2 болгон экинчи арабачанын ылдамдануусунун биринчи арабачаныкына караганда 2 эсеге кичине болорун көрсөтөт. Демек, $m_1/m_2 = 1/2$ болгон учурда $a_2/a_1 = 1/2$ болот.

Бул барабардыктардын оң жактары барабар. Ошондуктан алардын сол жактары да барабар болот:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}\,, \tag{6.29.1}$$

Үчүнчү тажрыйбаны жүргүзөбүз: экинчи арабачанын үстүнө дагы бир арбачаны жүктөйбүз. Алардын жалпы массасын мурдагылардай эле m_2 деп белгилейбиз. Анда $m_1/m_2 = 1/3$ болот.

Бул арабачаларды да өз ара аракеттеништиребиз. Тажрыйба массасы m_2 болгон абачанын ылдамдануусунун биринчи арабачаныкына караганда 3 эсе кичине болорун көрсөтөт. Демек, $m_1/m_2 = 1/3$ болгон учурда $a_2/a_1 = 1/3$ болот.

Булардан төмөнкү барабардыкты алабыз:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}, \quad \text{же} \quad m_1 \cdot a_1 = m_2 \cdot a_2 \qquad (6.29..2)$$

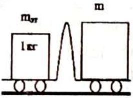
Бул тажрыйбалардан төмөнкү фактыны өзгөчө бөлүп көрсөтүүгө болот: массасы чоң болгон арабача өз ара аракеттенишүүнүн жүрүшүндө кичине ылдамданууга ээ болот. Анын ылдамдыгы жай өзгөрөт. Демек, массасы, же инерттүүлүгү чоң болгон арабачанын ылдамдыгы жай өзгөрөт. Себеби анын өзүнүн тынч абалын, же кыймылын өзгөртпөй, туруктуу сактоого болгон жөндөмдүүлүгү чоң болот.

Акыркы эки тажрыйбанын жыйынтыгынан (6.29.1) жана (6.29.2) бирдей теңдемелерди алдык. Бул теңдеме өз ара аракеттенишкен ар кандай телолор үчүн да туура болот.

Ушул (6.29.1) же (6.29.2) теңдемесин пайдалануу менен арабачалардын бирөөсүнүн массасын аныктоого, аны сан түрүндө туюнтууга болор беле?

Ушул турушунда болбойт. Себеби, a_1 жана a_2 ни аныктоого болот. Бирок, ал теңдемедеги m_1 дин дагы, m_2 нин дагы эмнеге барабар экени белгисиз. Демек, ал эки белгисиздүү бир теңдеме болуп саналат. Математикадан белгилүү болгондой, мындай теңдемени чечүү мүмкүн эмес.

Ушундай абалдан чыгып, телонун массасын сан түрүндө туюнтуу үчүн физикада массанын төмөнкүдөй эталону тандап алынган: платина менен иридийдин аралашмасынын цилиндр формасындагы, белгилүү өлчөмдөгү куйма даярдалган. Ушул куйманын массасы массанын эталону үчүн кабыл алынган. Бул эталондун массасы 1*кг* болсун деп белгилешкен. Демек, массанын *СИ* системадагы бирдиги 1*кг* (массанын бул эталону Парижге жакын жайгашкан Севр шаарында, чен өлчөмдөрдүн жана таразалардын эл аралык борборунда сакталып турат).



Массасы белгисиз болгон башка телонун массасы массанын эталонуна салыштырып аныкталат. Ал үчүн жогорку тажрыйбаларда пайдаланылган арабачалардын бирине массанын эталону, экинчисине массасын аныктоо керек болгон тело жүктөлөт. Арабачалар өз ара аракеттеништирилет. Массанын эталонунун жана массасы аныктала турган телонун ылдамдануулары $a_{эт}$ жана a аныкталат. Телолордун массалары менен ылдамданууларынын байланышын туюнткан (6.29.2) теңдеме төмөнкү түрдө жазылат:

$$\frac{m_{эт}}{m}=\frac{a}{a_{эт}}$$

Мындан массасын аныктоо зарыл болгон телонун массасы табылат:

$$m=\frac{a_{эт}}{a}m_{эт} \qquad (6.29.3)$$

Эгерде, мисалы, $a_{эт}=a$ болсо, $m=m_{эт}$ болору, же $m=1кг$ болору келип чыгат. $a_{эт}=2a$ болсо, $m=2кг$, $a_{эт}=\frac{1}{2}\cdot a$ болсо $m=0,5кг$ болот. Бул тажрыйбалардан дагы массасы, демек инерттүүлүгү чоң болгон телонун ылдамдануусунун, башкача айтканда ылдамдыгынын өзгөрүүсүнүн тездигинин кичине болору көрүнүп турат.

Телолордун массаларын аныктоодо пайдалануу үчүн массанын эталонунун жана анын үлүштөрүнүн үлгүлөрү, $1кг$ дык, $1/2кг$ дык, $1/4кг$ дык, д.у.с. гирялар (жүкчөлөр) катарында даярдалып, бүт дүйнөгө таратылган.

Телолордун массалары практика жүзүндө рычагдуу таразанын жардамында аныкталат. Анын кандайча аныкталарын силер билесиңер.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Инерция кубулушу бардык телолорго бирдей даражада мүнөздүү болобу? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
2. Телонун инерттүүлүгү, телонун массасы жөнүндөгү түшүнүктөр кандай максатта киргизилген?
3. Телонун инерттүүлүгү чоң дегенди кандай түшүнөсүнөр? Массасы чоң дегендичи?
4. Телонун массасы, анын инерттүүлүгүнүн чени деп айтылат. Эмне үчүн?
5. 6.29.2–сүрөттөгү тажрыйбаларды талдап, массанын эталонун тандап алуунун зарылдыгын негиздегиле.
6. Массанын эталону үчүн кандай тело тандап алынган? Анын жардамы менен башка телолордун массалары кандайча аныкталат?
7. Массаларды аныктоонун кандай ыкмалары бар? Практикада алардын кайсынысы кеңири пайдаланылат? Эмне үчүн?

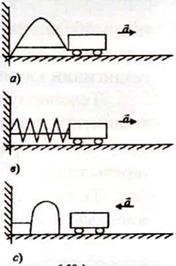
30-§. Күч. Ньютондун экинчи закону

Мейли, горизонталдык тегиздикте турган, бир бети темир менен капталган арабача менен төмөндөгүдөй тажрыйбаларды жүргүзөлү:

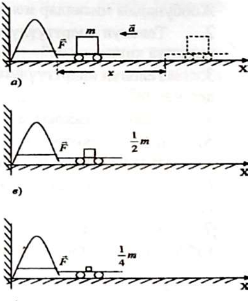
1. Бир учу дубалга бекитилген серпилгичтүү пластинка берилсин. Аны ийип келип, ошол абалында жип менен байлап коелу. Арабачаны, аны менен тийишип тургандай абалда жайгаштыралы (6.30.1а - сүрөт). Ушундан кийин пластинканы ийилген абалында кармап турган жипти кыркып жиберели. Анда, бул пластинка түзөлүү процессинде арабачага аракет этет. Анын натыйжасында арабача ылдамдануу менен кыймылдайт.

2. Бир учу дубалга бекитилип коюлган пружинаны кысып келип, жип менен байлап коелу. Арабачаны ошол пружинанын экинчи учу менен тийишип тургандай жайгаштыралы (6.30.1в-сүрөт). Ушундан кийин жипти кыркып жиберели. Анда пружина баштапкы абалына келүү процессинде арабачага аракет этет. Анын натыйжасында арабача ылдамдануу менен кыймылдайт.

3. Дубалга күчтүү, така түрүндөгү магнит бекитилип коюлган болсун. Темир капталган бети ушул магнит тарапта тургандай кылып арабачаны магнитке жакын жайгаштырып, кармап турабыз. Арабачаны бош кое бергенибизде, ал магнитти көздөй ылдамдануу менен кыймылдайт, (6.30.1с - сүрөт). Себеби, магнит ага аракет этет.



6.30.1-сүрөт



6.30.2-сүрөт

Бул тажрыйбалардын биринчисинде арабачага серпилгичтүү пластинка аракет этип, ага ылдамдануу берди. Экинчисинде ага кысылган пружина, үчүнчүсүндө магнит аракет этип, ылдамдануу берди. Демек, бардык учурда берилген телого башка тело аракет этип ылдамдануу берди. Физикада берилген телого ылдамдануу берген башка телонун аракетин күч деп атоо кабыл алынган. Демек, жогорудагы арабачага серпилгичтүү пластинка, пружина жана магнит тарабынан күч аракет этет. Ал күчтөр арабачага ылдамдануу берет. Күчтү физикада $\bar{F}$ тамгасы менен белгилейт, ал вектордук чоңдук.

Башка телолордун берилген телого жасаган аракеттери күчтүү, начар демек телого аракет эткен күчтөр чоң, кичине болушу мүмкүн. Ошондуктан күчтү сан жагынан туюнтуу зарыл.

Баарынан мурда, мындай суроого жооп берели: күч үчүн кандай чоңдукту, же кайсыл чоңдуктар менен байланышкан чоңдукту алышыбыз керек? Бул суроого жооп берүү оңой эмес! Ага биз төмөндө берилген талкуудан кийин гана жооп алабыз.

Биринчи кезекте төмөндөгүдөй тажрыйбага кайрылабыз.

Горизонталдык тегиздиктин бетинде массасын эсепке албай кое тургандай кичине болгон арабача турсун. Ага массасы $m = 1кг$ болгон таразанын ташын жүктөп коелу. Ушундан кийин аны, ийилген абалында жип менен байланып коюлган серпилгичтүү пластинка менен тийишип тургандай абалда жайгаштырабыз (6.30.2-сүрөт). Жипти кыркып жиберебиз. Анда серпилгичтүү пластинка түзөлүү процессинде массасы $m = 1кг$ болгон ушул арабачага кандайдыр бир чоңдуктагы күч менен аракет этет. Ушул күчтүн аракет этүү убактысы ичинде (бул убакыт аралыгы өтө кичине) арабачанын ылдамдыгы нөлдөн белгилүү бир чоңдукка чейин чоңоет. Ал ылдамдыкты $\vec{\upsilon}$ деп белгилейли. Демек, күчтүн аракет этүү убактысы ичинде арабачанын ылдамдыгы нөлдөн $\vec{\upsilon}$ га чейин чоңоет. Бул факт ушул арабачанын

$$\vec{a} = \frac{\vec{\upsilon} - 0}{t} = \frac{\vec{\upsilon}}{t} \qquad (6.30.1)$$

ылдамдануусу менен кыймылга келгенин көрсөтөт. Күч канчалык чоң болсо, бул ылдамдануу да ошончолук чоң болот. Ошондуктан бул ылдамданууну аныктоо аркылуу күчтүн чоңдугуна баа берүү мүмкүн.

Суроо туулат: бул ылдамданууну кантип аныктайбыз? Ал үчүн, баарынан мурда, $\vec{\upsilon}$ ны табуу керек.

$\vec{\upsilon}$ нын кайсыл учурдагы ылдамдык экенин дагы бир ирет эстеп өтөлү: бул ылдамдык, арабачанын күч аракет этип бүткөн моменттеги, башкача айтканда арабачанын пластинадан бөлүнүп кыймылдай баштагандагы ылдамдыгы.

Мындай баштапкы, $\vec{\upsilon}$ ылдамдыгына ээ болгон арабача горизонталдык тегиздиктин бети боюнча кыймылын улантат жана акырындап барып токтойт. Демек, бул процесс созулган t_1 убакыт ичинде арабачанын ылдамдыгынын модулу υ дан нөлгө чейин азаят. Бул убакыт аралыгын секундомер менен ченеп алууга болот. Арабача ушул убакыт өтүп токтогонго чейин белгилүү бир которулушту жасайт. Анын модулун да ченеп алууга болот.

Арабача ушул t_1 убакыт ичинде түз сызыктуу бир калыптагы өзгөрмөлүү кыймылда болот. Анын бул кыймылынын ылдамдануусун $\vec{a}'$ деп белгилейли. Арабача алга умтулуу кыймылына келет. Ошондуктан аны материалдык чекит катарында карайбыз. Бул материалдык чекитти биз арабачанын серпилгичтүү пластинка менен тийишип турган чекитинде, башкача айтканда анын күч аракет этип жаткан чекитинде жайгашкан деп алабыз. Анда бул материалдык чекиттин баштапкы координатасы $x_0 = 0$ болот. Бул шартты эске алуу менен материалдык чекиттин кыймылынын жана ылдамдыгынын теңдемесин жалпы түрдө жазабыз:

$$x = \upsilon_{0x}t + \frac{a'_x t^2}{2} \tag{6.30.2}$$

$$\upsilon_{1x} = \upsilon_{0x} + a'_x t \tag{6.30.3}$$

Мында, υ_{0x} - арабачанын пластинкадан бөлүнгөн, демек күчтүн аракети токтогон моменттеги ылдамдыгынын ox огундагы проекциясы; a'_x - арабачанын пластинкадан бөлүнгөн, демек күчтүн аракети токтогон моменттен кийинки кыймылынын ылдамдануусу; υ_{1x} - арабачанын t убакыт өткөн моменттеги ылдамдыгынын проекциясы. υ_{0x} жана a'_x тин эмнеге барабар болорун көрсөтөбүз: а) $\upsilon_{0x} = \upsilon$ болот, себеби, биринчиден арабачанын баштапкы ылдамдыгы $\vec{\upsilon}$, экинчиден бул вектордун багыты менен OX огунун багыты дал келет; б) $a_x = -a'$ болот, себеби $\vec{a}'$ векторунун багыты менен ox огунун багыты бири-бирине карама-каршы.

Буларды эске алуу менен (6.30.2) ни төмөнкүчө жазабыз:

$$x = \upsilon t - \frac{a' t^2}{2} \tag{6.30.4}$$

Тажрыйба көрсөтөт: байкоо башталгандан $t = t_1$ убакыты өткөн моментке чейин арабачанын, башкача айтканда биз кыймылын изилдеп жаткан материалдык чекиттин ылдамдыгы υ дан нөлгө чейин азаят, $\upsilon_{1x} = 0$ болот. Аны эске алып (6.30.3) дөн төмөнкүнү табабыз:

$$a' = \frac{\upsilon t}{2} \tag{6.30.5}$$

(6.30.5) ди (6.30.4) кө коюп, υ ылдамдыгын туюнткан төмөнкү формуланы алабыз:

$$\upsilon = \frac{2x}{t_1} \tag{6.30.6}$$

Мындагы чоңдуктардын эмнени туюнтарын дагы бир ирет айта кетели: x - баштагы ылдамдыгы υ болгон арабачанын (материалдык чекиттин) токтогонго чейин аткарган которулушунун модулу, аны ченеп алабыз; t_1 - арабача (материалдык чекит) токтогонго чейин өткөн убакыт аралыгы. Аны да ченеп алабыз. Тажрыйбалык ченөөлөрдөн алынган чоңдуктарды (6.30.6) га коюп, арабачанын пластинкадан бөлүнө бергендеги, башкача айтканда күчтүн аракети токтогон моменттеги ылдамдыгын табабыз.

Бул ылдамдыктын маанисин (6.30.1) ге коюп, серпилгичтүү пластинка тарабынан аракет эткен күчтүн натыйжасында арабача алган $\vec{a}$ ылдамдануусун аныктаса болор эле. Бирок, бул күчтүн аракет этүү убактысы t өтө кичине. Аны тажрыйбада аныктоо мүмкүн эмес. Ошондуктан бул ылдамдануунун абсолюттук маанисин эмес, салыштырма маанисин аныктоо аркылуу, күчтөрдүн чоңдугуна баа беребиз.

Мейли, массасы $m = 1кг$ болгон арабачанын күчтүн аракети токтогонго чейинки кыймылынын ылдамдануусун $\vec{a}$ деп белгилейли. Ал эми массасы $m_1 = 1/2m$ болгондогу арабачанын мындай ылдамдануусун "a_1", массасы $m_2 = 1/4m$ болгондогу арабачанын мындай ылдамдануусун "a_2" деп белгилеп коелу. Ушул $\vec{a}$ ылдамдануусунун a_1 жана a_2 ылдамдануударына болгон катыштарын (6.30.1) ди эске алуу менен табабыз.

Күчтүн аракет этүүсүнүн убакыт аралыктары бардык тажрыйбаларда бирдей болот. Ал фактыны эске алып ылдамдануулардын катыштарын туюнткан төмөнкү формулаларды алабыз:

$$a/a_1 = \upsilon/\upsilon_1 ; \quad a/a_2 = \upsilon/\upsilon_2 \tag{6.30.7}$$

Мындан a_1жана a_2 ылдамдануударынын салыштырма маанилерин табабыз:

$$a_1 = \upsilon_1/\upsilon \cdot a ; \; a_2 = \upsilon_2/\upsilon \cdot a \tag{6.30.8}$$

Мындагы υ_1, жана υ_2 лерди дагы тажрыйбанын негизинде, (6.30.6) түрүндөгү формуланын жардамы менен аныктоого болот. Ошондо a га салыштыргандагы a_1 жана a_2 нин маанилерин табуунун, аларды салыштырып баалоонун мүмкүндүгү түзүлөт.

Тажрыйбалардын жыйынтыгы боюнча эсептөөлөр $a_1 = 2a$; $a_2 = 4a$ болорун көрсөтөт жана бул $\vec{a}$, $\vec{a}_1$ жана $\vec{a}_2$ векторлорунун багыттары бирдей. Ошондуктан аларды вектордук барабардыктар катарында жазууга болот

$$\vec{a}_1 = 2\vec{a} ; \; \vec{a}_2 = 4\vec{a} \tag{6.30.9}$$

Тажрыйбалардан алынган төмөнкү негизги фактыларга көңүл бөлөлү: Мейли, серпилгичтүү пластинасы тарабынан аракет эткен күч массасы $m = 1кг$ болгон телого $\vec{a}$ ылдамдануусун берсин. Анда ошол эле күч массасы $m_1 = 1/2m$ болгон телого $\vec{a}_1 = 2\vec{a}$ массасы $m_2 = 1/4m$ болгон телого $\vec{a}_2 = 4\vec{a}$ ылдамдануударын берет. Ушул учурдагы ар бир телонун массасы менен анын ылдамдануусунун көбөйтүндүсүн табалы: Анда төмөнкүлөрдү алабыз: биринчи тело үчүн бул көбөйтүндү $m \cdot \vec{a}$; экинчи тело үчүн $m_1 \cdot \vec{a}_1 = \frac{1}{2} m \cdot 2\vec{a} = m \cdot \vec{a}$; үчүнчү тело үчүн $m_2 \cdot \vec{a}_2 = \frac{1}{4} m \cdot 4\vec{a} = m\vec{a}$. Демек, бардык телолор үчүн алардын массасы менен ылдамдануусунун көбөйтүндүсү бирдей болот.

Бул тажрыйбаларга мүнөздүү болгон дагы бир фактыны бөлүп көрсөтөлү: бардык телолорго серпилгичтүү пластиналар тарабынан аракет эткен күчтөр бирдей. Аны $\bar{F}$ деп белгилейли.

Ушул акыркы эки фактыдан төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келебиз: Телолорго аракет эткен күчтөр бирдей болгондо, телолордун ошол күчтүн аракети астында алган ылдамдануулары менен массаларынын көбөйтүндүсү да бирдей болот. Ошондуктан телого аркет эткен күч үчүн, ошол телонун массасы менен, анын ылдамдануусунун көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдукту алууга болот (параграфтын башталышында коюлган суроого эми жооп бердик):

$$\bar{F} = m \cdot \bar{a} \tag{6.30.10}$$

Мында: m - телонун массасы; $\bar{F}$ - телого аракет эткен күч; $\bar{a}$ - ушул $\bar{F}$ күчүнүн аракети астында телонун алган ылдамдануусу.

Бул барабардыктын ар кандай башка телолор жана күчтөр үчүн да мүнөздүү болорун И. Ньютон көрсөткөн. Демек, телого аракет эткен күч ага ылдамдануу берет. Бул күч ошол телонун массасы менен ылдамдануусунун көбөйтүндүсүнө барабар болот. Бул ырастаманы физикада Ньютондун экинчи закону деп атайт.

Ньютондун экинчи законун туюнткан (6.30.10) формуласын төмөнкүчө жазып, талдайлы:

$$\bar{a} = \bar{F}/m \tag{6.30.11}$$

Мындан көрүнүп тургандай, массасы m болгон телого күч аракет этсе, ал ылдамдануу менен кыймылга келет. Телонун мындай ылдамдануусу телого аракет эткен күчкө түз, ал эми телонун массасына тескери пропорциялаш болот. Телонун ылдамдануусунун багыты күчтүн багыты менен дал келет. Бул акыркы факт, өз кезегинде төмөнкүнү туюнтат: эгерде $\bar{F}$ векторунун багыты телонун $\bar{v}$ ылдамдык векторунун багыты менен дал келсе $\bar{a} > 0$ болуп, тело ылдамдатылган кыймылга келет, ал эми бул $\bar{F}$ вектору $\bar{v}$ га карама-каршы багытталган болсо, $\bar{a} < 0$ болуп, тело акырындатылган кыймылга келет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Күч деп эмне айтылат? Бул суроого 6.30.1 – сүрөттү талдоо менен жооп бергиле.
2. Күчтү сан жагынан туюндуруунун зарылдыгын негиздегиле.
3. Күч түшүнүгүнүн физикалык мазмуну менен турмуштук мазмунун салыштырып талдагыла. Алардын айырмачылыктары менен окшоштуктары эмнеде?
4. Массасы *m=1кг* болгон жүк жүктөлгүн арабача менен жүргүзүлгөн тажрыйбаны талдап түшүнгүлө.
5. Ньютондун экинчи законун туюнткан (6.30.10) формуланы негиздеп жазгыла.
6. Ньютондун экинчи законунун (6.30.11) формула түрүндөгү жазылышына талкуу бергиле.
7. Тело кандай шартта ылдамдатылган, кандай шартта акырындатылган кыймылга келет?

31-§. Күчтүн бирдиги. Күчтү ченөө. Динамометр

Күчтүн бирдигин киргизүү үчүн, күчтү туюнткан (6.30.10) формуласына кайрылабыз. Аны скалярдык түрдө жазабып алабыз: $F = ma$ же $F_x = ma_x$. Мейли массасы $m=1кг$ болгон телого кайсы бир күч аракет этип, ага $a = 1 м/с^2$ ылдамдануусун берген болсун. Анда бул күчтүн чоңдугу $F = 1кг\, м/с^2$ болот. Ушул күч, башкача айтканда массасы *1кг* болгон телого $1 м/с^2$ ылдамдануу берген күч, күчтүн бирдиги үчүн кабыл алынган. Бул бирдикти физикада И. Ньютондун урматына **1 ньютон деп атайт**, аны *1Н* деп белгилейт. Демек, $1Н = 1кг\, м/с^2$, башкача айтканда *1Н* – бул массасы *1кг* болгон телого $1 м/с^2$ ылдамдануу берген күч болуп саналат. Эгерде, мисалы кандайдыр бир күч массасы *1кг* болгон телого $10 м/с^2$ ылдамдануу берген болсо, анын чоңдугу *10Н* го барабар болот.

Белгилүү болгондой, телого күч аракет эткен болсо, ал ылдамдануу менен кыймылга келет. Ошондой эле күчтүн таасири менен айрым телолордун бир бөлүгү, анын экинчи бөлүгүнө салыштырмалуу ылдамдануу менен кыймылдашы да мүмкүн. Аны мисалда көрсөтөбүз.

Мейли, бизге бир учу кыймылсыз бекитилген, экинчи учунда илмеги бар пружина берилсин. Ошол илмекке $\vec{F}$ күчү менен аракет этип, пружинаны тарталы. Анда анын бир бөлүгү экинчи бөлүгүнө салыштырмалуу ылдамдануу менен кыймылга келет. Натыйжада ал созулат, башкача айтканда деформацияланат (6.31.1- сүрөт). Бирок бул пружина созулуп кете бербейт, белгилүү бир чоңдукка чейин созулуп барып, токтойт.

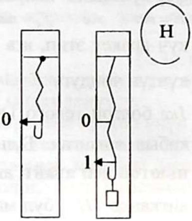
6.31.1-сүрөт

Анын себеби төмөнкүдө: тело деформацияланган кезде аны кайрадан мурдагы калыбына алып келүүгө багытталган күч пайда болот. Ал күчтү физикада серпилүү күчү деп атайт. Ошондуктан созулуп бараткан пружинанын илмегине эки күч аракет этет: биз аракет эткен $\vec{F}$ күчү жана пружинанын $\vec{F}_с$ серпилүү күчү. Башталышында $\vec{F}_с$ күчү $\vec{F}$ күчүнө караганда кичине болот. Ошондуктан алардын тең аракет этүүчүсү пружинанын илмегин ылдамдануу менен кыймылга келтирет, пружинаны созот. Пружина созулган сайын, $\vec{F}_с$ серпилүү күчү чоңоюп, акыры ал $\vec{F}$ күчүнө барабар болуп калат. Ушул моменттен баштап, пружинанын созулушу токтойт (6.31.1в - сүрөт).

Ушинтип пружинанын созулушу токтогон моментте, анын илмегине аракет эткен $\vec{F}_c$ серпилүү күчүнүн модулу менен, аны деформацияланган калыбында кармап турган $\vec{F}$ күчүнүн модулу барабар болот.

Динамометр деп аталган, күчтү ченөөчү приборду түзүүдө ушул факт эске алынат. Мындай приборду түзүүгө дагы бир факт жардам берет. Ушул фактыны көрсөтөбүз.

Эгерде, мисалы, массасы *1кг* болгон телону, полдун бетинен жогору көтөрүп бош кое берсе, ал $g = 9{,}8\, м/с^2$ ылдамдануусу менен эркин түшөт.



6.31.2- сүрөт

Ньютондун экинчи закону боюнча телого күч аракет этсе гана ал ылдамдануу менен кыймылга келет. Телонун массасы менен ылдамдануусунун көбөйтүндүсү, телого ошол ылдамданууну берген күчкө барабар болот. Ошондуктан массасы *1кг* болгон телого *9,8 Н* күч аракет этхенде гана ал $9{,}8\, м/с^2$ ылдамдануу менен кыймылга келе алат.

Демек, эркин түшүп келаткан, массасы *1кг* болгон телого *9,8Н* күч аракет этет. Бул күч Жердин тартуу күчү болуп саналат. Аны физикада оордук күчү деп атайт. Оордук күчү Жер бетине жакын турган телолорго бирдей, $g = 9{,}8 \frac{м}{с^2}$ ылдамдануусун берет. Ошондуктан оордук күчүн туюнткан формуланы төмөнкүдөй жазса болот:

$$P = mg \tag{6.31.1}$$

Мында, m- телонун массасы; g - анын эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу; P - ошол телого аракет эткен оордук күчү.

(6.31.1) формуласынан көрүнүп тургандай, массасы $m = 1/9{,}8кг \approx 102г$ келген телого *1Н* оордук күчү аракет этет.

Мына ушул факт күчтү ченөөчү динамометрди жасоодо пайдаланылат.

Мейли, бизде ар биринин массасы *102г* дан болгон бир нече жүкчө болсун. Биз кичинекей тактайчаны алып, анын бетине атайын тандап алынган пружинанын бир учун бекитип коелу. Анын экинчи учуна кичинекей жебе жана илгич бекитилген болсун. Пружина эркин созула алсын.

Башталышында бул тактайчаны вертикалдуу жайгаштырабыз. Анын бетиндеги пружинанын жебеси туш келген чекитти белгилеп, ага *0* белгисин коебуз. Ушундан кийин пружинанын илгичине массасы *102г* болгон бир жүкчөнү илебиз. Анда пружина созулуп барып токтойт. Ушул абалдагы пружинанын илгичине, ага илинген жүктүн оордук күчү аракет этет. Ал *1Н* го барабар болот, вертикалдуу төмөн көздөй багытталат. Ошондой эле бул илгичке пружинанын серпилүү күчү аракет этет. Ал вертикалдуу жогору көздөй багытталат. Анын модулу дагы *1Н* го барабар болот. Ошондуктан бул учурдагы пружинанын жебеси туш келген чекитке *1Н* деген белги коебуз (6.31.2-сүрөт).

Улам бирден жүктү кошуп илүү менен тажрыйбаны улантып, тактайчанын бетине *2Н, 3Н, ...* күчтөрдү көрсөткөн белгилерди коюп чыгабыз. Ушинтип динамометрди градуирлейбиз (жасайбыз).

Ушундан кийин бул динамометр менен каалагандай башка күчтөрдү ченөөнүн мүмкүндүгү түзүлөт.

Мейли, биз динамометрдин илгичинен кармап, анын пружинасын созолу, башкача айтканда ага кандайдыр бир күч менен аракет этели. Бул учурда динамометр *5Н* деген белгини көрсөтүп турсун. Анда, биз динамометрдин илгичине *5Н* күч менен аракет этип турабыз деген тыянак чыгарабыз. Ар кандай башка күчтөрдү да ушундай эле жол менен ченейбиз.

Суроолор жана тапшырмалар

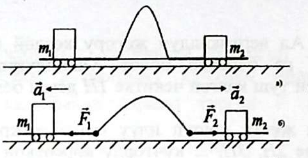
1. Күчтүн СИ системасындагы бирдиги эмне? Ал бирдик эмнени көрсөтөт?
2. Күч таасир эткенде пружинанын созулуусунун механизмин түшүндүргүлө.
3. Серпилүү күчү деп кайсыл күч айтылат? Ал качан пайда болот?
4. Пружинанын созулуп барып токтогон абалында, анын илгичине кайсыл күчтөр аракет этишет? Алардын кандай байланышы бар? Кайсыл факт динамометрди жасоодо эске алынат?
5. Ар кандай телого оордук күчүнүн аракет эте турганын негиздеп түшүндүргүлө. (6.31.1) формуласын негиздеп жазгыла.
6. Динамометрди градуирлөөдө (жасоодо) эмне үчүн *102г* дык жүкчөлөр пайдаланылат?
7. Динамометрди градуирлөө процессин талдап түшүндүргүлө. Динамометрдин жардамы менен күч кандайча ченелет?

32-§. Ньютондун үчүнчү закону

Мейли, горизонталдык тегиздиктин бетинде турган, массаларын эсепке албай кое тургандай кичине болгон эки арабача менен төмөнкүдөй тажрыйба жүргүзөлү. Алардын бирөөнө серпилгичтүү пластинка бекитилген болсун.Бул пластинканы ийип келип, ошол абалында жип менен байлап коелу.

Ушул арабачалардын бирине массасы m_1, экинчисине массасы m_2 ***болгон*** жүктөрдү жүктөйбүз. Экинчи арабачаны биринчи арабачадагы жип менен байланып коюлган серпилгичтүү пластинкага тийишип тургандай жайгаштырабыз (6.32.1а - сүрөт).

Тажрыйба үчүн массалары эске алынбагандай кичине болгон арабачаларды тандап алдык. Ошондуктан мындан ары массасы m_1 болгон жүгү бар арабачаны массасы m_1 болгон арабача деп, массасы



6.32.1-сурөт

m_2 болгон жүгү барын массасы m_2 болгон арабача деп атайбыз. Серпилгичтүү пластинканы ийилген абалында кармап турган жипти кыркып жиберебиз. Анда пластинканын түзөлүү процессинде арабачалар өз ара аркеттенишет.

Мындай аракеттенишүүнүн жүрүшүндө эки арабача тең карама-каршы багыттагы $\vec{a}_1$ жана $\vec{a}_2$ ылдамдануулары менен кыймылга келишет. Демек, алардын экөөнө тең тиешелүү күчтөр аракет этишет.

Ушул арабачалардын ар биринин кыймылын өзүнчө талдайлы.

Массасы m_2 болгон 2-арабачага 1-арабача аракет этип, ага $\vec{a}_2$ ылдамдануусун берет. Мындай аракетти күч деп атайт (30-§). Демек, өз ара аракеттенишүүнүн жүрүшүндө 1-арабача 2-арабачага $\vec{F}_2$ күчү менен аракет этип, ага $\vec{a}_2$ ылдамдануусун берет. Ньютондун экинчи закону боюнча бул күч төмөнкүгө барабар болот:

$$\vec{F}_2 = m_2\vec{a}_2 \qquad (6.32.1)$$

Мындай өз ара аракеттенишүүнүн жүрүшүндө массасы m_1 болгон 1-арабачага 2-арабача да аракет этип, ага $\vec{a}_1$ ылдамдануусун берет. Бул факт ушул 2-арабачанын дагы 1- арабачага кандайдыр бир $\vec{F}_1$ күчү менен аракет эте турганын көрсөтөт. Бул күч ошол 1-арабачанын массасы менен анын ылдамдануусунун көбөйтүндүсүнө барабар болот:

$$\vec{F}_1 = m_1\vec{a}_1 \qquad (6.32.2)$$

29-§ та көрсөтүлгөндөй, биринчиден, өз ара аракеттенишкен телолордун биринин массасы менен ылдамдануусунун модулунун көбөйтүндүсү, экинчисинин массасы менен ылдамдануусунун модулунун көбөйтүндүсүнө барабар болот (6.29.2), экинчиден, тиешелүү тажрыйбалар өз ара аракеттенишкен арабачалардын $\vec{a}_1$ жана $\vec{a}_2$ ылдамданууларынын карама-каршы багытталышканын көрсөтөт.

Ушул эки фактынын негизинде төмөнкү барабардыкты жазууга болот:

$$m_1\vec{a}_1 = -m_2\vec{a}_2 \qquad (6.32.3)$$

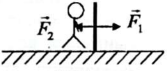
Мындагы «-» белгиси $\vec{a}_1$ жана $\vec{a}_2$ ылдамданууларынын бири-бирине карама-каршы багыттала тургандыктарын билдирет.

(6.32.1) жана (6.32.3) формулаларынын негизинде бул барабардыкты

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \qquad (6.32.4)$$

түрүндө жазууга болот. Мында, $\vec{F}_2$ 2-арабачага 1-арабачанын аракет эткен күчү; $\vec{F}_1$ - 1-арабачага 2- арабачанын каршы аракет эткен күчү.

Мындай формула өз ара аракеттенишкен ар кандай эки тело үчүн да туура болорун тажрыйбалар көрсөтөт.



6.32.2-сүрөт

Демек, өз ара аракеттенишкен телолор бир сызыкты бойлото карама-каршы багытталышкан, модулдары боюнча барабар болушкан күчтөр менен бири-бирине аракет этишет. Башка сөз менен айтканда, аракет эткен бир телого экинчи тело сөзсүз каршы аракет этет. Бул аракеттин жана каршы аракеттин багыттары карама-каршы, чоңдуктары барабар болушат.

Бул законченемдикти Ньютон ачкан. Ошондуктан ал физикада Ньютондун үчүнчү закону деп аталат.

Ньютондун үчүнчү законунун орун алышын көрсөткөн бир тажрыйбаны келтирели.

Бутуна коньки байланган бала өтө жылма муздун бетинде турсун. Анын жанында музга бекем орнотулган мамы орнотулган болсун (6.32.2 -сүрөт).

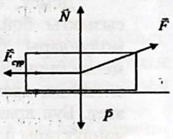
Эгерде, ушул бала сол тарапты көздөй жылгысы келсе, анда ал мамыны оң тарапты көздөй түртөт. Ошондо ал сол тарапты карай ылдамдануу менен кыймылга келет. Бул фактыны төмөнкүчө түшүндүрсө болот: бала мамыга оң тарапты көздөй багытталган $\vec{F}_1$ күчү менен аракет этет. Ал эми мамы болсо балага сол тарапты көздөй $\vec{F}_2$ күчү менен каршы аракет көрсөтөт. Мына ушул $\vec{F}_2$ күчү массасы m_2 болгон балага $\vec{a}_2$ ылдамдануусун берет. Мамыга аракет эткен $\vec{F}_1$ күчү болсо, аны ылдамданууга келтире албайт, себеби ал бекем бекитилген.

Эгерде бала оң тарапты көздөй жылгысы келсе мамыны өзүнө карай, башкача айтканда сол тарапты көздөй тартат. Ошондо ал мамы тарабынан каршы аракет эткен күчтүн аракети астында оң тарапты көздөй ылдамдануу менен кыймылга келет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. 6.32.1-сүрөттө көрсөтүлгөн арабачылардын өз ара аракеттенишүүлөрү кезинде орун алган фактыларды талдагыла.
2. 2-арабачанын кыймылын түшүндүргөн (6.32.1) формуласын негиздеп жазгыла.
3. 1-арабачанын кыймылын түшүндүргөн (6.32.2) формуласын негиздеп жазгыла.
4. (6.32.3.) барабардыгын негиздеп жазгыла.
5. Ньютондун үчүнчү законун туюнткан формуланы негиздеп жазгыла.
6. Ньютондун үчүнчү законун айткыла. Анын орун алышын көрсөткөн мисалдарды келтиргиле.

VII Бап. ЖАРАТЫЛЫШТАГЫ КҮЧТӨР ЖАНА ТЕЛОЛОРДУН КЫЙМЫЛЫ

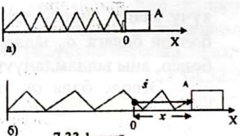


7.1-сүрөт

Мейли, биз горизонталдык тегиздикте жаткан кутучага $\vec{F}$ күчү менен аракет этип, аны ылдамдануу менен кыймылга келтирели (7.1-сүрөт). Бул телого ушул $\vec{F}$ күчүнөн башка дагы $\vec{P}$ оордук күчү, $\vec{N}$ серпилүү күчү, жана $\vec{F}_{сүр}$ сүрүлүү күчү аракет этет. $\vec{F}$ күчүнүн аракет этиши же этпеши бизден көз каранды. Ал эми калган күчтөр андай эмес. Биз каалаcак да, каалабасак да тиешелүү шарттарда, ал күчтөр аракет эте беришет. Ушундай күчтөрдү физикада жалпысынан ***жаратылыштагы күчтөр*** деп атайт.

Механикада жаратылыштагы күчтөрдүн үч түрү каралат: серпилүү күчү, сүрүлүү күчү жана бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү. Бул главада ушул күчтөр жөнүндө маалыматтар берилет.

33-§. Серпилүү күчү. Гуктун закону



7.33.1-сүрөт

Мейли, бизге бир учу кыймылсыз бекитилген, экинчи учунда илмеги бар пружина берилсин. Анын илмегине горизонталдык тегиздиктин жылма бетинде жаткан кичинекей жыгач кутучасы байланган болсун (7.33.1-сүрөт). Кутучаны ушул пружина созулуп тургандай абалда кармап туруп кое берели. Анда бул пружина тең салмактуулук абалына келүүгө умтулат жана өзүнө илинген кутучаны ылдамдануу менен кыймылга келтирет. Эгерде кутучаны, ал илинген пружина кысылып турган абалында кармап туруп, кое берсе да ушундай эле кубулуш байкалат.

Ньютондун экинчи закону боюнча телого күч аракет эткенде гана ылдамдануу менен кыймылга келет.

Демек, кутучага созулган же кысылган пружина күч менен аракет этет. Бул күчтү ***серпилүү күчү*** деп атайт.

Серпилгич пластинаны ийип, анын бир учун столдо жаткан китепке тийгизип туруп кое берели, экинчи учун өзүбүз кармап туралы. Анда бул китеп пластинанын аракети астында ылдамдануу менен кыймылга келет. Демек, ийилген пластинка китепке күч менен аракет этет. Ал күч дагы серпилүү күчү болуп саналат. Тело созулган, кысылган, ийилген жана толгонгон учурларда анын бир бөлүгү экинчи бөлүгүнө салыштырмалуу жылат. Натыйжада анын өлчөмдүрү, формасы өзгөрүлөт. Телонун өлчөмдөрүнүн, формасынын өзгөрүүсүн физикада телонун ***деформациясы*** деп атайт.

Деформацияланган тело мурдагы тең салмактуулук абалына келүүгө умтулат. Бул учурда анын бир бөлүгү экинчи бөлүгүнө, ошондой эле аны менен байланышып турган башка телого серпилүү күчү менен аракет этет.

Биз ушул серпилүү күчүнүн кайсыл тарапты көздөй багытталаарын, анын кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болорун карайлы.

Бул максатта жогоруда айтылган кутучанын кыймылын изилдейбиз.

Ал үчүн, баарынан мурда төмөнкүдөй эсептөө системасын тандап алабыз: а) анын башталышын деформацияланбай турган кездеги пружинанын илмегине туш келген, горизонталдык тегиздиктин *о* чекитине жайгаштырабыз; б) OX координата огун пружина жаткан сызык боюнча жүргүзөбүз (7.33.1 а - сүрөт).

Пружина деформацияланбай турган кезде ага илинген кутуча бул эсептөө системасына салыштырмалуу тынч абалын сактайт. Кыймылга келгенде ал алга умтулуу менен кыймылдайт. Ошондуктан бул кутучанын кыймылын изилдөө үчүн, аны материалдык чекит катарында карап, анын пружинага байланган чекитинин кыймылын изилдейбиз.

Ушул кутучаны пружина созулгандай жылдыралы. Анда анын илмеги, башкача айтканда A чекити OX огунун багыты боюнча которулат. Бул чекиттин которулуш векторун $\vec{s} = \vec{OA}$ деп белгилейли (7.31.1б - сүрөт). Анын ox огундагы проекциясы, демек $s_x = x$ чоңдугу пружинанын узарышына барабар болот (7.31.1б - сүрөттү карагыла).

Эгерде ошол кутучаны бош кое берсе, ал ылдамдануу менен кыймылга келет. Себеби созулган пружина ага серпилүү күчү менен аракет этет. Бул күч созулган пружинанын A чекитинин (илмегинин) которулуш векторуна карама-каршы багытталат.

Демек, созулган пружина өзүнө илинген телого серпилүү күчү менен аракет этет. Бул күч пружина созулган кездеги анын каалагандай чекитинин которулушуна карама-каршы багытталат. Ушул факт телонун ар кандай башка деформациялары (кысылуу, ийилүү, толгонуу, жылышуу) үчүн да мүнөздүү болот. Ошондуктан аны төмөнкүчө жалпылап айтса болот: деформацияланган тело өзүнө бекитилген башка телого серпилүү күчү менен аракет этет. Бул күч деформация кезиндеги ошол деформацияланган телонун каалагандай A чекитинин которулушуна карама-каршы багытталат.

Тажрыйбалар (мисалы, динамометрди градуирлөөгө окшош жүргүзүлгөн тажрыйбалар (29-§)) дагы төмөнкүлөрдү көрсөтөт: а) деформацияланган тело өзүнүн каалагандай A чекитине, же ошол чекитке бекитилген башка телого серпилүү күчү менен аракет этет; б) бул күчтүн модулу ошол A чекитинин баштапкы абалына салыштырмалуу которулушунун модулуна, башкача айтканда анын жылышуусунун чоңдугуна түз пропорциялаш болот; в) бул күчтүн модулу деформацияланган телонун тегине, узундугуна, туура кесилиш аянтына көз каранды болот.

Тажрыйбалардан ушул алынган фактылардын негизинде серпилүү күчүн туюнткан төмөнкү формуланы жазууга болот.

$$F = -k \cdot x \qquad (7.33.1)$$

Мында, x - деформацияланган телонун берилген чекитинин жылышуусу; F - серпилүү күчү; k - телонун тегине, узундугуна, туура кесилиш аянтына көз каранды болгон коэффициент. Аны физикада телонун катуулук *коэффициенти* деп атайт. Бул формуладагы «-» белгиси серпилүү күчүнүн деформацияланган телонун жылышуусуна карама-каршы багытталганын көрсөтөт.

Демек, деформацияланган телонун берилген чекитине аракет эткен серпилүү күчү: а) ошол чекиттин, өзүнүн тең салмактуулук абалынан жылышуусунун чоңдугуна түз пропорциялаш болот; б) ошол чекиттин которулушуна карама-каршы багытталат; в) телонун тегине, формасына көз каранды болот.

Бул закон ченемдүүлүктү англиялык физик Р. Гук (1635-1703) ачкан. Ошондуктан аны физикада Гуктун закону деп атайт.

Деформациянын чоңдугу, башкача айтканда деформацияланган телонун берилген чекитинин жылышуусу дайыма эле сезилерлик боло бербейт. Мисалы, столдун бетине китепти койсо, эч кандай деформация көрүнбөйт. Бирок, деформация бул учурда дагы бар. Ошондуктан дайыма таянычка таянып, же илгичке илинип турган телого, ошол таяныч же илгич тарабынан сөссүз серпилүү күчү аракет этет.

Эгерде телого серпилүү күчү гана аракет эте тургандай шарт түзүлсө, анын кандай түрдөгү кыймылга келе турганын талдайлы.

Сүрөттөгү кутучага деформацияланган пружина тарабынан серпилүү күчү аракет этет. Ага мындан башка дагы Жер тарабынан оордук күчү, столдун бети тарабынан серпилүү күчү аракет этет. Алардын модулдары барабар, багыттары карма - каршы болгондуктан бирин - бири компенсациялап турат, башкача айтканда алардын суммасы нөлгө барабар болот (ушул себепке байланыштуу биз аларды чиймеде көрсөткөнүбүз жок). Шарт боюнча кутуча менен столдун бети жылма. Ошондуктан алардын ортосундагы сүрүлүүнү эске албай койсо болот.

Демек, пружинага илинген кутуча столдун жылма, горизонталь бети боюнча кыймылга келген учурда, ага жалгыз эле пружинанын серпилүү күчү аракет этет деп алуу мүмкүн. Мындай күч аракет эткен кутучанын термелүү кыймылына келе турганына оңой эле ишенүүгө болот. (Кутучанын ушундай кыймылга келе турганын өз алдынча талдап түшүнгүлө) Телолордун термелүү кыймылы кийинки главаларда атайын изилденет (IX бапда).

Суроолор жана тапшырмалар

1. Жаратылыштагы күчтөр деп кандай күчтөр айтылат? Арабаны тартып бараткан аттын күчү ушундай күчтөргө киреби?
2. Серпилүү күчүнүн жашай тургандыгын негиздеп түшүндүргүлө.
3. Телонун деформациясы деп эмне айтылат? Анын кандай түрлөрү бар?
4. Серпилүү күчү кайсы тарапты көздөй багытталат?
5. Серпилүү күчүнүн модулу кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?
6. Гуктун законун негиздеп жазгыла, андагы ар бир чоңдукка түшүндүрмө бергиле, законду жыйынтыктап айткыла.
7. Столдун бетинде турган бош чайнекке серпилүү күчү аракет этеби? Жообуңарды негиздегиле.
8. Эгерде телого пружинанын серпилүү күчү гана аракет эте тургандай шарт түзүлсө, ал кандай кыймылга келет? Жообуңарды негиздегиле.

34-§. Сыйгалангандагы сүрүлүү күчү

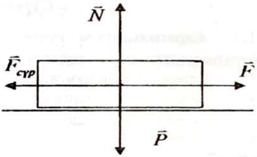
Мейли, горизонталдык тегиздикте жаткан кутучага $\vec{\upsilon}_o$ баштапкы ылдамдыгын бергенден кийин аракетти токтотуп коелу. Анда ал Жерге, демек инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу бул ылдамдыгын турактуу сакташы керек эле. Бирок, биз анын акырындап барып токтогондугун, башкача айтканда ылдамдыгынын багытына карама-каршы багытталган ылдамдануу менен кыймылдагандыгын көрөбүз.

Ньютондун экинчи закону боюнча телого күч аракет эткенде гана ал ылдамдануу менен кыймылдайт. Анын ылдамдануусунун багыты ошол күчтүн багыты менен дал келет. Демек, кутучага столдун бети тарабынан, анын кыймылынын багытына карама-каршы багытталган күч аракет этет. Ушул күчтү ***сүрүлүү күчү*** деп атайт. Бул учурдагы сүрүлүү күчү кутучанын сыйгаланып кыймылдаган кезинде пайда болуп жатат. Ошондуктан аны ***сыйгалангандагы сүрүлүү күчү*** деп атайт.

Мындай сүрүлүү күчүнөн башка дагы *тынч тургандагы сүрүлүү күчү, тоголонгондогу сүрүлүү күчү* жашайт.

Эми сыйгалангандагы сүрүлүү күчүнүн кайсыл чоңдуктан, кандайча көз каранды болорун аныкташыбыз керек. Ал үчүн бул күчтү ченөөнүн жолун билишибиз зарыл.

Мейли горизонталдык тегиздикте жаткан кутучаны динамометрдин илгичине илип, түз сызык боюнча бир калыпта кыймылга келтирели. Анда динамометр кутучаны ушундай кыймылга келтирген $\vec{F}$ күчүнүн чоңдугун көрсөтөт. Кутучага бул учурда $\vec{F}$ күчүнөн башка дагы $\vec{P}$ оордук, $\vec{N}$ серпилүү, $\vec{F}_{сүр}$ сүрүлүү күчтөрү аракет этишет (7.34.1 - сүрөт).



7.34.11-сүрөт

Кутуча түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келгендиктен анын ылдамдануусу нөлгө барабар болот. Бул факт кутучага аракет эткен күчтөрдүн тең аракет этүүсүнүн, башкача айтканда ушул күчтөрдүн суммасынын нөлгө барабар боло тургандыгын көрсөтөт:

$$\vec{F} + \vec{F}_{сүр} + \vec{N} + \vec{P} = 0 \qquad (6.34.1)$$

Мындагы $\vec{N} + \vec{P} = 0$ болот. Ошондуктан калган эки күчтүн суммасы да нөлгө барабар болуш керек:

$$\vec{F} + \vec{F}_{сүр} = 0 \text{ же } \vec{F} = -\vec{F}_{сүр} \qquad (7.34.2)$$

Мындан көрүнүп тургандай, түз сызык боюнча бир калыпта сыйгаланып бараткан кутучага аракет эткен сүрүлүү күчүнүн модулу, динамометр көрсөткөн $\vec{F}$ күчүнүн модулуна барабар. Демек, ушундай учурдагы динамометрдин көрсөтүүсү боюнча сыйгалангандагы сүрүлүү күчүнүн модулун аныктап алса болот.

Ушундай жол менен жүргүзүлгөн тажрыйбалардын негизинде сүрүлүү күчүнүн төмөнкүлөрдөн көз каранды болору далилденген: а) бул күч телону, ал сыйгаланып бараткан бетке ныктап аракет эткен күчтүн чоңдугуна түз пропорциялаш; б) тело менен ал сыйгаланып бараткан беттин, беттешип турган бөлүгүнүн жылмалыгынан, алардын тегинен көз каранды болот; в) алардын беттешип турган бөлүгүнүн аянтынан көз каранды болбойт. Ушул фактылардын негизинде сүрүлүү күчүнүн модулун туюнткан формуланы жазабыз. Телону, ал сыйгаланып бараткан бетке ныктап аракет эткен күчтүн модулу, ошол бет тарабынан телого аракет эткен $\vec{N}$ серпилүү күчүнүн модулуна барабар болот. Ошондуктан сүрүлүү күчүнүн модулун туюнткан формуланы жазууда ушул $\bar{N}$ серпилүү күчүнүн модулу Nди пайдалануу кабыл алынган.

Сүрүлүү күчүнүн модулун туюнткан формуланы жазабыз:

$$F_{сүр} = \mu \cdot N \tag{7.34.3}$$

Мында, N - телого бет тарабынан аракет эткен серпилүү күчүнүн модулу, ал телону сыйгалануучу бетке ныктаган күчтүн модулуна барабар болот; μ - сыйгалангандагы сүрүлүү коэффициенти, ал тело менен беттин беттешип турган бөлүгүнүн жылмалыгынан, алардын тегинен көз каранды болот; $F_{сүр}$- телого, ал сыйгаланган бет тарабынан аракет эткен сүрүлүү күчү.

Эми, «Эмне себептен сүрүлүү күчү бар?» деген суроого жооп берели: биринчиден, беттер канчалык жылмаланса дагы алардын кээ бир чекиттеринде кичинекей чуңкурчалар, кээ бир чекиттеринде кичинекей өркөшчөлөр жоголбой кала берет. Тело бет боюнча сыйгаланып кыймылдаган учурда ушул өркөшчөлөр жана чуңкурчалар бири бирине илинишет. Натыйжада, телонун кыймылына тоскоолдук көрсөтүлөт. Ушундай тоскоолдуктардын натыйжасында сүрүлүү күчү пайда болот.

Экинчиден, өтө тегизделген беттер беттешкен учурда, ошол беттердеги молекулалар бири-бирине жакшыраак жакындашат. Натыйжада ошол молекулалардын ортосундагы тартылуу күчтөрү сезилерлик болуп калат. Ал күчтөр телонун бет боюнча сыйгаланышына тоскоолдук кылышат. Ушундай тоскоолдуктардын натыйжасында да сыйгалангандагы сүрүлүү күчү пайда болот. Сүрүлүү күчүнүн пайда болушунун ушундайча эки себеби бар.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Сүрүлүү күчүнүн жашай тургандыгын негиздеп түшүндүргүлө.
2. Сыйгалангандагы сүрүлүү күчүн тажрыйбада кантип аныктоого болот?
3. Сыйгалангандагы сүрүлүү күчү кайсыл тарапты көздөй багытталат? Анын модулу кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?
4. Сыйгалангандагы сүрүлүү күчүнүн модулун туюнткан (7.34.3) формуласын негиздеп жазгыла.
5. Сыйгалангандагы сүрүлүү күчүнүн пайда болуу себептери эмнеде?

35-§. Тынч тургандагы сүрүлүү күчү

Бөлмөдө турган столду акырын түртөлү, башкача айтканда ага кичинерээк күч менен аракет этели. Мындай аракет кыйла убакытка созулса дале стол тынч тура берет.

Ньютондун экинчи закону боюнча телого күч аракет этсе, ал ылдамдануу менен кыймылга келет. Эгерде телого эки же андан көп күч аракет этсе, бирок алардын биринин аракетин экинчиси компенсациялап турса, ал тело тынч абалын же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактайт.

Ушул эки фактыдан төмөнкүдөй тыянак келип чыгат:
столго белгилүү бир күч менен аракет эткенибизде ага аракет эткен дагы бир күч пайда болот. Ошол күч биз аракет эткен күчтү компенсациялап турат. Демек, анын модулу биз аракет эткен күчтүн модулуна барабар, багыты ага карама-каршы болуш керек. Бул күч, ушундай шартта, чынында эле жашайт. Аны физикада ***тынч тургандагы сүрүлүү күчү*** деп атайт.

Столго аракет эткен күчүбүздү бир аз чоңойтолу. Анда стол мурдагыдай эле тынч тура берет. Бул факт тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн да бир аз чоңойгондугун көрсөтөт.

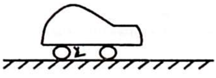
Столго аракет эткен күчтү чоңойто берели. Анда анын белгилүү бир маанисинде стол полдун бети боюнча сыйгаланып жыла баштайт.

Столдун, башкача айтканда телонун ушундай жыла берер абалында, ага аракет эткен тынч тургандагы сүрүлүү күчү өзүнүн максималдык маанисине жетет. Ал күч андан ары чоңое албайт. Себеби ушундан баштап тело сыйгаланып жыла баштайт да, телого тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн ордуна сыйгалангандагы сүрүлүү күчү аракет этип калат. Демек, телого аракет эткен тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн максималдык мааниси сыйгалангандагы сүрүлүү күчүнө барабар болот:

$$(\vec{F}_{Tc})_{\max} = \vec{F}_{\text{сүр}} \qquad (7.35.1)$$

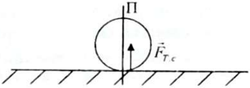
Тынч тургандагы сүрүлүү кубулушуна бир нече мисал келтирели.

Мейли, тигил же бул кыймылсыз тегиздиктин бетинде турган телонун бир бөлүгү ошол тегиздиктин бети боюнча кыймылга келүүгө аракеттенсин. Мисалы, автомобилдин дөңгөлөгү саат жебесинин багыты боюнча айлануу кыймылына келүүгө аракеттенсин (7.35.1-сүрөт). Анда анын жердин бетине тийишип турган бөлүгү сол тарапты көздөй кыймылдоого аракеттенет. Бул



7.35.1-сүрөт

учурда жердин бети тарабына дөңгөлөктүн бетине оң тарапты көздөй багытталган тынч тургандагы сүрүлүү күчү аракет этет. Ушул күч дөңгөлөккө, ал аркылуу бүткүл автомобилге ылдамдануу берет. Натыйжада, автомобиль белгилүү бир ылдамдануу менен алдыга көздөй кыймылга келет.



7.36.1-сүрөт

Мейли, автомобиль өтө жылма муздун бетинде турсун. Анда анын дөңгөлөгү кыймылдоого аракеттенгенде пайда болуучу тынч тургандагы сүрүлүү күчү, өзүнүн максималдык маанисине жеткен учурда автомобилге ылдамдануу бере албай калат. Натыйжада автомобилдин дөңгөлөгү ордунда айланып кетет. Ушул моменттен баштап дөңгөлөккө сыйгалангандагы сүрүлүү күчү аракет этет. Анын чоңдугу тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн максималдык маанисине барабар болот. Ошондуктан бул күч дагы автомобилге ылдамдануу бере албайт. Эгерде айланып жаткан дөңгөлөктөрдүн астына кум таштаса, тынч тургандагы сүрүлүү күчү чоңоет. Ал автомобилге ылдамдануу бере тургандай мааниге чейин чоңойгондо, автомобиль тиешелүү ылдамдануу менен кыймылга келет.

Ар кандай телонун Жердин бетиндеги кыймылын, мисалы, кишинин кадамдап басышын, поезддин жүрүшүн д.у.с., тынч тургандагы сүрүлүү күчү камсыз кылат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн жашашы жөнүндөгү фактыны негиздеп түшүндүргүлө.
2. Тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн максималдык мааниси деп эмне айтылат? Ал эмнеге барабар болот?
3. Автомобилдин кыймылынын мисалында тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн ролун көрсөткүлө.
4. Кишинин кадамдап басышынын механизмин түшүндүргүлө.
5. Автомобиль каалагандай чоң ылдамдануу менен кыймылга келе алабы? Жообуңарды негиздегиле.

36-§. Тоголонгондогу сүрүлүү күчү

Мисал катарында автомобилдин бир дөңгөлөгүнүн кыймылын талдайлы. Бул дөңгөлөк менен Жер белгилүү бир аянтка ээ болгон бет боюнча беттешип турушат. Бул беттин бир бөлүгү дөңгөлөктүн оордук борбору аркылуу өткөн *П вертикал* тегиздигинин сол тарабында, экинчи бөлүгү анын оң тарабында жайгашкан болот (7.36.1- сүрөт).

Дөңгөлөк саат жебесинин багыты боюнча өзүнүн оордук борборунун тегерегинде айлануу кыймылына келүүгө аракеттенсин. Анда анын Жер менен тийишип турган бетинин $П$ тегиздигинин оң тарабындагы бөлүгү, жердин бетине төмөн көздөй багытталган күч менен аракет этет. Жердин бети болсо, дөңгөлөктүн мындай аракетине каршы аракет жасайт. Натыйжада Жердин бети дөңгөлөктүн бул бөлүгүнө $\vec{F}_{Tc}$ кошумча серпилүү күчү менен аракет этет (7.34.1-сүрөт). Бул күч дөңгөлөктүн тоголонушуна каршылык көрсөтөт. Ошондуктан физикада аны ***тоголонгондогу сүрүлүү күчү*** деп атайт.

Тоголонгондогу сүрүлүү күчү телолордун беттешкен аянтына, алардын деформацияланышынын чоңдугуна, кыймылсыз телонун бетине аракет эткен күчтүн чоңдугуна көз каранды болот. Эгерде телолордун беттешкен аянты, алардын деформацияланышынын чоңдуктары кичине болсо тоголонгондогу сүрүлүү күчү кичине болот. Ошондуктан, мисалы, бош үйлөнгөн дөңгөлөккө караганда, дың үйлөнгөн дөңгөлөккө аракет эткен тоголонгондогу сүрүлүү күчү кичине болот.

Автомобилист түз, тегиз жолдо баратып автомобилинин кыймылдаткычын өчүрүп койсун. Анда ага тоголонгондогу сүрүлүү күчү гана аракет эте тургандай шарт түзүлөт. (Абанын каршылыгы эсепке алынбайт). Бул күчтүн аракети астында автомобиль акырындап барып токтойт.

Эгерде автомобилист машинасын тез токтоткусу келсе, анын тормозун катуу басат. Бул учурда дөңгөлөктөрдүн айлануу кыймылы токтоп, жердин бети боюнча сыйгаланып кыймылга келет. Автомобилге сыйгалангандагы сүрүлүү күчү аракет этет. Натыйжада автомобиль салыштырмалуу тезирек токтойт. Демек, тоголонгондогу сүрүлүү күчү сыйгалангандагы сүрүлүү күчүнө караганда кичине болот. Ошондуктан мисалы, оор устунду сүйрөп жылдырганга караганда тоголотуп жылдыруу жеңил болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Тоголонгондогу сүрүлүү күчү деп кайсыл күч айтылат? Бул күчтүн жашашы жөнүндөгү фактыны негиздеп түшүндүргүлө.
2. Тоголонгондогу сүрүлүү күчү эмнелерден көз каранды болот?
3. Телого тоголонгондогу сүрүлүү күчү гана аракет эте тургандай шарт түзүлсө, ал кандай кыймылга келет?
4. Бир эле телого аракет эткен тоголонгондогу сүрүлүү күчү чоңбу, же сыйгалангандагы сүрүлүү күчүбү?
5. Жүрүп бараткан жеңил автомобилдин айдоочусу, автомобилинин бир дөңгөлөгүнүн жели чыгып, бошоп калганын жүрүп баратып эле билип калат. Айдоочу мындай тыянакка кантип келет?

37-§. Айдын жерге салыштырмалуу кыймылы

Ай Жердин тегерегинде тынымсыз айланып жүрөт. Ошондуктан аны Жердин табигый жандоочусу деп атайт.

Өтө тактыкты талап кылбаган эсептөөлөрдө Айды айлана боюнча бир калыпта кыймылдап жүрөт деп алуу мүмкүн. Анда Айдын траекториясынын, башкача айтканда орбитасынын радиусу Жер менен Айдын ортосундагы аралыкка барабар болот.

Ушул жерде «Ай менен Жердин ортосундагы аралык үчүн кайсыл аралык алынат?» деген суроо пайда болот.

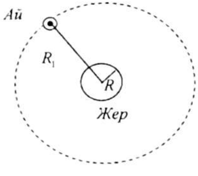
Биз механикада материалдык чекиттердин кыймылын карап келатабыз. Ай менен Жердин радиустары, алардын ортосундагы аралыкка караганда өтө кичине. Ошондуктан Айдын кыймылы каралган кезде Айды да, Жерди да материалдык чекит катарында алууга болот.

Мейли, биз Жердин массасы, анын оордук борборуна гана топтолуп калган деп эсептейли. Анда Жерди, ошол оордук борборунда жайгашкан материалдык чекит катарында караса болот. Демек, Жер - материалдык чекит. Ал Жердин оордук борборунда жайгашкан, анын массасы Жердин массасына барабар.

Ушул сыяктуу эле Айды дагы өзүнүн оордук борборунда жайгашкан, массасы өзүнүн массасына барабар болгон материалдык чекит катарында алса болот.

Жердин жана Айдын оордук борборлору, өздөрүнүн геометриялык борборлору менен негизинен дал келишет. Демек, Жер жана Ай өздөрүнүн борборунда жайгашкан материалдык чекиттер болуп саналышат.

Эми жогорудагы суроого ойлонбой эле жооп берсе болот: Ай менен Жердин ортосундагы аралык үчүн, демек Айдын орбитасынын радиусу үчүн, алардын борборлорунун ортосундагы аралыкты алуу керек.



7.37.1-сурот

Илимден бизге төмөнкүдөй фактылар белгилүү: Жерден Айга чейинки, башкача айтканда Жердин борборунан Айдын борборуна чейинки аралык 384000 км; Ай Жерди 27,3 суткада бир айланып чыгат.

Ушул маалыматтардан пайдаланып Айдын Жерге салыштырмалуу ылдамдыгын жана борборго умтулуучу ылдамдануусун табабыз.

Ай Жердин тегерегинде айлана боюнча бир калыпта кыймылдап, $T=27,3$ сутка убакыт ичинде, аны толук бир айланып чыгат. Бул учурда ал $s_1 = 2\pi R_1$ жолун өтөт. Мында R_1 - Айдын орбитасынын радиусу, ал Ай менен Жердин ортосундагы аралыкка барабар.

Айдын ылдамдыгы анын басып өткөн жолунун, ошол жолду басып өтүүгө кеткен убакыт аралыгына болгон катышына барабар болот:

$$\upsilon = \frac{s}{T} = \frac{2\pi R_1}{T}$$

R_1 жана T нын маанилерин бул формулага коюп, Айдын ылдамдыгын табабыз. Ал $\upsilon \approx 1 км/с$ болот.

Айдын борборго умтулуучу ылдамдануусун төмөнкү формула менен аныктайбыз:

$$a = \upsilon^2 / R_1 \approx 0.0027\, м/с^2 \qquad (7.37.1)$$

Демек, Ай Жерге салыштырмалуу $a = 0{,}0027\, м/с^2$ ылдамдануу менен кыймылдайт. Бул ылдамдануу Жердин борборун көздөй багытталган.

Ньютондун экинчи закону боюнча телого күч аракет эткенде гана ал ылдамдануу менен кыймылга келет. Телонун ылдамдануусунун багыты ага аракет эткен күчтүн багыты менен дал келет.

Демек, Жер тарабынан Айга тартуу күчү аракет этет. Ал күч Жердин борборун көздөй багытталат. Айга мына ушул күч борборго умтулуучу ылдамданууну берет. Эгерде бул күч аракет этпегенде, Ай Жерге салыштырмалуу түз сызыктуу бир калыптагы кыймылга келип, андан чексиз алыстап кете бермек.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Ай Жерге салыштырмалуу кайсыл түрдөгү кыймылга келет?
2. Жерди жана Айды кандай материалдык чекиттер катарында алууга болорун негиздеп түшүндүргүлө.
3. Ай менен Жердин ортосундагы аралык үчүн кайсыл аралык алынат? Жообуңарды негиздегиле.
4. Айдын Жерге салыштырмалуу ылдамдыгын аныктагыла.
5. Айдын Жерге салыштырмалуу ылдамдануусун аныктагыла.
6. Айга Жер тарабынан тартуу күчү аракет эте турганын негиздеп түшүндүргүлө.

38-§. Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү

Мурдагы параграфта айтылгандай, Айга Жер тарабынан тартуу күчү аракет этет. Бул күч Айга борборго умтулуучу ылдамданууну берет.

Ньютондун үчүнчү закону боюнча, эгерде бир тело экинчи телого $\vec{F}_2$ күчү менен аракет эткен болсо, ошол экинчи тело жөн калбайт. Ал дагы биринчи телого $\vec{F}_1$ күчү менен каршы аракет этет. Бул күчтөрдүн чоңдуктары барабар, багыттары карама-каршы болот.

Бул фактылардан төмөнкүдөй тыянак келип чыгат: Жер Айды кандай күч менен өзүнө тартса, Ай дагы Жерди ошондой эле күч менен өзүнө тартат. Ошондуктан бул күчтөрдү жалпысынан Жер менен Айдын өз ара тартышуу күчү деп атаса болот.

Демек, Жер менен Айдын ортосунда өз ара тартышуу күчү жашайт. Ал күч бир жагынан Жердин Айды тарткан күчүнө барабар болсо, экинчи жагынан Айдын Жерди тарткан күчүнө барабар болот. Бул күч Айга ылдамдануу берет, бирок Жерге ылдамдануу бере албайт. Себеби Жердин массасы чоң.

Жердин бетине жакын турган телолор Жерди көздөй $\vec{g}$ ылдамдануусу менен эркин түшүшөт. Бул факт Жер тарабынан ошол телолорго тартуу күчүнүн аракет эте турганын көрсөтөт. Ньютондун үчүнчү законуна ылайык, ал телолор дагы Жерге тартуу күчү менен аракет этишет. Демек, бул телолор менен Жердин ортосунда дагы өз ара тартышуу күчү жашайт. Бул күч телолорго ылдамдануу берет, бирок Жерге ылдамдануу бере албайт.

Ушундай эле бирин-бири тартуу күчү менен ар кандай башка телолор да аракеттенишет. Мисалы, Жер менен Ай, Жер менен Күн, Күн менен дагы башка планеталар д.у.с. Башка сөз менен айтканда дүйнөдөгү бүткүл телолор өз ара тартышышат. Ошондуктан телолордун өз ара тартышуусу бүткүл дүйнөлүк тартышуу катарында каралат. Физикада мындай бүткүл дүйнөлүк тартышууларды, аракеттенишүүлөрдү гравитациялык аракеттенишүү деп атайт. Тартышуу күчүн болсо, бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү, же гравитациялык күч деп атоо кабыл алынган.

Демек телолор өз ара бүткүл дүйнөлүк тартышуу же гравитациялык күч менен аракеттенишет. Бул күч телолордун гравитациялык өз ара аракеттенишүүсүнүн чени болуп саналат.

Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчүнүн кайсыл чоңдуктардан кандайча көз каранды болорун изилдейли. Ал үчүн дагы эле Жер менен башка телолордун тартышуу кубулушун талдайбыз. Белгилүү болгондой, массалары m_1, $2m_1$, $3m_1$, д. у. с. болгон телолордун бардыгы Жерди көздөй бирдей g ылдамдануусу менен түшүшөт. Бул ылдамдануунун телолорго Жердин ошол телолорду тарткан күчтөрдү берет. Эгерде массасы m_1 болгон телого Жер F_1 тартуу күчү менен аракет этсе, анда массалары $2m_1$, $3m_1$ д.у.с. болгон телолорго Жер $2F_1$, $3F_1$, д.у.с. күчтөрү менен аракет этиши керек. Анткени ушундай болгондо гана бардык телолордун ылдамдануулары барабар болот:

$$g = \frac{F_1}{m_1} = \frac{2F_1}{2m_1} = \frac{3F_1}{3m_1} = \dots$$

Демек, телого аракет эткен Жердин тартуу күчү ошол телонун массасына түз пропорциялаш болот: $F_1 \sim m_1$

Ньютондун үчүнчү закону боюнча тело да Жерге F_2 тартуу күчү менен аракет этет. Бул күч Жердин m_2 массасына пропорциялаш болушу керек:

$$F_2 \sim m_2$$

Жердин телону тарткан F_1 күчүнүн модулу менен телонун Жерди тарткан F_2 күчүнүн модулу дайыма барабар болот. Ошондуктан физикада бул күчтөрдү өз-өзүнчө бөлбөй эле Жер менен телонун өз ара тартышуу күчү деп жалпы атап коет.

Демек, Жер менен башка телонун өз ара тартышуу күчү телонун массасына да, Жердин массасына да түз пропорциялаш болот. Башкача айтканда алардын массаларынын көбөйтүндүсүнө түз пропорциялаш болот.

Бул тыянак биз тандап алган бир тело менен Жерге эле эмес, дүйнөдөгү ар кандай эки телонун өз ара аракеттенишүүлөрү үчүн да мүнөздүү. Ошондуктан аны төмөнкүчө жалпы түрдө беребиз: Дүйнөдөгү бүт телолор өз ара тартышышат. Мындай тартышуу күчү, демек бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү ошол тартышуучу телолордун массаларынын көбөйтүндүсүнө түз пропорциялаш болот.

$$F \sim m_1 \cdot m_2 \qquad (7.38.1)$$

Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү ошол тартылышуучу телолордун ортосундагы аралыктан да көз каранды болуш керек. Бул көз карандылыкты аныктоо үчүн, баарынан мурда телолордун ортосундагы аралык үчүн кайсыл аралыктан алынарын тактап алышыбыз зарыл. Мисалы, кандайдыр бир тело менен Жердин тартышуусу каралган учурда «алардын ортосундагы аралык үчүн ошол телодон Жердин бетине чейинки аралыкты алуу керекпи же анын борборуна чейинки аралыктыбы?» деген суроого жооп беришибиз керек.

Биз физикада материалдык чекиттин кыймылын изилдейбиз. Ошондуктан Жерди да материалдык чекит катарында алышыбыз, башкача айтканда Жерди анын идеалдык модели менен алмаштырып алышыбыз зарыл.

Мейли, биз Жердин массасы анын борборунда гана топтолуп калган деп эсептейли. Анда Жерди ошол борбордо жайгашкан материалдык чекит катарында кароого болот. Демек, Жер – бул шартта материалдык чекит болуп эсептелет. Ал чекит Жердин борборунда жайгашкан, массасы Жердин массасына барабар.

Жогорудагы суроого эми мындайча жооп беребиз: тело менен Жердин тартышуусу каралган учурда алардын ортосундагы аралык үчүн ошол телодон (материалдык чекиттен) жердин борборуна чейинки аралыкты алуу керек. Анда биз Жердин бетинде турган кезибизде, Жерден, анын радиусуна барабар болгон аралыкта, башкача айтканда $R = 6370 км$ аралыкта турган болобуз.

Эгерде, мисалы, Ай менен Жердин өз ара тартышуусу каралган болсо, алардын ортосундагы аралык үчүн Айдын борборунан Жердин борборуна чейинки аралык алынат. Ал эми Жер менен Күндүн өз ара тартышуусу каралса, айтылган аралык үчүн алардын борборлорунун ортосундагы аралык алынат.

Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчүнүн аралыктан кандайча көз каранды болорун так көрсөтүү үчүн Ай менен Жердин өз ара аракеттенишүүлөрүн карайбыз.

Мурдагы параграфта көрсөтүлгөндөй, Ай өзүнүн орбитасы боюнча кыймылга келген учурда, башкача айтканда Жерден R_1=384000 км аралыкта болгон кезинде $a = 0,0027 м/с^2$ ылдамдануусу менен кыймылдайт (33-§). Бул - факт. Эгерде материалдык чекит катарында алынган Ай Жерден $R_2 = 6370 км$ алыстыкка чейин, башкача айтканда Жердин бетине чейин келген болсо, ал дагы башка телолор сыяктуу эле $g = 9,8 м/с^2$ ылдамдануусу менен кыймылга келмек. Бул дагы - факт.

Эки учурда тең Айга ылдамданууну Жердин тартуу күчү. башкача айтканда Ай менен Жердин өз ара тартышуу күчү берет.

Ньютондун экинчи закону боюнча Ай R_1 аралыгында жүргөн учурда (7.38.1- сүрөт) аракет эткен Жердин тартуу күчү

$$F_1 = m_{ай}\, a \qquad (7.38.2)$$

болот. Ал эми Ай R аралыгында турган кезде аракет эте турган Жердин тартуу күчү

$$F_2 = m_{ай} g \qquad (7.38.3)$$

болмок.

Бул күчтөрдүн катышын табалы:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{g}{a} \approx 3600 = 60^2 \qquad (7.38.4)$$

Демек, Ай R аралыгында турган кезде ага аракет эте турган Жердин тартуу күчү, Ай R_1 аралыгында жүргөн кезде аракет эте турган тартуу күчүнөн *3600*, же *60^2* эсе чоң болмок.

Эми Ай менен Жердин ортосундагы R жана R_1 аралыктарын салыштыралы. Ал үчүн алардын дагы катышын табабыз:

$$\frac{R}{R_1} = \frac{6370\, км}{384000\, км} \approx \frac{1}{60} \qquad (7.38.5)$$

Мындан көрүнүп тургандай, R аралыгы R_1 ге караганда *60* эсе кичине.

Демек, Ай менен Жердин ортосундагы аралык *60* эсе кичине болгон учурда, Айга аракет эткен тартуу күчү *60* ^{2} эсе чоң болот. Ошондуктан бул күчтү аралыктын квадратына тескери пропорциялаш болот деп алуу мүмкүн.

Ушинтип, биз телолордун өз ара тартышуу күчү алардын ортосундагы аралыктын квадратына тескери пропорциялаш болот деген тыянакка келдик:

$$F \sim \frac{1}{R^2} \tag{7.38.6}$$

(7.38.1) жана (7.38.6) көз карандылыктарын жалпылап жазабыз:

$$F \sim \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} \tag{7.38.7}$$

Математикадан белгилүү болгондой, пропорциялаш чоңдуктар бири - биринен турактуу көбөйтүүчүгө айырмаланышат. Ошондуктан (7.38.7) туюнтмасынын оң жагына G турактуу коэффициентин көбөйтүп жазып, пропорциялаштык белгисин барабардык белгиси менен алмаштырууга болот:

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} \tag{7.38.8}$$

Мында F – телолордун өз ара тартышуу күчү, демек бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү, m_1, m_2 - ошол телолордун массалары, R – алардын ортосундагы аралык, G – пропорциялаштык коэффициент, аны физикада *бүткүл дүйнөлүк тартышуунун турактуулугу же гравитациялык турактуулук* деп атайт.

Демек, телолордун өз ара тартышуу күчү, башкача айтканда бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү ошол телолордун ар биринин массасына, алардын массаларынын көбөйтүндүсүнө түз, ал эми алардын ортосундагы аралыктын квадратына тескери пропорциялаш болот.

Гравитациялык турактуулуктун эмнени туюнтарын көрсөтөлү. Эгерде $m_1 = 1кг,\ m_2 = 1кг,\ R = 1м$ болсо, (7.38.8) ден $F = G$ болору келип чыгат. Мында F ар биринин массасы $1кг$ болгон, бири-биринен $1м$ аралыкта жайгашкан эки телонун өз ара тартышуу күчү. Демек, гравитациялык турактуулук сан жагынан массалары $1кг$ болгон, бири-биринен $1м$ аралыкта жайгашкан эки телонун өз ара тартышуу күчүнө барабар болот. Бул турактуулуктун бирдигин (7.38.8) формуласынан алынган туюнтманын негизинде табалы,

$$G = \frac{F \cdot R^2}{m_1 \cdot m_2} \tag{7.38.9}$$

мындан көрүнүп тургандай G нын бирдиги $Н \cdot м^2 / кг^2$.

Гравитацялык турактуулуктун сан мааниси тажрыйбада аныкталат.

Мындай тажрыйбада, (7.38.9) дан көрүнүп тургандай, массалары белгилүү болгон, бири-биринен белгилүү аралыкта жайгашкан эки телонун өз ара тартышуу күчүн ченөө керек. Бирок, мындай тажрыйбаны жүргүзүү кыйын. Анткени кадимки телолордун өз ара тартышуу күчү өтө кичине. Алар бизге өз ара тартышпагандай сезилет. Ошондуктан аны ченөө тиешелүү кыйынчылыктарды туудурат.

Өтө кылдаттык менен жүргүзүлгөн тажырыйбалардын негизинде англиялык окумуштуу Кавендиш гравитациялык турактуулуктун төмөнкүгө барабар болорун аныктаган: $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ Н \cdot м^2/кг^2$.

Көрүнүп тургандай, G чынында эле өтө кичине сан. Бул кадимки телолордун өз ара тартышуусунун өтө эле начар экендигинин натыйжасы болуп саналат. Мисалы $m_1 = m_2 = 1т$ болгон телолор $1м$ аралыктан $6{,}67 \cdot 10^{-5}\ Н$ же $0{,}0000667\,Н$ күч менен аракеттенишет. Мындай күчтү ченеп алуу өтө кыйын.

Жогоруда айтылгандарды жыйынтыктайлы: Дүйнөдөгү ар кандай телорлор өз ара тартышышат. Мындай тартышуу күчү ошол тартышуучу телордун ар биринин массасына, же массаларынын көбөйтүндүсүнө түз, алардын ортосундагы аралыктын квадратына тескери пропорциялаш болот. Бул ырастаманы физикада бүткүл дүйнөлүк тартышуу закону, телолордун өз ара тартышуу күчүн бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү, же гравитациялык күч деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчүнүн жашашы жөнүндөгү фактыны негиздегиле.
2. (7.38.1) көз карандылыгын негиздеп жазгыла.
3. Жер бетине жакын жайгашышкан материалдык чекиттер Жерден канчалык алыстыкта турушат? Ушундай аралыкта турган учурда алар кандай ылдамдануу менен кыймылга келишет?
4. Телолордун өз ара тартышуу күчүн изилдөөдө, эмне себептен, Ай менен Жердин аракеттешүүлөрү каралды? Башка телолордун өз ара аракеттешүүлөрүн караса болбойт беле? Жообуңарды негиздегиле.
5. (7.382) жана (7.383) формулаларын негиздеп жазгыла.
7. (7.38.4) жана (7.38.5) формулаларын негиздеп жазгыла. Эмне себептен бул чоңдуктардын катышынын каралып жатканын түшүндүргүлө.
7. (7.38.6), (7.38.7) көз карандылыктарын негиздеп жазгыла.
8. Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчүн туюнткан формуланы негиздеп жазгыла. Аны ушундай түрдө жазууга кандай фактылардын түрткү бергенин дагы бир жолу көз алдыңарга келтиргиле.
9. Гравитациялык турактуулук эмнени көрсөтөт. Ал канчага барабар?

39-§. Оордук күчү. Эркин түшүүнүн ылдамдануусу

Жер ар кандай башка телолорду өзүнө тартат. Жердин мындай тартуу күчүн физикада оордук күчү деп атайт. Аны көбүнчө $\bar{P}$ тамгасы менен белгилейт. Оордук күчү бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчүнүн бир көрүнүшү болуп саналат.

Бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчүн туюнткан формуланы оордук күчү үчүн жазабыз:

$$P = G \cdot \frac{M \cdot m}{R_1^2} \qquad (7.39.1)$$

Мында, M – Жердин, m – телонун массасы; R_1 – Жердин борборунан телого чейинки аралык (же материалдык чекит катарында алынган Жерден телого чейинки аралык).

Оордук күчү Жердин борборун көздөй багытталат. Ал күч телого Жердин борборун көздөй багытталган, модулу **g** болгон ылдамдануу берет. Бул ылдамданууну физикада *эркин түшүүнүн* ылдамдануусу деп атайт.

Ушул фактыларды эске алуу менен массасы m болгон тело үчүн Ньютондун экинчи законун төмөнкүчө жазса болот:

$$m \cdot g = P, \text{ же } m \cdot g = G\frac{M \cdot m}{R_1^2} \qquad (7.39.2)$$

Бул барабардыктан, телолордун эркин түшүүсүнүн ылдамдануусун туюнткан төмөнкү формуланы алабыз:

$$g = G\frac{M}{R_1^2} \qquad (7.39.3)$$

Демек, телонун эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу бардык телолор үчүн бирдей болот.

Жердин бетине жакын жайгашкан телолордун кыймылын караган учурда Жердин борборунан телого чейинки аралык үчүн Жердин радиусун, R ди алса болот. Анда (7.39.3) формула төмөнкү түргө келет.

$$g = G\frac{M}{R^2} \qquad (7.39.4)$$

Мурдатан белгилүү болгондой, Жердин бетине жакын жайгашкан телолордун эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу $9{,}8\,м/с^2$ барабар, Жердин радиусу $R=6370\ км$. Бул чоңдуктарды билип, (7.39.4) төн Жердин массасын таап алууга болот.

$$M = \frac{gR^2}{G} \qquad (7.39.5)$$

Эгерде тело Жердин бетинен h бийиктигинде жайгашкан болсо, анын эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу,

$$g = G\frac{M}{(R+h)^2} \qquad (7.39.6)$$

болмок.

Мындан көрүнүп тургандай, Жерден бийиктеген сайын телонун эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу кичирейет. Мисалы, Жердин бетинен *300 км* бийиктикте ал $g \approx 8{,}8 м/с^2$ болуп калат.

Бирок бири-биринен *1000м* ге чейинки бийиктикте турган чекиттердеги телолордун эркин түшүүсүнүн ылдамданууларын бирдей деп алуу мүмкүн. Себеби алардын мындай чектердеги өзгөрүүлөрү сезилерлик болбойт. Ошондуктан ушундай чектердин ортосундагы телолорду бир калыпта ылдамдатылган кыймылга келет деп алууга болот.

(7.39.3) төн көрүнүп тургандай, телолордун Жерге карай эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу Жердин массасына көз каранды. Эгерде телолордун башка планеталардагы же Айдагы эркин түшүүсү каралса, бул формуладагы М ошол планеталардын, же Айдын массасын туюнтуп калат. Мындан, телолордун тигил же бул планетадагы, же Айдагы эркин түшүүсүнүн ылдамдануусу ошол планетанын, же Айдын массасына көз каранды болот деген тыянак келип чыгат. Демек, тело планеталардын, же Айдын борборунан бирдей эле *R* аралыгында турган болсо да, ар түрдүү чоңдуктагы эркин түшүүнүн ылдамдануусуна ээ болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Оордук күч деп кайсыл күч айтылат? Анын модулу эмнеге барабар? Багыты кандай?
2. Эркин түшүүнүн ылдамдануусун телолорго кайсыл күч берет? Анын модулу кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот? Багыты кандай?
3. (7.39.4) (7.39.6) формуланы негиздеп жазгыла. Анын негизинде эркин түшүнүн ылдамдануусунун аралыктан кандайча көз каранды болорун талдагыла.
4. Телолордун эркин түшүүсүнүн ылдамдануулары бардык планеталарда жана Айда бирдей болобу? Эмне үчүн ?

40-§. Телонун салмагы. Салмаксыздык

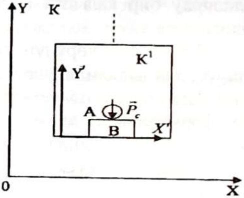
1. Жерге салыштырмалуу тынч турган эсептөө системасындагы телолордун салмагы.

Ар кандай телого оордук күчү аракет этет. Анын натыйжасында башка телого таянбай, же асылбай турган телолор Жерди көздөй $\vec{g}$ ылдамдануусу менен эркин түшүшөт. Ал эми башка телого таянып, же асылып турган телолор, ошол таянычка, же асмага белгилүү бир күч менен аракет этишет. Ушул күчтү физикада *телолордун салмагы* деп атайт.

Оордук күчү - бул телого Жер тарабынан аракет эткен тартуу күчү. Телонун салмагы – бул ошол телонун өзү таянган таянычка, же асылган асмага аракет эткен күчү. Демек, оордук күчү берилген телого аракет этет. Ал эми салмак ошол берилген тело тарабынан таянычка, же асмага аракет этет.

Тело менен анын таянычынын, же асмасынын кандай эсептөө системасында турганына жараша, ошол телонун салмагы, ага аракет эткен оордук күчүнө барабар болушу, ошондой эле андан кичине же чоң болуп калышы мүмкүн. Ушундай учурлардын ар бирин өзүнчө карайбыз.

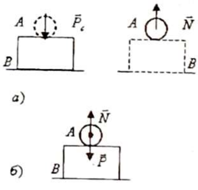
Мейли, бизге лифт менен байланышкан K^l эсептөө системасы берилсин (7.40.1-сүрөт). Ал Жер менен байланышкан К эсептөө системасына салыштырмалуу тынч турушу, ылдамдануу менен төмөн түшүшү, же жогору көтөрүлүшү мүмкүн.



6.40.1-сүрөт

K^l эсептөө системасындагы, башкача айтканда лифтеги *B* кутучасынын үстүнө массасы *m* болгон *A* телосу жайгаштырылган. Бул тело, өзүнө аракет эткен оордук күчүнүн натыйжасында *B* таянычына аракет этет. Ушул *A* телонун *B* таянычына аракет эткен күчү, анын салмагы болуп саналат. Аны $\vec{P}_c$ тамгасы менен белгилейли.

A телосу жана анын таянычы жайгашкан K^l эсептөө системасы тынч турсун. Бул учурдагы телонун салмагы $\vec{P}_c$ болсун. Анда бул тело таянычка $\vec{P}_c$ күчү менен аракет эткен болот (7.40.1-сүрөт). Биз ушул $\vec{P}_c$ күчүн аныктайлы.



7.40.2-сүрөт

Ньютондун үчүнчү законуна ылайык, *B* таянычы *A* телосуна N серпилүү күчү менен каршы аракет этет. Бул күчтүн модулу *A* телонун салмагынын чоңдугуна барабар болот, багыты салмак аракет эткен багытка карама-каршы келет (7.40.2а – сүрөт, жөнөкөйлүк үчүн бул сүрөттө А телосу жана анын В таянычы бөлүп көрсөтүлдү). Ошондуктан бул барабардык орун алат:

$$\vec{P}_c = -\vec{N} \qquad (7.40.1)$$

Мындагы $\vec{P}_c$ күчү, башкача айтканда салмак *В* таянычына, $\vec{N}$ күчү *А* телосуна аракет этет.

Биз жогорудагы *А* телосунун салмагын, $\vec{P}_c$ ны аныктоону максат кылып койдук. Ал үчүн ошол *А* телосунун кыймылын карап, ошол телого аракет эткен күчтөрдү гана эсепке алуу менен Ньютондун экинчи законун төмөнкүчө жазабыз:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N} \qquad (7.40.2)$$

Мында m – *А* телосунун массасы; $\vec{a}$ - анын кыймылсыз *К* эсептөө системасына салыштырмалуу ылдамдануусу; $\vec{P}$- бул телого аракет эткен оордук күчү, $\vec{N}$ - ага аракет эткен серпилүү күчү (7.40.2 - сүрөт).

(7.40.2) ден көрүнүп тургандай, ага телонун салмагы, башкача айтканда $\vec{P}_c$ күчү кирбейт. Бирок, биз ушул $\vec{P}_c$ күчүн аныкташыбыз керек эле. Кантебиз?

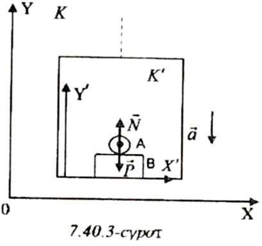
Мындай абалдан чыгуу үчүн (7.40.1) формуласы туюнткан фактыга кайрылабыз: «-» белгиси менен алынган телонун салмагы, башкача айтканда $-\vec{P}_c$, ошол телого таяныч тарабынан аракет эткен $\vec{N}$ серпилүү күчүнө барабар болот. Бул $\vec{N}$ күчү болсо, (7.40.2) теңдемесине кирет. Демек, ушул теңдемеден $\vec{N}$ күчүн таап, аны (7.40.1) формуласына коюу менен, телонун $\vec{P}_c$ салмагын аныктаса болот.

Шарт боюнча *А* телосу жана *В* таянычы жайгашкан лифт *К* эсептөө системасына салыштырмалуу тынч турат. Ошондуктан *А* телосунун ылдамдануусу нөлгө барабар болот. Бул шарт эске алынса, (7.40.1) теңдемеси төмөнкү түргө келет:

$$\vec{N} = -\vec{P} \qquad (7.40.3)$$

(7.40.1) жана (7.40.3) тү салыштырып төмөнкүнү алабыз:

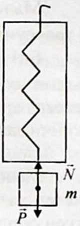
$$\vec{P}_c = \vec{P} \qquad (7.40.4)$$



7.40.3-сүрөт

Демек, тело жана анын таянычы жайгашкан лифт, демек $K^{/}$ эсептөө системасы Жерге салыштырмалуу тынч турган болсо, анын салмагы өзүнө аракет эткен оордук күчүнө барабар болот. Бул учурда *А* телосуна канчалык чоңдуктагы оордук күчү аракет этсе, ал өзүнүн таянычына ошончолук чоңдуктагы күч менен аракет этет. Бул факт асылып турган телонун салмагы үчүн да туура болот.

2. Жерге салыштырмалуу ылдамдануу менен төмөн түшүп келе жаткан эсептөө системасындагы телолордун салмагы. Салмаксыздык.



7.40.5-сүрөт

Мейли, *A* телосу жана анын *B* таянычы $\vec a$ ылдамдануусу менен төмөн түшүп келатсын (7.40.3-сүрөт). *A* телосу үчүн Ньютондун экинчи законун (7.40.2) түрүндө жазып, $\vec N$ күчүн табабыз : $\vec N = m\cdot\vec a - \vec P$

Бул теңдемедеги векторлорду OY огуна проекциялап, төмөнкү скалярдык теңдемени алабыз:

$$N = -m\cdot a + P$$

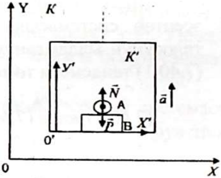
Оордук күчүнүн $P = mg$ болорун жана серпилүү күчүнүн модулунун салмактын чоңдугуна барабар экендигин эске алып, телонун салмагын туюнткан төмөнкү формуланы алабыз:

$$P_c = mg - ma = m(g-a) \tag{7.40.5}$$

Демек, *A* телосу жана анын *B* таянычы төмөн көздөй ылдамдануу менен түшүп келатышкан болсо, *A* телосунун салмагы, анын оордук күчүнөн кичине болот.

Мейли, ушул тело жана анын таянычы $a = g$ ылдамдануусу менен түшүп келе жатышсын. Анда (7.40.5) тен $P_c = 0$ болору келип чыгат. Демек, бул учурда А телосунун салмагы нөлгө барабар болот. Ал өзүнүн В таянычына аракет этпей калат.

Демек, тело жана анын таянычы, же асмасы $a = g$ ылдамдануусу менен төмөн түшүп келе жаткан эсептөө системасында (лифтте) жайгашкан босо, тело *салмаксыз* абалда болот, ал өзүнүн таянычына, же асмасына аракет этпей калат.



7.40.4-сүрөт

3. Жерге салыштырмалуу ылдамдануу менен жогору көтөрүлүп бараткан телолордун салмагы. Ашыкча жүк.

Мейли, *A* телосу жана анын *B* таянычы $\vec a$ ылдамдануусу менен жогору көтөрүлүп баратсын (7.40.4-сүрөт). *A* телосунун кыймылы үчүн Ньютондун экинчи законун жазып, жогорудагыдай амалдарды аткаруу менен телонун салмагын туюнткан формуланы алабыз:

$$P_c = m(g+a) \tag{7.40.6}$$

Демек, тело жана анын таянычы, же асмасы a ылдамдануусу менен жогору көтөрүлүп бараткан эсептөө системасында турган болсо, ошол телонун салмагы оордук күчүнөн чоң болот. Салмактын мындайча чоңоюшун *ашыкча жүк* деп атайт.

4. Телонун салмагынын өзгөрүшүн көрсөткөн айрым мисалдарды келтиребиз.

Динамометрге, мисалы, массасы $m = 0{,}5кг$ келген жүк илинип турсун (7.40.5-сүрөт.). Бул жүккө $\bar{P}$ оордук жана $\bar{N}$ серпилүү күчү аракет этет. $\bar{N}$ серпилүү күчүнүн модулу телонун салмагына барабар болот. Динамометр ушул серпилүү күчүнүн, башкача айтканда телонун салмагынын канча экенин көрсөтөт.

Динамометр жана жүк тынч турган кездеги динамометрдин көрсөтүүсү, башкача айтканда жүктүн салмагы, ошол жүккө аракет эткен оордук күчүнө барабар болот.

Динамометр жана жүктү ылдамдануу менен төмөн көздөй кыймылга келтирели. Анда динамометрдин көрсөтүүсүнүн азайгандыгын көрөбүз. Бул факт жүктүн салмагынын азайгандыгын көрсөтөт.

Эгерде ушул эле динамометр менен жүктү ылдамдануу менен жогору көздөй кыймылга келтирсе, динамометр жүктүн салмагынын чоңойгондугун көрсөтөт.

Дагы бир мисал келтирели. Кишинин ичинде анын өпкөсү, жүрөгү, боору, ашказаны д.у.с. органдары бар. Алар тиешелүү байланыштыргычтар аркылуу кишинин ичинде асылып турушат. Өздөрүнүн асмаларына белгилүү бир күчтөр менен аракет этишет, демек алардын ар бири тиешелүү салмактарга ээ болушат.

Эгерде киши, мисалы, самолетто учуп бараткан жүргүнчү, ылдамдануу менен төмөн түшсө (самолет төмөн көздөй өзүн таштап жиберсе), анда кишинин айтылган органдарынын салмагы азаят. Натыйжада киши бул абалда өзүн башкачараак сезет.

Автомобиль түз, тегиз жолдон кийин башталган эңкейишке түшө бергенде да, андагы кишилер өздөрүн кызыкча сезишет. Мындай сезим дагы алардын ички органдарынын салмагынын азайышына байланыштуу болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телонун салмагы деген эмне? Ал эмне үчүн бар? Ал эмнеге аракет этет?
2. Жерге салыштырмалуу тынч турган эсептөө системасындагы телонун салмагы эмнеге барабар? Жообуңардын тууралыгын далилдеп чыгаргыла?
3. Жерге салыштырмалуу ылдамдануу менен төмөн түшүп келе жаткан жана жогору көтөрүлүп бараткан эсептөө системасындагы телонун салмагы эмнеге барабар? Жообунардын тууралыгын далилдеп чыгаргыла?
4. Салмаксыз абал кандай абалда түзүлөт? Ашыкча жүкчү?
5. Телонун салмагынын өзгөрүшүн көрсөткөн тажрыйбаны айтып, түшүндүргүлө?.
6. Салмаксыз абалда, же ашыкча жүк түзүлгөндөй абалда турган киши өзүн кадимкидей эле сезеби? Эмне үчүн?

41-§. Жердин жасалма жандоочулары. Биринчи космостук ылдамдык

Табиятта мындай бир кубулуштун орун алышын байкап жүрөбүз: Ай Жердин айланасында тынымсыз айланып жүрөт. Аны Жердин табигый жандоочусу деп атайт.

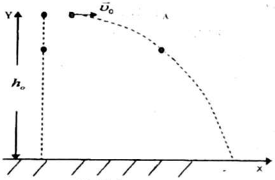
Жердин ушундай табигый жандоочусунун болуу фактысы физика илиминин алдына мындай проблеманы койгон: Жердин жасалма жандоочусун, башкача айтканда Жерди өзү эле тынымсыз айланып жүрө бере турган телону учурууга болобу? Ал үчүн кандай зарыл шарттардын аткарылышы керек?

Бул проблема илимий жана техникалык жактан толук чечилген. 1957-жылы мурдагы СССРдин окумуштуулары, инженерлери тарабынан массасы 85 кг га жакын келген шар формасындагы тело, Жердин алгачкы жасалма жандоочусу катарында учурулган. Азыркы күндө ар түрдүү мамлекеттер тарабынан учурулган миңдеген Жердин жасалма жандоочулары Жерди айланып жүрүшөт. Алардын бир бөлүгү, мисалы теле-радио, ошондой эле телефондук байланыштарды түзүүдө пайдаланылса, экинчи бөлүгү аба-ырайын алдын-ала айтуу максатында пайдаланылат. Башка бөлүктөрү, дагы көптөгөн илимий-техникалык, турмуштук маселелерди чечүүдө колдонулат.

Мурдагы СССР тарабынан космостук корабль даярдалып, анда 1961-жылдын 12-апрелинде алгачкы космонавт Ю.А. Гагарин учурулган. Азыркы күнгө карата ар түрдүү мамлекеттер тарабынан жүздөгөн космонавттар учурулду. Ушинтип, космостук учуруулар азыр эч кимди таң калтырбай калды.

Биз эми Жердин жасалма жандоочуларын учуруу үчүн кандай зарыл шарттын аткарылышы керек экенин көрсөтөлү.

Жер бетинен h_0 бийиктигинде жайгашкан чекиттен бир эле убакыт моментинде биринчи тело бош таштап жиберилсин. Экинчи тело $\vec{v}_o$ баштапкы ылдамдыгы менен горизонталь багытта ыргытылсын. Тажрыйбалар көрсөткөндөй бул телолор, Жердин бетине бирдей убакытта келип түшүшөт (7.41.1 -сүрөт). Ушул кубулушту талдайлы. Биринчи тело оордук күчүнүн аракети астында өзүнүн баштапкы абалына, башкача айтканда О чекитине салыштырмалуу $t = 1c$ ичинде $2h = \frac{gt^2}{2} = 4{,}9\,\text{м}$ бийиктикке түшөт (7.41.1 -сүрөт). Экинчи тело дагы өзүнө аракет эткен оордук күчүнүн таасири астында төмөн түшөт. Бирок, ал кыймылынын вертикаль түзүүчүсү болбой, горизонталь түзүүчүсү гана болгон учурда бара турган ордуна, башкача айтканда А чекитине салыштырмалуу төмөн түшөт. $t = 1c$ ичиндеги мындай түшүү бийиктиги дагы $\Delta h=4,9$ *м* болот. Натыйжада ал горизонталь багытта кете бербей, ийри сызыктуу траектория боюнча кыймылга келет. Ушул эле фактыны кинематикалык эмес, динамикалык көз караштa талдайлы, ал үчүн андагы телолор менен төмөнкүдөй ой жүзүндөгү тажрыйба жүргүзөбүз: бош кое берилген 1-телого дагы, горизонталь багытта $\vec{\upsilon}_o$ баштапкы ылдамдыгы берилген 2-телого дагы оордук күчү аракет этпеген болсун. Анда, 1-тело өзүнүн баштапкы абалында тынч тура бермек. Ал эми 2-тело горизонталь багыт боюнча түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын улантып, $t=1c$ өткөн моментте А чекитине келмек.

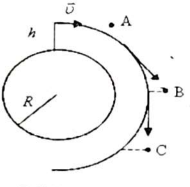


7.41.1-сүрөт

Оордук күчү аракет эткендиктен 1-тело, ошол оордук күчү аракет этпеген учурда тынч тура турган ордуна салыштырмалуу төмөн түшөт. Ал эми 2-тело оордук күчүнүн аракетинин натыйжасында, ошол оордук күчү аракет этпей калганда бара турган ордуна салыштырмалуу төмөн түшөт, натыйжада ал ийри сызыктуу траектория боюнча кыймылга келет.

Бул эки учурда тең телолордун эркин түшүүсү орун алат. Ошондуктан, мисалы, кайсы бир кабина, белгилүү бир бийиктиктен бош кое берилсе дагы, же ага горизонталь багыттагы $\vec{\upsilon}_o$ баштапкы ылдамдыгы берилген болсо дагы, анын ичинде салмаксыз абал түзүлөт.

Жогорудагы мисалдагы h_0 бийиктиги анчалык чоң эмес тандап алынгандыктан, Жердин бети горизонталь тегиздиктин бети катарында алынган. Бирок, Жер шар формасына ээ, анын радиусу $R=6370$ *км* ге барабар. Ошондуктан телолордун Жерге салыштырмалуу алыскы абалындагы кыймылдары каралган учурларда, Жердин бетин, горизонтал тегиздиктин бети катарында кароого болбойт.



7.41.2-сүрөт

Мейли, Жер бетинен $h>>h_0$ бийиктикте турган телого горизонталь багыттагы $\vec{\upsilon}$ ылдамдыгы берилсин (7.41.2-сүрөт). Анда ал оордук күчүнүн аракетинин натыйжасында, ошол күч аракет этпей калганда бара турган орундарына салыштырмалуу, башкача айтканда мейкиндигинин *A, B, C,* д.у.с чекиттерине салыштырмалуу улам төмөн түшүү менен кыймылга келет. Натыйжада бул тело ийри сызыктуу траектория боюнча кыймылдайт. Бул траекториянын формасы телонун баштапкы ылдамдыгынын модулуна көз каранды болот. Ылдамдыктын белгилүү маанисинде траекториянын ийрилиги Жердин бетинин ийрилигине окшош болуп калат. Ушундай траектория боюнча кыймылдаган тело Жер шаарынын тегерегинде айлана боюнча кыймылдайт жана мындай кыймылын уланта берет. Бул тело Жердин жасалма жандоочусу болуп калат.

Демек, Жердин тегерегинде айлана боюнча кыймылга келүүчү Жердин жасалма жандоочусун учурса болот. Ал үчүн тиешелүү телону h бийиктигине алып чыгып, ага горизонталь багыт боюнча кандайдыр бир $\vec{\upsilon}$ ылдамдыгын берүү керек.

Ушул ылдамдыктын маанисин табабыз. Ал үчүн Ньютондун экинчи законун пайдаланабыз.

Жер бетинен h бийиктигине чейин көтөрүлгөн телого ушундай $\vec{\upsilon}$ ылдамдыгы берилсе, ал айлана боюнча бир калыптагы кыймылга келет. Демек, бул тело белгилүү чоңдуктагы борборго умтулуучу ылдамдануу менен кыймылдайт. Ал ылдамданууну телого Жердин тартуу күчү, башкача айтканда тело менен Жердин ортосундагы бүткүл дүйнөлүк тартышуу күчү берет. Ошондуктан бул телонун кыймылы үчүн Ньютондун законун төмөнкү түрдө жазабыз:

$$m \cdot \vec{a} = \vec{F} \qquad (7.41.1)$$

Мында, m - телонун массасы, $\vec{a}$ - телонун ылдамдануусу, ал Жердин борборун көздөй багытталган, $\vec{F}$ - телого аракет эткен Жердин тартуу күчү, ал дагы Жердин борборун көздөй багытталган.

Телонун ылдамдануусунун жана ага аракет эткен күчтүн багыты бирдей болгондуктан (7.41.1) формуласын скалярдык түрдө жазса болот:

$$m \cdot a = F \qquad (7.41.2)$$

Телонун борборго умтулуучу ылдамдануусу

$$a = \frac{\upsilon^2}{(R+h)} \qquad (7.41.3)$$

болот. Мында, υ - телого берүү керек болгон ылдамдык; $(R+h)$ - Жердин борборунан телого чейинки аралык, R - Жердин радиусу.

Телого аракет эткен күч

$$F = G\frac{M \cdot m}{(R+h)^2} \qquad (7.41.4)$$

болот. Мында, M -Жердин, m -телонун массасы. (7.41.3) жана (7.41.4) төрдү (7.41.2) ге коюп, төмөнкүнү алабыз:

$$\frac{\upsilon^2}{R+h} = G\frac{M}{(R+h)^2}$$

Мындан ылдамдыкты табабыз:

$$\upsilon = \sqrt{G\frac{M}{R+h}} \qquad (7.41.5)$$

Демек, *h* бийиктигине чейин көтөрүлгөн телого горизонталдуу багыт боюнча ушул (7.41.5) формуласы менен аныкталгандай чоңдуктагы ылдамдык берилсе, ал Жердин жасалма жандоочусу болуп, Жерди айлана боюнча айланып калат. Мындай ылдамдыкты физикада ***биринчи космостук ылдамдык*** деп атайт.

Жердин радиусунан өтө кичине болгон, башкача айтканда $h << R$ болгон бийиктикке мүнөздүү болгон биринчи космостук ылдамдыкты табабыз. Бул учурда $R+h \approx R$ болот. Ошондуктан, (7.41.5) ти төмөнкүчө жазуу мүмкүн:

$$\upsilon = \sqrt{G\frac{M}{R}} \qquad (7.41.6)$$

Мындан (7.39.4) ди эске алуу менен төмөнкүнү алабыз:

$$\upsilon = \sqrt{gR} \quad . \qquad (7.41.7)$$

Мында g - Жерге жакын бийиктиктердеги эркин түшүүнүн ылдамдануусу, ал $9,8\ м/с^2$ барабар, R - Жердин радиусу, ал $6,4 \cdot 10^6$ м ге барабар. Булардын негизинде биринчи космостук ылдамдыкты табабыз:

$$\upsilon = \sqrt{9,8\ {}^{м}/_{с^2} \cdot 6,4 \cdot 10^6 м} \approx 8 км/с .$$

Демек, Жерден салыштырмалуу алыс эмес бийиктикке чейин көтөрүлгөн тело Жердин жасалма жандоочусу болуп калышы үчүн, ага горизонталь багыт боюнча $8\,{}^{км}/_{с}$ ылдамдыгын берүү зарыл. Бул ылдамдыкты космостук биринчи ылдамдык деп атайт.

Ушинтип, биз параграфтын башталышында коюлган маселени чечтик, башкача айтканда Жердин жасалма жандоочусун учуруу үчүн, ага горизонталь багыт боюнча биринчи космостук ылдамдыкты берүү зарыл экенин көрсөттүк.

Космостук корабль Жердин жасалма жандоочусу катарында учуп жүргөндө Жердин тартуу күчүнүн аракети астында ал таасир этпей калганда бара турган ордунан тынымсыз түрдө эркин түшүп турат. Бул түшүүнүн ылдамдануусу эркин түшүүнүн ылдамдануусуна барабар болот. Ошондуктан, космостук корабльдин ичинде салмаксыз абал түзүлөт. Космонавттар Жердегидей басып жүрө алышпайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Жердин жасалма жандоочусу деген эмне? Аны учуруу жөнүндөгү ойдун жарлышына эмне түрткү берген?
2. Жердин жасалма жандоочусу качан учурулган? Алар кандай максаттарда пайдаланылат?
3. Жер бетинен h_0 бийиктигинде жайгашкан орундан бир моментте бош таштап жиберилген жана горизонталь багытта ыргытылган телолордун кыймылдарын салыштыргыла. Аларга кинематикалык жана динамикалык талкуу бергиле. 1 жана

2 – телолордун ар бири кайсы орундарына салыштырмалуу эркин түшөөрүн бөлүп көрсөткүлө.

4. Жердин бетин дайыма эле горизонталь тегиздиктин бети катарында алса болобу? Эме үчүн?

5. $h >> h_0$ бийиктигине чейин көтөрүлгөн телонун кандай шартта Жердин жасалма жандоочусу болуп калаарын 7.41.2-сүрөттүн негизинде түшүндүргүлө.

6. Биринчи космостук ылдамдыкты аныктагыла. Ал үчүн:

а) Ньютондун экинчи законун жазгыла;

б) Телонун ылдамдануусунун жана ага аракет эткен Жердин тартуу күчүнүн эмнеге барабар болорун негиздеп жазгыла.

в) Бул туюнтмаларды Ньютондун законун туюнткан теңдемеге коюп, биринчи космостук ылдамдыкты аыктагыла.

г) $h << R$ болгон бийиктиктер үчүн мүнөздүү болгон космостук биринчи ылдамдыкты тапкыла. Анын качалык чоң экендигин көз алдыңарга келтиргиле.

7. Жердин жасалма жандоочусу катарында учуп жүргөн космостук корабльдин ичинде салмаксыз абалдын түзүлөөрүн түшүндүргүлө.

42-§. Ньютондун закондорунун, же кыймыл закондорунун айрым натыйжалары

42.1. Кыймыл закондору же динамиканын негизги закондору

Ньютондун закондору өз ара байланыштуу болуп, бирин-бири толуктап турушат. Бул фактыны ишенимдүү көрсөтүү үчүн, аларга дагы бир ирет кайрылабыз.

Эгерде телого күч аракет этпесе, же ага аракет эткен күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар болсо, ал тело инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу, тынч абалын же түз сызыктуу бир калыптагы кыймылын сактайт. Демек бул учурда телонун ылдамдануусу нөлгө барабар болот. Бул - Ньютондун биринчи закону.

Эгерде телого кайсы бир күч аракет этсе, же бир нече күч аракет этип, алардын тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар болбосо, инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу ал ылдамдануу менен кыймылдайт. Телонун мындай ылдамдануусу ага аракет эткен күчкө, же күчтөрдүн тең аракет этүүчүсүнө түз, анын массасына тескери пропорциялаш болот. Бул - Ньютондун экинчи закону.

Бир тело экинчи телого кандайдыр бир күч менен аракет этсе, экинчи тело дагы, биринчи телого чоңдугу ошончолук эле болгон, бирок карама-каршы багытталган күч менен аракет этет. Бул – Ньютондун үчүнчү закону.

Бирин-бири толуктап турган бул закондордун негизинде айрым фактылардын орун алышын алдын ала айтууга, механикалык кубулуштардын орун алуу себептерин түшүндүрүүгө болот. Ошондой эле аларды пайдалануу менен ар түрдүү механикалык маселелерди чечүү мүмкүн. Ошондуктан бул закондорду жалпысынан «кыймыл закондору», же «динамиканын негизги закондору» деп атайт.

Параграфтын кийинки пункттарында атайын тандап алынган мисалдарды талдоо менен биз ушул фактыны негиздеп түшүндүрөбүз.

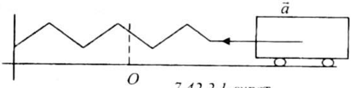
Суроолор жана тапшырмалар

1. **Ньютондун** биринчи, экинчи жана үчүнчү закондорунун өз ара байланышына өзгөчө көнүл бөлүп, бир бүтүндүктө элестеп түшүнүглө.
2. Эмне себептен бул закондорду жалпысынан «кыймыл закондору», же «динамиканын негизги закондору» деп атайт?

42.2. Орун ала тургандагы кыймыл закондорунун негизинде алдын ала айтылган фактыларга мисалдар

1-мисал. Мейли, турактуу m массасына ээ болгон телого өзгөрүлмөлүү $\vec{F}$ күчү аракет этсин. Анда $\vec{F}/m$ катышы да өзгөрүлмөлүү болот. Ньютондун экинчи закону боюнча бул катыш телонун ылдамдануусуна барабар. Демек, телого өзгөрүлмөлүү күч аракет этсе, ал өзгөрүлмөлүү ылдамдануу менен кыймылга келет. Демек телонун ылдамдыгы бир калыпта өзгөрүлбөйт. Анын кыймылы бир калыпта өзгөрүлмөлүү болбойт.

Бул талдоодон көрүнүп тургандай, ушул фактынын орун алышы аталган закондун негизинде алдын ала айтылды. Анын чынында эле орун алышын кийинки тажрыйбалар көрсөтөт. Мисалы, созулган пружинага байланган арабача, пружина баштапкы тең салмактуулук абалына келгенге чейин ушундайча кыймылдайт (7.42.2.1- сүрөт). Анткени ага ылдамдануу берүүчү серпилүү күчү турактуу эмес.



7.42.2.1-сүрөт

Пружинанын созулушу азайган сайын күч кичирейип барат. Эсептөөлөр, бул учурда ылдамдануунун да азайып баратканын көрсөтөт. Пружина баштапкы, созулбай тургандагы абалына келген моментте күч да, ылдамдануу да нөлгө барабар болот.

2-мисал. Мейли, турактуу m массасына ээ болгон телого турактуу $\vec{F}$ күчү аракет этсин. Анда $\vec{F}/m$ катышы да турактуу болот. Бул факт телонун ылдамдануусунун турактуу болорун, башкача айтканда анын ылдамдыгынын бир калыпта өзгөрүүлөрүн көрсөтөт. Демек, телого турактуу күч аракет эткен болсо, ал түз сызыктуу бир калыпта өзгөрүлмөлүү кыймылга келет.

Динамиканын башталышында («Киришүүнү» карагыла) «кайсыл учурларда материалдык чекит ылдамдануу менен кыймылдай турганы, анын ылдамдануусунун эмнелерден, кандайча көз каранды болору бизге анык эмес» деп белгиленген эле. Эми бул анык болду: эгерде материалдык чекит катарында каралып жаткан, массасы m болгон телого туруктуу, багыты да модулу да өзгөрүлбөгөн $\vec{F}$ күчү аракет этсе, ал туруктуу ылдамдануу менен кыймылдайт. Ал түз сызыктуу бир калыптагы өзгөрмөлүү кыймылга келет. Анын ылдамдануусу $\vec{F}/m$ катышына барабар болот.

Түз сызыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймыл үчүн механиканын негизги маселесинин чечиминин төмөнкү түрдө болору бизге белгилүү (18-§ ты карагыла).

$$x = x_0 + \upsilon_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2} \qquad (7.42.2.1)$$

Мында x_0 - телонун баштапкы, x - анын t убакыт моментиндеги координаталары; υ_{0x} - телонун баштапкы ылдамдыгынын a_x - анын ылдамдануусунун координат огундагы проекциялары.

Ар кандай маселеде телонун баштапкы координатасы жана баштапкы ылдамдыгы берилген болот. Ошондуктан механиканын негизги маселесин чечүү, телонун ылдамдануусунун проекциясын аныктоо аркылуу ишке ашат.

Мейли, кыймылы каралып жаткан телонун массасы m жана ага аракет эткен $\vec{F}$ күчү белгилүү болсун. Анда Ньютондун экинчи законунун негизинде телонун ылдамдануусунун проекциясы төмөнкүчө аныкталат:

$$a_x = \frac{F_x}{m} \qquad (7.42.2.2)$$

Ылдамдануунун проекциясынын ушул маанисин (7.42.2.1) ге коюп, телонун каалагандай t убакыт моментиндеги абалын таба алабыз, башкача айтканда телонун ушундай кыймылы үчүн механиканын негизги маселесин чече алабыз. Ньютондун экинчи законунун башкы маанилеринин бири мына ушунда турат.

3-мисал. Мейли, массасы m болгон телого кандайдыр бир күч аракет эткенде ал $\vec{a}$ ылдамдануусу менен кыймылга келсин. Бул телого ушундай ылдамдануу берген күчтү аныктоо талап кылынсын.

Бул маселени чечүү үчүн Ньютондун экинчи законун төмөнкү түрдө жазабыз:

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

Бул формуланы пайдаланып, телого $\vec{a}$ ылдамдануусун берген күчтү аныктоого, демек коюлган маселени чечүүгө болот.

Телого белгилүү бир ылдамданууну берген күчтү аныктоо жөнүндөгү маселени да, физикада механиканын негизги маселеси деп атайт. Демек, кыймыл закондорун пайдалануу менен механиканын ушундай негизги маселесин чечүүгө да болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Биринчи мисалда кайсыл фактынын орун алышы алдын ала айтылды?
2. Экинчи мисалда кайсыл фактынын орун алышы алдын ала айтылды? Механиканын негизги маселесин чечүүдөгү ньютондун экинчи законунун маанисин түшүндүргүлө.
3. Үчүнчү мисалда кайсыл фактынын орун алышы алдын ала айтылган?

42. 3 Орун алуу себептери кыймыл закондорунун негизинде түшүндүрүлгөн кубулуштарга мисалдар

Биз жогоруда Ньютондун экинчи законунун негизинде орун алышы алдын ала айтылган айрым фактыларды келтирдик.

Эми орун алуу себептери Ньютондун закондорунун, же кыймыл закондорунун негизинде түшүндүрүлө турган кубулуштардан, фактылардан мисалдар келтиребиз.

Кубулуш же факт: Жер бетинен жогору көтөрүлгөн абалда кармалып турган телону бош кое берсе, ал $\vec{g}$ ылдамдануусу менен Жерге түшөт. Себеби эмнеде?

Түшүндүрүү: себеби ал телого Жер тарабынан тик ылдый көздөй багытталган оордук күчү аракет этет. Ошол күч телого $\vec{g}$ ылдамдануусун берет.

Кубулуш же факт: Асфальт жолдун бети боюнча биз эркин кадамдап баса алабыз. Ал эми муз каптаган жолдун бети боюнча анте албайбыз. Эмне үчүн?

Түшүндүрүү: Себеби бир бутубузду көтөрүп кадам таштоо кезибизде, биз экинчи бутубуздун таманы менен асфальттын, же муздун бетин артты көздөй түртөбүз, демек алардын бетине артты көздөй багытталган, белгилүү чоңдуктагы күч менен аракет этебиз. Ньютондун үчүнчү закону боюнча асфальттын же муздун бети, биздин бут кийимибиздин таманына, биз аракет эткен күчкө карама-каршы багытталган, чоңдугу ошондой эле болгон тынч тургандагы сүрүлүү күчү менен каршы аракет этет. Мына ушул сүрүлүү күчү биздин басып жүрүшүбүзгө мүмкүндүк берет.

Тезирек басуу, башкача айтканда ылдамдыгыбызды чоңойтуп, ылдамдануу менен кыймылдоо үчүн биз асфальттын, же муздун бетине чоңурак күч менен аракет этебиз. Анда биздин таманыбызга аракет этүүчү тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн да чоңоюшу зарыл болот. Бирок, муздун бети тарабынан аракет этчү сүрүлүү күчү салыштырмалуу азырак мааниге чейин гана чоңое алат. Ушундан чоңураак болгон күч менен муздун бети түртүлгөн болсо, бут тайгаланып кетет да сүрүлүү күчүнүн чоңдугу бизди алдыга жылдыруу үчүн зарыл болгон мааниге чейин жете албайт. Ошондуктан муздун бети боюнча, асфальттын бетиндегидей эркин кадам таштап баса албайбыз.

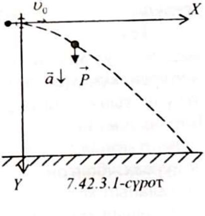
Кубулуш же факт: Бетин кар басып калган жолдо автомобиль кыймылдаткычын акырын жыла тургандай иштетсе, алдыга көздөй кете берет. Эгерде кыймылдаткычын күчтүүрөк иштетип, тез жылам десе, дөңгөлөгү ордунда айланып кетет. Эмне үчүн?

Түшүндүрүү: автомобилдин кыймылдаткычы пайда кылган айлануу кыймылы тиешелүү механизмдер аркылуу анын жетелөөчү дөңгөлөктөрүнө берилет. Ушул дөңгөлөктөр айлана баштаган кезде, өздөрү таянып турган жолдун бетин артты көздөй түртөт, башкача айтканда жолдун ошол бетине белгилүү чоңдуктагы күч менен аракет этет. Ньютондун үчүнчү закону боюнча жолдун бети дөңгөлөктөрдүн тиешелүү бетине тынч тургандагы сүрүлүү менен каршы аракет этет. Ушул сүрүлүү күчү автомобилге ылдамдануу берет. Автомобиль акырын жылган учурда, ал салыштырмалуу кичинерек ылдамдануу менен кыймылга келген болот. Мындай ылдамданууну Ньютондун экинчи закону боюнча, салыштырмалуу кичинерек күч бере алат. Тез жылам деген учурда ал чоңураак ылдамдануу менен кыймылга келүүгө умтулат. Мындай ылдамданууну тиешелүү маанидеги чоңурак сүрүлүү күчү бериши керек. Бирок, жолдун бети кар болгондуктан автомобилге ылдамдануу бере турган ушул тынч тургандагы сүрүлүү күчү белгилүү максималдык мааниге чейин гана чоңое алат. Бул максималдык сүрүлүү күчү автомобилге зарыл болгон ылдамдануу бере албай калса, автомобиль ордунан жылбайт. Анын дөңгөлөктөрү айлана берет.

Эгерде ушул моментте жетелөөчү дөңгөлөктөрдүн алдына кум чачып койсо, сүрүлүү күчү чоңоюп, автомобилге зарыл болгон ылдамданууну бере алчу мааниге жетет. Натыйжада автомобиль алдыга көздөй, тиешелүү чоңдуктагы ылдамдануу менен кыймылга келет.

Кубулуш же факт, ага байланышкан маселе: жер бетинен жогору көтөрүлгөн абада кармалып турган, массасы *m* болгон тело горизонталь багыт боюнча ыргытылса, тактап айтканда, ага горизонт боюнча багытталган $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы берилген болсо, ал парабола түрүндөгү траектория боюнча төмөн түшөт. Себеби эмнеде? Анын ылдамдануусу мурдагыдай эле $\vec{g}$га барабар болобу? Ал телонун кыймылы үчүн механиканын негизги маселесинин чечими кандай түрдө болот?

Түшүндүрүү, маселени чечүү: Телонун кыймылын изилдөө үчүн, барыдан мурда, төмөнкүдөй эсептөө системасын тандап алабыз: анын башталышын, телонун баштапкы абалы менен дал келген чекитке



7.42.3.1-сурот

жайгаштырабыз; OX огун горизонт боюнча, башкача айтканда $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгынын багыты боюнча, OY огун ага перпендикулярдуу багытта, вертикалдуу төмөн көздөй жүргүзөбүз (7.42.3.1-сүрөт).

Телого кайсы күчтөр аракет эте турганын тактайбыз: ага бир гана оордук күчү аракет этет. Демек, телого ылдамданууну ушул күч берет.

Телонун кыймылы үчүн Ньютондун экинчи законун жазабыз:

$$m \cdot \bar{a} = \bar{P} \tag{7.42.3.1}$$

Мында, m - телонун массасы, $\bar{a}$ - анын ылдамдануусу, $\bar{P}$ - телого аракет этип, ушул ылдамданууну берүүчү оордук күчү.

Бул формуланы скаляр түрүнө келтиребиз. Ал үчүн андагы векторлордун ар бирин OX жана OY окторуна проекциялайбыз:

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= P_x \\ m \cdot a_y &= P_y \end{aligned} \tag{7.42.3.2}$$

Ушул проекциялардын эмнеге барабар болорун аныктайбыз. Сүрөттөн көрүнүп тургандай, $a_x = 0$; $a_y = a$; $P_x = 0$; $P_y = P$. Бул маанилерди (7.42.3.1)

ге коюп, төмөнкүлөрдү алабыз:

$$\begin{aligned} m \cdot a_x &= 0 \\ m \cdot a_y &= P \end{aligned} \quad \text{же} \quad \begin{aligned} m \cdot a_x &= 0 \\ m \cdot a_y &= mg \end{aligned} \tag{7.42.3.3}$$

Мындан

$$\begin{aligned} a_x &= 0; \\ a_y &= g; \end{aligned} \tag{7.42.3.4}$$

болору келип чыгат.

Коюлган маселенин шартына жараша эсептөө системасынын окторун тандап алуу менен, биз иш жүзүндө, телонун кыймылын ошол тандап алынган окторго ылайык эки түзүүчүгө ажыратып кароо жөнүндөгү маселени койдук. Тактап айтканда, горизонт боюнча $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы менен ыргытылган телонун эркин түшүү кыймылын, төмөнкүдөй эки түзүүчүгө ажыратуу менен изилдөө маселесин койдук: а) горизонт боюнча, башкача айтканда OX огунун багыты боюнча багытталган кыймылга; б) вертикал боюнча, башкача айтканда OY огу боюнча багытталган кыймылга.

Эгерде кыймыл ушундай изилденген болсо, анда a_x-телонун кыймылынын OX огунун багыты боюнча багытталган түзүүчүсүнүн ылдамдануусу катарында каралат. (7.42.3.4) дан көрүнүп тургандай, бул кыймылдын ылдамдануусу нөлгө барабар болот. Демек, телонун кыймылынын бул түзүүчүсү-$\vec{\upsilon}_0$ болгон түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл болуп саналат. Анын теңдемеси: $x = \upsilon_0 \cdot t$ болот.

Ал эми бул учурда a_y - телонун кыймылынын OY огунун багыты боюнча багытталган түзүүчүсүнүн ылдамдануусун туюнтат. (7.42.3.4) дан көрүнүп тургандай бул кыймылдын ылдамдануусу эркин түшүүнүн ылдамдануусуна барабар болот. Демек, кыймылдын бул түзүүчүсү ылдамдануусу $\bar{g}$ болгон түз сызыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймыл болуп саналат. Бул кыймылдын теңдемеси: $y = g \cdot t^2/2$ болот.

Ушинтип, горизонт боюнча $\bar{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы менен ыргытылган телонун эркин түшүү кыймылын, төмөнкүдөй эки кыймылдын суммасы катарында кароого болот деген тыянакка келебиз: а) OX огунун багыты боюнча багыттылган түз сызыктуу бир калыпта кыймылдын; б) OY огунун багыты боюнча багытталган түз сызыктуу бир калыпта өзгөрмөлүү кыймылдын. Бул кыймылдын теңдемеси болуп төмөнкү теңдемелердин системасы эсептелет:

$$\begin{cases} x = \upsilon_0 \cdot t \\ y = g \cdot t^2/2 \end{cases} \qquad (7.42.3.5)$$

Бул теңдеменин негизинде каалагандай t убакыт моментиндеги телонун координаталарын, башкача айтканда абалын дагы аныктоого болот. Бул абалдарды туташтырып, кыймылдын траекториясын тургузуу мүмкүн. Эсептөөлөр бул кыймылдын траекториясы парабола болорун көрсөтөт.

Кыймылдын траекториясын мындайча тургузуу ыңгайсыз. Ошондуктан траекториянын кандай сызык болорун көрсөтүү үчүн анын теңдемесин жазуу керек. Бул максатта (7.42.3.5) түрүндөгү кыймыл теңдемесинен убакыт t ны камтыбаган, y менен x тин байланышын гана туюнткан теңдемени жазабыз. Ал үчүн (7.42.3.5) нин биринчи теңдемесинен t ны таап, экинчи теңдемесиндеги t нын ордуна коебуз. Анда төмөнкүнү алабыз:

$$y = \frac{g}{2 \cdot \upsilon_0^2} \cdot x^2 \qquad (7.42.3.6)$$

Ушул теңдеме траекториянын теңдемеси болуп саналат. Көрүнүп тургандай бул теңдеме параболанын теңдемеси. Мындан берилген кыймылдын траекториясы парабола болот деген тыянакка келебиз.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Биринчи кубулушту же фактыны айтып, себебин түшүндүргүлө.
2. Экинчи кубулушту же фактыны айтып, себебин түшүндүргүлө.
3. Үчүнчү кубулушуту же фактыны айтып, себебин түшүндүргүлө.
4. Төртүнчү маселенин шартын түшүнүп окугула, аны өз алдынарча чечкиле. Чечиминерди тексттеги чечим менен салыштыргыла.

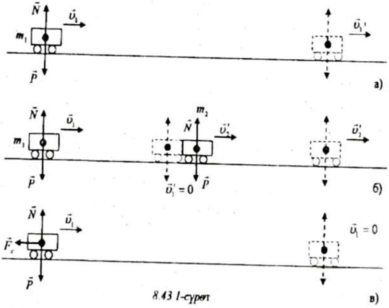
VIII Бап. МЕХАНИКАДАГЫ САКТАЛУУ ЗАКОНДОРУ''

43-§. Телонун механикалык кыймылынын сакталуусу жана өзгөрүүсү

Жаратылыштагы фундаменталдык бир канча закондордун бири кыймылдын сакталуу закону. Бул закондун орун алышын механикалык кыймылдын мисалында карайлы.

Чексиз созулган горизонталь тегиздик боюнча массасы m_1 болгон арабача $\vec{\upsilon}_1$ ылдамдыгы менен келатсын. Тегиздиктин бети тарабынан ага сүрүлүү күчү арекет этпесин. Анда арабачага аракет эткен $\vec{P}$ оордук күчү менен $\vec{N}$ серпилүү күчү бири-бирин компенсациялашат. Ошондуктан ал кыймылын турактуу сактап, түз сызык боюнча бир калыпта кете берет (8.43.1а - сүрөт).

Эгерде ушундай кыймылдап бараткан арабача өзүнүн жолунда турган массасы m_2 $(m_1 = m_2)$ болгон экинчи арабача менен серпилгичтүү кагылышкан болсо, төмөнкү кубулуш байкалат: биринчи арабача токтоп калат, ал эми экинчи арабача болсо кандайдыр бир $\vec{\upsilon}_2'$ ылдамдыгы менен кыймылга келет жана андан кийинки кыймылын сактайт. Бул учурда биринчи арабача өзүнүн кыймылын толук бойдон экинчи арабачага берет, башкача айтканда биринчи арабачанын механикалык кыймылы толук бойдон экинчи арабачанын механикалык кыймылына айланат (8.43.1б - сүрөт).



8.43.1-сүрөт

Эгерде ушул тажрыйбадагы экинчи арабачанын массасы $m_2 < m_1$ болсо, серпилгичтүү кагылышкандан кийин биринчи арабача токтоп калбастан, ал мурдагы тажрыйбадагыга караганда жайырак кыймылдап калат. Экинчи арабача да кыймылга келет, бирок ал дагы мурдагы ылдамдыгына караганда жайырак кыймылдайт. Бул фактыны төмөндөгүдөй

'Ушул бап П.Кожобекова тарабынан жазылды түшүндүрүүгө болот: биринчи арабачанын механикалык кыймылынын бир бөлүгү өзүндө калып, калган бөлүгү экинчи арабачага берилди, ошол арабачанын механикалык кыймылына айланды.

Эгерде $\vec{\upsilon}_1$ ылдамдыгы менен бараткан ушул арабачага кайсы бир моменттен тартып горизонталь тегиздиктин бети тарабынан сүрүлүү күчү аракет эте баштаса, ал акырындап барып токтойт (8.43.1в - сүрөт). Арабача өзүнүн механикалык кыймылын жоготот. Бул учурда арабачанын дөңгөлөктөрү жана горизонталь тегиздигинин бети азыраак болсо да ысыйт. Демек алардын молекулаларынын жылуулук кыймылы тездейт.

Мындан төмөнкүдөй жыйынтык келип чыгат: сүрүлүү күчүнүн натыйжасында арабачанын механикалык кыймылы, анын дөңгөлөктөрүнүн жана горизонталь беттин молекулаларынын жылуулук кыймылына, башкача айтканда, кыймылдын башка формасына айланат.

Жогоруда айтылган тажрыйбалардын жыйынтыктарын жалпылап, төмөнкү фактыларды бөлүп көрсөтүүгө болот:

1) эгерде телого башка телолор арекет этпесе, же алардын ара кеттери бири-бирин компенсациялап турган болсо, тело өзүнүн механикалык кыймылын турактуу сактайт;

2) эгерде тело башка тело менен серпилгичтүү кагылышса, анын механикалык кыймылы толук бойдон ошол башка телонун механикалык кыймылына айланат, же анын механикалык кыймылынын бир бөлүгү өзүндө калып, калган бөлүгү ошол башка телого берилет;

3) эгерде мындай телого сүрүлүү күчү арекет этсе, анын механикалык кыймылы башка формадагы кыймылга айланып кетет.

Демек, телонун тигил же бул инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу механикалык кыймылы жөндөн-жөн эле жоголуп кетпейт. Ал, же турактуу бойдон калат, же башка формадагы кыймылга айланат.

Ушул фактылардан улам төмөнкүдөй суроолор пайда болот: Биринчи арабачанын канчалык сандагы механикалык кыймылы бар эле? Аракеттенишүү процессинде ал өзүнүн кыймылынын канча бөлүгүн экинчи арабачага берди? дагы ушул сыяктуу.

Мындай суроолорго жооп берүү үчүн, баарыдан мурда, телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдуктарды киргизүү зарыл.

Демек, телонун механикалык кыймылы берилген эсептөө системасына салыштырмалуу турактуу сакталышы, же өзгөрүшү менен анын башка телонун механикалык кыймылына айланышы, же башка формадагы кыймылга айланышы мүмкүн. Ушул фактылар телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдуктарды киргизүүнүн зарылдыгын көрсөтөт. Биз эми ушул маселени талдоого өтөбүз.

Суроолор жана тапшырмалар

1. 8.43.1а - сүрөтүнө таянуу менен арабачанын механикалык кыймылына мүнөздөмө берип, тиешелүү тыянак чыгаргыла.
2. 8.43.1б - сүрөтүнө таянуу менен биринчи жана экинчи арабачалардын кыймылдарына мүнөздөмө берип, тиешелүү тыянак чыгаргыла.
3. 8.43.1в - сүрөтүнө таянуу менен арабачанын кыймылынын өзгөрүшүнө мүнөздөмө берип, тиешелүү тыянак чыгаргыла.
4. Телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдуктарды киргизүүнүн зарылдыгын негиздегиле.

44-§. Телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдуктардын телонун массасынан жана ылдамдыгынан көз карандылыгы

Жогоруда айтылгандай, телонун механикалык кыймылы башка телого механикалык кыймыл катарында берилиши, же башка формадагы кыймылга айланышы мүмкүн. Ушул фактыга байланыштуу мындай суроолор пайда болот: Берилген тело канчалык сандагы механикалык кыймылга ээ эле? Башка тело менен өз ара аракеттенишүү кезинде ал тело өзүнүн механикалык кыймылынын канча бөлүгүн ошол башка телого берет, канча бөлүгү башка формадагы кыймылга айланат? д.у.с.

Бул суроолорго жооп берүү үчүн, жогоруда айтылгандай, телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөй турган чоңдуктарды киргизүү керек. Бул максатта мисалдарга кайрылабыз.

Мейли, инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу массалары бирдей болгон эки телонун бири $5 м/с$, экинчиси $10 м/с$ ылдамдык менен баратсын. Кандайдыр бир t убакыты ичинде аларды токтотуу, башкача айтканда алардын механикалык кыймылын жоготуу талап кылынсын. Анда экинчи телого, башкача айтканда ылдамдыгы чоң болгон телого чоңураак күч менен аракет этүү керек болот. Ушул себепке байланыштуу бул телонун механикалык кыймылынын санын, салыштырмалуу чоң деп айтуу мүмкүн.

Демек, массалары бирдей болгон телолордун кайсынысынын ылдамдыгы чоң болсо, ошонусунун механикалык кыймылынын саны чоң болот. Мындан, телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдук, ошол телонун ылдамдыгы менен түз көз карандылыкта болушу керек деген тыянакка келебиз.

Дагы бир мисалды талдайлы: биринин массасы $5кг$, экинчисиники $10кг$ болгон эки тело инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу бирдей ылдамдык менен баратсын. Кандайдыр бир t убакыт ичинде аларды да токтотуу, башкача айтканда алардын да механикалык кыймылын жоготуу талап кылынсын. Анда экинчи телого, башкача айтканда массасы чоң болгон телого чоңураак күч менен аракет этүү керек болот.

Демек телонун тигил же бул багыттагы кыймылынын саны анын ылдамдыгынан эле эмес, массасынан да көз каранды болот: бирдей эле ылдамдык менен кыймылдаган телонун кайсынысынын массасы чоң болсо, ошонусунун механикалык кыймылынын саны чоң болот. Бул факт телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдуктун, ошол телонун массасы менен да түз көз карандылыкта болорун көрсөтөт.

Ушинтип биз төмөнкүдөй тыянакка келдик: берилген инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу тигил же бул багытта кыймылдаган тело белгилүү бир чоңдуктагы механикалык кыймылга, башкача айтканда белгилүү бир механикалык кыймылдын санына ээ болот. Ушул фактыны мүнөздөөчү атайын физикалык чоңдукту киргизүүбүз зарыл. Тигил же бул багыттагы телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү мындай чоңдук ошол телонун массасынан жана ылдамдыгынан көз каранды болушун тажрыйбалар көрсөттү.

Суроолор жана тапшырмалар

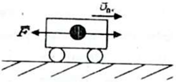
1. Телонун механикалык кыймылын сан жагынан мүнөздөөчү чоңдуктардын киргизилишинин зарылдыгын негиздегиле.
2. Бул чоңдуктун телонун ылдамдыгынан жана массасынан көз каранды болору жөнүндөгү тыянактарды негиздеп айткыла.

45-§. Телонун импульсу

Мейли массасы m болгон тело горизонталь тегиздик боюнча $\vec{\upsilon}_0$ ылдамдыгы менен баратсын. Башка сөз менен айтканда, тело белгилүү бир сандагы баштапкы кыймылга ээ болсун. Ушул телону токтотуу, башкача айтканда анын механикалык кыймылын нөлгө чейин азайтуу талап кылынсын.

Бул үчүн телого, анын кыймылынын багытына карама-каршы багытталган $\vec{F}$ күчү менен белгилүү бир убакыт бою аракет этүү керек

(8.45.1-сүрөт). Эгерде бул күчтүн модулу чоң болсо, телону токтотууга аз убакыт кетет. Эгерде күч кичине болсо аракет этүү көбүрөөк убакытка созулат. Демек, телонун механикалык кыймылынын санын белгилүү чоңдукка өзгөртүү үчүн, ага белгилүү чоңдуктагы $\vec{F}$ күчү менен белгилүү бир t убакыты өткөнгө чейин аракет этүү керек. Эгерде күч чоң болсо ал үчүн аз убакыт, күч кичине болсо салыштырмалуу көп убакыт талап кылынат. Ушул фактынын негизинде төмөнкүдөй бир илимий божомолдоону, гипотезаны айтууга болот: телонун механикалык кыймыл санынын өзгөрүшү $\vec{F}\cdot t$ көбөйтүндүсү менен байланышкан болушу керек. Ошондуктан телонун механикалык кыймылын сандык мүнөздө баалоочу чоңдукту киргизүү үчүн, ушул көбөйтүндүнүн эмнеге барабар болоорун көрсөтүү зарыл.



8.4§ 1-сурөт

Бул гипотезанын тууралыгын тастыктоо үчүн төмөнкү маселени чечебиз.

Мейли, массасы m болгон тело инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы менен баратсын. Белгилүү бир моменттен тартып ага, анын кыймылынын багыты боюнча $\vec{F}$ күчү аракет эте баштасын. Бул күчтүн аракети t убакыт аралыгына созулсун. Анда бул убакыт ичинде телонун механикалык кыймылынын саны чоңоет, өзгөрүлөт. Ушул өзгөрүүнүн $\vec{F}\cdot t$ көбөйтүндүсү менен кандайча байланышта болорун көрсөтүү талап кылынсын.

Маселени чечүү үчүн, телонун эсептөө башталгандан t убакыты өткөн моменттеги ылдамдыгын $\vec{\upsilon}_1$ деп белгилеп алабыз жана $\vec{F}\cdot t$ көбөйтүндүсүн табабыз. Ньютондун экинчи законун эске алып, төмөнкү барабардыкты жазабыз.

$$\vec{F}\cdot t = m\cdot\vec{a}\cdot t$$

Телонун ылдамдануусунун $\vec{a}=(\vec{\upsilon}_1-\vec{\upsilon}_0)/t$ болорун эске алып, бул барабардыкты төмөнкү түргө келтиребиз:

$$\vec{F}\cdot t = m\cdot\vec{\upsilon}_1 - m\cdot\vec{\upsilon}_0 \tag{8.45.1}$$

Бул барабардыктан көрүнүп тургандай, $\vec{F}\cdot t$ көбөйтүндүсү $m\cdot\vec{\upsilon}$ көбөйтүндүсүнүн өзгөрүшүнө барабар. Ушул $m\cdot\vec{\upsilon}$ көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдукту телонун механикалык кыймылынын санын мүнөздөөчү чоңдук катарында алса болот. Себеби, биринчиден, анын өзгөрүшү $\vec{F}\cdot t$ көбөйтүндүсү менен шартталып жатат. Экинчиден, $m\cdot\vec{\upsilon}$ көбөйтүндүсү телонун массасы менен ылдамдыгын камтып турат. Жогоруда айтылгандай, телонун механикалык кыймылынын саны, анын массасы менен ылдамдыгынан көз каранды болот.

Демек, телонун механикалык кыймылынын саны, чени катарында $m \cdot \vec{\upsilon}$ чоңдугун, башкача айтканда телонун массасы менен ылдамдыгынын көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдукту алууга болот. Себеби, тело тынч турган болсо, башкача айтканда ылдамдыгы нөлгө барабар болсо, анын механикалык кыймылынын саны нөлгө барабар болот. Ал эми телонун механикалык кыймылынын саны чоңойсо, демек анын кыймылы тездесе, бул чоңдук да чоңоет.

Телонун механикалык кыймылынын чени катарында алынуучу бул чоңдукту физикада телонун импульсу, же жөн эле импульс деп атайт. Аны көбүнчө $\vec{p}$ тамгасы менен белгилейт.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{\upsilon} \tag{8.45.2}$$

Демек, телонун (материалдык чекиттин) импульсу деп анын массасы менен ылдамдыгынын көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдук айтылат. Телонун импульсу чоң же кичине мааниге барабар дегендик, телонун механикалык кыймылынын санынын чоң же кичине болорун түшүндүрөт. (8.45.2) ден көрүнүп тургандай телонун импульсу вектордук чоңдук. Анын СИ системасындагы бирдиги $кг \cdot м/с$. Ал ошол телонун тигил, же бул багыттагы механикалык кыймылынын чени болуп саналат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Баштапкы $\vec{\upsilon}_0$ ылдамдыгы менен бараткан телону токтотууга байланышкан мисалды талдап окугула. Анын негизинде коюлган гипотезанын маңызын түшүнгүлө.
2. Бул гипотезанын тууралыгын көрсөтүү үчүн кайсыл маселе коюлду? Аны чечип, тиешелүү тыянак чыгаргыла.
3. Телонун импульсу деп кайсы чоңдук айтылат?
4. Телонун импульсу, анын механикалык кыймылынын чени болорун негиздеп түшүндүргүлө.
5. Телонун импульсунун бирдигин келтирип чыгаргыла?

46-§. Телонун кинетикалык энергиясы

Мурдагы параграфтын башталышында берилген маселени башкача мазмунда талдайбыз.

Мейли, массасы m болгон тело горизонталь тегиздик боюнча $\vec{\upsilon}_0$ ылдамдыгы менен баратсын. Башка сөз менен айтканда, тело белгилүү сандагы баштапкы кыймылга ээ болсун. Ушул телону токтотуу, башкача айтканда анын механикалык кыймылынын ылдамдыгын нөлгө чейин азайтуу талап кылынсын. Ал үчүн телого, анын кыймылынын багытына карама-каршы багытталган $\vec{F}$ күчү менен (8.45.1-сүрөт), тело белгилүү бир которулушту аткарганга чейин аракет этүү керек. Эгерде бул күчтүн модулу чоң болсо, тело азырак которулуудан кийин эле токтойт. Эгерде күч, кичине болсо, тело токтогонго чейин чоңураак которулуш жасайт.

Демек, телонун механикалык кыймылынын санын белгилүү чоңдукка өзгөртүү үчүн, ага белгилүү чоңдуктагы $\vec{F}$ күчү менен ал белгилүү $\vec{s}$ которулушун аткарганга чейин аракет этүү керек. Эгерде күч чоң болсо, салыштырмалуу кичине которулуш, күч кичине болсо, тиешелүү түрдө, чоңураак которулушту аткаруу талап кылынат.

Ушул фактынын негизинде төмөнкүдөй тыянакка келебиз: телонун механикалык кыймыл санынын өзгөрүшү $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсү менен да байланышкан болушу керек. Биз ушул $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсүнүн эмнеге барабар болорун көрсөтөлү.

Натыйжада кыймылдын санын мүнөздөөчү дагы бир чоңдукту киргизебиз.

Мейли, массасы m болгон тело инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы менен баратсын. Белгилүү бир моменттен тартып ага, анын кыймылынын багыты боюнча $\vec{F}$ күчү аракет эте баштасын. Мындай аракет этүү тело түз сызыктуу траектория боюнча $\vec{s}$ которулушун аткарганга чейин созулсун. Мындай которулуунун жүрүшүндө телонун механикалык кыймылынын саны чоңоет, өзгөрүлөт. Ушул өзгөрүүнүн $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсү менен кандайча байланышта болорун көрсөткүлө.

Телонун эсептөө башталгандан t убакыты өткөн моменттеги ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_1$ болсун. Анда тело $\vec{a}=(\vec{\upsilon}_1-\vec{\upsilon}_0)/t$ ылдамдануусу менен кыймылдап, t убакыты ичинде $\vec{s}=\vec{\upsilon}_0 t+\vec{a}t^2/2$ которулушун аткарат (3.18-§ты карагыла). Ушул фактыларды жана Ньютондун экинчи законун эске алып, $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсүнүн эмнеге барабар болорун көрсөтөбүз:

$$\vec{F}\cdot\vec{s}=m\cdot\vec{a}\cdot\vec{s}=m\cdot\frac{\vec{\upsilon}_1-\vec{\upsilon}_0}{t}\cdot(\vec{\upsilon}_0\cdot t+\frac{\vec{\upsilon}_1-\vec{\upsilon}_0}{2}\cdot t)=\frac{m\cdot\upsilon_1^{2}}{2}-\frac{m\cdot\upsilon_0^{2}}{2}$$

Ушинтип,

$$\vec{F}\cdot\vec{s}=\frac{m\cdot\upsilon_1^{2}}{2}-\frac{m\cdot\upsilon_0^{2}}{2} \qquad (8.46.1)$$

болорун табабыз.

Бул барабардыктан көрүнүп тургандай, $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсү $m\cdot\upsilon^2/2$ туюнтмасынын өзгөрүшүнө барабар. Ушул $m\cdot\upsilon^2/2$ туюнтмасын дагы, мурдагы параграфта айтылган $m\vec{\upsilon}$ көбөйтүндүсү сыяктуу эле телонун механикалык кыймылынын санын көрсөтүүчү чоңдук катарында алса болот. Себеби, биринчиден анын өзгөрүшү $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсү менен шартталып жатат. Экинчиден $m\cdot\upsilon^2/2$ туюнтмасы телонун массасы менен ылдамдыгын камтып турат. Мурда айтылгандай, телонун механикалык кыймылынын саны анын массасы менен ылдамдыгынан көз каранды болот.

Демек, телонун механикалык кыймылынын саны, чени үчүн телонун импульсу менен катар $m\cdot\upsilon^2/2$ чоңдугун, башкача айтканда телонун массасы менен ылдамдыгынын квадратынын көбөйтүндүсүнүн жарымына барабар болгон чоңдукту алууга болот. Себеби, тело тынч турган учурда, демек телонун механикалык кыймылынын саны нөлгө барабар болгон учурда ушул чоңдук нөлгө барабар болот. Телонун механикалык кыймылынын саны чоңойсо, анын кыймылы тездесе, бул чоңдук да чоңоет.

Телонун механикалык кыймылынын чени катарында алынуучу бул чоңдукту физикада телонун кинетикалык энергиясы же жөн эле кинетикалык энергия деп атайт. Аны кээде E_k тамгасы менен белгилейт.

$$E_k = \frac{m\upsilon^2}{2}. \qquad (8.46.2)$$

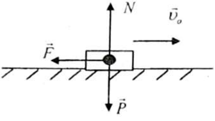
Демек, телонун (материалдык чекиттин) кинетикалык энергиясы деп, анын массасы менен ылдамдыгынын квадратынын көбөйтүндүсүнүн жарымына барабар болгон чоңдук айтылат. Ал ошол телонун механикалык кыймылынын чени болуп саналат. Телонун кинетикалык энергиясы чоң, же кичине мааниге барабар дегендик, телонун механикалык кыймылынын санынын чоң же кичине болорун түшүндүрөт. (8.46.2) ден көрүнүп тургандай телонун кинетикалык энергиясы скалярдык чоңдук.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Баштапкы $\vec{\upsilon}_0$ ылдамдыгы менен бараткан телону токтотууга байланышкан мисалды талдап окугула. Анын негизинде коюлган маселенин маңызын түшүнгүлө.
2. Маселени чечип, тиешелүү тыянак чыгаргыла.
3. Телонун кинетикалык энергиясы деп кайсыл чоңдук айтылат?
4. Телонун кинетикалык энергиясы, анын механикалык кыймылынын чени болорун негиздеп түшүндүргүлө.
5. Телонун кинетикалык энергиясы менен импульсунун жалпы жактарын жана айырмачылыктарын талдап түшүндүргүлө.
6. Телонун кинетикалык энергиясынын бирдигин келтирип чыгаргыла.

47-§. Телонун кинетикалык энергиясы, анын механикалык кыймылынын универсалдык чени катарында

Мейли жылма эмес столдун бетинде турган, массасы m болгон телого $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы берилген болсун (8.47.1-сүрөт). Анда тело $m\vec{\upsilon}_0$ баштапкы импульсуна, $m\cdot\upsilon_0^2/2$ баштапкы кинетикалык энергиясына ээ болот.



8.47.1-сүрөт

Тело ушундай $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы менен кыймылын баштагандан кийин төмөнкү кубулуш орун алат: телого бирин-бири компенсациялап турган $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчү менен катар, $\vec{F}$ сүрүлүү күчү аракет этет. Ал күч кыймылдын багытына карама-каршы багытталган болот. Натыйжада тело акырындап барып токтойт.

Ушинтип, телонун механикалык кыймылы жоголуп, анын импульсу дагы, кинетикалык энергиясы дагы нөлгө чейин азаят.

Суроо туулат: телонун механикалык кыймылы изи жок бойдон жоголобу? Байкоолор жана тажрыйбалар телонун жана столдун сүрүлүшкөн беттеринин ысып калганын көрсөтөт. Белгилүү болгондой, тело ысыганда аны түзгөн молекулалардын баш аламан жылуулук кыймылы тездейт. Демек, телонун жана столдун сүрүлүшкөн беттериндеги молекулаларынын жылуулук кыймылы чоңоет. Бул факт телонун механикалык кыймылынын, тело менен столдун сүрүлүшкөн беттериндеги молекулалардын жылуулук кыймылына айлангандыгын көрсөтөт. Демек, телонун механикалык кыймылы изи жок бойдон жоголбойт. Ал аталган беттердеги молекулалардын жылуулук кыймылына айланат.

Суроо туулат: бул учурда телонун механикалык кыймылынын чени катарында анын импульсун дагы, кинетикалык энергиясын дагы пайдаланса болобу?

Жогоруда айтылгандай, сүрүлүүнүн натыйжасында телонун механикалык кыймылы сүрүлүшкөн беттердеги молекулалардын баш аламан жылуулук кыймылына айланат. Кыймылдагы ар бир молекула белгилүү импульска жана кинетикалык энергияга ээ болот. Бирок, бул молекулалардын импульстарынын суммасы нөлгө барабар болот. Анткени молекулалар эбегейсиз көп. Ошондуктан ар бир молекуланын импульсуна, импульсунун модулу барабар, бирок багыты карама-каршы болгон башка молекула сөзсүз табылат. Ушунун натыйжасында сүрүлүшкөн беттердеги бардык молекулалардын импульстарынын суммасы нөлгө барабар болот. Бирок, ушул эле бардык молекулалардын кинетикалык энергияларынын суммасы нөлгө барабар болбойт. (Ушул фактыларды көз алдыңарга келтирип түшүнгүлө).

Мындан төмөндөгүдөй тыянак келип чыгат: берилген телонун механикалык кыймылы, анын башка телолор менен аракеттенишүүсү учурунда алардын молекулаларынын жылуулук кыймылына, башкача айтканда башка формадагы кыймылга айланышы мүмкүн. Мындай процессти талдоодо телонун механикалык кыймылынын чени катарында телонун импульсун алууга болбойт. Телонун механикалык кыймылынын чени катарында, мындай учурда анын кинетикалык энергиясы гана жарайт.

Демек, бир телонун механикалык кыймылы өз ара аракеттенишүүнүн жүрүшүндө башка телонун механикалык кыймылына айланган болсо, телонун импульсу дагы, кинетикалык энергиясы дагы анын механикалык кыймылынын чени үчүн алынат. Ал эми мындай аракеттенишүүнүн жүрүшүндө телонун механикалык кыймылы молекулалардын жылуулук кыймылына, башкача айтканда башка формадагы кыймылга айланган болсо, телонун механикалык кыймылынын чени катарында анын кинетикалык энергиясын гана алууга болот. Ошондуктан физикада, телонун кинетикалык энергиясын, анын механикалык кыймылынын универсалдык чени деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Сүрөттө көрсөтүлгөн телонун кыймылына мүнөздөмө бергиле. Анын кыймылы кайсы максатта каралып жатат?
2. Тело токтогондо анын механикалык кыймылы изи жок бойдон жоголобу? Ал кайсы кыймылга айланат?
3. Бул учурда телонун механикалык кыймылынын чени катарында телонун импульсун алса болобу? Телонун кинетикалык энергиясынчы? Жообуңарды негиздегиле.
4. Эмне үчүн физикада телонун кинетикалык энергиясын, анын механикалык кыймылынын универсалдык чени деп атайт? Түшүнүү менен жооп бергиле.

48-§. Күчтүн жумушу

Белгилүү болгондой, эгерде телого $\vec{F}$ күчү аракет этсе жана бул күчтүн аракети менен тело $\vec{s}$ которулушун аткарса, телонун кинетикалык энергиясы белгилүү чондукка өзгөрөт. (8.46.1) формуладан көрүнүп тургандай, телонун кинетикалык энергиясынын мындай өзгөрүшү, телого аракет эткен ошол күч менен телонун которулушунун $\vec{F} \cdot \vec{s}$ көбөйтүндүсүнө барабар.

Демек, $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдук телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүн шарттайт. Ушул чоңдукту физикада күчтүн жумушу, же механикалык жумуш, же жөн эле жумуш деп атайт. Аны A тамгасы менен белгилейт.

Кинетикалык энергияны туюнткан формулага кирген m жана υ^2 чоңдуктары скалярдык чоңдуктар. Демек, кинетикалык энергия скалярдык чоңдук. Анын өзгөрүшү да скалярдык чоңдук болот. Демек, кинетикалык энергиянын өзгөрүшүн шарттаган $\vec{F}\cdot\vec{s}$ көбөйтүндүсү да скалярдык чоңдук болуп саналат. Ошондуктан математикада жана физикада векторлордун мындай көбөйтүндүсүн векторлордун скалярдык көбөйтүндүсү деп атайт.

Демек күчтүн жумушу скалярдык чоңдук. Ал төмөнкүгө барабар:

$$A = \vec{F}\cdot\vec{s} \qquad (8.48.1)$$

Мында, $\vec{F}$ - телого аракет эткен күч, $\vec{s}$ -ушул күчтүн аракети астында тело аткарган которулуш; A-күчтүн жумушу. Демек, телого аракет эткен $\vec{F}$ күчү менен ошол күчтүн аракети астында телонун аткарган $\vec{s}$ которулушунун скалярдык көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдукту күчтүн жумушу деп атайт.

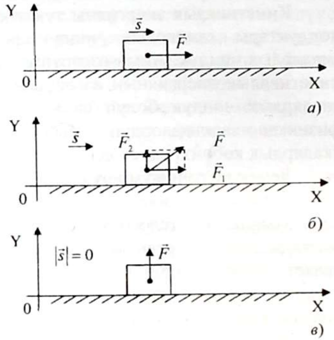
Күчтүн жумушу $\vec{F}$ жана $\vec{s}$ векторлорунун модулдарынан жана алардын ортосундагы бурчтан көз каранды болот. Бул фактыны так көрсөтүү үчүн төмөнкү мисалды талдайбыз.

Мейли, горизонталдык тегиздикте массасы m болгон тело жатсын. Ага аракет эткен $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчтөрү бирин-бири компенсациялашат (кийинки талдоолор түшүнүктүү болсун үчүн бул күчтөрдү чиймеде көрсөтпөдүк). Сүрүлүү эске алынбагандай кичине болсун. Ушул телого модулу оордук күчүнүн модулунан кичине болгон $\vec{F}$ күчү төмөнкүчө аракет этсин: биринчи учурда, горизонт боюнча (8.48.1а - сүрөт), экинчи учурда горизонт менен α бурчун түзгөндөй багытта (8.48.1б - сүрөт), үчүнчү учурда горизонтко перпендикулярдуу багытта (8.48.1в - сүрөт).

Анда биринчи эки учурда тело которулат, анын кинетикалык энергиясы өзгөрүлөт. Демек, бул учурларда күч жумуш аткарат. Үчүнчү учурда тело которулбайт, анын кинетикалык энергиясы өзгөрүлбөйт. Ошондуктан күч бул учурда жумуш аткарбайт, башкача айтканда күчтүн жумушу нөлгө барабар болот.

Биринчи эки учурдагы күчтүн жумуштарын салыштырабыз. Эки учурда тең күчтүн аракети астында тело бирдей $\vec{s}$ которулуштарын аткарган болсун. Тажрыйбалар төмөнкүнү көрсөтөт: биринчи учурдагы, $\vec{F}$ күчүнүн багыты менен $\vec{s}$ которулушунун багыты дал келген учурдагы телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшү, экинчи учурдагыга караганда чоң болот. Демек, бул учурда чоң жумуш аткарылат.

Демек, $\vec{F}$ жана $\vec{s}$ векторлорунун багыты дал келген учурда, демек алардын ортосундагы α бурчу нөлгө барабар болгон учурда күчтүн жумушу эң чоң болот. Векторлор перпендикуляр болгондо, башкача айтканда $\alpha = 90^0$ болгон учурда күчтүн жумушу нөлгө барабар болот. Ал эми α бурчу 0^0 дон чоң, 90^0 тан кичине болгон учурларда күчтүн жумушу өзүнүн максималдык маанисинен кичине болгон маанилерге барабар болот.



8.48.1-сүрөт

Экинчи учурдагы $\vec{F}$ күчүн $\vec{s}$ вектору менен дал келген жана ага перпендикулярдуу болгон $\vec{F}_1$ жана $\vec{F}_2$ эки түзүүчүгө ажыратабыз (8.48.1б - сүрөт). Күчтүн $\vec{F}_2$ түзүүчүсүнүн жумушу нөлгө барабар. Ошондуктан $\vec{F}$ күчүнүн жумушу анын $\vec{F}_1$ түзүүчүсүнүн жумушуна барабар болот. Чиймеден көрүнүп тургандай, $\vec{F}_1 = \vec{F} \cdot \cos\alpha$. Демек бул күчтүн жумушу үчүн төмөнкү туюнтманы алабыз:

$$A = \vec{F}_1 \cdot \vec{s} = \vec{F} \cdot \cos\alpha \cdot \vec{s} \qquad (8.48.2)$$

Мындагы $\vec{F}\cos\alpha$ көбөйтүндүсү $\vec{F}$ векторунун, $\vec{s}$ векторунун багыты менен дал келген OX огундагы проекциясы болуп саналат. Ошондуктан аны скаляр катарында $F_1 = F\cos\alpha$ түрүндө жазуу мүмкүн. Которулуш векторунун OX огундагы проекциясы, анын модулуна барабар. Ошондуктан (8.48.2) деги $\vec{s}$ тин ордуна анын модулун туюнткан s ти жазуу мүмкүн. Ушунтип, (8.48.2) деги күчтүн жумушун туюнткан төмөнкү формуланы алабыз:

$$A = F\,s\cos\alpha \qquad (8.48.3)$$

Мында, F-телого аракет эткен $\vec{F}$ күчүнүн модулу; s-телонун $\vec{s}$ которулушунун модулу; α - $\vec{F}$ күчү менен $\vec{s}$ которулушунун ортосундагы бурч. A - күчтүн жумушу.

Демек, телого аракет эткен $\vec{F}$ күчүнүн жумушу ошол күчтүн жана телонун $\vec{s}$ которулушунун модулдарынын, алардын ортосундагы бурчтун косинусунун көбөйтүндүсүнө барабар болот.

Эгерде $\vec{F}$ менен $\vec{s}$ тин багыты дал келсе (8.48.3) төмөнкү түргө келет:

$$A = F \cdot s \tag{8.48.4}$$

Күчтүн жумушунун бирдигин аныктайбыз. Ал үчүн төмөнкү мисалды талдайбыз.

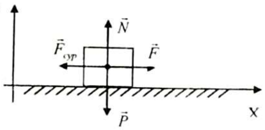
Мейли, телого $1H$ күч аракет этсин. Бул күчтүн таасири астында тело $1м$ которулуш аткарган болсун. Анда бул күчтүн жумушу $A = 1H \cdot 1м = 1Hм$ болот. Ушул жумуш, башкача айтканда телого $1H$ күч аракет этип, аны $1м$ ге которуудагы аткарылган жумуш, жумуштун бирдиги үчүн кабыл алынган. Аны физикада Англиялык окумуштуу Джоульдун урматына «Джоуль» деп атайт жана «Дж» деп белгилейт. Демек, мисалы телого $10H$ күч аракет этсе жана ал $1м$ ге которулса күчтүн жумушу $10Дж$ го барабар болот, $3м$ ге которулса $30Дж$ жумуш аткарылат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Кайсыл чоңдук күчтүн жумушу, же механикалык жумуш деп айтылат? Ал кайсыл чоңдуктун өзгөрүшүн шарттайт?
2. Күчтүн жумушунун скалярдык чоңдук болорун негиздегиле.
3. Эмне үчүн $\vec{F} \cdot \vec{s}$ көбөйтүндүсүн $\vec{F}$ жана $\vec{s}$ векторлорунун скалярдык көбөйтүндүсү деп атайт?
4. Күчтүн жумушу кайсыл чоңдуктардан көз каранды болот? Жообуңарды 8.48.1-сүрөткө таянуу менен негиздегиле.
5. (8.48.2) жана (8.4.8.3) формулаларды негиздеп жазгыла.
6. Күчтүн жумушунун бирдиги эмне? Аны келтирип чыгаргыла.
7. Телонун кинетикалык энергиясынын да бирдигинин *1Дж* болорун негиздеп түшүндүргүлө.

49-§. Күчтүн сүрүлүүгө каршы аткарган жумушу

Мейли, массасы m болгон тело горизонталдык тегиздикте жатсын, анын бети жылма болбосун (8.49.1-сүрөт). Ага горизонт боюнча $\vec{F}$ күчү аракет этсин жана анын модулу улам чоңоюп отурсун. Бул күчтүн белгилүү бир маанисинде тело жыла баштайт. Ушундан тартып күч турактуу калсын. Анда тело бир калыпта кыймылдайт жана мындай кыймылын улантат. Демек, тело күчтүн аракети астында



8.49.1-сурот

которулат, башкача айтканда бул күч жумуш аткарат. Бирок, бул учурда телонун кинетикалык энергиясы өзгөргөнү жок. Белгилүү болгондой, телого күч аракет этсе жана бул күч жумуш аткарган болсо, телонун кинетикалык энергиясы өзгөрүш керек эле.

Ушул кубулушту түшүндүрөлү. Телого $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчтөрү аракет этет. Алар бирин-бири компенсациялап турат. Телого $\vec{F}$ күчү аракет эте баштагандан тартып, ага тынч тургандагы сүрүлүү күчү да аракет эте баштайт. Качан бул күчтүн модулу тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн максималдык маанисине барабар болуп, андан кичине эле чоң болгондо тело которула баштайт. Бул учурда телого $\vec{F}$ күчүнө карама-каршы багытта, тынч тургандагы сүрүлүү күчүнүн максималдык маанисине барабар болгон сыйгалангандагы сүрүлүү күчү аракет этет. Эгерде бул күчтөрдүн модулдары барабар бойдон калса, тело бир калыпта кыймылдайт. Телонун кинетикалык энергиясы турактуу калат. Бирок, телого аракет эткен $\vec{F}$ күчү аны которуп жумуш аткарат. Бул учурда $\vec{F}$ күчүнүн жумушу сүрүлүү күчүнө, же тагыраак айтканда, сүрүлүү күчүнүн жумушуна каршы аткарылган болот.

Мейли, ушул $\vec{F}$ күчүнүн модулу дагы чоңойтулсун. Анда тело ылдамдап кыймылдайт, анын кинетикалык энергиясы чоңоет. Демек, бул учурда күчтүн жумушу телого аракет эткен сүрүлүү күчүнө каршы жумуш аткарууга жана телонун кинетикалык энергиясын чоңойтууга жумшалат.

Ушул айтылган фактыларды жалпылап төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келебиз: сүрүлүү, каршылык бар учурда телого аракет эткен күчтүн жумушу, телого аракет эткен ошол сүрүлүү, каршылык күчтөрүн жеңүүгө, тактап айтканда, ошол күчтөрдүн жумуштарын компенсациялоого жана телонун кинетикалык энергиясын өзгөртүүгө сарпталат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Жылма эмес, горизонталдык бетте жаткан телого модулу кичине болгон күч аракет этери менен эле ал тынч абалдан чыгып, кыймылга келеби? Эмне үчүн?
2. Кандай шартта бул тело бир калыпта кыймылдайт? Телонун мындай кыймылын камсыз кылган күч жумуш аткарабы? Ал жумуш эмнеге сарпталат?
3. Ушул тело кинетикалык энергиясы өзгөрө тургандай кыймылга келсин. Бул учурда күчтүн жумушу эмнелерге сарпталат?
4. Бир калыпта бараткан автомобилдин ылдамдыгын чоңойтуу үчүн анын айдоочусу кандай аракет жасайт? Бул кубулушка энергиялык талкуу бергиле.

50-§ Кинетикалык энергияга ээ болгон телонун жумуш аткаруусу

Белгилүү болгондой, эгерде телого кандайдыр бир күч аракет этип, жумуш аткарса, телонун кинетикалык энергиясы өзгөрөт. Кинетикалык энергиянын мындай өзгөрүшү күчтүн жумушуна барабар болот: $A = m\cdot\upsilon_2^2/2 - m\cdot\upsilon_1^2/2$. Мында, $m\cdot\upsilon_2^2/2$ - телонун кийинки, $m\cdot\upsilon_1^2/2$ - анын мурдагы кинетикалык энергиясы; A - кинетикалык энергиянын ушундай өзгөрүшүнө алып келген күчтүн жумушу. Ушул барабардыкты төмөнкү түрдө жазып алалы:

$$\frac{m\cdot\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\cdot\upsilon_1^2}{2} = A$$

Бул барабардыктын негизинде төмөнкүдөй гипотезаны айтууга болот: белгилүү бир кинетикалык энергияга ээ болгон тело башка телого аракет этип, өзүнүн кинетикалык энергиясынын азайышынын эсебинен жумуш аткарышы мүмкүн. Бул учурдагы телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшү, башкача айтканда азайышы ал аткарган жумушка барабар болушу керек.

Ушул гипотезанын тууралыгын далилдейли. Ал үчүн тажрыйбага кайрылабыз.

Мейли, биздин бир тарабыбызда мелмилдеп, υ турактуу ылдамдыгы менен агып бараткан дарыя, бир тарабыбызда көлмө турсун. Экөөнүн тең бетине массасы m болгон футбол тобу акырын коюлсун. Анда көлмөнүн бетиндеги топ тынч бойдон калат, ал эми дарыядагы суу топту агызып кетет.

Ушундагы экинчи фактыга мүнөздөмө берели: агып бараткан суунун бетине коюлар моментте, топ тынч турган. Тагыраак айтканда агып келаткан суунун белгилүү бир кинетикалык энергияга ээ болгон бөлүгү менен өз ара аракеттенишер моментте, топ тынч абалда болгон. Топ суунун бетине коюлганда, ал суунун өзүнө туш келген бөлүгү менен өз ара аракеттенишет. Ушул аракеттенишүүнүн натыйжасында топтун ылдамдыгы суунун агымынын ылдамдыгына барабар болгонго чейин чоңоет. Демек бул учурда топтун кинетикалык энергиясы нөлдөн $m\cdot\upsilon^2/2$ ге чейин чоңоет .

Тажрыйба төмөнкүнү дагы көрсөтөт: футбол тобун мелмилдеп, бир калыпта агып бараткан суунун бетине акырын койгондо, суунун ошол бөлүгүнүн акырындай түшкөнү, башкача айтканда суунун калган бөлүгүнөн анын артта кала түшкөнү байкалат. Демек, суунун ушул бөлүгүнүн кинетикалык энергиясы азаят.

Белгилүү болгондой, ар кандай телолордун кинетикалык энергиясы, кайсыл бир күчтун жумушунун эсебинен гана өзгөрүшү мүмкүн. Биз талдап жаткан тажрыйбада болсо мындай жумушту агып бараткан суунун топ менен аракеттенишкен бөлүгү аткарып жатат. Башкача айтканда белгилүү кинетикалык энергияга ээ болгон суунун бөлүгү топко аракет этүү процессинде жумуш аткарып, топтун кинетикалык энергиясын чоңойтуп жатат. Бул учурда суунун ушул жумушту аткарып жаткан бөлүгүнүн кинетикалык энергиясынын азая турганын да тажрыйба көрсөтөт.

Ушинтип, биз параграфтын башталышында сөз кылган гипотезанын тууралыгы далилденди: белгилүү чоңдуктагы кинетикалык энергияга ээ болгон тело, башка телого аракет этип, анын кинетикалык энергиясын өзгөртүү менен кыймылга келтириши, демек жумуш аткарышы мүмкүн. Бул учурда жумуш аткарып жаткан телонун кинетикалык энергиясы азаят. Жалпылап айтканда кыймылдагы тело, башка телого аракет этип, өзүнүн кинетикалык энергиясынын азайышынын эсебинен жумуш аткарышы, ошол башка телонун кинетикалык энергиясын өзгөртүү менен кыймылга келтириши мүмкүн.

Эми топтун кинетикалык энергиясы $m\cdot\upsilon^2/2$ ге жеткенден кийинки процессти талдайлы. Тажрыйба ушундан кийин топтун туруктуу кинетикалык энергия менен агып кете бере турганын көрсөтөт.

Бул фактыны төмөнкүчө түшүндүрүүгө болот: топко аракет этип жаткан, белгилүү кинетикалык энергияга ээ болгон суунун бөлүгү жумуш аткарат. Ушул эле мезгилде топко, анын кыймылынын багытына карама-каршы багытталган каршылык, сүрүлүү күчтөрү аракет этип, жумуш аткарышат. Агын суунун, тактап айтканда топко аракет этип жаткан, белгилүү кинетикалык энергияга ээ болгон суунун бөлүгүнүн жумушу ушул кийинки жумуштарды компенсациялоого кетет. Натыйжада топтун бир калыптагы кыймылы камсыз кылынып, ал туруктуу кинетикалык энергия менен кыймылга келет. Демек, топко аракет этип жаткан, кинетикалык энергияга ээ болгон суунун бөлүгү бул учурда да жумуш аткарат.

Ушул мазмундагы дагы бир мисалга кайрылабыз. Токтогул суу сактагычында суу кармалып турат. Бул суунун ар бир бөлүгү Токтогул ГЭС сы курулган деңгээлге салыштырмалуу белгилүү бийиктикте турушат. Демек, алар оордук күчү менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болушат (52-§ ты карагыла).

Суунун тосмосу көтөрүлгөндө, суунун ошол орундагы бөлүктөрү өздөрүнүн кинетикалык энергияларын чоңойтуу менен жоон түтүк боюнча кыймылдашат. ГЭСсынын турбинасына жеткен моментте, суунун бөлүктөрү чоң, максималдык кинетикалык энергияга ээ болууга үлгүрүшөт. Суунун бул бөлүктөрү турбинадагы калакчаларга аракет этишип, алар бекитилген электр генераторунун роторун айлануу кыймылына келтиришет. Башкача айтканда бул ротордун кинетикалы энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келтирип, жумуш аткарышат.

Ротордун бурчтук ылдамдыгы белгилүү чоңдукка жеткенде кийин, ал бир калыпта, турактуу кинетикалык энергия менен айландырылат. Бул учурда суунун кинетикалык энергиясынын эсебинен аткарылган жумуш каршылык, сүрүлүү күчтөрүнүн жумуштарын компенсациялоого жана, эң башкысы, электр тогун өндүрүүгө жумшалат. Ушинтип, суунун кинетикалык энергиясынын эсебинен электр энергиясы алынып, аралыкка берилет. (Бул жөнүндөгү маалыматтар менен китептин экинчи томунан кеңири тааныша аласыңар).

Суроолор жана тапшырмалар

1. Кинетикалык энергияга ээ болгон телонун жумуш аткарышы жөнүндөгү гипотезаны негиздеп айткыла.
2. Футбол тобу менен жүргүзүлгөн тажрыйбаны талдоонун негизинде бул гипотезанын тууралыгын далилдегиле.
3. Топ сууда бир калыпта агып баратканда, ошол суунун топ менен аракет этишкен бөлүгүнүн кинетикалык энергиясынын эсебинен аткарылган жумуш эмнеге сарпталат?
4. Токтогул ГЭСсы кайсыл энергиялардын эсебинен электр энергиясын өндүрөт? Жообуңарды негиздеп, түшүндүргүлө.

51-§. Кубаттуулук

Түз, тегиз жолдо бараткан «Жигули» автомобилинин спидометри $50\,км/саат$ белгисин көрсөтүп турсун, башкача айтканда ал турактуу $\upsilon_0 = 50\,км/саат$ ылдамдыгы менен баратсын. Бул учурда өзүнүн кыймылдаткычы пайда кылган автомобилдин тартуу күчү, ага аракет этүүчү абанын каршылык күчүнө, сүрүлүү күчүнө каршы жумуш аткарып барат. (Автомобилдин кинетикалык энергиясы турактуу)

Кайсы бир моменттен тартып автомобилдин спидометринин көрсөтүүсү жогорулай баштасын жана ушундан белгилүү убакыт өткөндөн кийин ал $180\,км/саат$ белгисин көрсөтүп калсын. Анда жолдун ушул бөлүгүндөгү автомобилдин тартуу күчүнүн жумушу: биринчиден ага аракет эткен каршылык, сүрүлүү күчтөрүнө каршы жумуш аткарууга; экинчиден анын кинетикалык энергиясын чоңойтууга сарпталат.

Мейли, автомобилдин ылдамдыгы ушул $180\,км/саат$ маанисине жеткенден кийин, анын айдоочусу дагы тезирээк жүрөйүн деп ылдамдыкты башкаруучу педалды (аны «газ педалы» деп аташат) жеткире тепсе да, автомобиль тездебей койсун. Мурдагыдай эле $\upsilon_1 = 180 км/саат$ ылдамдыгы менен кете берсин. Демек, жолдун ушул бөлүгүндөгү, автомобилдин тартуу күчүнүн жумушу ага аракет эткен, анын ылдамдыгынын жогорулашы менен чоңоюп барган, абанын каршылык күчүнө жана сүрүлүү күчтөрүнө каршы жумуш аткарууга сарпталат. Бирок, автомобилдин тартуу күчү мындан ашыкча жумуш аткарып, анын кинетикалык энергиясын чоңойто албай калат.

Эми, жолдун жогоруда белгиленген үч бөлүгүндөгү автомобилдин тартуу күчүнүн аткарган жумуштарын салыштыралы.

Андан төмөнкүдөй фактынын орун алышы көрүнөт: автомобилдин кыймылдаткычы өнүктүргөн тартуу күчү жолдун ар бир бөлүгүндө, бирдей эле убакыт аралыгында, бирдей эмес, түрдүүчө жумуш аткарышат; бирок, качан автомобилдин кыймылдаткычы бүткүл мүмкүнчүлүгүн жумшап иштегенден баштап, анын тартуу күчү бирдей убакыт аралыгында, бирдей чондуктагы максималдык жумушту аткарып калат, андан чоң жумуш аткара албайт.

Бул факт бир эле автомобилдин кыймылдаткычы өнүктүргөн тартуу күчү үчүн эмес, табияты башка күчтөргө да, мисалы, араба тартып бараткан аттын булчуңдары өнүктүргөн тартуу күчүнө, д. у. с. күчтөргө да, мүнөздүү болот.

Ушул фактыны мүнөздөө үчүн физикага кубаттуулук деген түшүнүк киргизилген. Аны N тамгасы менен белгилейт.

Биз эми, «кандай чоңдукту кубаттуулук үчүн алууга болот?» – деген суроого жооп табалы.

Ал үчүн жогорудагы мисалга дагы кайрылабыз.

Андагы автомобилдин кыймылдаткычы өнүктүргөн тартуу күчү жолдун экинчи бөлүгүндө, анын биринчи бөлүгүндөгүгө караганда, бирдей эле t убакыты ичинде чоңураак жумуш аткарат. Бул фактыны, жолдун ушул бөлүгүндө, кыймылдаткыч чоңураак кубаттуулукту өрчүтүү менен иштейт деп айтууга да болот .

Демек, жолдун тигил же бул бөлүгүндөгү кыймылдаткыч өнүктүргөн кубаттуулукту чоң деп алууга болот, эгерде бирдей эле убакыт ичинде ал өнүктүргөн тартуу күчү чоң жумуш аткарса. Бул айтылган ойду математикалык түрдө мындайча жазууга болот: $N \sim A$. Жогорудагы мисалга дагы бир жолу кайрылалы: берилген автомобилдин кыймылдаткычы өнүктүргөн тартуу күчү жолдун экинчи бөлүгүндө, анын биринчи бөлүгүндөгүгө караганда, бирдей эле чоңдуктагы жумушту салыштырмалуу аз убакыт ичинде аткарат. Демек, автомобилдин кыймылдаткычы чоңураак кубаттуулукту өрчүтүү менен иштеген учурда бирдей эле чоңдуктагы жумуш салыштырмалуу аз убакыт ичинде аткарылат. Бул тыянакты математикалык түрдө төмөнкүчө жазуу мүмкүн: $N \sim 1/t$

Жогорудагы эки фактынын негизинде кубаттуулукту аныктоочу формуланы төмөнкүчө жазса болот:

$$N = \frac{A}{t} \tag{8.51.1}$$

Мында, A - жолдун тигил же бул бөлүгүндөгү кыймылдаткыч өнүктүргөн күчтүн жумушу; t - ошол жумуштун аткарылышына кеткен убакыт, N - жолдун ошол бөлүгүндөгү кыймылдаткыч өнүктүргөн кубаттуулук.

Демек, жолдун тигил же бул бөлүгүндөгү кыймылдаткыч өнүктүргөн кубаттуулук деп ушул кыймылдаткыч өнүктүргөн күчтүн жумушунун, ошол жумуштун аткарылышына кеткен убакытка болгон катышына барабар болгон чоңдук айтылат. Кубаттуулук, бул аныктоодон жана (8.51.1) формуладан көрүнүп тургандай, кыймылдаткычтын жумуш аткаруу тездигин мүнөздөйт. Кыймылдаткыч чоңураак кубаттуулукту өрчүтүү менен иштегенде берилген көлөмдөгү жумушту тезирек аткарат. Бирок, ар бир кыймылдаткыч максималдык кубаттуулукка ээ болот. Ал, ушундай кубаттуулуктан чоң кубаттуулукту өрчүтүү менен иштей албайт.

Кубаттуулуктун бирдигин келтирип чыгарабыз:

$$[N] = \frac{[A]}{[t]} = \frac{[1Дж]}{[1с]} = [1\,Дж/с]$$

Демек СИ системасындагы кубаттуулуктун бирдиги үчүн $1с$ убакыт ичинде $1Дж$ жумуш аткарылгандагы кубаттуулук алынат. Бул бирдикти физикада, универсалдык буу кыймылдаткычын түзгөн окумуштуу Джеймс Уаттын урматына, ватт (*Вт*) деп атайт: $1Вт = 1\,Дж/с$

Эгерде кыймылдаткыч өнүктүргөн кубаттуулук белгилүү болсо, кайсы бир t убакыт аралыгында аткарылган жумушту төмөнкү формула менен аныктоого болот:

$$A = N \cdot t \tag{8.51.2}$$

Кубаттуулук түшүнүгүнүн маанисин ачып бере турган дагы бир фактыны бөлүп көрсөтөбүз.

Ал үчүн жогорудагы мисалга дагы бир жолу кайрылабыз.

Жолдун биринчи жана үчүнчү бөлүгүндө автомобиль турактуу ылдамдык менен баратат. Бул учурда анын кыймылдаткычы өнүктүргөн тартуу күчүнүн жумушу, автомобилге аракет эткен абанын каршылыгына жана сүрүлүү күчүнө каршы жумуш аткарууга гана сарпталат. Ал мындан ашыкча жумуш аткарып, автомобилдин кинетикалык энергиясын чоңойткон жок. Ошондуктан автомобиль турактуу ылдамдык менен кыймылдайт, башкача айтканда ал түз сызыктуу бир калыптагы кыймылда болот. Мындай кыймылдын ылдамдыгы: $\upsilon = s/t$ формуласы менен аныкталары бизге белгилүү. Мындан, автомобилдин кайсы бир t убакыты ичинде жасаган которулушунун модулун табууга болот:

$$s = \upsilon \cdot t \tag{8.51.3}$$

Ушундай шартта, турактуу кубаттуулук менен иштеп жаткан автомобилдин кыймылдаткычы өнүктүргөн тартуу күчү турактуу болот, анын багыты которулуштун багыты менен дал келет. Ошондуктан бул күчтүн жумушун:

$$A = F \cdot S \tag{8.51.4}$$

формуласы менен аныктаса болот.

(8.51.3) жана (8.51.4) формулалары менен аныкталган A жана sтин маанилерин (8.51.2) формулага коюп, төмөнкүнү алабыз:

$$N = F \cdot \upsilon \tag{8.51.5}$$

Мында, υ - турактуу кинетикалык энергия менен бараткан автомобилдин ылдамдыгы; F - автомобилге аракет эткен абанын каршылыгына жана сүрүлүү күчүнө каршы жумуш аткарып, автомобилдин турактуу кинетикалык энергия менен кыймылдашын камсыз кылуучу күч; N - ошол күчтү өнүктүргөн кыймылдаткычтын кубаттуулугу.

Жолдун үчүнчү жана биринчи бөлүктөрүндөгү автомобилдин кыймылдарын, (8.51.5) формуланын негизинде талдап тиешелүү тыянактарды чыгарабыз.

Жолдун үчүнчү бөлүгүндө автомобилдин кыймылдаткычы толук кубаттуулукта, башкача айтканда максималдык кубаттуулукту өрчүтүү менен иштейт. Кыймылдаткыч өнүктүргөн тартуу күчүнүн жумушу, жогоруда айтылгандай, автомобилге аракет эткен абанын каршылыгына жана сүрүлүү күчүнө каршы жумуш аткарууга гана сарпталат. Ал мындан ашыкча жумуш аткарып, автомобилдин кинетикалык энергиясын чоңойто албайт. Автомобиль максималдык турактуу ылдамдык менен кыймылдайт.

Мейли, 5 кишинин отурушуна ылайыкташтырылган, $250\,км/саат$ ка чейинки ылдамдык менен жүрө алган автомобилди жасоо керек болсун. Анда, (8.51.5) формуладан көрүнүп тургандай, ага салыштырмалуу чоңураак кубаттуулуктагы кыймылдаткычты орнотуу керек болот.

Белгилүү бир кубаттуулукка ээ болгон кыймылдаткычты орнотуп, чоң массадагы жүктөрдү ташууга ылайыкташтырылган машинаны жасоо керек болсун. Анда, мындай машина чоң ылдамдык менен жүрө албай турган болот. Тракторлорду жасоодо мына ушул факт эске алынган. Мисалы, ДТ-75 маркасындагы трактордун кыймылдаткычынын кубаттуулугу менен «Жигули» автомобилинин кыймылдаткычынын кубаттуулугу дээрлик бирдей. Бирок, бул машиналардын биринчиси, кичине ылдамдык менен жүрүп, чоң күчтү өрчүтүүгө, ал эми экинчиси болсо, кичинерээк күчтү өрчүтүү менен чоң ылдамдыкта жүрүүгө ылайыкташтырылган.

Жолдун биринчи бөлүгүндө автомобилдин кыймылдаткычы толук кубаттуулукта иштебейт. Анын дагы кошумча кубаттуулукту өрчүтүүгө мүмкүнчүлүгү бар.

Мейли, түз, тегиз жолдо келаткан ушул автомобилдин кыймылдаткычынын кубаттуулугу мурдагысына караганда өрчүтүлсүн. Анда автомобилдин кинетикалык энергиясы, ылдамдыгы чоңое баштайт. Демек, бул учурда автомобилдин кубаттуулугунун өрчүшү, анын кинетикалык энергиясынын, ылдамдыгынын чоңоюшуна алып келет.

Жол тегиздик менен келип, өр тартып кетсин. Жолдун өр тартып кеткен бөлүгүндө, автомобилди мурдагыдай эле ылдамдык менен айдап кетүү керек болсун. Анда, автомобилди чоңураак кубаттуулукта иштетүү зарыл болот. Демек, бул учурда автомобилдин кубаттуулугунун өрчүшү, анын тартуу күчүнүн чоңоюшуна алып келет ((8.51.5) формуланы карагыла).

Эгерде, жолдун өр кеткен бөлүгү чукул көтөрүлгөн болсо, автомобилдин кыймылдаткычы максималдык кубаттуулук менен иштесе да, анын баштапкы ылдамдыгын сактай албашы мүмкүн. Анда автомобилдин кыймылдаткычы тарта албай, өчүп калат. Бул кубулушту болтурбоо үчүн, автомобиль кичине ылдамдык менен жүрүүчү абалга өткөрүлөт. Ошондо, анын кыймылдаткычы чоңураак тартуу күчүн өнүктүрөт жана автомобилдин кыймылын камсыз кылат.

Акырында, кубаттуулукка тиешелүү эң башкы маалыматтарды топтоштуруп берели.

Кубаттуулук - бул ар кандай кыймылдаткычтардын жумуш аткаруусунун тездигин мүнөздөөчү чоңдук. Тигил же бул кыймылдаткычтын кубаттуулугунун башкаларга салыштырганда чоң болушу, бирдей эле көлөмдөгү жумушту анын аз убакыт ичинде, тез аткарышын, же бирдей эле убакыт ичинде чоң жумуш аткарышын шарттайт.

Ар кандай кыймылдаткыч белгилүү бир максималдык кубаттуулукка ээ болот. Ушундай кубаттуулукта иштеген учурда, ал кичине ылдамдык менен кыймылдап, чоң күчтү өрчүтүшү, же чоң ылдамдык менен кыймылдап кичине күчтү өрчүтүшү мүмкүн.

Бир эле кыймылдаткыч ар түрдүү кубаттуулукта иштеши мүмкүн. Кичине кубаттуулукта иштеп жаткан кыймылдаткычтын кубаттуулугун өрчүтүү аркылуу ал кыймылга келтирген машинанын ылдамдыгын чоңойтууга же тартуу күчүн чоңойтууга болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Кубаттуулук түшүнүгүнүн киргизилишине кайсы фактылар түрткү берди? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.

2. Кубаттуулук түшүнүгүнүн мазмунун туюнтуучу формуланы негиздеп жазгыла.

3. Кубаттуулук деп эмне айтылат? Ал эмнени мүнөздөйт?

4. Кубаттуулуктун СИ системасындагы бирдиги эмне?

5. Тигил же бул кыймылдаткыч өрчүткөн кубаттуулук белгилүү болсо, анын аткарган жумушун аныктоого болобу? Кантип?

6. (8.51.5) формуланы негиздеп жазгыла, андагы ар бир чоңдуктун эмнени туюнтарын айткыла.

7. ДТ-75 маркасындагы трактор менен «Жигули» автомобилинин кыймылдаткычтарынын кубаттуулуктары дээрлик бирдей. Алардын башкы, принципиалдык айырмачылыктары эмнеде? Себебин (8.51.5) формуланы пайдалануу менен түшүндүргүлө.

8. «Жигули» автомобилинде ылдамдыктын төрт баскычы бар: 1, 2, 3, 4-ылдамдыктар. Анын 1 жана 4 баскычтарындагы иштөөлөрүн салыштырып, тиешелүү фактыларды бөлүп карагыла, алардын себебин түшүндүргүлө.

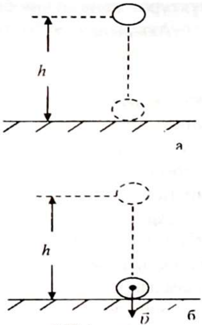
9. Эмне себептен өр тарта баштаган жолго келгенде, автомобиль төмөнкү баскычтагы ылдамдыкка которулат?

52-§. Телонун оордук күчү менен шартталган потенциалдык энергиясы

Мейли, массасы m болгон тело полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турсун (8.52.1а - сүрөт). Эсептөөнү биз полдун бетинен, башкача айтканда горизонттун полдун бети менен дал келген деңгээлинен баштап жүргүзөлү.

Тело бош, эркин коё берилсин. Анда ал полдун бетине чейин эркин түшөт. Ушул моменттеги анын ылдамдыгы $\vec{\upsilon}$ болсун.

Демек, шарт боюнча телонун баштапкы кинетикалык энергиясы нөлгө, ал эми полдун бетине жеткен моменттеги кинетикалык энергиясы $m\upsilon^2/2$ барабар болот. Ушинтип, түшүү процессинде телонун кинетикалык энергиясы нөлдөн $m\upsilon^2/2$ ге чейин өзгөрөт.



8.52.1-сүрөт

Белгилүү болгондой, ар кандай телонун

кинетикалык энергиясы, ага аракет эткен күчтүн жумушунун натыйжасында гана өзгөрөт. Кинетикалык энергиянын өзгөрүшү ошол күчтүн жумушуна барабар болот (50-§). Биз кыймылын изилдеп жаткан телого оордук күчү гана аракет этет, ал күч жумуш аткарат. Демек, ушул күчтүн жумушу

$$A = mgh$$

телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүнө, башкача айтканда $m\upsilon^2/2 - 0 = m\upsilon^2/2$ ге барабар болушу керек:

$$mgh = \frac{m\upsilon^2}{2} \qquad (8.52.1)$$

Ушинтип, биз телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүн ага аракет эткен оордук күчүнүн жумушу аркылуу туюнттук. Башкача айтканда талдоону телого аракет эткен күчтү көңүлгө тутуу менен, демек бул телодон сыртта турган башка телонун аракетин көңүлгө тутуу менен жүргүздүк.

Ушул фактыны эми телонун өзүн эле көңүлгө тутуу менен, образдуу айтканда, телонун «өзүнүн көз карашында» талдайлы.

Полдун бетинен, башкача айтканда эсептөөнүн нөлдүк деңгээлинен h бийиктигинде кармалып турган тело эркин кое берилсе, ал өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу, өзгөртүү менен кыймылга келет.

Бул фактыны телонун өзүн эле көңүлгө тутуу менен төмөнкүчө түшүндүрүүгө болот: Жердин тартуу аракетинен, башкача айтканда оордук күчүнүн таасиринен улам тело өзгөчө бир касиетке, өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келүү касиетине ээ болуп калат. Мындай касиетке, башкача айтканда өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келе алчу касиетке ээ болгон телону «потенциалдык энергияга ээ болгон тело» деп атайт.

Демек, полдун бетинен, башкача айтканда эсептөөнүн нөлдүк деңгээлинен жогору көтөрүлгөн абалында турган тело оордук күчүнүн аракети менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Мындай потенциалдык энергияга ээ болгон тело эркин абалында өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келе алат.

Эми телонун потенциалдык энергиясын туюнткан формуланы негиздеп жазалы.

Жогоруда айтылгандай телонун мындай энергияга ээ болушун оордук күчүнүн аракети шарттайт, башкача айтканда оордук күчү аракет эткен экендиги үчүн гана бул энергия бар. Мындан, телонун потенциалдык энергиясы ага аракет эткен оордук күчүнө пропорциялаш болуш керек деген тыянакка келебиз. Демек, эгерде телонун потенциалдык энергиясын E_n деп белгилесек, анда

$$E_n \sim mg \qquad (8.52.2)$$

болуш керек.

Потенциалдык энергиянын чоңдугун аныктоо, башкача айтканда аны сан түрүндө туюнтуу үчүн анын кайсыл абалда нөлгө барабар болорун тактап алуу зарыл.

Жогоруда айтылгандай, тело мындай потенциалдык энергияга оордук күчү аракет эткендиги үчүн ээ болот. Ошондуктан ушул оордук күчү нөлгө барабар болгон шартта телонун потенциалдык энергиясы нөлгө барабар болуш керек эле. Бирок, телого аракет эткен оордук күчү турактуу чоңдук, мейкиндиктин эч бир чекитинде ал нөлгө барабар болбойт.

Ушул себепке байланыштуу телонун потенциалдык энергиясы нөлгө барабар болгон абалды, маселенин шартына жараша өзүбүз тандап алабыз.

Параграфтын башталышында белгилегендей, эсептөөнү биз полдун бетинен, башкача айтканда горизонттун полдун бети менен дал келген деңгээлинен баштап жүргүзөлү деп чечкенбиз. Ошондуктан телонун полдун бетинде, башкача айтканда эсептөөнүн нөлдүк деңгээлинде тургандагы потенциалдык энергиясын нөлгө барабар деп алуу максатка ылайыктуу.

Анда төмөнкү фактыны бөлүп көрсөтүү мүмкүн: полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турган абалында тело, ошол нөлдүк деңгээлге салыштырмалуу белгилүү чоңдуктагы потенциалдык энергияга ээ болот. Тело кармалып турган бул бийиктик канчалык чоң болсо, анын потенциялдык энергиясы ошончолук чоң болот.

Мындан, телонун потенциалдык энергиясы, анын нөлдүк деңгээлине салыштырмалуу көтөрүлүп турган бийиктигине түз пропорциялаш болот, башкача айтканда

$$E_m \sim h \qquad (8.52.3)$$

болот деген тыянакка келебиз.

(8.52.2) менен (8.52.3) ны жалпылап, төмөнкүнү алабыз:

$$E_m \sim mgh \qquad (8.52.4)$$

Демек, телонун потенциалдык энергиясы ага аракет эткен оордук күчүнө жана анын нөлдүк деңгээлге салыштырмалуу жогору көтөрүлүп турган бийиктигине түз пропорциялаш болот.

Белгилүү болгондой, пропорциялаш чоңдуктар бири-бирине турактуу көбөйтүндүгө айырмаланышат. Ошондуктан (8.52.4) үчүн мындай көбөйтүндүнүн эмнеге барабар болорун негиздеп жазуу менен, андагы пропорциялаштык белгисин барабардык белгиси менен алмаштырууга болот.

Ал үчүн, баарыдан мурда, төмөнкү эки фактыны өзгөчө бөлүп көрсөтөбүз:

1) полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турган абалында тело белгилүү чоңдуктагы, потенциалдык энергиянын нөлдүк деңгээлине салыштырмалуу максималдык чоңдуктагы потенциалдык энергияга ээ болот;

2) полдун бетине чейин эркин түшүү процессинде анын бул энергиясы өзүнүн ушул максималдык маанисинен нөлдүк маанисине чейин азаят.

Телонун полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турган абалындагы кинетикалык энергиясынын нөлгө барабар болору белгилүү. Полдун бетине чейин эркин түшүп келген моменте анын кинетикалык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине жетет. Аны биз $m \cdot \upsilon^2/2$ деп белгилегенбиз.

Ушул акыркы жана биринчи эки фактыны бирге талдайлы: полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турган абалдарда телонун кинетикалык энергиясы нөлгө, ал эми потенциалдык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине барабар болот. Бул тело эркин кое берилген болсо, ал өзүнүн потенциалдык энергиясынын эсебинен кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келет. Натыйжада мындай эркин түшүү процессинде телонун потенциалдык энергиясы улам азайып, кинетикалык энергиясы улам чоңоюп барат. Полдун бетине жеткен моментте телонун потенциалдык энергиясы нөлгө барабар болуп, кинетикалык энергиясы өзүнүн $m \cdot \upsilon^2/2$ максималдык маанисине барабар болуп калат.

Бул талдоодогу үч этапты бөлүп көрсөтүүгө болот:

1. Телонун баштапкы абалындагы потенциалдык жана кинетикалык энергиялары эмнеге барабар эле? Жооп: $E_п = E_{п,мах,}$; $E_к = 0$

2. Тело эркин түшүп келатканда, анын потенциалдык жана кинетикалык энергиялары жөнүндө эмнени айтууга болот? Жооп: бул процесстин жүрүшүндө телонун потенциалдык энергиясы азайып, кинетикалык энергиясы чоңоюп барат: $\Delta E_п < 0$, $\Delta E_к > 0$. Берилген убакыт аралыгында телонун потенциалдык энергиясы канчага азайса, анын кинетикалык энергиясы ошончого чоңоет.

Демек, төмөнкү барабардык орун алат:

$$\Delta E_к = -\Delta E_п \qquad (8.52.5)$$

3. Телонун полдун бетине чейин түшүп келген моменттеги потенциалдык жана кинетикалык энергиялары эмнеге барабар болот?

Жооп: $E_п = 0$; $E_к = E_{к.max} = m \cdot \upsilon^2/2$

Бул учурда

$$\Delta E_k = m \cdot \upsilon^2/2 \text{ же } \Delta E_n = mgh \qquad (8.52.6)$$

болот. (8.52.6) ны (8.52.5) ке коюп, потенциалдык энергиянын өзгөрүшүн туюнткан төмөнкү формуланы алабыз:

$$-\Delta E_n = mgh \qquad (8.52.7)$$

Телонун баштапкы абалындагы потенциалдык энергиясын E_n деп белгилегенбиз. Ошондуктан полдун бетине чейин түшүп келгендеги телонун потенциалдык энергиясын өзгөрүшү

$$\Delta E_n = 0 - E_n = -E_n \qquad (8.52.7)$$

болот. (8.52.7) жана (8.52.8) ден төмөнкүнү алабыз:

$$E_n = mgh \qquad (8.52.7)$$

Мында, mg - телого аракет эткен оордук күчү, h - нөлдүк деңгээлге салыштырмалуу жогору көтөрүлүп турган бийиктиги, E_n - телонун ошол абалдагы потенциалдык энергиясы.

Демек, нөлдүк деңгээлден жогору көтөрүлгөн абалда турган тело оордук күчү менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Телонун мындай потенциялдык энергиясы, ага аракет эткен оордук күчү менен анын нөлдүк деңгээлинен баштап эсептелген көтөрүлүү бийиктигинин көбөйтүндүсүнө барабар болот. Анын *СИ* системасындагы бирдиги 1*Дж*.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Полдун бетинен h – бийиктигинде кармалып турган тело полдун бетине чейин түшүп келген учурда анын кинетикалык энергиясы кандайча өзгөрөт ?

2. Телонун кинетикалык энергиясынын мындай өзгөрүшүн, телодон сыртта турган башка телонун аракетин көңүлгө тутуу менен кандайча түшүндүрүүгө болот?

3. Ушул телонун түшүү процессин, анын өзүн эле көңүлгө тутуу менен, образдуу айтканда, телонун «өзүнүн көз карашы» менен талдагыла.

4. Кандай касиетке ээ болгон телону потенциалдык энергияга ээ болгон тело деп айтабыз?

5. Телонун потенциялык энергиясы кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот? Жообуңарды негиздегиле.

6. Телонун түшүү процессин үч этапта талдоо менен телонун потенциалдык энергиясын туюнткан формуланы негиздеп жазгыла.

7. Эмне үчүн бул потенциалдык энергияны телонун оордук күчү менен шартталган потенциалдык энергиясы деп атайт? Жообуңарды негиздегиле.

53-§. Телонун толук механикалык энергиясы. Оордук күчү аракет эткен телонун толук механикалык энергиясынын сакталуу закону

Полдун бетинен жогору көтөрүлүп турган телонун түшүү процессин энергиялык мазмунда талдап көрөлү: полдун бетинен жогору көтөрүлүп турган абалында тело максималдык потенциалдык энергияга ээ болот. Бул тело эркин абалында өзүнүн потенциалдык энергиясын эсебинен кинетикалык энергиясын өзгөртүү менен кыймылга келет. Ушунтип тело, түшүп келаткан ар бир убакыт моментинде белгилүү чоңдуктагы потенциалдык дагы, кинетикалык дагы энергияга ээ болот. Телонун потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын суммасына барабар болгон энергиясын физикада телонун толук механикалык энергиясы деп атайт. Аны көбүнчө E менен белгилейт. Демек, телонун ар бир убакыт моментиндеги потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын суммасына барабар болгон энергиясы, анын толук механикалык энергиясы болуп саналат:

$$E = E_п + E_к$$

Мында, $E_п$ – телонун оордук күчү менен шартталган потенциалдык энергиясы, $E_к$ - анын кинетикалык, E – толук механикалык энергиясы.

Мурдагы параграфта айтылгандай, түшүп келаткан телонун потенциалдык энергиясы канчага азайса, анын кинетикалык энергиясы ошончого чоңоет. Суммасы турактуу бойдон калат. Полдун бетине чейин түшүп келген моменттеги телонун потенциалдык энергиясы нөлгө, ал эми кинетикалык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине барабар болот. Демек, бул абалдагы телонун толук механикалык энергиясы, анын кинетикалык энергиясынын максималдык маанисине барабар болот. Полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турган моменттеги телонун потенциалдык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине, ал эми кинетикалык энергиясы нөлгө барабар болот. Ошондуктан телонун бул абалдагы толук механикалык энергиясы, анын потенциалдык энергиясынын максималдык маанисине барабар. Потенциалдык энергиянын бул максималдык мааниси болсо, тело полдун бетине чейин түшүп келген моменттеги анын кинетикалык энергиясынын максималдык маанисине барабар болот.

Бул талдоодон төмөндөгү тыянак келип чыгат: телонун полдун бетинен h бийиктигинде кармалып турган моменттеги, ал түшүп келаткандагы ар бир убакыт моментиндеги жана полдун бетине чейин түшүп келген моменттеги толук механикалык энергиялары барабар болот. Демек, бул процессте телонун толук механикалык энергиясы турактуу сакталат. Бул закон ченемдүүлүк оордук күчүнүн аракети астында кыймылга келген ар кандай башка телолор үчүн да мүнөздүү болот. Ошондуктан аларды жалпылап бул законду төмөнкүчө айтуу мүмкүн: оордук күчү гана аракет эткен ар кандай телонун толук механикалык энергиясы турактуу сакталат.

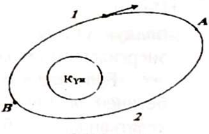
Дагы бир мисалды талдайлы. Столдун четинде турган, массасы m болгон телого тик өйдө көздөй багытталган $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы берилсин. Башка сөз менен айтканда, ага $m\cdot\upsilon_0^2/2$ баштапкы кинетикалык энергия берилсин. Анда бул тело жогору көтөрүлөт. Бул процессте телонун кинетикалык энергиясы улам азайып, потенциядык энергиясы улам чоңоюп барат. Белгилүү убакыт ичинде кинетикалык энергиясы канчага азайса, потенциялдык энергиясы ошончого чоңойот. Башкача айтканда көтөрүлүп бараткан телонун толук механикалык энергиясы турактуу сакталат.

Акырындап барып тело токтойт. Бул абалда телонун кинетикалык энергиясы нөлгө барабар болот. Эми тело потенциалдык энергиясынын эсебинен кинетикалык эенргиясын өзгөртүү менен төмөн көздөй кыймылга келет. Бул учурда телонун потенциалдык энергиясы белгилүү убакыт ичинде канчага азайса, кинетикалык энергиясы ошончого чоңоет. Анын толук механикалык энергиясы бул учурда да турактуу сакталат.

Белгилүү болгондой, оордук күчү - бул жер тарабынан телого аракет эткен тартуу күчү, башкача айтканда гравитациялык күч. Ошондуктан оордук күчүнүн аракетине байланыштуу орун алган бардык закондор, закон ченемдиктер башка гравитациялык күчтөрдүн аракети учурунда да орун алат. Мисалы, бул закондор Күн тарабынан Жер планетасына таасир эткен тартуу күчүнүн, башкача айтканда ушул гравитациялык күчтүн аракетине да мүнөздүү болот. Мындан төмөндөгү тыянак келип чыгат: Жер планетасына Күндүн тартуу күчү, башкача айтканда ушул гравтациялык күч аракет этет. Ошондуктан Жер планетасы өзүнүн толук механикалык энергиясы турактуу сактала тургандай кыймылга келет.

Бардык башка планеталар сыяктуу эле Жер дагы Күндүн айланасында эллипс формасындагы траектория, орбита боюнча кыймылдайт.

Мейли, эсептөө башталган моменте Жер Күндөн алыстап бараткандай багытта кыймылдап барсын (8.53.2-сүрөт). Жердин ушундан кийинки кыймылы учурунда анын кинетикалык энергиясы чоңоюп барат. Траекториянын Күндөн эң



8.53.2.-сүрөт

алыскы чекитине (8.53.2-сүрөттөгү А чекитине) жеткен моментте Жердин кинетикалык энергиясы өзүнүн минималдык, ал эми потенциалдык энергиясы максималдык манисине жетет. Ушундан кийин Жер потенциалдык энергиясынын эсебинен кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылдайт жана мындай кыймылын улантат.

Траекториянын *B* чекитине келген моментте Жердин кинетикалык энергиясы өзүнүн максималдык, потенциалдык энергиясы болсо минималдык маанисине жетет. Ушундан кийин Жер өзүнүн кинетикалык энергиясынын эсебинен потенциялдык энергиясын чоңойтуу менен кыймылдайт жана мындай кыймылын траекториянын А чекитине келгенге чейин улантат. Андан кийин жогоруда айтылган процесс кайталанат, башкача айтканда Жер өзүнүн толук механикалык энергиясын туруктуу сактоо менен кыймылын уланта берет.

Жогорудагылардын негизинде төмөнкү фактыны бөлүп көрсөтүүгө болот: траекториянын *B1A* бөлүгүндө Жер кинетикалык энергиясынын азайышын эсебинен потенциалдык энергиясын чоңойтуу менен кыймылдайт. Ал эми траекториянын *A2B* бөлүгүндө потенциалдык энергиясынын азайышынын эсебинен кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылдайт. Бардык учурда Жердин кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасы, башкача айтканда анын толук механикалык энергиясы туруктуу сакталат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телонун толук механикалык энергиясы деп кайсыл энергия айтылат? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
2. Кандай шартта кыймылдаган телонун толук механикалык энергиясы туруктуу сакталат? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
3. 8.53.1-сүрөттө көрсөтүлгөн телонун кыймылын талдап, анын потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын өзгөрүүлөрүнө, толук механикалык энергиясынын туруктуу сакталарына мүнөздөмө бергиле.
4. Жердин толук механикалык энергиясынын сакталуу законуна мүнөздөмө бергиле.

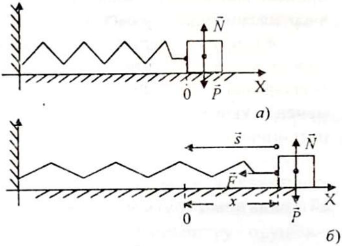
54-§. Телонун серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергиясы

Мейли, массасы *m* болгон, горизонталдык тегиздикте жаткан тело катуулугу *k* болгон пружинага бекем байланып коюлсун. Сүрүлүү эске алынбагандай кичине болсун. Пружинанын экинчи учу вертикалдык тегиздикке бекем бекитилген болсун (8.54.1а - сүрөт).

Эсептөөнүн башталышында пружина созулбай да, кысылбай да турсун, башкача айтканда пружина деформацияланбаган абалда болсун. Ушул абалдагы телонун пружинага байланган чекитине туш келген тегиздиктин О чекитин эсептөө системасынын башталышы үчүн алабыз. OX координат огун горизонт боюнча оң тарапты көздөй жүргүзөбүз.

Телого $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчү аракет этет. Алар бирин-бири компенсациялап турушат. Ошондуктан бул тело тынч абалын сактайт.

Мейли байкоо башталган моментте, тело байланган пружина созулгандай абалда кармалып турган болсун. Пружинанын мындай созулуусу учурунда, анын тело байланган чекити x чоңдугунчалык аралыкка жылсын (8.54.1б - сүрөт). Бул аралыкты пружинанын жылышуусу деп атайт.



8.54.1-сүрөт

Демек, тело пружинанын жылышуусу x ке барабар болгондой абалда кармалып турсун. Ушундан соң телону бош кое берели. Анда ал тең салмактуулук абалын көздөй ылдамдануу менен кыймылдайт. Натыйжада ал O чекитине белгилүү бир ылдамдык менен келет. Ошол ылдамдыкты $\vec{\upsilon}$ деп белгилейли. Анда телонун ушул абалга келген моменттеги кинетикалык энергиясы $m\upsilon^2/2$ ге барабар болот. Демек, бул процессте телонун кинетикалык энергиясы нөлдөн $m\upsilon^2/2$ ге чейин өзгөрөт.

Белгилүү болгондой, ар кандай телонун кинетикалык энергиясы, ага аракет эткен күчтүн жумушунун натыйжасында гана өзгөрөт. Кинетикалык энергиянын өзгөрүшү ошол күчтүн жумушуна барабар болот. Биз кыймылын изилдеп жаткан телого аракет этишкен $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчтөрү, биринчиден, бири-бирин компенсациялап турат. Экинчиден алар телонун $\vec{s}$ которулушуна перпендикулярдуу. Ошондуктан алар телону которууда жумуш аткарышпайт.

Демек телого аракет эткен күчтөрдүн ичинен бир гана созулган пружина тарабынан аракет эткен $\vec{F}$ серпилүү күчү жумуш аткарып, телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүн камсыз кылат.

Ушул күчтүн жумушун табабыз. Ал үчүн ошол күчтүн модулу менен которулуштун модулуна барабар болгон x тин көбөйтүндүсүн аныктасак болот эле. Бирок, күчтүн модулу туруктуу эмес. Ал телонун баштапкы абалында $|F| = |k \cdot x|$ ке, ал эми телонун тең салмактуулук абалына, башкача айтканда $x = 0$ абалына келген моментте нөлгө барабар. Демек телонун кыймылы кезинде серпилүү күчүнүн модулу $|\vec{F}| = |k \cdot x|$ тен $|\vec{F}| = 0$ го чейин азаят. Ошондуктан мындай күчтүн жумушун табуу үчүн которулуу процессиндеги күчтүн орточо маанисин эсепке алуу зарыл.

Мейли, тигил же бул чоңдук берилген убакыттын чегинде, бир калыпта өзгөргөн болсун. Мындай чоңдуктун орточо мааниси анын баштапкы жана акыркы моменттериндеги маанилеринин суммасынын жарымына барабар болот.

Телого аракет эткен серпилүү күчүнүн орточо маанисин ушул эрежени пайдалануу менен табабыз:

$$F_{орт} = \frac{k \cdot x + 0}{2} = \frac{k \cdot x}{2}$$

Ушинтип телону которуудагы серпилүү күчүнүн жумушун төмөнкүдөй аныктайбыз: $A = F_{орт} \cdot x = k \cdot x^2/2$

Серпилүү күчүнүн бул жумушу телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүнө, башкача айтканда $m \cdot \upsilon^2/2 - 0 = m \cdot \upsilon^2/2$ 'ге барабар болуш керек:

$$\frac{k \cdot x^2}{2} = \frac{m \cdot \upsilon^2}{2} \qquad (8.54.1)$$

Ушинтип, биз телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшүн ага аракет эткен серпилүү күчүнүн жумушу аркылуу туюнттук, башкача айтканда талдоону телого аракет эткен күчтү көңүлгө тутуу менен, демек, бул телодон сыртта турган башка телонун аракетин көнүлгө алуу менен жүргүздүк.

Ушул эле фактыны эми телонун өзүн гана көңүлгө тутуу менен, «образдуу айтканда» телонун «өзүнүн көз карашында» талдайлы.

Өзү бекем байланган пружинасы созулгандай абалда кармалып турган тело эркин кое берилсе, ал өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу, өзгөртүү менен кыймылга келет.

Бул фактыны телонун өзүн эле көнүлгө тутуу менен төмөнкүчө түшүндүрүүгө болот: созулган пружинанын тартуу аракетинен, башкача айтканда серпилүү күчүнүн таасиринен улам тело өзгөчө бир касиетке, өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келүү касиетине ээ болуп калат. Мындай касиетке ээ болгон телону «потенциалдык энергияга ээ болгон тело» деп атайт (52-§ты карагыла).

Демек, созулган пружинага байланган абалында турган тело серпилүү күчүнүн аракети менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Мындай потенциалдык энергияга ээ болгон тело, эркин абалында өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келе алат.

Эми телонун ушундай потенциалдык энергиясын туюнткан формуланы негиздеп жазалы.

Жогоруда айтылгандай, телонун мындай энергияга ээ болушун созулган пружина тарабынан аракет эткен серпилүү күчү шарттайт, башкача айтканда ушул серпилүү күчү аракет эткендиги үчүн гана бул энергия бар. Мындан, телонун потенциалдык энергиясы ага аракет эткен серпилүү күчүнө, тактап айтканда анын орточо маанисине пропорциялаш болуш керек деген тыянакка келебиз. Демек, эгерде телонун потенциалдык энергиясын E_n деп белгилесек, анда

$$E_n \sim \frac{k \cdot x}{2} \qquad (8.54.2)$$

болуш керек.

Потенциалдык энергиянын чондугун аныктоо, башкача айтканда аны сан түрүндө туюнтуу үчүн, анын кайсыл абалда нөлгө барабар болгондугун тактап алуу зарыл.

Жогоруда айтылгандай, тело мындай потенциалдык энергияга серпилүү күчү аракет эткендиги үчүн ээ болот. Ошондуктан ушул серпилүү күчү нөлгө барабар болгон шартта телонун потенциалдык энергиясы нөлгө барабар болуш керек. Серпилүү күчү пружина деформацияланбай турганда, башкача айтканда пружинанын жылышуусу x нөлгө барабар болгон учурда нөлгө барабар болот. Демек телонун $x = 0$ абалындагы потенциалдык энергиясы нөлгө барабар. Бул абалдан x аралыгына келтирилип, кармалып турганда тело ушул нөлдүк деңгээлге салыштырмалуу белгилүү чоңдуктагы потенциалдык энергияга ээ болот. Бул аралык, башкача айтканда пружинанын жылышуусу канчалык чоң болсо телонун потенциалдык энергиясы ошончолук чоң болот.

Мындан, пружинага бекем байланган телонун потенциалдык энергиясы, пружинанын тело байланган чекитинин жылышусуна түз пропорциялаш болот, башкача айтканда

$$E_n \sim x \qquad (8.54.3)$$

болот деген тыянакка келебиз.

(8.54.2) менен (8.54.3) тү жалпылап, төмөнкүнү алабыз:

$$E_n \sim \frac{k \cdot x^2}{2} \qquad (8.54.4)$$

Жогоруда айтылгандай, тело эркин кое берилгенде, ал өзүнүн потенциалдык энергиясынын эсебинен кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келет. Бул процессте телонун потенциалдык энергиясы канчага азайса, кинетикалык энергиясы ошончого чоңоюп барат, башкача айтканда төмөнкү барабардык орун алат:

$$-\Delta E_n = \Delta E_k \tag{8.54.5}$$

Телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшү,

$$\Delta E_k = \frac{m\cdot \upsilon^2}{2} - 0 = \frac{m\cdot \upsilon^2}{2} \tag{8.54.6}$$

болот. (8.54.1) ди эске алып, бул формуланы төмөнкүчө жазабыз:

$$\Delta E_k = \frac{k\cdot x^2}{2} \tag{8.54.7}$$

Телонун потенциалдык энергиясынын өзгөрүшү $\Delta E_n = 0 - E_n = -E_n$ болот. Бул барабардыкты жана (8.54.5), (8.54.7) формулаларды эске алып, телонун потенциалдык энергиясын туюнткан төмөнкү формуланы жазабыз:

$$E_n = \frac{k\cdot x^2}{2} \tag{8.54.8}$$

Мында k - тело байланган пружинанын катуулук коэффициенти; x - пружинанын тело байланган чекитинин жылышуусу; E_n – телонун ушул пружинанын серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергиясы.

Демек, деформацияланган пружинага байланган тело ошол пружина тарабынан аракет эткен серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Бул телонун мындай потенциалдык энергиясы ал байланган пружинанын катуулугу менен пружинанын тело байланган чекитинин жылышуусунун квадратынын көбөйтүндүсүнүн жарымына барабар болот. СИ системасындагы бирдиги 1*Дж*.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Пружинага бекем байланган телонун кыймылын изилдөө үчүн кайсыл эсептөө системасы тандап алынды?
2. Тело, пружинанын жылышуусу x ке барабар болгондой абалда кармалып туруп, бош кое бергенден кийинки процесске талкуу жүргүзгүлө.
3. Телонун кинетикалык энергиясынын өзгөрүшү кайсыл күчтүн жумушуна барабар болот?
4. Эмне үчүн серпилүү күчүнүн жумушун аныктоодо, анын орточо маанисин эсепке алуу керек? Ал кандайча аныкталат?
5. (8.54.1) формуланы негиздеп жазгыла.

6. Телонун баштапкы абалынан тен салмактуулук абалына чейинки кыймылын, анын өзүн эле көңүлгө тутуу менен, образдуу айтканда, телонун «өзүнүн көз карашы» менен талдагыла.

7. Кандай касиетке ээ болгон телону потенциалдык энергияга ээ болгон тело деп айтабыз?

8. (8.54.2), (8.54.3), (8.54.4) формулаларын негиздеп жазгыла.

9. (8.54.8) формуласын негиздеп жазгыла. Ага талкуу жүргүзгүлө.

10. Эмне үчүн (8.54.8) формуласы менен берилген потенциалдык энергияны телонун серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергиясы деп атайт?

55-§. Серпилүү күчү аракет эткен телонун толук механикалык энергиясынын сакталуу закону

Созулган пружинага байланып турган телонун тең салмактуулук абалына келген моментке чейинки кыймылын энергиялык мазмунда талдап көрөлү.

Мейли, тело байланган пружинасы x чоңдугунчалык созулуп турган абалда кармалып турсун (8.54.1б - сүрөт). Бул абалда ал максималдык потенциалдык энергияга ээ болот. Демек, ушул абалдагы телонун толук механикалык энергиясы, анын максималдык потенциалдык энергиясына барабар болот.

Эркин абалында бул тело өзүнүн потенциалдык энергиясынын эсебинен кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келет. Берилген убакыт аралыгында телонун потенциалдык энергиясы канчага азайса, анын кинетикалык энергиясы ошончого чоңоет. Бул энергиялардын суммасы, башкача айтканда телонун толук механикалык энергиясы туруктуу бойдон калат.

Телонун пружинага байланган чекити $x = 0$ абалына келгенде, башкача айтканда тело баштапкы тең салмактуулук абалына келгенде анын потенциалдык энергиясы нөлгө барабар болот. Бул энергия толук бойдон телонун кинетикалык энергиясына айланат. Демек, ушул абалда телонун кинетикалык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине жетет. Телонун кинетикалык энергиясынын бул максималдык мааниси, байланган пружинасы x чоңдугуна созулуп тургандагы телонун максималдык потенциалдык энергиясына барабар болот ((8.54.8)-формуласын карагыла). Башкача айтканда, телонун бул кинетикалык энергиясы, анын толук механикалык энергиясына барабар болот.

Бул айтылгандардан төмөнкү факт көрүнүп турат: байланган пружинасы x чоңдугунчалык созулуп турган абалдагы телонун толук механикалык энергиясы, анын тең салмактуулук абалды көздөй кыймылдап келаткандагы толук механикалык энергиясына барабар. Ошондой эле, телонун бул толук механикалык энергиясы тело тең салмактуулук абалга жеткен моменттеги толук механикалык энергиясына барабар болот. Жалпылап айтканда, бул процесстерде телонун толук механикалык энергиясы өзгөрүүсүз калат. Ушинтип, төмөнкү закон орун алат деген тыянакка келебиз: серпилүү күчү аракет эткен телонун толук механикалык энергиясы турактуу сакталат.

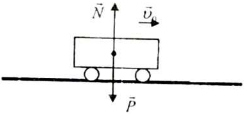
Суроолор жана тапшырмалар

1. Байланган пружинасы x чоңдугунчалык созулуп турган абалдагы телонун толук механикалык энергиясы эмнеге барабар?
2. Телонун тең салмактуулук абалды көздөй кыймылдап келаткандагы толук механикалык энергиясы эмнеге барабар?
3. Телонун тең салмактуулук абалга келген моменттеги потенциалдык энергиясы эмнеге барабар?
4. Серпилүү күчү аракет эткен телонун толук механикалык энергиясынын сакталуу законун негиздеп түшүндүргүлө.

56-§. Оордук жана серпилүү күчтөрү аракет эткен телонун толук механикалык энергиясынын сакталуу закону

Жогоруда айтылгандай, эгерде телонун кыймылы кезинде ага оордук күчү эле (53-§), же серпилүү күчү эле (55-§) аракет эткендей шарт түзүлсө, анын толук механикалык энергиясы турактуу сакталат. Ушундан улам, табигый түрдө, мындай бир суроо туулат: телонун белгилүү бир кыймылы орун алган процессте, ага оордук күчү да, серпилүү күчү да аракет эткен болсо, анын толук механикалык энергиясы турактуу сакталар беле?

Бул суроого жооп берүү үчүн конкреттүү мисалдарга кайрылабыз.

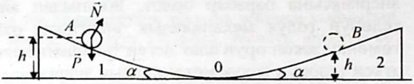


8.56.1-сүрөт

Мейли, массасы m болгон арабача чексиз созулган горизонталдык тегиздикте турсун (8.56.1-сүрөт). Сүрүлүү эске алынбасын. Ушул арабачага $\vec{\upsilon}_0$ баштапкы ылдамдыгы берилсин. Башкача айтканда ага баштапкы $m\upsilon_0^2/2$ кинетикалык энергиясы берилген болсун. Ушундан кийин арабача кыймылын кандайча улантат? Биз ушул суроого жооп берели.

Арабачага $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчтөрү аракет этет. Алар арабачанын которулушуна перпендикулярдуу багытталган. Ошондуктан алардын арабачанын которулушунда аткарган жумушу нөлгө барабар. Бул факт арабачанын кинетикалык энергиясынын өзгөрбөй турганын, башкача айтканда арабачанын кыймылы кезинде, анын турактуу сакталгандыгын көрсөтөт.

Шарт боюнча арабача турган тегиздик горизонталдуу. Мындай тегиздиктин кайсыл чекитинде болсо да арабача (арабачанын материалдык чекит катарында каралары белгилүү) оордук күчү менен шартталган бирдей потенциалдык энергияга ээ болот.



8.56.2-сурот

Арабачанын кинетикалык дагы, потенциалдык дагы энергиясы турактуу сакталгандыктан, алардын суммасы да, башкача айтканда арабачанын толук механикалык энергиясы да турактуу сакталат. Демек, оордук жана серпилүү күчтөрү аракет эткен арабачанын толук механикалык энергиясы турактуу сакталат.

Мейли, бизге эки жантык тегиздик берилген болсун. Алардын экөө тең горизонт менен α бурчун түзгөндөй жантайышка ээ болушсун. Алардын бирин эңкейишти түзгөндөй, экинчисин өр тартып кеткендей абалда удаалаш жайгаштыралы (8.56.2-сүрөт).

Массасы m болгон кичинекей шарикти сол тараптагы, башкача айтканда биринчи жантык тегиздиктин A чекитинде кармап туруп, бош кое берели. Бул чекит горизонталдуу тегиздиктин бетинен h бийиктигинде жайгашкан болсун. Шарик менен жантык тегиздиктин бетинин ортосунда сүрүлүү болбосун. Анда шарикке $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ сепилүү күчтөрү гана аракет эткен болот.

Бул тажрыйба төмөнкүнү көрсөтөт: шарик биринчи жантык тегиздик боюнча төмөн түшүп келип, экинчи жантык тегиздик боюнча жогору көтөрүлөт. Бул тегиздиктин кайсы бир B чекитине чейин барат да токтой калып, кайра артына кайтат. Ченөөлөр, шарик жетип кайткан B чекити горизонталдык тегиздиктин бетинен h бийиктигинде жайгашканын көрсөтөт. Демек, шарик горизонталдык тегиздиктин бетинен баштапкы абалында (биринчи тегиздиктеги) канчалык бийиктикте турса, экинчи тегиздиктин B чекитине келип токтогон моментте ошончолук бийиктикке чейин көтөрүлгөн болот: андан ашып да кетпейт, ага жетпей да калбайт.

Бул фактыны, жана ага алып келген процессти энергиялык мазмунда талдайбыз.

Баштапкы A абалында, шарик горизонталдык тегиздиктин бетине салыштырмалуу h бийиктигинде тургандыктан, оордук күчү менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Бул абалдагы шариктин толук механикалык энергиясы, анын потенциалдык энергиясына барабар болот. Ошондуктан эркин абалында ал өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келет. Натыйжада шариктин потенциалдык энергиясы улам азайып, кинетикалык энергиясы чоңоюп барат. Ушул процесстеги шариктин толук механикалык энергиясы анын потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын суммасына барабар болот. Тегиздиктин *O* чекитине жеткен моментте шариктин потенциалдык энергиясы нөлгө, кинетикалык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине барабар болот. Анын толук механикалык энергиясы, ушул кинетикалык энергиясына барабар болот.

Ушундан кийин шарик өзүнүн кинетикалык энергиясынын эсебинен потенциалдык энергиясын чоңойтуу менен кыймылдайт. Кинетикалык энергиясы улам азайып, потенциалдык энергиясы чоңоюп барат. Бул процесстеги шариктин толук механикалык энергиясы, анын кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасына барабар болот. Шарик *B* чекитине жеткен моментте, анын кинетикалык энергиясы нөлгө барабар болуп, потенциалдык энергиясы өзүнүн максималдык маанисине жетет. Шариктин толук механикалык энергиясы анын ушул абалдагы потенциалдык энергиясына барабар болот.

Шариктин баштапкы *A* абалындагы жана кийинки *B* абалындагы потенциалдык энергиялары бирдей. Себеби бул абалдардын экөө тең горизонталдык тегиздиктин бетинен бирдей *h* бийиктигинде жайгашкан.

Демек, шарик *A* абалында кандай толук механикалык энергияга ээ болсо, *B* абалына ошондой толук механикалык энергиясы менен жетет. Шариктин жантык тегиздик боюнча түшүү жана көтөрүлүү процесстеринде да, анын толук механикалык энергиясы өзгөрбөйт. Эгерде шарикке сүрүлүү күчү да аракет эткен болсо бул факт орун алмак эмес, шарик экинчи жантык тегиздик боюнча мурдагычалык *h* бийиктигине көтөрүлө алмак эмес.

Мындан төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келебиз да, параграфтын башталышында коюлган суроого жооп беребиз:

Телого оордук жана серпилүү күчтөрү аракет эткен болсо, ар кандай процесстерде анын толук механикалык энергиясы турактуу сакталат. Бул ырастаманы физикада телонун толук механикалык энергиясынын сакталуу закону деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Чексиз созулган горизонталдык тегиздик боюнча кыймылдаган арабачанын толук механикалык энергиясынын турактуу сакталарын негиздеп түшүндүргүлө.
2. Жантык тегиздиктер боюнча кыймылдаган шариктин толук механикалык энергиясынын турактуу сакталарын негиздеп түшүндүргүлө.
3. Эгерде шарикке сүрүлүү күчү да аракет эткен болсо, кандай кубулуш байкалар эле?
4. Кандай шартта телонун толук механикалык энергиясы турактуу сакталат?

57-§. Туюк система. Туюк системанын импульсунун сакталуу закону

Эки же андан көп болгон, ар бирин материалдык чекит катарында алууга мүмкүн болгон телолордун тобун, физикада материалдык чекиттердин системасы, же механикалык система, же система деп атайт.

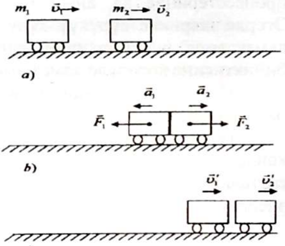
Физиканын изилдөө обьектиси болуп, материалдык чекиттер менен катар, материалдык чекиттердин системасы да эсептелет.

Материалдык чекиттердин же телолордун системасынын импульсу, ага кирген материалдык чекиттердин (же телолордун) импульстарынын суммасына барабар болот. (Мындан ары биз «телолор» деген терминди пайдаланбыз, аларды материалдык чекиттер деп түшүнөбүз).

Эгерде, тигил же бул системаларга кирген телолорго, ага кирбеген башка телолор аракет этпесе, же алардын аракеттери бирин бири компенсациялап турган болсо, андай системаларды физикада туюк система деп атайт. Демек, туюк системага кирген телолор бири-бирине аракет этишет, бирок алар бул системага кирбеген башка телолор менен аракеттенишпейт.

Туюк системанын кыймылын конкреттүү мисалда талдайлы.

Мейли, биринин массасы m_1, экинчисиники m_2 болгон эки арабача горизонталдык тегиздик боюнча кыймылдап, бири экинчисин кууп бараткан болсун. Биринчисинин υ_1 ылдамдыгынын модулу, экинчисинин υ_2 ылдамдыгынын модулунан чоң болсун. Анда биринчи арабача экинчисин кууп жетип, өз ара аракеттенишет. Бул арабачаларга сүрүлүү күчү аракет этпесин. Аларга аракет этүүчү $\vec{P}$ оордук жана $\vec{N}$ серпилүү күчтөрү бирин бири компенсациялап турушат (аларды сүрөттө көрсөтпөдүк). Демек шарт боюнча арабачаларга башка телолор аракет этпейт, же алардын аракеттери бирин-бирин компенсациялап турушат. Ушинтип, эки арабача туюк системаны түзөт.



8.57.1-сурот

Бул туюк системанын, алар өз ара аракеттенишкенге чейинки импульсу $(m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2)$ болот.

Биринчи арабача экичисин кууп жетип, алар өз ара аракеттенишет. Андан кийин да кыймылдарын улантышат. Бирок ылдамдыктары мурдагыдай болбойт. Биринчи арабачанын ушул аракеттенишкенден кийинки ылдамдыгын $\vec{\upsilon}_1^1$, экинчисиникин $\vec{\upsilon}_2^1$ деп белгилейли. Анда телолору өз ара аракеттенишкенден кийинки туюк системасынын импульсу ($m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1^1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2^1$) болот.

Аталган туюк системанын, телолору өз ара аракеттенишкенге чейинки жана андан кийинки, импульстарын салыштыруу максатында жогорудагы тажрыйбаны талдоону дагы улантабыз.

Биринчи арабача экинчисин кууп жетип ага F_2 күчү менен аракет этет (8.57.1с - сүрөт). Бул күч ушул экинчи арабачага

$$\bar{a}_2 = \frac{\vec{F}_2}{m_2}$$

ылдамдануусун берет. Ньютондун үчүнчү законуна ылайык, экинчи арабача биринчисине $\vec{F}_1$ күчү менен каршы аракет этет. Бул күчтүн аракети астында биринчи арабача, ушул аракет созулган убакыт ичинде

$$\bar{a}_1 = \frac{\vec{F}_1}{m_1}$$

ылдамдануусу менен кыймылдайт.

Ньютондун үчүнчү закону боюнча

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2\text{, же } m_1 \cdot \bar{a}_1 = -m_2 \cdot \bar{a}_2 \qquad (8.57.1)$$

Арабачалардын өз ара аракеттенишүүлөрү созулган t убакыт ичинде биринчи арабачанын ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_1$ ден $\vec{\upsilon}_1'$ ге чейин, экинчи арабачанын ылдамдыгы $\vec{\upsilon}_2$ ден $\vec{\upsilon}_2'$ ке өзгөрдү. Ошондуктан алардын ылдамдануулары тиешелүү түрдө

$$\bar{a}_1 = \frac{\vec{\upsilon}_1^1 - \vec{\upsilon}_1}{t} \text{ жана } \bar{a}_2 = \frac{\vec{\upsilon}_2^1 - \vec{\upsilon}_2}{t} \text{ болот.}$$

Ылдамданууларды туюнткан бул формулаларды (8.57.1) ге коюп төмөнкү барабардыкты алабыз:

$$m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2 = m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1^1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2^1 \qquad (8.57.2)$$

Мында $(m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2)$ жана ($m_1 \cdot \vec{\upsilon}_1^1 + m_2 \cdot \vec{\upsilon}_2^1$), тиешелүү түрдө, туюк системанын телолору өз ара аракеттенишкенге чейинки жана андан кийинки импульстары.

Демек (8.57.2) барабардыгынан көрүнүп тургандай, туюк системаны түзгөн телолордун ички өз ара аракеттенишүүлөрүнө чейинки импульстарынын суммасы, алардын аракеттенишкенден кийинки импульстарынын суммасына барабар болот. Башкача айтканда, туюк системанын импульсу, аны түзгөн телолордун өз ара аракеттенишүүсүнүн натыйжасында өзгөрүлбөйт, ал турактуу сакталат. Бул законду физикада импульстун сакталуу закону деп атайт. Бул закон

Ньютондун законлору сыяктуу эле механикалык кыймылдарды изилдөөдө кеңири пайдаланылат.

Суроолор жана тапшырмалар

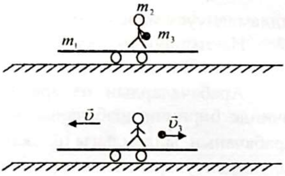
1. Материалдык чекиттердин, же телолордун системасы деп эмне айтылат? Туюк система депчи?
2. Системанын импульсу эмнеге барабар?
3. 8.57.1-сүрөттө көрсөтүлгөндөр туюк система болорун негиздегиле.
4. 8.57.1-сүрөттө көрсөтүлгөн тажрыйбаны талдоонун негизинде, импульстун сакталуу законун далилдегиле.
5. Импульстун сакталуу закону кандайча айтылат? Бул закон кандай системаларда аткарылат?

58-§. Реактивдүү кыймылдар

Импульстун сакталуу законунун негизинде түшүндүрүлүүчү кубулуштардан бирөөнү карайбыз. Ал - реактивдүү кыймыл.

Мындай кыймылга аныктама берүүдөн мурда мисалга кайрылалы.

Массасы m_1 болгон арабачада, массасы m_2 болгон бала, колуна массасы m_3 болгон телону кармап турсун. Ушул үч телодон турган системаны туюк система катарында алууга болот. Анткени бул системага кирбеген жер тарабынан аракет эткен тартуу күчү менен, асфальттын бети тарабынан аракет эткен серпилүү күчү тең салмакташып, бирин-бири компенсациялап турушат.



8.58.1-сүрөт

Башталышында системага кирген телолордун бардыгы жерге салыштырмалуу тынч турсун. Андан кийин бала колундагы жүгүн $\vec{\upsilon}_3$ ылдамдыгы менен ыргытсын (8.58.1- сүрөт). Анда арабача бала менен бирге, $\vec{\upsilon}_3$ кө карама –каршы багыт боюнча артты көздөй, кандайдыр бир $\vec{\upsilon}$ ылдамдыгы менен кыймылга келет.

Ушул фактынын себебин түшүндүрөлү жана арабача менен баланын ылдамдыгын аныктайлы. Ал үчүн импульстун сакталуу законуна кайрылабыз. Мындай кайрылууга укугубуз бар. Анткени изилдөөнүн обьектиси катарында алынган система, туюк система болуп саналат.

Шарт боюнча, системанын жүк ыргытылганга чейинки, башкача айтканда телолордун өз ара аракеттенишкенге чейинки импульсу нөлгө барабар. Ошондуктан системанын жүк ыргытылгандан кийинки импульсу да нөлгө барабар болушу керек.

Ички өз ара аракеттенишүүнүн натыйжасында ыргытылган тело (жүк) $m_3 \cdot \vec{\upsilon}_3$ импульсуна ээ болот, башкача айтканда анын импульсу нөлгө барабар эмес. Ал эми системанын импульсу ички өз ара аракеттенишүүдөн кийин нөлгө барабар бойдон калышы керек. Ушундай болушу мүмкүн, эгерде системанын калган бөлүгү, модулу ыргытылган жүктүн импульсунун модулуна барабар болгон, ага карама-каршы багытталган импульска ээ болуу менен, артты көздөй кыймылга келсе. Мына ушул себептен улам, жүк ыргытылганда бала турган арабача тынч бойдон кала албайт, ал артты көздөй кыймылга келет.

Мында айтылгандарды математикалык түрдө жазабыз

$$(m_1 + m_2)\vec{\upsilon} = -m_3 \cdot \vec{\upsilon}_3 \qquad (8.58.1)$$

Мында $m_3 \cdot \vec{\upsilon}_3$- ыргытылган жүктүн импульсу; $(m_1 + m_2) \cdot \vec{\upsilon}$ - системасынын жүк ыргытылгандан кийин калган бөлүгүнүн импульсу; « - » белгиси $(m_1 + m_2) \cdot \vec{\upsilon}$ импульсунун $m_3 \cdot \vec{\upsilon}_3$ импульсуна карама-каршы багытталгандыгын көрсөтөт. (8.58.1) барабардыктын он тарабындагы туюнтманы, анын сол тарабына алып өтөлү. Анда төмөнкүгө ээ болобуз.

$$(m_1 + m_2)\vec{\upsilon} + m_3 \cdot \vec{\upsilon}_3 = 0 \qquad (8.58.2)$$

Бул барабардыктын сол жагындагы сумма системанын, ички өз ара аракеттенишүүсүнөн кийинки импульсун туюнтат. Мындан көрүнүп тургандай, системанын бул импульсу дагы мурдагысындай эле нөлгө барабар. Демек, бул туюк системанын импульсу, ички өз ара аракеттенишүүнүн натыйжасында өзгөрбөй турактуу сакталат.

Түшүнүктүү болушу үчүн ушул фактыларды дагы бир ирет көз алдыбызга келтирели: туюк системанын баштапкы импульсу, башкача айтканда телолору өз ара аракеттенишкенге чейинки импульсу нөлгө барабар эле. Өз ара ара кеттенишүүнүн натыйжасында системанын бир телосу андан белгилүү бир импульс менен бөлүнүп чыкты. Туюк системанын импульсу мурдагысындай эле нөлгө барабар болгондой калышы керек. Ошондуктан бул системанын калган бөлүгү, модулу ошол бөлүнүп чыккан телонун импульсунун модулуна барабар болгон, бирок ага карама-каршы багыттан импульс менен кыймылга келет. Мына ошондуктан бала турган арабача артты көздөй кыймылдайт.

Демек, берилген туюк системадан, анын бир бөлүгү бөлүнүп чыкса, калган бөлүгү ага карама-каршы багытта кыймылга келет.

Системанын ушундай, калган бөлүгүнүн кыймылын физикада реактивдүү кыймыл деп атайт. Демек, жогорудагы бала турган арабачанын кыймылы - реактивдүү кыймыл.

Реактивдүү кыймылга техникадан, турмуштан көп эле мисалдарды келтирсе болот: замбирек атылып, андагы снаряд учуп чыккан моментте замбирек артты көздөй тебилет; кайыктын тумшугунда турган бала секирсе, кайык артты көздөй кетет д.у.с. Бул мисалдардагы замбиректин, кайыктын кыймылы реактивдүү кыймыл болуп саналат.

Дагы бир мисалды келтирели. Космостук корабль учурулаарда анын ракетасынан, андагы отундун күйүшүнүн натыйжасында жогорку температурага чейин ысыган газ жана күйүү продуктасы чоң ылдамдык менен төмөн көздөй учуп чыгат. Анын натыйжасында космостук корабль карама-каршы багытта жогору көздөй көтөрүлөт (бул кубулушту телевизордон көргөн болушуңар керек).

ТУ-154 самолету учуп баратканда, анын кыймылдаткычтарындагы отундун күйүшүнүн натыйжасында ысыган газ жана күйүү продуктасы чоң ылдамдык менен артты көздөй учуп чыгат. Анын натыйжасында самолет алдыга көздөй кыймылга келет.

Бул мисалдардагы космостук кораблди алып жүрүүчү ракетанын жана самолеттун кыймылдары реактивдүү кыймылдар болуп саналышат. Реактивдүү кыймылды түзүүгө ылайыкташтырылган кыймылдаткычтарды реактивдүү кыймылдаткычтар деп атайт. Мындай кыймылдаткычтар менен иштеген самолетторду реактивдүү самолеттор деп атайт.

Граждандык авиацияда болгон самолеттордун басымдуу көпчүлүгү, аскердик самолеттордун бардыгы реактивдүү самолеттор. Алар салыштырмалуу чоң ылдамдыктар менен учушат.

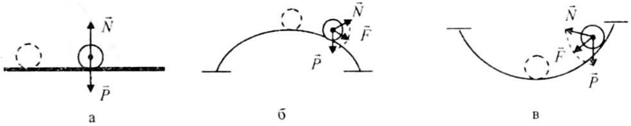
Суроолор жана тапшырмалар

1. 8.58.1-сүрөттө көрсөтүлгөн системанын туюк система болорун негиздегиле.
2. Арабачадагы бала (8.58.1-сүрөт) колундагы жүгүн ыргыткан болсо, кандай кубулуш байкалат? Анын себеби эмнеде?
3. (8.58.2) барабардыгын негиздеп жазгыла.
4. 8.58.1-сүрөттө берилген туюк система үчүн импульстун сакталуу закону кандайча аткарылат?
5. Реактивдүү кыймыл деп кандай кыймыл айтылат? Мисалдарды келтиргиле?

IX Бап. МЕХАНИКАЛЫК ТЕРМЕЛҮҮЛӨР ЖАНА ТОЛКУНДАР

59-§. Тең салмактуулук, анын түрлөрү. Туруктуу тең салмактуулук абалынын чекебелиндеги кыймыл. Механикалык термелүүлөр

Ньютондун 1-законуна ылайык, инерциялык эсептөө системасына, мисалы, полдун бети менен байланышкан эсептөө системасына салыштырмалуу тынч турган телого аракет эткен күчтөр бирин-бири компенсациялап турган болсо, ал тело ушул тынч абалын турактуу сактайт. Телонун мындай тынч абалын физикада телонун тең салмактуулук абалы деп атайт. Демек, эгерде телого аракет эткен күчтөр бирин-бири компенсациялап турган болсо, ал тело инерциялык эсептөө системасына салыштырмалуу тең салмактуулук абалында болот.



9.59.1-сүрөт

Телонун тең салмактуулук абалынын, башкача айтканда телонун тең салмактуулугунун үч түрүн бөлүп көрсөтүүгө болот.

1. Айырмасыз тең салмактуулук (9.59.1а - сүрөт).

Мындай тең салмактуулук абалында турган телону башка орунга которуп койсо, ал ошол орунда да мурдагыдай эле тең салмактуулук абалында болот.

2. Туруксуз тең салмактуулук (9.59.1б - сүрөт).

Мындай тең салмактуулук абалында турган телону башка орунга которуп койсо, ал мурдагы тең салмактуулук абалынан четтеп кетет жана ал абалга кайрылып келбейт.

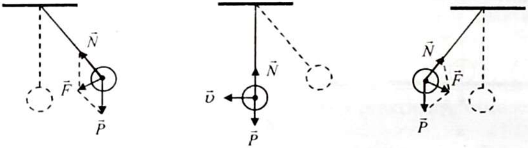
3. Туруктуу тең салмактуулук (9.59.1-в сүрөт).

Мындай тең салмактуулукта турган телону башка орунга которуп койсо, ал кайрадан ошол тең салмактуулук абалына келүүгө умтулат.

(Сүрөттөрдүн негизинде айырмасыз, туруксуз, туруктуу тең салмактуулуктарга мүнөздүү болгон фактылардын орун алыш себептерин өз алдыңарча түшүндүргүлө).

Биз эми туруктуу тең салмактуулук абалынан чыгарылып, эркин кое берилген телонун кыймылын изилдейбиз.

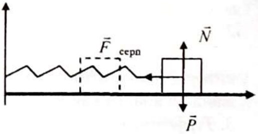
9.59.1в - сүрөттөн көрүнүп тургандай, туруктуу тең салмактуулуктан чыгарылган абалында турган телого $\vec{P}$ оордук күчү менен $\vec{N}$ серпилүү күчү аракет этет. Алардын $\vec{F}$ тең аракет этүүчүсү телону тең салмактуулук абалына кайрадан алып келе тургандай багытталган болот. Ошондуктан тең салмактуулук абалынан чыгарылып, эркин кое берилген тело ошол абалды көздөй кыймылдайт. Бирок бул абалга келген моментте ал токтоп калбайт. Инерция боюнча кыймылын тең салмактуулук абалынын экинчи тарабында улантат, токтоп кайра кайтат. Ушинтип тело туруктуу тең салмактуулук абалынын чекебелинде мезгил-мезгили менен кайталануучу кыймылга келет. Телонун мындай кыймылын физикада механикалык термелүүлөр, же кыскача термелүүлөр деп айтат. Демек, туруктуу тең салмактуулук абалы болгон тело, ошол абалынын чекебелинде термелүү кыймылына келе алат.



а) б) в)

9.59.2-сүрөт

Ичке, узун жипке байланган кичинекей шарик штативге илинип турсун (9.59.2а - сүрөт). Шариктин жип вертикалдуу тургандагы абалы, анын туруктуу тең салмактуулук абалы болуп саналат. Ошондуктан жипке илинген бул шарик термелүү кыймылына келе алат. Физикада аны математикалык маятник деп атайт. Термелүүнү изилдөө ушундай математикалык маятниктин мисалында жүргүзүлөт.



9.59.3-сүрөт

Пружинага байланган жүк сүрүлүүсү жок горизонталдык бетте жатсын (9.59.3-сүрөт). Пружина созулбай да, кысылбай да турсун.

Жүктүн ушундай шарттагы абалы, анын туруктуу тең салмактуулук абалы болуп саналат.Ошондуктан пружинага байланган бул жүк термелүү кыймылына келе алат. Физикада аны «пружинага илинген (байланган) жүк», же «пружиналык маятник» деп атайт. Термелүүнү изилдөө ушундай пружиналуу маятниктин мисалында да жүргүзүлөт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телонун тең салмактуулук абалы деп анын кандай абалын айтабыз?
2. Тең салмактуулуктун кандай түрлөрү бар. Алардын ар бирине мүнөздөмө бергиле.
3. 9.59.1а -, б -, в - сүрөттөрүн талдоонун негизинде ар бир тең салмактуулукка мүнөздүү болгон фактылардын себебин түшүндүргүлө.
4. Туруктуу тең салмактуулук абалынын чекебелинде кандай кыймыл орун алышы мүмкүн? Механикалык термелүүлөр деп кандай кыймылды айтабыз?
5. Математикалык маятник деген эмне? Ал эмне үчүн термелүү кыймылына келе алат?
6. Пружиналык маятник деген эмне? Ал эмне үчүн термелүү кыймылына келе алат?

60-§. Математикалык маятниктин термелүүсү, аны кыймыл закондорунун негизинде түшүндүрүү

Математикалык маятниктин мисалында термелүү кыймылынын механизмин, орун алуу себебин ачып көрсөтөбүз.
9.59.2а - сүрөтүнөн көрүнүп тургандай, туруктуу тең салмактуулук абалдан чыгарылган абалда турган математикалык маятникке $\vec{P}$ оордук күчү жана $\vec{N}$ серпилүү күчү аракет этет. Алардын тең аракет этүүсү $\vec{F} = \vec{P} + \vec{N}$ туруктуу тең салмактуулук абалды көздөй багытталган.

Ушул $\vec{F}$ күчүнүн аракети астында эркин кое берилген маятник ылдамдануу менен (Ньютондун 2-законуна ылайык) туруктуу тең салмактуулук абалын көздөй кыймылдайт. Натыйжада маятник бул абалга белгилүү бир ылдамдык менен келет. Бул – биринчиден, экинчиден ушул абалга келген моментте $\vec{P}$ жана $\vec{N}$ күчтөрүнүн суммасы, башкача айтканда $\vec{F}$ күчү нөлгө барабар болот (9.59.2.б-сүрөт). Ошого карабастан маятник бул абалда тык токтоп калбайт, инерция законуна ылайык, ылдамдыгын турактуу сактоого умтулуп,бул абалдан өтүп кетет.

Ушундан кийинки эле абалдардан тартып маятникке аракет эткен күчтөрдүн тең аракет этүүсү, анын кыймылына карама-каршы багытта аракет этип калат (9.59.2в - сүрөт). Натыйжада маятник акырындап барып токтойт.

Бирок бул абалда туруп калбайт. Туруктуу тең салмактуулук абалды көздөй багытталган $\vec{F}$ күчүнүн таасири астында, ал аракет эткен тарапты көздөй, башкача айтканда туруктуу тең салмактуулук абалын көздөй ылдамдануу менен кыймылдайт. Натыйжада туруктуу тең салмактуулук абалга маятник мурдагыга карама-каршы багыт боюнча багытталган, модулу ошондой эле болгон ылдамдык менен келет. Ал абалда токтоп калбай, андан өтүп кетет. Мурдагы процесс карама-каршы багытта кайталанат жана андан кийин да улам кайталана берет. Термелүү кыймылы орун алат, башкача айтканда маятник термелүү кыймылына келет.

Шарт боюнча маятникке оордук күчү менен серпилүү күчү гана аракет этет. Сүрүлүү, каршылык күчтөрү эске алынган жок. Ошондуктан бул маятник токтобостон термелүүсүн уланта берет, анын толук механикалык энергиясы турактуу сакталат.

Акырында бир фактыга өзгөчө көңүл бөлүп туруктуу тең салмактуулук абалында маятникке аракет эткен күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар болот; ал эми калган баардык абалдарда бул күчтөрдүн тең аракет этүүчүсү белгилүү чоңдукка ээ болуп, туруктуу тең салмактуулук абалын көздөй багытталган болот. Маятниктин биз айткан термелүүсүн шарттаган башкы фактор болуп, мына ушул факт эсептелет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Эмне себептен туруктуу тең салмактуулук абалдан чыгарылып, эркин кое берилген маятник кайра ошол абалды көздөй кыймылга келет?
2. Ушул туруктуу тең салмактуулук абалына келген моментте кандай фактылар орун алат?
3. Маятник бул абалда эмне үчүн токтоп калбайт?
4. Маятниктин толук бир термелүүсүнө Ньтондун закондоруна таянуу менен, талдоо жүргүзгүлө.
5. Маятниктин толук бир термелүүсүнө, энергиянын сакталуу законуна таянуу менен, талдоо жүргүзгүлө. (Аны кийинки параграфты окугандан кийин жүргүзсөңөр болот).
6. Маятниктин термелүүсүн шарттаган башкы фактор болуп кайсыл факт эсептелет? Эмне үчүн?

61-§. Пружиналык маятниктин термелүүсү, аны энергиянын сакталуу законун негизинде түшүндүрүү

Пружиналык маятниктин мисалында термелүү кыймылынын механизмин, орун алуу себебин энергиянын сакталуу законунун негизинде ачып көрсөтөбүз.

9.59.3-сүрөттөн көрүнүп тургандай , туруктуу тең салмактуулук абалдан чыгарылган абалда турган пружиналык маятникке (жүккө) төмөнкүдөй үч күч аракет этет: а) $\vec{P}$ оордук күчү ; б) таяныч бет тарабынан аракет эткен $\vec{N}$ серпилүү күчү : в) дефармацияланган пружина тарабынан аракет эткен $\vec{F}$ серпилүү күчү. Маятникке таяныч бет тарабынан таасир этиши мүмкүн болгон сүрүлүү күчүн эске албайбыз, сүрүлүшкөн беттерди абсолюттуу жылма деп эсептейбиз.

Биринчи эки күчтүн суммасы нөлгө барабар: $\vec{P}+\vec{N}=0$. Алар бирин-бири компенсациялап турат. Ошондуктан маятникке (жүккө) жалгыз эле $\vec{F}$ серпилүү күчү аракет этет деп эсептөөгө болот. Демек, биз карап жаткан пружиналык маятник жалгыз эле $\vec{F}$ серпилүү күчүнүн аракети астында кыймылга келет. Бул күч дайыма анын туруктуу тең салмактуулук абалын көздөй багытталган болот.

Белгилүү болгондой (54-§) дефармацияланган пружинага байланган тело, ушул пружина тарабынан аракет этүүчү серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Мындай потенциалдык энергияга ээ болгон тело өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келе алат.

Демек, туруктуу тең салмактуулук абалынан чыгарылган абалда турган кезде маятник (жүк) дефармацияланган пружина тарабынан аракет этүүчү серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергияга ээ болот. Ошондуктан ал эркин кое берилгенде өзүнүн кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келет. Бул учурда анын потенциалдык энергиясы азайып барат.

Натыйжада ал туруктуу тең салмактуулук абалга белгилүү бир кинетикалык энергия менен келет. Бул-биринчиден. Экинчиден, ушул абалда маятниктин потенциалдык энергиясы нөлгө барабар болот. Ошого карабастан маятник бул абалда токтоп калбайт, инерция законуна ылайык, ылдамдыгын туруктуу сактоого умтулуп, бул абалдан өтүп кетет.

Ушундан кийинки абалдарда аталган серпилүү күчү маятниктин кыймылынын багытына карама-каршы багытталган болот. Анын жумушунун натыйжасында маятниктин кинетикалык энергиясы улам азайып барып, токтойт. Бул процесстин жүрүшүндө пружинанын дефармацияланышы улам чоңоюп отурат, башкача айтканда маятниктин потенциалдык энергиясы улам чоңоюп барат. Маятник токтогон моментте анын потенциалдык энергиясы мурдагы максималдык маанисине жетет. Маятник эми ушул потенциалдык энергиясынын эсебинен мурдагыга карама-каршы багытта, дагы эле туруктуу тең салмактуулук абалын көздөй, кинетикалык энергиясын чоңойтуу менен кыймылга келет. Натыйжада туруктуу тең салмактуулук абалына, маятник мурдагыдай эле кинетикалык энергия менен келет. Инерция боюнча андан өтүп кетип, кыймылын улантат. Мурдагы процесс карама-каршы багытта кайталанат жана андан кийин да кайталана берет. Ушинтип маятник термелүү кыймылына келет.

Шарт боюнча маятникке серпилүү жана оордук күчтөрү гана аракет этет. Белгилүү болгондой (56-§) мындай күчтөр аракет эткен телонун толук механикалык энергиясы турактуу сакталат. Демек, маятниктин толук механикалык энергиясы, башкача айтканда анын потенциалдык кинетикалык энергияларынын суммасы маятниктин термелүү кыймылы кезинде турактуу сакталат. Мисалы, баштапкы абалдан туруктуу тең салмактуулук абалга келген мезгилде маятниктин потенциалдык энергиясы канчага азайса, анын кинетикалык энергиясы ошончого чоңоет. Ушул абалдан эң четки абалга барган моментке чейин маятниктин кинетикалык энергиясы канчага азайса, анын потенциалдык энергиясы ошончого чоңонт. Алардын суммасы турактуу калат. Маятник термелүүсүн ушинтип уланта берет. Маятниктин ушундай термелүүсүн шарттаган башкы фактор болуп, мына ушул толук механикалык энергиянын сакталуу закону эсептелет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Пружиналык маятникке, ал туруктуу тең салмактуу абалдан чыгарылган абалында турганда, кайсыл күчтөр аракет этишет?
2. Эмне үчүн пружиналык маятниктин термелүү кыймылын изилдөөдө жалаң эле пружинанын деформацияланышынан пайда болгон серпилүү күчү эсепке алынат?
3. Маятник потенциалдык энергияга кандай шартта, эмне үчүн ээ болот? Потенциалдык энергияга ээ болуу менен маятник кандай мүмкүнчүлүк алат?
4. Маятниктин потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын өзгөрүүлөрүн эске алуу менен , анын термелүүсүн түшүндүргүлө.
5. Ушул пружиналык маятниктин термелүүсүн толук механикалык энергиянын сакталуу законунун негизинде түшүндүргүлө.
6. Математикалык маятниктин термелүүсүн толук механикалык энергиясынын сакталуу законунун негизинде түшүндүргүлө.

62-§. Эркин термелүүлөр. Өчүүчү жана гармоникалык термелүүлөр жөнүндө түшүнүктөр

Жогоруда (58-, 60-, 61-§) каралган математикалык жана пружиналык маятниктердин термелүүлөрү эркин термелүүлөр болуп саналат. Физикада маятниктердин өздөрүнө мүнөздүү болгон оордук жана серпилүү күчтөрүнүн аракети астында орун алган термелүүлөрүн эркин термелүүлөр деп атайт.

Реалдык (чындык) шарттарда термелүүчү телолорго сүрүлүү, каршылык күчтөрү да аракет этет. Ошондуктан ал телолор термелип барып токтойт, башкача айтканда термелүү өчөт. Мындай термелүүнү физикада өчүүчү термелүү деп атайт.

Эгерде сүрүлүү, каршылык күчтөрү аракет этпесе, башкача айтканда сүрүлүү, каршылык жок болсо, телолор токтобой термеле бермек. Себеби, ушундай шартта, телолорго (мисалы, математикалык жана пружиналык маятниктерге) оордук жана серпилүү күчтөрү гана аракет этип калат. Мындай күчтөрдүн аракети астында кыймылдаган телонун толук механикалык энергиясы туратуу сакталат (56-§).

Ушундай, сүрүлүү күчүн эске албай койгон шарттагы телолордун эркин термелүүсүн өзгөчө бөлүп карайбыз. Мындай шартта аткарылган термелүүлөрдү физикада гармоникалык термелүүлөр деп атайт. Математикалык жана пружиналык маятниктердин жогоруда талданган термелүүлөрү гармоникалык термелүүлөр болуп саналышат. Демек, гармоникалык термелүү сүрүлүү эске алынбастан, серпилүү жана оордук күчтөрүнүн тең аракет этүүчүсү туруктуу тең салмактуулук абалды көздөй багытталган шарттарда аткарылат.

Гармоникалык термелүүлөр – термелүүлөрдүн эң жөнөкөй модели болуп саналат. (Мисалы, түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл, кыймылдардын эң жөнөкөй модели болгон сыяктуу).
Термелүүлөрдү изилдөө, баарыдан мурда, ушул моделдин, башкача айтканда гармоникалык термелүүлөрдүн мисалында жүргүзүлөт.

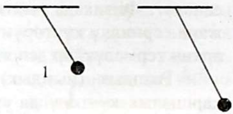
Суроолор жана тапшырмалар

1. Эркин термелүүлөр деп кандай термелүүлөр айтылат? Мисалдар келтиргиле.
2. Өчүүчү термелүү деп кандай термелүү айтылат. Эмне себептен мындай термелүү орун алат.
3. Гармоникалык термелүү деп кандай термелүү айтылат? Термелүүлөрдү изилдөө биринчи кезекте кайсыл термелүүнүн мисалында жүргүзүлөт? Эмне үчүн?

63-§. Термелүүлөрдү мүнөздөөчү чоңдуктар

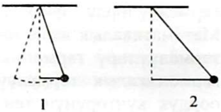
Математикалык маятниктин гармоникалык термелүүлөрүнүн мисалында термелүүлөрдү мүнөздөөчү чоңдуктарды киргизебиз.

Мейли, бизге 9.63.1-сүрөттө көрсөтүлгөндөй эки маятник берилсин. Мындай маятниктер менен жүргүзүлгөн тажрыйбалар төмөнкүнү көрсөтөт: 1-маятник экинчиге караганда тезирээк термелет. Демек, термелүүлөр бири-биринен термелүлүрүнүн тездиги боюнча айырмаланышат. Ушул фактыны мүнөздөөчү чоңдукту киргизебиз. Ал үчүн төмөндөгүлөрдү салыштырып талдайбыз: берилген убакыт ичинде, мисалы, $1мин$ убакыт ичинде 1-маятник экинчисине караганда көбүрөк термелүү жасоого үлгүрөт. Мындан төмөнкүдөй тыянак чыгат: термелүүлөрдүн тездигин мүнөздөө үчүн убакыт бирдиги ичинде аткарылган термелүүлөрдүн санын алууга болот. Аны физикада термелүүлөрдүн жыштыгы деп атайт, ν (нью) тамгасы менен белгилейт. Демек, $\nu = N/C$, анын бирдиги $[\nu]=[1/c]=[c^{-1}]$



9.63.1-сүрөт

Термелүүнүн тездиги анын жыштыгы менен байланышкан дагы бир чоңдук менен бааланат. Ал-термелүүнүн мезгили. Мисалы, ылдам термелген маятникниктин бир толук термелиши үчүн салыштырмалуу аз убакыт керек. Ушундай убакыт аралыгын, башкача айтканда бир толук термелүүгө кеткен убакытты термелүүнүн мезгили деп атайт, аны T тамгасы менен белгилейт.



9.63.2-сүрөт

Мейли, мисалы, маятниктин бир толук термелүүсүнө $1/10c$ убакыт кетсин, башкача айтканда $T=1/10c$ болсун. Анда бул маятник $1c$ ичинде 10 термелүү жасаган болот, башкача айтканда $\nu = 10c^{-1}$ Бул мисалдан көрүнүп тургандай, термелүүнүн мезгили менен жыштыгына төмөнкүдөй байланыш мүнөздүү болот:

$$T = 1/\nu \text{ же } \nu = 1/T$$

Мейли, эки маятник 9.63.2-сүрөттө көрсөтүлгөндөй шартта термелишсин. Бул термелүүлөр, маятниктин тең салмактуулук абалынан эң чоң четтөөсүнүн, жылыш аралыгынын чоңдугу боюнча айырмаланышат. Ушул фактыны мүнөздөө үчүн физикага термелүүнүн амплитудасы деген түшүнүк киргизилген.

Телонун туруктуу тең салмактуулук абалынан эң чоң жылыш аралыгы термелүүнүн амплитудасы деп аталат, ал "a" же "A" тамгасы менен белгиленет, $СИ$ системасындагы бирдиги "$м$".

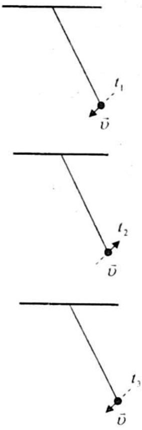
Ар бир термелүүгө тиешелүү жыштык (же мезгил) жана амплитуда мүнөздүү болот. Өчүүчү термелүүнүн амплитудасы убакыттын өтүшү менен кичирейип отурат, ал эми гормоникалык термелүүнүн амплитудасы туруктуу болот.

Термелүүнү мүнөздөөчү дагы бир чоңдук бар: ал термелүүнүн фазасы.

Термелүү кезинде мейкиндиктин берилген чекитине маятник мезгил-мезгили менен келип турат (9.63.3-сүрөт). Бирок, ошол чекитке келген моменттеги анын кирпик каккычактагы абалынын жана ылдамдыгынын өзгөрүштөрү дайыма эле бирдей болбойт. Мисалы, t_1, t_3 убакыт моменттеринде маятниктин абалы туруктуу тең салмактуулук тарапты көздөй өзгөрөт. Ал эми t_2 убакыт моментинде андан алыстагандай болуп өзгөрөт.

Ушул фактыны мүнөздөп көргөзүү үчүн физикага термелүүлөрдүн фазасы деген түшүнүк киргизилген.

Термелүүнүн t_1 жана t_3 убакыт моменттериндеги фазаларында маятниктин кирпик каккычактагы абалдарынын жана ылдамдыктарынын өзгөрүүлөрү бирдей болот. Ал эми t_1 жана t_2 убакыт моменттериндеги фазаларында алардын өзгөрүүлөрү карама – каршы белгиде болушат (абалдарды көрсөткөн координаталары болсо бирдей). Демек, термелүүнүн белгилүү бир фазаларында маятниктин берилген чекиттеги абалынын жана ылдамдыгынын өзгөрүүлөрү бирдей, кээ бир фазаларында карама – каршы болушу мүмкүн.



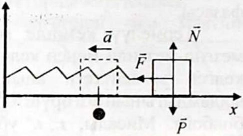
9.63.3-сүрөт

Суроолор жана тапшырмалар

1. Термелүүнүн жыштыгы деп кандай чоңдук айтылат? Ал кандай зарылчылыктардан улам киргизилген? Эмнени мүнөздөйт?
2. Термелүүнүн мезгили деп кандай чоңдук айтылат? Ал эмнени мүнөздөйт?
3. Термелүүнүн жыштыгы менен мезгилинин байланышын негиздеп түшүндүргүлө.
4. Термелүүнүн амплитудасы деген эмне? Ал кандай максатта киргизилген?
5. Өчүүчү жана гармоникалык термелүүлөрдүн амплитудаларына мүнөздөмө бергиле.
6. Термелүүнүн фазасы эмнени көрсөтөт? Бул суроого 9.63.3-сүрөттүн негизинде жооп бергиле.

64-§. Гармоникалык термелүүлөрдүн теңдемеси

Белгилүү болгондой, кыймылдарды изилдөөдө чечүү зарыл болгон башкы маселе болуп механиканын негизги маселеси эсептелет. Ошондуктан, маятниктин гармоникалык термелүүсү үчүн механиканын негизги маселесин чечүүнү карайбыз. Башкача айтканда ушундай термелүүгө келген маятниктин ар бир убакыт моментиндеги абалын табууга мүмкүндүк берген теңдемени келтирип чыгарабыз.



9.64.1-сурот

Изилдөөнүн обьектиси катарында пружиналык маятникти алабыз (9.64.1-сүрөт). Эгерде маятник туруктуу тең салмактуулук абалдан четтетилип туруп, эркин кое берилсе, ал гармоникалык термелүүгө келет. Же, туруктуу тең салмактулук абалында турган маятникке баштапкы ылдамдык берилген болсо да, ал гармоникалык термелүүгө келет.

Ушундай гармоникалык термелүүлөрдүн теңдемесин келтирип чыгарабыз.

Бул максатта маятниктин кыймылы үчүн Ньютондун экинчи законун жазабыз:

$$m\vec{a}=\vec{F}+\vec{N}+\vec{P} \qquad (9.64.1)$$

$$m\vec{a}=\vec{F} \qquad (9.64.2)$$

Бул барабардыкты OX огундагы проекциялары аркылуу төмөндөгүчө жазууга болот

$$ma_x=F_x \qquad (9.64.3)$$

$\vec{a}$ жана $\vec{F}$ векторлору OX огуна карама-каршы багытталышкан ошондуктан $a_x=-a$, $F_x=-F$ болот. Буларды эске алсак, (9.64.3) төмөнкү түргө келет:

$$ma=F \qquad (9.64.4)$$

Гуктун закону боюнча $F=-kx$. Бул законду эске алуу менен (9.64.4) тү төмөнкү түргө келтиребиз:

$$a+\frac{k}{m}x=0 \text{ же } x''+\frac{k}{m}x=0 \qquad (9.64.5)$$

Мындагы k/m көбөйтүндүсүнүн кандай чоңдукту туюнтарын тастыктайлы. Ал үчүн анын бирдигин текшеребиз:

$$[k/m]=[1/c^2]=[1/c]^2\text{, же } \sqrt{k/m}=[1/c]$$

Бул белгилерден көрүнүп тургандай, k/m дин бирдиги термелүү жыштыгынын бирдигинин квадраты менен, ал эми $\sqrt{k/m}$ дин бирдиги термелүү жыштыгынын бирдиги менен дал келет.

Мындан төмөндөгүдөй тыянак келип чыгат: $\sqrt{k/m}$ туюнтмасы термелүү жыштыгын, башкача айтканда кайсы бир убакыт аралыгында аткарылган термелүүлөрдүн санын туюнтушу керек (канчалык убакыт ичинде аткарылган термелүүлөрдүн санын туюнтары кийин түшүнүктүү болот). Бул жыштыкты $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ деп белгилейбиз. Анда (9.64.1) деги k/m көбөйтүндүсү төмөнкүгө барабар болот:

$$k/m = \omega_0^2 \qquad (9.64.6)$$

(9.64.6) ны (9.64.5) ке коюп, төмөнкү теңдемени алабыз:

$$x'' + \omega_0^2 x = 0 \qquad (9.64.7)$$

Ушул теңдеменин чечими маятниктин термелүүсүн чагылдырышы, термелүү кыймылын берген болушу керек. Термелүү мезгилдүү кыймыл. Ошондуктан бул теңдеменин чечими мезгилдүү функция болуп саналган косинусту же синусту камтышы керек. Бул шартты эске алып, (9.64.7) нин чечимин төмөнкү түрдө жазабыз:

$$x = A\cos\omega_0 t \qquad (9.64.8)$$

Мунун экинчи тартиптеги туундусу төмөндөгүгө барабар болот:

$$x'' = -A\omega_0^2\cos\omega_0 t \qquad (9.64.9)$$

(9.64.9) менен (9.64.8) ди (9.64.7) ге коебуз:

$$-A\omega_0^2\cos\omega_0 t + A\omega_0^2\cos\omega_0 t = 0$$

болот.

Демек, (9.64.8) теңдеме менен берилген x, чынында эле (9.64.7) теңдеменин чечими болуп саналат.

Эгерде A, ω_0 чоңдуктары белгилүү болсо, (9.64.8) дин негизинде каалагандай t убакыт моментиндеги x координаттын, демек, маятниктин абалын табууга болот.

Башка сөз менен айтканда, (9.64.8) теңдеме, маятниктин термелүү кыймылы үчүн механиканын негизги маселесинин чечими болуп саналат. Ошондуктан аны гармонникалык термелүүлөрдүн теңдемеси деп атайт. Бул теңдемедеги A көбөйтүндүүсү эмнени туюнтарын жана ω_0 жыштыгы, кандай жыштык экенин көрсөтөбүз.

(9.64.8) ден көрүнүп тургандай, маятниктин координаты x, башкача айтканда маятниктин туруктуу тең салмактуулук абалынан четке жылышуусунун чоңдугу мезгилдүү түрдө өзгөрүп турат. Анын максималдык маанисинин эмнеге барабар болорун табабыз. Себеби ал термелүүнүн амплитудасына барабар болот, же башкача айтканда амплитуданы туюнтат.

(9.64.8) теңдемедеги A көбөйтүндүүсүнүн турактуу сан экенин эске алып, андан төмөнкүнү алабыз: $X_{\max} = A(\cos\omega_o t)_{\max}$. Косинустун максималдык мааниси бирге барабар. Ошондуктан бул формуладан

$$X_{\max} = A \qquad (9.64.10)$$

болору келип чыгат.

Демек, (9.64.8) теңдемедеги A көбөйтүндүүсү маятниктин термелүүсүнүн амплитудасы болуп саналат.

Эми ω_0 эмнени көрсөтөрүн тастыктайбыз.

Мейли, термелүү башталгандан, башкача айтканда эсеп башталгандан тартып бир мезгилге барабар болгон, башкача айтканда $t = T$ болгон убакыт өткөн болсун. Анда $\omega_0 t$ көбөйтүндүсүнүн өзгөрүшү $\omega_0 t - \omega_0 \cdot 0$ болот. Бул убакыт ичинде, башкача айтканда, убакыт аралыгы 0 дон Т га чейин өзгөргөндө косинустун аргументи 0дөн 2πге өзгөрөт. Өзгөрүү $2\pi - 0$ болот. Себеби косинустун мезгили 2π ге барабар. Ушул өзгөрүштү жазалы:

$$\omega_0 \mathrm{T} - \omega_0 \cdot 0 = 2\pi - 0, \ (\omega_0 T - \omega_0 0) = 2\pi - 0$$

Мындан

$$\omega_0 = 2\pi/T, \text{ же } \omega_0 = 2\pi\nu \qquad (9.64.11)$$

болору келип чыгат.

(9.64.11) ден көрүнүп тургандай, ω_0 жыштыгы термелүүнүн жыштыгы νдан, башкача айтканда 1с ичинде аткарылган термелүүлөрдүн санынан 2π ге чоң. Демек, ω_0 жыштыгы 2πс убакыты ичинде аткарылган термелүүлөрдүн санын туюнтат. Бул жыштыкты физикада айланма, же циклдүү жыштык деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Маятниктин гармоникалык термелүүсү үчүн механиканын негизги маселесин чечүү жөнүндөгү маселе кандайча коюлду? Изилдөө обьектиси катарында эмне тандап алынды?
2. (9.64.4) теңдемени негиздеп, келтирип чыгаргыла.
3. (9.64.5) теңдемени негиздеп жазгыла.
4. (9.64.7) теңдемени негиздеп жазгыла. ω_0дун эмнени туюнткандыгын талдагыла.
5. (9.64.8) дин (9.64.7) теңдеменин чечими болорун негиздегиле.
6. (9.64.8) теңдеменин гармоникалык термелүүнүн теңдемеси болорун негиздеп айткыла.
7. Гармоникалык термелүүлөрдүн теңдемесиндеги кайсыл чоңдуктар термелүүнүн амплитудасын, айланма жыштыгын туюнтат? Жообуңарды негиздегиле.
8. Термелүүнүн айланма жыштыгы деп кайсыл чоңдук айтылат? Анын термелүү мезгили жана жыштыгы менен кандай байланышта болорун негиздеп түшүндүргүлө.

65-§. Пружиналык жана математикалык маятниктердин термелүү мезгилдери

Пружиналык маятниктин термелүү мезгилинин эмнеге барабар болорун далилдеп чыгарабыз.

(9.64.11) ден термелүү мезгилин табабыз:

$$T = 2\pi/\omega_0$$

(9.64.6) ны эске алып, бул формуланы төмөнкү түрдө жазабыз:

$$T = 2\pi\sqrt{m/k} \qquad (9.65.1)$$

Демек, пружиналык маятниктин термелүү мезгили ошол маятниктин (жүктүн) массасына жана пружинанын катуулугуна көз каранды болот. Берилген пружинага массасы чоң болгон жүк байланып маятник түзүлсө, (9.65.1) формуладан көрүнүп тургандай, анын термелүү мезгили чоң болот, термелүү жай жүрөт. Эгерде берилген жүктү катуулугу чоң болгон пружинага байлап бекитүү менен маятник түзүлгөн болсо, анын термелүү мезгили кичине болот, термелүү тез жүрөт.

Математикалык маятниктин термелүү мезгилин төмөнкү формула туюнтат:

$$T=2\pi\sqrt{l/g} \qquad (9.65.2)$$

Мында – l – маятник байланган жиптин узундугу; g-эркин түшүүнүн ылдамдануусу.

Бул формуладан көрүнүп тургандай, берилген шартта маятник байланган жиптин узундугу канчалык чоң болсо, анын термелүү мезгили ошончолук чоң болот, термелүү жай жүрөт. Ошондой эле маятниктин термелүү мезгили эркин түшүүнүн ылдамдануусунан көз каранды.

Конкреттүү математикалык маятниктин термелүү мезгилин тажрыйбада аныктоого болот. Ал үчүн белгилүү узундуктагы жипке кичинекей шарикти байлап математикалык маятникти жасайбыз. Аны штативке илип, термелүүгө келтиребиз. Бул маятниктин, мисалы, жыйырма жолу толук термелүүсүнө кеткен убакытты ченейбиз. Алынган натыйжаны 20 га бөлүп маятниктин бир толук термелүүсүнө канча убакыт кеткенин, башкача айтканда анын термелүү мезгилин табабыз. Силер үйүнөрдөн ушул тажрыйбаны жасап, өзүнөр тандап алган маятниктин термелүү мезгилин аныктагыла.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Термелүү мезгили деп кандай чоңдукту айтабыз?
2. Пружиналык маятниктин термелүү мезгилин туюнткан формуланы келтирип чыгаргыла. Анын кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болорун талдап түшүндүргүлө.

3. Математикалык маятниктин термелүү мезгили кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?

4. Өзүңөр тандап алган математикалык маятниктин мисалында өзүңөр жашаган жердеги эркин түшүүнүн ылдамдануусун аныктоо боюнча тажрыйбаны пландаштыргыла. Аны аткарып, эркин түшүүнүн ылдамдануусунун маанисин тапкыла.

66-§. Өздүк термелүүлөр. Аргасыз термелүүлөр. Резонанс

Жогоруда биз математикалык жана пружиналык маятниктердин эркин термелүүлөрүн карадык. Сүрүлүүнү эске албадык. Мындай шартта ар бир маятник өзүнө мүнөздүү болгон жыштык менен, амплитудасын турактуу сактап, тынымсыз термеле берет. Термелүү өчпөйт.

Бул факт математикалык жана пружиналык маятниктерден башка да, ар кандай термелүүчү телолорго, телолордун системасына мүнөздүү болот. Эгерде алар өздөрүнүн туруктуу тең салмактуулук абалынан чыгарылып туруп, эркин коң берилсе өздөрүнө мүнөздүү болгон жыштык менен өзүнчө, эркин термелүүлөргө келишет.

Ушундай термелүүлөрдү физикада өздүк термелүүлөр деп атайт. Алардын жыштыгын да, тиешелүү түрдө өздүк термелүүлөрдүн жыштыгы деп атайт.

Мейли, көчөдө турган жеңил автомобилди капотунан ылдый басып туруп кое берели. Ал белгилүү жыштык менен термеле баштайт. Ушул термелүү автомобилдин өздүк термелүүсү, анын жыштыгы ушул өздүк термелүүнүн жыштыгы болуп саналат. Автомобиль мындан башка жыштык менен термеле албайт.

Дагы бир мисалды карайлы. Селкинчекке кичинекей бала кыймылдабай тынч отурсун. Аны туруктуу тең салмактуулук абалынан чыгарып, кайра эркин кое берели. Анда селкинчек белгилүүү бир жыштык менен термеле баштайт. Ушул жыштык селкинчектин өздүк термелүүсүнүн жыштыгы болуп саналат.

Бул мисалдарда айтылган автомобилге дагы, селкинчекке дагы сүрүлүү, каршылык күчтөрү сезилерлик таасир этет. Ошондуктан алардын термелүүлөрү тез эле өчөт.

Суроо туулат: ушул жана ушул сыяктуу термелүүлөрдү өчүрбөй кармап туруу үчүн эмне кылуу керек?

Албетте, ал үчүн термелүүчү телолорго мезгилдүү күч менен аракет этип, сүрүлүүнүн таасирин компенсациялап тургандай жумуш аткаруу керек. Ушундай шарт аткарылса, аталган телолор турактуу амплитуда менен термелүүгө келишет. Мындай термелүүлөрдү физикада аргасыз термелүүлөр деп атайт. Аргасыз термелүүлөрдүн жыштыгы, ошол аргасыздандыруучу, мезгилдүү күчтүн жыштыгына барабар болот.

Мейли, баласы бөлөнгөн бешикти, анын энеси бир калыпта терметип отурсун. Бешик бул учурда аргасыз термелүүгө келип жатат. Баланын энеси бешикке мезгилдүү күч менен аракет этип, сүрүлүүлөрдүн жана каршылыктардын аракеттерин компенсациялай тургандай жумуш аткарып жатат. Бешиктин термелүү жыштыгы, башкача айтканда бешиктин аргасыз термелүүсүнүн жыштыгы, эне тарабынан аракет эткен мезгилдүү күчтүн жыштыгына барабар болот: бул күчтүн жыштыгы чоң болсо, бешик чоң жыштык менен, башкача айтканда тез термелет, д.у.с.

Жогоруда талданган мисалдардын бирине кайрылабыз: селкинчекти бир орунда туруп жакшылап күүлөнтүү үчүн, ага кандай мезгилдүүлүктө аракет этүү керек, башќача айтканда селкинчекке кандай жыштыктагы күч менен аракет этүү зарыл? Байкоолорду талдап, бул суроого төмөнкүдөй жооп берүүгө болот: селкинчекти өзүнчө термелтип көрөйлү, анын өздүк термелүүсүнүн жыштыгын байкап-баалап туруп, ошондой жыштык менен селкинчекке улам аракет этип турабыз, башкача айтканда селкинчектин өздүк термелүүсүнүн жыштыгына барабар болгондой жыштыктагы күч менен, селкинчекке тынымсыз аракет этебиз. Ошндо селкинчек улам күүлөнө берет, анын термелүүсүнүн амплитудасы улам чоңое берет. Ушул кубулушту физикада резонанс деп атайт.

Демек, термелип жаткан телого, анын өздүк жыштыгына барабар болгондой жыштыктагы мезгилдүү күч менен аракет этсе анын термелүүсүнүн амплитудасы улам чоңоң берет. Эгер бул учурда сүрүлүү аз болсо амплитуда кескин эле чоңоет. Ушул кубулуш резонанс кубулушу болуп саналат.

Бул кубулушка бир мисал келтирели. Чоң ылдамдык менен келеткан жеңил автомобил жолдун өркөч – белес болуп турган участогуна келип, андан өтүп баратсын. Анда автомобилдин өйдө – ылдый болуп, катуу термелгени байкалат. Ушундай термелүүсү күчөп барып, автомобилдин аңтарылып кеткен учурлары да кездешет.

Ушул кубулушту талдайлы: автомолбилдин алдынкы дөңгөлөктөрү жолдун өргөчтөнгөн участогуна келип тиет. Ньютондун үчүнчү законуна ылайык, жолдун ошол участогу автомобилдин дөңгөлөгүнө белгилүү күч менен аракет этип, автомобилдин термелүүсүнө таасирин тийгизет. Автомобилдин дөңгөлөгү, ушул биринчи өркөчкө урунгандан кийин белеске түшүп, экинчи, андан кийин үчүнчү, д.у.с. өргөчтөргө урунуу менен кыймылын улантат. Бул учурда жолдун өргөчтөнгөн участоктору тарабынан автомобилге белгилүү мезгилдүүлүктө, аны термелүүгө келтирүүчү күч аракет этет. Эгерде ушул күчтүн жыштыгы автомобилдин өздүк термелүүсүнүн жыштыгына барабар болсо, резонанс кубулушу орун алып, автобилдин термелүүсүнүн амплитудасы кескин чоңоет да, авария болуу коркунучу туулат.

Ошондуктан мындай учурларда автомобилдин айдоочусу тормоз берип, ылдамдыгын азайтат. Ал аркылуу автомобилге жолдун өркөчтөнгөн участоктору тарабынан аракет этип, аны аргасыз термелүүгө алып келүүчү күчтүн жыштыгын азайтат. Ушинтип, резонанс кубулушунун орун алышына жол бербейт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Өздүк термелүү деген эмне? Өздүк термелүү жыштыгы деп кандайча жыштыкты айтабыз? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
2. Аргасыз термелүү деп кандай термелүүлөрдү айтабыз? Мындай термелүүлөрдүн жыштыгы эмнеге барабар болот? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
3. Кайсыл кубулушту резонанс деп атайт? Ал кандай шарттарда орун алат? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.

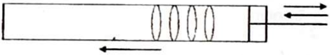
67-§. Механикалык толкундар, алардын түрлөрү. Толкундардын таралуу ылдамдыгы

Мейли, серпилгичтүү чөйрөнүн, мисалы, абанын, керилип коюлган кылдын, белгилүү бир чекити термелүүгө келсин. Анда бул чекиттин термелүүсү ага жанаша турган чекитке, ал чекиттин термелүүсү андан кийинки чекитке берилет жана бул процесс улана берет. Ушинтип, сепилгичтүү чөйрөнүн бир эле чекитинде башталган термелүү ошол чөйрөдө таралат. Ушул кубулушту, башкача айтканда механикалык термелүүлөрдүн серпилгичтүү чөйрөдө таралуу кубулушун механикалык толкун деп атайт.

Механикалык толкундардын эки түрү бар:

а) туурасынан кеткен толкундар;

б) узатасынан кеткен толкундар.



9.67.1-сурот

Эгерде толкундун таралуу багыты термелүүлөр жүргөн сызыкка перпендикуляр болсо, аны туурасынан кеткен толкун деп атайт. Мисалы, суунун бетиндеги толкун туурасынан кеткен толкун болот.

Эгерде толкундун таралуу багыты термелүүлөр жүргөн сызыкка дал келсе, аны узатасынан кеткен толкун деп атайт. Мисалы, узун цилиндрдеги аба боюнча поршендин термелүүсүнүн таралышы (9.67.1-сүрөт).

Белгилүү бир серпилгичтүү чөйрөдө (мисалы, суу да, абада), берилген шартта (мисалы, белгилүү бир температурада) толкун белгилүү гана бир ылдамдык менен таралат. Ушул шартта ал мындан башкача ылдамдык менен таралбайт. Ушул ылдамдыкты толкундун таралуу ылдамдыгы деп атайт.

Тажрыйбалар көрсөткөндөй, толкун кайсыл багыт боюнча болсо дагы бир калыпта таралат. Ошондуктан анын ылдамдыгын аныктоодо түз сызыктуу бир калыптагы кыймылдын ылдамдыгынын формуласынан пайдаланса болот:

$$\upsilon = s/t$$

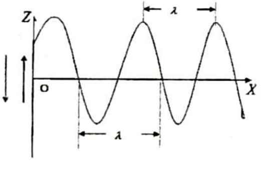
Мында, s - толкундун кайсы бир мүнөздүү чекитинин, мисалы, кайсы бир өркөчүнүн же белесинин которулушунун модулу; t - ошол которулушка кеткен убакыт аралыгы, υ - толкундун ошол мүнөздүү чекитинин, демек толкундун таралуу ылдамдыгы.

68-§. Жүгүрүүчү толкундар-толкундардын эң жөнөкөй модели катарында. Толкундун жыштыгы, амплитудасы. Толкундун узундугу

Механикалык толкундарды изилдөө үчүн, баарыдан мурда, эң жөнөкөй толкунду, башкача айтканда толкундардын эң жөнөкөй моделин тандап алабыз.

Мейли, ой жүзүндө толкундун белгилүү гана бир сызык, багыт боюнча таралган бөлүгүн тандап алалы. Толкундун ушундайча бөлүгүн физикада жүгүрүүчү толкун деп атайт. Демек, белгилүү гана багыт, сызык боюнча таралган толкундун бөлүгү жүгүрүүчү толкун болуп саналат. Ал эми мейкиндикте таралып бараткан толкундарды, ушундай жүгүрүүчү толкундардын суммасы катары кароого болот.

Жүгүрүүчү толкундарга мүнөздүү болгон закон ченемдиктердин бардыгы мейкиндикте таралган толкундарга да мүнөздүү болот. Ошондуктан толкундарга тиешелүү изилдөөлөрдү, жүгүрүүчү толкундардын мисалында жүргүзүүгө болот.



9.68.1-сүрөт

Мейли, серпилгичтүү чөйрөнүн, мисалы, суунун бетинин кайсы бир О чекити вертикалдык сызык боюнча (OZ огун бойлой) термелүүгө келсин. Бул термелүү суунун бети боюнча таралып, толкунду пайда кылат. Бул толкундун OX огунун багыты боюнча таралган бөлүгүн, башкача айтканда ушундай жүгүрүүчү толкунду бөлүп алабыз (9.68.1-сүрөт). Ага мүнөздүү чондуктарды киргизебиз.

Чөйрөнүн аталган чекитинин, башкача айтканда толкундун булагынын термелүү жыштыгы ν, амплитудасы А болсун. Толкундун таралуу процессинде серпилгичтүү чөйрөнүн ар бир чекитине серпилүү жана оордук күчтөрү аракет этет. Ошондуктан чөйрөнүн ушул чекиттеринин толук механикалык энергиясы турактуу сакталат. Ушул законченемдиктин натыйжасында жүгүрүүчү толкун жеткен ар бир чекиттин термелүүсүнүн амплитудасы жана жыштыгы толкун булагынын термелүүсүнүн амплитудасына жана жыштыгына барабар болот. Ошондуктан ушул жыштыкты жүгүрүүчү толкундун, же толкундун жыштыгы, амплитуданы толкундун амплитудасы деп атайт.

Берилген чөйрөдөгү толкундардын, мисалы, суунун бети боюнча таралган жүгүрүүчү толкундардын, берилген шарттагы таралуу ылдамдыгы турактуу болот. Ошондуктан бул толкундар бир мезгилге барабар болгон, башкача айтканда $t=T$ болгон убакыт ичинде белгилүү гана аралыкка таралып жетет. Мындан, берилген чөйрөдөгү толкундарды ушул аралык аркылуу да мүнөздөөгө, ажыратып белгилөөгө болот деген тыянак келип чыгат. Ушул аралыкты физикада толкун узундугу деп атайт, λ (лямбда) тамгасы менен белгилейт. Демек, толкун узундугу-бул бир мезгилге барабар болгон убакыт ичинде толкун таралып жеткен аралык. Бул аныктамага ылайык, аны төмөнкү формула боюнча аныктоого болот:

$$\lambda=\upsilon T \qquad (9.68.1)$$

Мында, υ - толкундун таралуу ылдамдыгы, T-толкун булагынын, толкундун термелүү мезгили, λ - толкун узундугу.

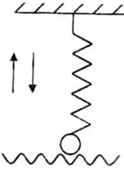
Суроолор жана тапшырмалар

1. Жүгүрүүчү толкундар деп кандай толкундарды айтабыз? Мындай толкун кандай максатта тандалып алынды?
2. Толкундун жыштыгы, амплитудасы үчүн кайсыл жыштык, амплитуда алынат? Эмне үчүн?
3. Толкун узундугу деп кайсыл чоңдук айтылат? Кандай негизде ал толкунду мүнөздөөчү чоңдук катарында алынат? Анын чоңдугу кандайча аныкталат?

69-§. Толкундун энергиясы. Толкундун энергиясынын жыштыгы

Толкундун булагы болуп, өзү термелүү менен серпилгичтүү чөйрөнүн тиешелүү чекиттерин термелүүгө келтирүүчү тело эсептелет. Мисалы, суунун бетине жетип тургандай абалда пружинага илинген шарик (9.69.1-сүрөт).

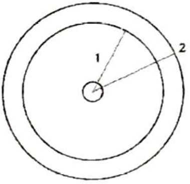
Мейли ушул шарик термелип жаткан болсун. Анда ал пружинанын серпилүү күчү менен шартталган потенциалдык энергияга жана өзүнүн кыймылы менен шартталган кинетикалык энергияга ээ болот. Тактап айтканда, шарик белгилүү чоңдуктагы механикалык энергияга ээ болот.



9.69.1-сүрөт

Ал ушундай энергиясынын эсебинен чөйрөнүн өзүнө тийишип турган чекиттерин термелүүгө келтирет. Бул термелүүлөр чөйрөнүн улам кийинки чекиттерине берилип, ошол серпилгичтүү чөйрө боюнча таралат, толкун пайда болот. Серпилгичтүү чөйрөнүн термелип жаткан бөлүктөрү да потенциалдык жана кинетикалык энергияларга ээ болушат. Термелүүнүн таралышы менен бирге, башкача айтканда толкун менен бирге энергия да серпилгичтүү чөйрө боюнча таралат, аралыкка берилет. Энергиянын мындайча берилишин, башкача айтканда анын толкун менен берилишин физикада нурлануу деп атайт. Мисалы, жогорудагы шариктин термелүүсүнүн энергиясы көлдөгү суунун бетинде пайда болгон толкун менен берилип көлдүн жээгиндеги камыштарды кыймылга келтирет, башкача айтканда аларга кинетикалык энергия берет, демек жумуш аткарат.

Серпилгичтүү чөйрөнүн толкун таралып жеткен бөлүктөрүнүн бардыгы белгилүү сандагы энергияга ээ болушат. Мисалы, коңгуроодон чыккан үн абада, бардык тарапка таралат. Абанын үн жеткен бөлүктөрүнүн бардыгы белгилүү сандагы энергияга ээ болот. Мисалы, абанын 1- жана 2-сфералык беттердеги бөлүктөрү белгилүү чоңдуктагы энергияга ээ болушат (9.69.2-сүрөт). Бирок, 1-сфералык беттин бирдик аянтына, 2-сфералык беттин бирдик аянтына караганда көбүрөөк энергия туура келет.



9.69.2-сүрөт

Ушул фактыны мүнөздөө үчүн физикага толкундун энергиясынын тыгыздыгы деген түшүнүк киргизилген.

Толкундун энергиясынын тыгыздыгы-бул толкундун көлөм бирдигине туура келген энергиясынын саны. Демек, жогоруда айтылган 1-сфералык беттеги үн толкунунун энергиясынын тыгыздыгы, 2-сфералык беттеги үн толкунунун энергиясынын тыгыздыгына караганда чоң болот.

Серпилгичтүү чөйрөнүн берилген бөлүгүндөгү толкундун энергиясынын тыгыздыгы толкундун амплитудасынын квадратына, жыштыгынын квадратына жана чөйрөнүн тыгыздыгына түз пропорциялаш болору далилденген. Бул көз карандылыкты төмөнкү формуланын туюнтары далилденип чыгарылган:

$$\bar{e} = \frac{1}{2}\rho\alpha^2\omega^2 \qquad (9.69.1)$$

Мында ρ - толкун таралган серпилгичтүү чөйрөнүн тыгыздыгы, α жана ω - толкундун, же толкун жетип термелтип жаткан чөйрөнүн бөлүктөрүнүн термелүүсүнүн амплитудасы жана айланма жыштыгы, $\bar{e}$ - толкундун серпилгичтүү чөйрөнүн берилген бөлүгүндөгү энергиясынын тыгыздыгы.

Толкундун энергиясынын, тактап айтканда, толкундун энергиясынын тыгыздыгынын толкундун амплитудасынан көз каранды болорун, бир мисалды талдоонун жүрүшүндө көргөзөлү.

Күн ачык, шамал жок мезгилде океанда кеме түз сызыктуу бир калыптагы кыймыл менен баратсын. Анын ичиндеги жашоо кадимки жер бетиндегидей эле болору белгилүү, анткени бул кеме менен байланышкан эсептөө системасы да, жер бетиндеги телолор менен байланышкан эсептөө системалары сыяктуу эле инерциялык болуп саналат.

Анан эле шамал жүрүп, ал улам күчөй берсин. Бул учурда шамал суунун бетин шилеп, өзүнүн алдындагы сууну чогултат, суунун ошол бөлүгү көтөрүлөт. Суунун бул бөлүгү чексиз көтөрүлө бербейт. Шамалдын күчүнө жараша белгилүү бир бийиктикке көтөрүлгөндөн кийин кайра түшөт. Шамалдын таасиринен суунун бул бөлүгү кайра көтөрүлүп, кайра түшөт. Ушинтип, суунун бетинин, башкача айтканда серпилгичтүү чөйрөнүн, ушул бөлүгү белгилүү бир амплитуда менен термелүүгө келет. Бел термелүү суунун бети боюнча таралат, толкун пайда болот.

Эгерде шамал дагы катуулап, ал пайда кылган толкундун амплитудасы мурдагыга караганда, мисалы, 2 эсеге чоңойсо толкундун энергиясынын тыгыздыгы 4 эсеге, амплитудасы 4 эсеге чоңойсо, энергия тыгыздыгы 16 эсеге чоңоет. Натыйжада толкундун кемени катуу чайпалта тургандай, ал эмес аны аңтарып да жибере тургандай мүмкүнчүлүгү түзүлүп калат.

Ушул себептен улам сууда сүзүүчү кайыктагылар, кемедегилер шамалдан этият болушуп, жолго чыгар алдында аба ырайы жөнүндөгү маалыматтар менен таанышып, аларды талдашат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Пружинага илинген шарик термелип жатканда кандай энергияларга ээ болот? Жообунарды негиздегиле.
2. Эмне үчүн толкун энергияга ээ болот? Жообуңарды негиздегиле.
3. Нурлануу деп кайсыл кубулуш айтылат?
4. Толкундун энергиясынын тыгыздыгы деген эмне? 9.69.2-сүрөттү талдоо менен жооп бергиле.
5. Толкундун энергиясынын тыгыздыгы кайсыл чондуктардан, кандайча көз каранды?
6. Сүзүп бараткан кайыктарды, кемелерди катуу термелте алуучу, кээде аларды аңтарып жибере алчу күч кантип пайда болот?

70-§. Үн-механикалык толкун

Комузду колубузга алып, кылын чертип койсок андан үн чыгат. Көнүл коюп байкасак, бул учурда комуздун кылынын термелип жатканын көрөбүз. Демек, комуздун кылын чертип коюу менен, биз аны термелүүгө келтирдик. Бул термелүү аба боюнча, башкача айтканда серпилгичтүү чөйрө боюнча таралып, биздин кулагыбызга жетти да, үн болуп угулду. Механикалык термелүүлөрдүн серпилгичтүү чөйрө боюнча таралышын механикалык толкун деп алганбыз. Демек, үн дагы механикалык толкун болуп саналат.

Суроо туулат: комуздун кылынын термелүүсүнөн пайда болгон толкунду үн катарында угуп жатабыз. Ал эми, мисалы, математикалык маятниктин термелүүсүнөн үн угулбайт. Эмне үчүн? Математикалык маятниктин термелүүсү абада таралып, толкунду пайда кылбайбы?

Тажрыйбалар жана байкоолор кишинин кулагы 17Гц тен чоң, 20000 Гц тен кичине болгон жыштыктагы механикалык толкундарды гана үн катарында кабыл аларын көрсөтөт. Математикалык маятниктин термелүүсүнөн пайда болгон толкундун жыштыгы 17Гц тен өтө эле кичине. Ошондуктан ал үн катарында угулбайт.

Демек, үн деп жыштыгы 17 Гц тен чоң, 20000 Гц тен кичине болгон механикалык толкундар айтылат.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Үндүн механикалык толкун болорун негиздеп түшүндүргүлө.
2. Үн деп кандай механикалык толкундар айтылат? Эмне үчүн?

71-§. Үндүн ылдамдыгы, катуулугу, бийиктиги

Үн толкундары бардык башка толкундар сыяктуу эле берилген чөйрөдө, берилген шартта белгилүү бир ылдамдык менен таралат. Абадагы 0^0C температура кезиндеги үндүн таралуу ылдамдыгы $331 м/с$. Газ абалындагы чөйрөнүн молекулаларынын массасы канчалык кичине болсо, андагы үндүн таралуу ылдамдыгы ошончолук чоң жана тескерисинче болот. Мисалы, 0^0C де суутектеги үндүн ылдамдыгы $1270 м/с$, ал эми көмүр кычкыл газындагы анын ылдамдыгы $258 м/с$ барабар.

Температурасы 8^0C болгон суудагы үндүн ылдамдыгынын $1435 м/с$ болору тажрыйбада аныкталган.

Катуу телолордо үндүн ылдамдыгы суюктуктардагыга караганда да чоң. Мисалы, температурасы 15^0C келген болоттогу үндүн таралуу ылдамдыгы $4980 м/с$. Катуу телолордо үндүн ылдамдыгы абадагыга салыштырганда чоң болорун төмөнкүчө байкоого болот. Силердин жолдошуңар темир жолдо кыйла алыс аралыкта туруп, рельсти балка менен урсун. Силер кулагыңарды ошол рельске тийгизип тургузгула. Балканын үнүн уккандан кийин жогору болгула. Ушундан соң балканын үнүн дагы бир жолу угасыңар. Үн силердин кулагыңарга адегенде рельс боюнча, андан кийин аба менен келип жетти.

Демек, үндүн ылдамдыгы газ абалындагы чөйрөдөгүгө караганда катуу телолордо чоң болот. Бул факт тыгыздыгы чоң болгон чөйрөлөрдө үндүн ылдамдыгынын чоң болорун көрсөтөт. (Эмне себептен ушундай болорун элестеп түшүндүргүлө).

Мейли, күүгө келтирилген комуздун үстүңкү бир кылынын кыска убакыт ичиндеги термелүүсүн байкоого алалы. Анда бул термелүүнүн гармоникалык термелүүгө жакын болорун көрүүгө болот. Ушундай гармоникалык термелүүгө келген кыл, же башка тело чыгарган үндү физикада музыкалык тон, же жөн эле тон деп атайт.

Эми жогорудагы кылды туруктуу тең салмактуулук абалынын чоңураак аралыкка четтегендей тартып туруп кое беребиз. Бул учурда комуздун кылы чоңурак амплитуда менен термелүүгө келет. Биз андан чыккан үндүн катуураак угулганын байкайбыз. үндүн ушул белгисин физикада үндүн катуулугу деп атайт. Демек, үндүн катуулугу үн булагынын термелүүсүнүн, башкача айтканда үн толкунунун амплитудасы менен байланыштуу. Термелүү амплитудасы, башкача айтканда үн толкунунун амплитудасы чоң болсо, үндүн катуулугу да чоң болот.

Мейли, ошол эле күүгө келтирилген комуздун чыңыраак тартылган ортоңку кылын, туруктуу тең салмактуулук абалынан мурдагычалык эле четтегендей тартып кое берели. Анда үндүн мурдагыга караганда башкачараак, бийигирээк угулганын байкайбыз. Үндүн ушул белгисин физикада үндүн бийиктиги деп атайт.

Мурдагыга караганда чыңырак тартылган бул кылдын термелүү жыштыгынын чоңурак болорун оңой эле байкоого болот. Демек, үндүн бийиктиги үн булагынын термелүү жыштыгы менен, башкача айтканда үн толкунунун жыштыгы менен байланыштуу. Үн булагынын термелүү жыштыгы, башкача айтканда үн толкунунун жыштыгы чоң болсо, үндүн бийиктиги да чоң болот.

Мурда белгилегендей (69-§), толкундун энергиясы анын амплитудасынын квадратына жана жыштыгынын квадратына пропорциялаш болот. Демек, үндүн катуулугу жана бийиктиги канчалык чоң болсо, анын энергиясы да ошончолук чоң болот.

Бул закон ченемдикти билбеген кишилер да аны турмушунда пайдаланышат. Мисалы, киши үнүн алыска жеткирүү үчүн катуу кыйкырат. Өзү таратып жаткан үн толкунунун амплитудасы чоңоет. Үнүн дагы алысыракка жеткирүү үчүн мурдагыдай эле катуулукта ышкырат. (Өзү таратып жаткан үн толкунунун жыштыгын чоңойтот).

Бирдей эле аралыкта кишинин кыйкырыгына караганда ышкырыгы жакшырак угулат.

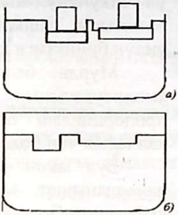
Суроолор жана тапшырмалар.

1. Үндүн абадагы, суутектеги, көмүр кычкыл газындагы таралуу ылдамдыктарын салыштырып талдагыла. Орун алуу себебин, алардын молекулаларынын инерттүүлүктөрүн эске алуу менен түшүндүргүлө.
2. Үндүн суюктуктардагы, катуу телолордогу, абадагы ылдамдыктарын салыштырып талдагыла. Кайсы чөйрөдө үндүн таралуу ылдамдыгы чоң болот? Эмне үчүн?
3. (9.69.1) формулага ылайык, толкундун энергиясынын тыгыздыгы ал таралып жаткан чөйрөнүн тыгыздыгынан да көз каранды болот. Эмне үчүн? Бул суроого үндүн суюктуктардагы, катуу телолордогу, газдардагы таралуу ылдамдыктарынын бирдей эмес экенин эске алуу менен жооп бергиле.
4. Эмне үчүн комуздун кылынын кыска убакыт ичиндеги термелүүсүн гана гармоникалык термелүү деп алса болот? Музыкалык тон, же жөн эле тон деген эмне?
5. Үндүн катуулугу толкундарга, термелүүлөргө мүнөздүү болгон кайсыл чондук менен байланыштуу болот? Үндүн бийиктигичи? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
6. Үн толкунун энергиясынын жыштыгы кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.

X Бап. БАСЫМ. ГИДРО-АЭРОСТАТИКАНЫН ЭЛЕМЕНТТЕРИ

72-§. Басым

Төмөндөгүдөй тажрыйбаны көз алдыбызга келтирели: ящике кум толтурулган болсун. Анын бети тептегиз, жылмаланып коюлсун. Ушул жылмаланган бетке аянттары S жана $2S$, массалары эсепке алынбай тургандай кичине болгон эки тактайча жайгаштырылсын. Бул тактайчалардын үстүнө массалары, мисалы, $m = 2кг$ болгон тараза таштарын коелу. Анда төмөнкү кубулуш байкалат: Эки тактайча тең кумдун бетин басып, ага кирип барып токтойт (10.72.1а-сүрөт). Аянты S болгон тактайча беркисине караганда көбүрөөк кирет. Демек, ал кумудун бетин күчтүүрөөк басат.



10.72.1-сүрөт

Ушул кубулушка физикалык талкуу берели. Массалары $m = 2кг$ болгон ар бир тараза ташына $P = mg = 2 \cdot 9{,}8H \approx 20H$ оордук күчү аракет этет. Ушул күч менен тараза таштары тактайчалар аркылуу кумдун бетине аракет этишет, аны басышат. Натыйжада кумдун бети ныкталып, чункурча пайда болот (10.72.1б-сүрөт). Күчтүн бет боюнча жасаган мындай аракетин физикада басым деп атайт. Чункурчанын тереңдиги боюнча басымга баа берүүгө болот.

Жогорудагы тажрыйба көрсөткөндөй, чоңдуктары бирдей болгон күчтөр аянттары түрдүүчө болгон беттер боюнча аракет этишсе, түрдүүчө басым жасашат. Басым аянт кичине болгондо чоң, аянт чоң болгондо кичине болот. Бул факт басымдын аянттан тескери көз карандылыкта болорун көрсөтөт.

Аянттары бирдей болгон тактайчаларга чоңдуктары чоң жана кичине болгон күчтөр аракет этишсин. Анда чоң күчтүн басымынын чоң болорун тажрыйба көрсөтөт. Бул факт басымдын күчтөн түз көз карандылыкта болорун көрсөтөт.

Жогоруда бөлүп көрсөтүлгөн эки фактынын негизинде төмөндөгүдөй тыянак келип чыгат: Басым күч менен түз, аянт менен тескери көз карандылыкта болот. Башка сөз менен айтканда, басым күчкө түз, аянтка тескери пропорциялаш болот. Бул тыянакты формула түрүндө төмөндөгүчө жазуу мүмкүн:

$$p = \frac{F}{S} \qquad (10.72.1)$$

Мында, S – беттин аянты; F – ошол бет боюнча аракет эткен күч; p – ушул күчтүн басымы.

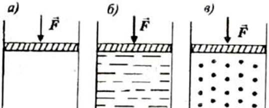
Эми басымдын бирдигин келтирип чыгаралы. Ал үчүн төмөндөгүдөй талдоо жүргүзөбүз: аянты $1 м^2$ болгон бет боюнча $1 H$ күч аракет этсин. Анда басым $p = 1\frac{H}{м^2}$ болот. Ушул басым, башкача айтканда $1 м^2$ аянт боюнча $1 H$ күчтүн көрсөткөн басымы, басымдын бирдиги үчүн кабыл алынат. Аны «ньютон метр квадратка» деп аташат. Эгерде, мисалы, басым $5\frac{H}{м^2}, 10\frac{H}{м^2}, 20\frac{H}{м^2}$ деп берилсе биз аянты $1 м^2$ болгон бет боюнча $5H, 10H, 20H$ күчтөр аракет эткендей басым жасалган экен деп айтабыз.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Ящиктеги, бети таптегиз жылмаланган кум, тактайчалар жана тараза таштары менен кандай тажрыйба жүргүзүлдү? Анын негизинде кайсыл кубулуштун орун алышы белгилүү болду?
2. Бул кубулушка физикалык талкуу берүүнүн натыйжасында кайсыл түшүнүк киргизилди? Аны мазмундук жактан талдагыла.
3. Басымдын аянттан жана күчтүн чоңдугунан кандайча көз каранды болору жөнүндөгү фактыларды негиздеп айткыла.
4. Бул фактылардын негизинде кандай тыянак чыгарылат? Басымды туюнткан формуланы негиздеп жазгыла.
5. Басымдын бирдиги үчүн кандай басым кабыл алынат? Ага түшүндүрмө бергиле .

73-§. Басымдын берилиши

Поршень менен жабылган биринчи цилиндрге кум экинчисине суу (суюктук), үчүнчүсүнө аба (газ) толтурулган болсун (10.73.1-сүрөт). Поршенге $\vec{F}_{күчү}$ аракет этип, ушул цилиндрлердеги кумга, сууга (суюктукка), абага (газга) басым жасалсын. Анда төмөнкү кубулуштар орун алат: 1. Газга көрсөтүлөгн басым анын бардык чекиттерине берилет. Анын себеби мындай: газдын молекулалары эркин которула алышат. Ошондуктан поршень тарабынан аны менен беттешип турган газдын бөлүгүнө басым көрсөтүлгөндө ал басым газдын башка бөлүктөрүнө да



10.73.1-сүрөт

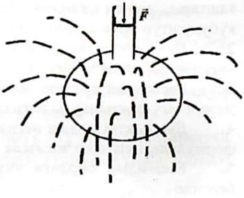
берилет. 2. Суюктукка көрсөтүлгөн басым дагы анын бардык чекиттерине берилет. Себеби анын молекулалары да эркин которула алышат. 3. Кумга көрсөтүлөгн басым анын поршень менен беттешип турган бөлүгүнө гана берилип, калган бөлүктөрүнө берилбейт. Анткени кумдун майда бөлүкчөлөрү эркин которула алышпыйт.

Суроолор жана тапшырмалар.

1. Газга көрсөтүлгөн басым анын калган чекиттерин берилеби? Себебин түшүндүргүлө.
2. Суюктукка көрсөтүлгөн басым анын калган чекиттерине берилеби? Себебин түшүндүргүлө.
3. Кумга көрсөтүлгөн басым анын калган чекиттерине берилеби? Себебин түшүндүргүлө.

74-§. Паскалдын закону

Суюктуктарда жана газдарда басымдын берилишин өзүнчө бөлүп карайбыз. Бул максатта ар түрдүү чекттеринде кичинекей тешикчелери бар шар бекитилген прибор менен тажрыйба жүргүзөбүз (10.74.1-сүрөт). Бул приборду Паскалдын шары деп атайт. Бул приборго суу толтуруп, поршень менен жаап коебуз. Поршенге F күчү менен аракет этебиз. Бул күч поршендин бети боюнча сууга аракет этип, басым жасайт. Анын натыйжасында шардын бардык тешикчелеринен суунун бирдей чачырап чыкканын көрөбүз. Бул факт суунун, суюктуктун поршень менен беттишип турган бөлүгүнө көрсөтүлгөн басымдын анын бардык чекиттерине бирдей берилгенин көрсөтөт.

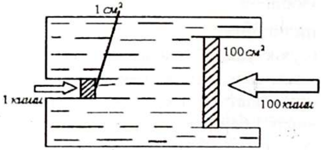


10.74.1-сүрөт

Ушундай тажрыйбаны түтүн, башкача айтканад газ менен жүргүзсө да жогорудагы факт орун алат.

Демек, суюктукка жана газга көрсөтүлгөн басым анын бардык чекттерине өзгөрүүсүз берилет. Бул тыянак - Паскалдын закону.

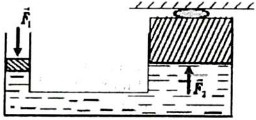
Паскаль суюктуктардагы басымдын, күчтүн берилишин көрсөтүү үчүн башка да приборду сунуш кылган. (10.74.2)-сүрөттө көрсөтүлгөндөй бул прибордо биринин аянты экинчисине караганда



10.74.2-сүрөт

100 эсе чоң болгон эки поршень бар. Паскаль эсептеп чыгарган: эгерде кичине поршенди бир киши түртүп басым жасаса, чоң поршенди кармап туру үчүн 100 кишинин түртүп турушу керек болот. Жыйынтыгында Паскаль азыр Паскалдын закону деп аталган жобону киргизген: эгерде туюк идишке толтурулган суюктуктун же газдын бир бөлүгүнө басым көрсөтүлсө, ал басым идиштин бардык беттерине бирдей жана өзгөрүүсүз берилет.

Гидравликалык приборлордун, гидравликалык техникалык түзүлүштөрдүн иштөөсү ушул закондорго негизделген. Аны гидравликалык пресстин мисалында көрсөтөбүз.



10.74.3-сурот

Гидравликалык пресстин түзүлүшү жана иштөөсү схемалык түрдө (10.74.3)-сүрөттө көрсөтүлгөн. Ал кесилиш аянттары $S_2 > S_1$ болгон, суюктук толтурулган эки катыш цилиндрден турат. Алар поршендер менен жабылган. Кесилиш аянты кичине болгон цилиндрдин поршенине F_1 күчү аракет этип, цилиндрдеги суюктукка P басымын жасасын. Анда Паскалдын законуна ылайык бул басым кесилиш аянты чоң болгон цилиндрдин поршени менен беттешип турган суюктуктун бөлүгүнө өзгөрүүсүз берилет. Анын натыйжасында поршенге $\vec{F}_2$ күчү аракет этет.

Ушул күчтөрдүн байланышын туюнткан формуланы келтирип чыгарабыз.

F_1 күчү тарабынан көрсөтүлгөн басым $p = \frac{F_1}{S_1}$ болот. Ал эми кесилиш аянты S_2 болгон цилиндрдин поршени менен беттешип турган суюктуктун бөлүгүнө берилген басым $p = \frac{F_2}{S_2}$ болот. Мындан $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ болору келип чыгат.

Бул барабардыктан F_2 ни табабыз:

$$F_2 = \frac{S_2}{S_1} F_1 \tag{10.74.1}$$

Демек, эгерде $S_2 = 100S_1$ болсо, башкача айтканда, экинчи цилиндрдин кесилиш аянты биринчисиникине караганда 100 эсе чоң болсо, $F_2 = 100F_1$ болот. Башкача айтканда, бул учурда экинчи цилиндрдин кесилишине аракет эткен күч баштапкы F_1 күчүнө караганда 100 эсе чоң болот, күчтөн утук алынат. Поршендин үстүнө коюлган тело ушунчалык күч менен кысылат (10.74.3-сүрт).

Гидравликалык пресс мына ушундайча иштейт. Ал, мисалы, китепти мукабалап чыгарууда пайдаланылат.

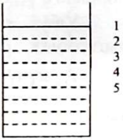
Суроолор жана тапшырмалар.

1. Паскалдын шары менен жүргүзүлгөн тажрыйбаларды көз алдыңарга келтиргиле. Алардан кандай тыянак чыгарылганын эстегиле.
2. Паскаль дагы кандай тажрыйба жүргүзгөн? Кандай тыянакка келген?
3. Паскалдын законун айткыла, аны негиздеп түшүндүргүлө.
4. Гидравликалык пресстин иштөө принцибин түшүндүргүлө. Күчтөн кандайча утуш алынарын негиздеп тактагыла.
5. Гидравликалык домкраттын түзүлүшүн жана иштөөсүн схемалык түрдө, өз алдыңарча көрсөткүлө.
6. Гидравликалык тормоздоонун түзүлүшүн жана иштөөсүн схемалык түрдө, өз алдыңарча көрсөткүлө.

75-§. Тынч турган суюктуктагы басым

Тынч турган суюктуктагы басымды изилдейбиз. Бул максатта цилиндр формасындагы идишке куюлган сууну алабыз. Аны ой жүзүндө, үстүнкү бетинен баштап, горизонталдык катмарларга бөлөбүз (10.75.1-сүрөт).

Бул сууга оордук күчү аракет этет. Анын натыйжасында ар бир үстүнкү катмар өзүнө туташ турган төмөнкү катмарга бет боюнча (беттер пунктир сызыктар менен көрсөтүлдү) төмөн көздөй аракет этет, басым көрсөтөт. Тактап айтканда, мисалы, 1-катмар 2-катмарга, экинчиси үчүнчүсүнө д.у.с. басымдар көрсөтүлөт. Ушинтип суюктуктун ичинде басым түзүлөт.

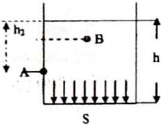


10.75.1-сүрөт

Суроо туулат: ушул басымдар бирдей болушабы, суюктуктун ичиндеги бардык чекиттерге басымдар бирдей берилеби?

Бул суроого жооп берүү үчүн, мисалы, 4-катмарга көрсөтүлүүчү басымдын механизмин талдап көрөлү.

Ооба, бул катмарга 3-катмардагы суу бет боюнча аракет этип, басым көрсөтөт. Бул үчүнчү катмардагы сууну болсо анын үстүндөгү биринчи жана экинчи катмардагы суулар басып турат. Ошондуктан, 4-катмардагы сууга анын үстүндөгү 3, 2, 1 – катмарлардагы суулардын оордук күчтөрү аракет этип, басым жасашат. Натыйжада, ушул 4-катмардагы сууга, анын үстүндөгү 3-, 2 – катмарлардагы сууга караганда чоң басым көрсөтүлөт.



10.75.2-сүрөт

Паскалдын законуна ылайык бул басым төмөнду көздөгөн багытта эле эмес, бардык багыттар боюнча, суунун бардык чекиттерине берилет. Ошондой эле басым идиштин капталдарынын бардык участокторуна, идиштин түбүнө көрсөтүлөт.

Биз эми ушул идиштин түбүнө көрсөтүлгөн басымды туюнткан формуланы келтирип чыгарабыз. Бул максатта түбүнүн аянты S болгон цилиндр формасындагы идишти алабыз. Ага массасы m болгон сууну куябыз. Анда суу белгилүү бир h бийиктигине чейин көтөрүлүп барат (10.75.2-сүрөт). Идиштин түбүнө басым жасайт. Биз, мына ушул басымды туюнткан формуланы келтирип чыгарабыз.

Бул идишке куюлган массасы m болгон сууга

$$P = mg \qquad (10.75.1)$$

оордук күчү аракет этет. Суу өз кезегинде ушул оордук күчү менен идиштин түбүнө, аянты S болгон бетке аракет этип, басым көрсөтөт.

Бул басым

$$p = \frac{mg}{S} \qquad (10.75.2)$$

болот.

Суунун тыгыздыгын ρ деп белгилейли. Анда анын массасын төмөнкүчө туюнтууга болот:

$$m = \rho \cdot V \qquad (10.75.3)$$

Мында V – суунун көлөмү. Ал идиштин суу бар көлөмүнө барабар болот. Шарт боюнча идиштин түбүнүн аянты S, суу h бийиктигине чейин көтөрүлдү. Демек, идиштеги суунун көлөмү

$$V = hS \qquad (10.75.4)$$

болот.

(10.75.4) тү (10.75.3) кө коюп

$$m = \rho \cdot hS \qquad (10.75.5)$$

болорун табабыз.

Суунун массасын туюнткан бул формуланы (10.75.2) ге коюп, төмөнкүнү алабыз

$$p = \rho gh \qquad (10.75.6)$$

Мында, ρ - суунун тыгыздыгы, h – суу мамычасынын бийиктиги, g – эркин түшүүнүн ылдамдануусу, p – ушул суу тарабынан идиштин түбүнө көрсөтүлгөн басым.

Бул формула, бул көз карандылык сууга эле эмес ар кандай башка суюктуктарга да мүнөздүү болот. Ар бир суюктук үчүн өзүнүн тыгыздыгы алынат, мамычасынын бийиктиги ченелет. Басым (10.75.6) боюнча аныкталат.

Демек, суюктуктун идиштин түбүнө көрсөткөн басымы ошол суюктуктун тыгыздыгынын, анын идиштеги мамычасынын бийиктигинин жана эркин түшүүнүн ылдамдануусунун көбөйтүндүсүнө барабар болот.

Эми мындай бир суроо туулат: идиштин капталындагы чекиттерге (мисалы, А чекитине) жана суюктуктун ичиндеги чекиттерге (миаслы, В чекитине) көрсөтүлгөн басымдарды кантип аныктоого болот?

Бул басымдар да (10.75.6) формуланын негизинде табылат. Суюктуктун мамычасынын бийиктиги үчүн тиешелүү түрдө h_1 жана h_2 бийиктиктери алынат.

Ушинтип, биз төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келдик: суюктуктун ичинде, анын ар бир катмарында, чекитинде ошолордун үстүнкү бөлүгүндөгү суюктуктун оордук күчү менен шартталган басым бар. Бул басым ошол үстүнкү суюктук мамычасынын бийиктигине көз каранды болот. Бул бийиктик чоң болсо, басым да чоң болот. Эң чоң басым ошол суюктук куюлган идиштин түбүнө, андагы чекиттерге көрсөтүлөт.

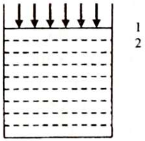
Суроолор жана тапшырмалар.

1. Суюктуктун ичинде басымдын кандайча түзүлөрүн негиздеп түшүндүргүлө.
2. Суюктуктун ичинде түзүлгөн басым бардык тараптар боюнча көрсөтүлөбү? Жообуңарды негиздегиле.
3. Суюктук тарабынан идиштин түбүнө көрсөтүлгөн басымды туюнткан формуланы келтирип чыгаргыла. Бул формуланын негизинде мындай суроого жооп бергиле: ушул басым кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?
4. Бул басым идиштин капкагындагы чекиттерге, суюктуктун ичиндеги чекиттерге да берилеби? Жообуңарды негиздеп түшүндүргүлө.
5. Суюктуктун каалагандай чекитиндеги басымды аныктоого мүмкүндүк берүүчү формуланы негиздеп жазгыла.

76-§. Атмосфералык басым. Барометр

Биз эми идишке куюлган суюктуктун үстүнкү, ачык бетине көрсөтүлүүчү басым жөнүндө сөз кылабыз.

Аны цилиндр формасындагы идишке куюлган сымаптын мисалында карайбыз. Бул сымапты мурдагыдай эле жогортон төмөн көздөй 1, 2, 3, ...д.у.с. катмарларга бөлөбүз (10.76.1-сүрөт).



10.76.1-сүрөт

Цилиндрдеги сымаптын үстүндө аба бар. Ал Жер бетинен бир нече жүз километр бийиктикке чейин таралып кеткен.

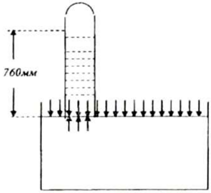
Бул абага да Жердин тартуу күчү, оордук күчү аракет этет. Ушул, күч идиштеги сымаптын бети боюнча аракет этип, басым жасайт. Бул басымды физикада атмосфералык басым деп атайт (10.76.1-сүрөт).

Ушул атмосфералык басымды аныктайбыз. Ал үчүн бир учу туюк, узундугу *1 м* дей келген айнек түтүгүнө толтура сымап куябыз. Аны тыгын менен жаап коебуз. Ушундан кийин түтүктү, анын тыгын менен жабылган учу төмөндү карап тургандай кылып аңтара кармайбыз. Ушул абалында аны идиштеги сымапка азырак матырабыз да, тыгынды алып, түтүктүн оозун ачып жиберебиз. Анда төмөнкү кубулуш байкалат: түтүктөгү сымап ага баштайт, анын мамычасынын бийиктиги азайып барат. Бул мамыча белгилүү бир абалга келгенде түтүктөгү сымаптын агымы токтойт жана ушундан тартып сымап тынч абалын сактайт. Демек, бул абалда төмөнкү факт орун алат: түтүктүн ачык учуна туш келген сымаптын туура кесилиш аянтына эки тараптан басым көрсөтүлөт.: 1) түтүктөгү сымап тарабынан төмөн көздөй; 2) идиштеги сымап тарабынан жогору көздөй. Бул басымдар барабар болушат. Ошондуктан түтүктөгү сымап тең салмактуу абалын сактап, агып кетпей токтоп турат.

Ушул басымдарга мүнөздөмө берели.

Төмөн көздөй аракет эткен басым белгилүү бийиктиктеги сымап мамычасы тарабынан көрсөтүлгөн басым болуп саналат. Тажрыйбалар, нормалдуу шартта, бул сымап мамычасынын бийиктигинин *760 мм* ге болорун көрсөтөт.

Идиштеги сымап тарабынан жогору көздөй көрсөтүлгөн басым атмосфералык басым болуп саналат. Иш жүзүндө атмосфералык басым идиштеги сымаптын үстүнкү бетине көрсөтүлөт. Паскалдын законуна ылайык, бул басым түтүктүн сымапка матырылган учундагы сымапка жогору көздөгөн багытта өзгөрүүсүз берилет (10.76.2-сүрөт).



10.76.2-сүрөт

Ушул келтирилген эки фактынын негизинде төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келебиз: нормалдуу шарттагы атомсфералык басым, бийиктиги *760 мм* келген сымап мамычасы көрсөткөн басымга барабар болот.

Физикада атомсфералык басымды ченөөдө мына ушул тыянак пайдаланылат. Анын негизинде түзүлгөн куралды барометр деп атайт.

Демек, атомсфералык басымды барометр менен өлчөйт. Нормалдуу шартта ал 760 мм. сымап мамычасына барабар.

Дениз денгээлинен жогору жайгашкан орундардагы атомсоफералык басым аз болот. Барометрдин көрсөтүүсү 760 мм.

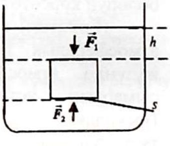
сымап мамычасынан төмөн болот. Бир орундагы атомосфералык басым сутка ичинде өзгөрүшү да мүмкүн. Аны да барометр көрсөтөт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Идишке куюлган суюктуктун үстүнкү, ачык бетине кандай басым көрсөтүлөт? Жообуңарды негиздеп, түшүндүргүлө.
2. Атмосфералык басым деп кайсыл басым айтылат? Ал суюктуктун үстүнкү, ачык бетине эле көрсөтүлөбү, же жер бетиндеги ар кандай телолордун бетине да көрсөтүлөбү?
3. Атмосфералык басымды аныктоо үчүн кандай тажрыйба жүргүзүшкөн? 10.76.2 сүрөттүн негизинде бул тажрыйбанын жүрүшүн айтып бергиле.
4. Бул тажрыйбалардын негизинде кандай жыйынтык алынган? Аны түшүндүргүлө.
5. Кошумча адабияттардан пайдаланып, атомосфералык басымдын кишинин жашоо-турмушундагы айрым кубулуштарга тийгизген таасирлери жөнүндө окуп-үйрөнгүлө.

77-§. Архимед закону

Бийиктиги H, негизинин аянты S болгон тик бурчтук формасындагы жабык буюму берилсин. Аны суюктукка h тереңдигине чейин матыралы (10.77.1-сүрөт). Суюктуктун тыгыздыгы ρ болсун. Бул суроого жооп берели: ушул буюмга суюктук тарабынан кандайча басымдар көрсөтүлөт? Бизге белгилүү: тынч турган суюктуктун түрдүү чекиттериндеги басымдар ошол чекиттердин үстүндөгү суюктук мамычасынын бийиктигине көз каранды болот. Берилген чекиттеги басым бардык тараптарга бирдей көрсөтүлөт. Бирдей тереңдикте турган чекиттердеги басымдар бирдей болот.



10.77.1-сүрөт

Ушул закончөнемдиктин негизинде жогорудагы суроого жооп беребиз.

Буюмдун каптал беттерине көрсөтүлгөн басымдар бирдей болот. Мисалы, анын сол тарабынан оң тарапты көздөй көрсөтүлгөн басым менен оң тарабынан сол тарапты көздөй көрсөтүлгөн басым бирдей болот. Ал эми буюмдун түпкү бетинен жогору көздөй көрсөтүлгөн басым p_2 анын үстүнкү бетинен төмөн көздөй көрсөтүлгөн басымга, p_1ге караганда чоң болот. Бул факт суюктук тарабынан буюмдун түбүнөн жогору көздөй аракет эткен F_2 күчү, анын үстүнкү бетинен төмөн көздөй аракет эткен F_1 күчүнө караганда чоң болорун көрсөтөт.

Ушул күчтөрдү жана алардын айырмасын туюнткан формулаларды негиздеп жазабыз

$$F_2 = p_2 \cdot S = \rho g(h + H) \cdot S$$

$$F_1 = p_1 \cdot S = \rho gh \cdot S$$

$$F_2 - F_1 = \rho gHS = \rho gV \qquad (10.77.1)$$

Мында $V = HS$ - буюмдун көлөмү, ρ-суюктуктун тыгыздыгы. Ошондуктан ρV көбөйтүндүсү буюмдун көлөмүнө барабар болгон суюктуктун массасын туюнтат:

$$m_C = \rho V \qquad (10.77.2)$$

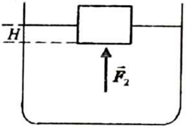
(10.77.2) ни (10.77.1) ге коюп төмөнкүн алабыз:

$$F_2 - F_1 = m_C g \qquad (10.77.3)$$

Мындагы $m_C g$ көбөйтүндүсү көлөмү буюмдун көлөмүнө барабар болгондой көлөмдөгү суюктукка аракет эткен оордук күчүн, же ошончолук көлөмдөгү суюктуктун салмагын туюнтат. Ал эми $F_2 - F_1$ айырмасы буюмду суюктуктан түртүп, көтөрүп чыгаруучу күч болуп саналат.

Демек, суюктукка толук матырылган буюмга, аны суюктуктан түртүп чыгаруучу күч аракет этет. Бул күч ошол буюмдун көлөмүнө барабар болгондой көлөмдөгү суюктуктун салмагына барабар болот.

Ушул жерде мындай бир суроо туулат: эгерде суюктукка буюмдун кайсыл бир бөлүгү гана матырылган болсо (10.77.2 –сүрөт) бул күч аракет этеби?. Ал күч эмнеге барабар болот?



10.77.2-сүрөт

Бул суроого жооп берүү үчүн (10.77.3) формуласын ушундай шарт үчүн жазабыз. Ал

$$F_{21} = m_C g \qquad (10.77.4)$$

түрүндө болот. Себеби, $F_1 = 0$, атмосфералык басым эсепке алынганы жок. Мындагы m_C - буюмдун суюктукка матырылган бөлүгүнүн көлөмүнө барабар болгон көлөмдөгү суюктуктун массасы.

Эгерде суюктук идишке мелт-калт жык куюлган болсо, ага буюм матырылса, төмөнкү факт орун алмак: буюм өзүнүн суюктугуна матырылган бөлүгүнүн көлөмүнчөлүк көлөмдөгү суюктукту сүрүп чыгармак. Идишке суюктук бөскө куюлса да ага матырылган тело өзүнүн матырылган бөлүгүнүн көлөмүнчөлүк көлөмдөгү суюктукту ордунан сүрүп чыгарат деп айтууга болот.

Жогорудагы фактыларды, закон-ченемдиктерди жалпылап, төмөнкүдөй манилүү тыянакка келебиз: суюктукка матырылган буюмга суюктук тарабынан аны түртүп чыгаруучу күч аракет этет. Бул күч ошол буюм сүрүп чыгарган суюктуктун салмагына барабар болот. Бул закончененмдикти физикада аны ачкан окумуштуунун урматынга Архимед закону деп атайт. Ал эми түртүп чыгаруучу күчтү архимеддик күч деп атоо кабыл алынган. Законду туюнткан формуланы жазабыз:

$$F_A = m_C g \qquad (10.77.5)$$

Мында F_A - архимеддик күч, m_C - буюм сүрүп чыгарган көлөмдөгү суюктуктун массасы, g - эркин түшүүнүн ылдамдануусу. Демек, архимеддик күч буюм сүрүп чыгарган суюктуктун салмагына барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Суюктукка матырылган буюмга суюктук тарабынан кандай басымдар көрсөтүлөрүн негиздеп түшүдүргүлө.
2. (10.77.1)формуласын келтирип чыгаргыла, маанисин түшүндүргүлө.
3. Суюктукка матырылган буюм сүрүп чыгарган суюктук деп суюктуктун кайсыл бөлүгү айтылат?
4. (10.77.5) формуласын негиздеп жазгыла.
5. Архимед законун (10.77.3, 10.77.4, 10.77.5) формулаларына таянуу менен айтып үйрөнгүлө.
6. Архимеддик күч деген кайсыл күч, ал эмнеге барабар?

II БӨЛҮМ
МОЛЕКУЛАЛЫК ФИЗИКА

XI Бап. МОЛЕКУЛАЛЫК-КИНЕТИКАЛЫК ТЕОРИЯНЫН НЕГИЗДЕРИ

78-§. Молекулалык - кинетикалык теориянын (МКТ нын) негизги жоболору

Заттын түзүлүшү жөнүндөгү молекулалык-кинетикалык теориянын (МКТнын) негизинде үч жобо жатат. Алар тиешелүү байкоолор, тажрыйбалар көрсөткөн фактылардын орун алыш себептерин түшүндүрүү, алардын механизмин ачып көрсөтүү процессинде такталып, илимге киргизилген. Аларды кеңири карайлы.

Катуу заттар жана суюктуктар бизге туташ болуп көрүнөт. Бирок алардын көлөмү ысыганда чоңоет. Муздаганда кичирейет.

Бул – байкоолордон, тажрыйбалардан алынган факт.

Физикада мындай фактылардын орун алышын белгилеп коюп эле тим болуп калбайт, алардын орун алыш себебин ачып көрсөтүүгө умтулат жана аны ишке ашырат. Бул максатта, барынан мурда гипотеза сунуш кылынат. (Гипотеза – бул илимий божомолдоо). Андан кийин бул гипотезанын тууралыгы башка тажрыйбалар аркылуу текшерилет.

Телолорду ысытканда же муздатканда алардын көлөмүнүн өзгөрүшүн түшүндүрүү үчүн мындай гипотезаны сунуш кылса болот: тело туташ болбостон, көзгө көрүнбөгөн майда бөлүкчөлөрдөн турса керек; бул бөлүкчөлөр биротоло тыгыз жайгашпастан, бири-биринен кандайдыр бир аралыкта турган болуштары керек; тело ысыганда бул бөлүкчөлөр бири-биринен алысташы, ал эми муздаганда жакындашы мүмкүн. Ушул себептен улам ысыганда телонун көлөмү чоңоюп, муздаганда кичирейет.

Бул гипотезанын тууралыгы тажрыйбаларда текшерилген. Демек, *телолор бири-биринен кандайдыр бир аралыкта болушкан бөлүкчөлөрдөн турат.*

Байкоолордон алынган экинчи факт: бөлмөнүн так ортосуна атыр төгүлсө, бир аз убакыттан кийин анын жыты бөлмөгө жайылат. Чай пияладагы чайга бир кашык канттын суудагы эритмесинен акырын куюп, аралаштырбай эле тим коелу. Ошондой болсо да, кичине убакыттан кийин канттын даамы чайдан билинет. Демек газдар (атырдын буусу менен аба), ошондой эле суюктуктар (чай менен канттын суудагы эритмеси) өз алдынча аралашып кетишет. Мындай кубулушту физикада *диффузия* кубулушу деп атайт. Диффузия катуу заттарда да жүрөрүн тажрыйбалар көрсөткөн.

Диффузия кубулушунун себеби эмнеде? Бул суроого жооп берүү үчүн гипотеза сунуш кылабыз: затты түзгөн бөлүкчөлөр баш аламан кыймылда болуштары керек. Ошондуктан алар аралашып кетишет да диффузия кубулушу орун алат. Мындан - *затты түзгөн бөлүкчөлөр тынымсыз баш аламан кыймылда болушат* деген тыянак келип чыгат.

Байкоолордон алынган үчүнчү факт: билектей болгон жыгач таякты сындырууга аракеттенип көргүлөчү! Сындыра албайсыңар. Аны эки учунан кысуу же созуу менен көлөмүн да өзгөртө албайсыңар.

Бул фактынын себебин мындайча түшүндүрүүгө болот: затты түзгөн бөлүкчөлөр өз ара тартышуу жана түртүшүү күчтөрү менен аракеттеништери керек. Бөлүкчөлөрдүн ортосунда тартышуу күчү аракет эткендиктен тело үзүлүп кетпейт, түртүшүү күчү болгондуктан телону кысканда, анын көлөмү кичирейе бербейт. Демек, телону түзгөн бөлүкчөлөр өз ара аракеттенишет.

Ушинтип, биз заттын майда бөлүкчөлөрдөн түзүлөрү жөнүндөгү тыянакка келдик. Затты түзгөн майда бөлүкчөлөрдү физикада *молекула* деп атайт. Молекула – бул затты түзгөн эң кичине бөлүкчө.

Жогорудагыларды жыйынтыктап, заттын түзүлүшү жөнүндөгү төмөнкү үч жобону бөлүп көрсөтүүгө болот: ар кандай зат молекулалардан турат; молекулалар тынымсыз, баш аламан кыймылда болушат; алар өз ара аракеттенишет. Бул жоболорду физикада молекулалык-кинетикалык теориянын (мындан ары МКТ деп белгилейбиз) негизги жоболору деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. МКТнын биринчи жобосу кандай фактылардын негизинде, кандайча ачылды? Бул жобо кандайча айтылат?
2. МКТнын экинчи жана үчүнчү жоболору кандай фактылардын негизинде ачылды? Бул жоболор кандайча айтылат?
3. Молекула деген эмне?
4. МКТнын негизги жоболорун жыйынтыктуу айткыла.

79-§. Молекулалардын өлчөмдөрү, массасы. Макроскопикалык телолордогу (макротелолордогу) молекулалардын саны

Заттын молекулалык түзүлүшүн эске алуу менен анын ар түрдүү касиеттерин түшүндүрүүгө болот. Бирок ал үчүн заттын молекуласынын өзүнө мүнөздүү болгон маалыматтарды билүү зарыл. Тактап айтканда, «Молекулалардын өлчөмдөрү, массасы кандай?», «Берилген заттагы молекулалардын саны канчалык болот?» деген суроого жооп берүү керек.

Бул суроолорго жооп берерден мурда макроскопикалык телого түшүнүк берели. Физикада көзгө көрүнгөн кадимки телолорду, мисалы, суунун тамчысын, ташты, темир же жыгач сызгычты, баллондогу газды д.у.с. макроскопикалык телолор деп атайт. Макроскопикалык телолорго мүнөздүү болгон чоңдуктарды макроскопикалык чоңдуктар деп атайт. Мисалы, баллондогу газдын массасы, көлөмү, басымы – макроскопикалык чоңдуктар болуп саналышат. Ал эми молекулаларга мүнөздүү болгон чоңдуктарды микроскопикалык чоңдуктар деп атайт. Мисалы, молекулалардын массасы, өлчөмү, ошондой эле алардын ылдамдыгы, берилген көлөмдөгү молекулалардын саны микроскопикалык чоңдуктар болушат.

Ар түрдүү тажрыйбалар жана эсептөөлөр заттын молекулаларынын массасынын жана өлчөмдөрүнүн өтө кичине экендигин көрсөтөт. Мисалы, суунун молекуласынын массасы $m_o=2,7\cdot10^{-23}$ г, анын диаметри $d_0=3\cdot10^{-8}$ см болору далилденген. Бул сандар өтө кичине болгондуктан, аларды элестетүү да кыйын. Аларды салыштыруу аркылуу гана элестетүүгө болот. Мисалы, түйүлгөн муштум жер шарынан канча эсе кичине болсо, молекула муштумдан ошончо эсе кичине болот.

Молекулалар өтө кичине болгондуктан ар кандай макротелодо алардын саны эбегейсиз көп болот. Мисалы, $1\ см^3$ көлөмдөгү сууда $3,7\cdot10^{22}$ молекула бар.

Затты түзгөн молекулалар өз кезегинде *атомдордон* турат. Мисалы, суунун H_2O молекуласы суутектин эки, кычкылтектин бир атомунан турат. Таза химиялык элементтин (мисалы, суутек, темир д.у.с.) бөлүкчөсү катарында атом, ал эми затты (мисалы, суу, көмүр кычкыл газы д.у.с.) түзгөн бөлүкчө катарында молекула алынат.

Макротелолордо молекулалардын дагы, атомдордун дагы саны эбегейсиз көп болот. Молекулалардын дагы, атомдордун дагы массалары, өлчөмдөрү өтө кичине. Ошондуктан кийинки параграфтарда киргизиле турган түшүнүктөр атомдор үчүн дагы, молекулалар үчүн дагы пайдаланыла берет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Макроскопикалык тело (макротело) деген эмне?
2. Макрочоңдуктар, микрочоңдуктар деп кандай чоңдуктарды айтабыз?
3. Молекулалардын өлчөмдөрүн, массасын, макротелодогу алардын санын билүүнүн кандай мааниси бар?
4. Суунун молекуласынын мисалында молекуланын диаметри, массасы, макротелодогу саны жөнүндө айтып бергиле.
5. Атом деген эмне? Кайсыл учурда сөз атом, кайсыл учурда молекула жөнүндө жүрөт? Эмне үчүн айрым түшүнүктөрдү атом үчүн да, молекула үчүн да пайдаланса болот?

80-§. Салыштырма атомдук (же молекулалык) масса

Атомдордун же молекулалардын массаларынын өтө кичине болору мурдагы параграфта айтылды. Мисалы суунун молекуласынын массасы $m_0=2,7\cdot10^{-23}$ г. Ушундай кичине чоңдуктардын абсолюттук маанилерин эсепке алуу менен тиешелүү салыштырууларды жана эсептөөлөрдү жүргүзүү ыңгайсыз. Ошондуктан физикада «салыштырмалуу атомдук (же молекулалык) масса» деген түшүнүк киргизилген.

Бул түшүнүктү берерден мурда төмөнкү мисалды талдап, көз алдыбызга келтирели: орточо чоңдуктагы бир алманы алып, аны барабар *12* бөлүккө бөлөлү. Анан ушулардын ичинен бирөөнү массанын бирдиги үчүн кабыл алалы да, ошол бирдик менен жогорудагы алманын массасын аныктайлы. Анда анын массасы *12* ге барабар деген жыйынтыкка келебиз. Мындай бирдик менен аныкталган алмалардын массасын салыштырма масса деп атоо максатка ылайыктуу болор эле.

Салыштырма атомдук (же молекулалык) масса түшүнүгү ушул мисалдагыдай талдоолордун негизинде киргизилген. «Орточо чондуктагы алманын»ордуна көмүртектин атому ой жүзүндө «майдаланган».

Массанын бирдиги катарында көмүртектин атомунун массасынын *1/12* бөлүгү кабыл алынган. Анда ушул бирдик менен ченегенде көмүртектин атомунун массасы *12* ге барабар болот

$$M_r = \frac{m_{oC}}{\frac{1}{12}m_{oC}} = 12$$

Ар кандай башка заттын атомунун же молекуласынын массасын да ушул бирдик менен аныктоого болот. Мындай бирдик менен аныкталган, башкача айтканда көмүртектин атомунун массасынын *1/12* бөлүгүнө салыштырып аныкталган атомдун же молекуланын массасын физикада «салыштырмалуу атомдук масса» же «салыштырмалуу молекулалык масса» деп атайт. Ал төмөнкүчө аныкталат:

$$M_r = \frac{m_o}{\frac{1}{12} m_{oC}} = 12 \frac{m_o}{m_{oC}} \qquad (11.80.1)$$

Мында M_r – берилген заттын атомунун же молекуласынын салыштырма массасы, m_o – ошол заттын атомунун, же молекуласынын массасы, m_{oC} - көмүртектин атомунун массасы.

Ар түрдүү эсептөөлөрдө салыштырмалуу атомдук (же молекулалык) масса түшүнүгүн пайдалануу ыңгайлуу. Мисалы, көмүртектин атомунун массасы $m_{oC} = 1,995 \cdot 10^{-23}$ *граммга*, анын салыштырмалуу массасы *12* ге барабар. Албетте *12* ни пайдалануу да, көз алдыга келтирүү да ыңгайлуу.

Менделеевдин мезгилдик системасында элементтердин атомдорунун салыштырма массасы келтирилген. Аларды бүтүн сандар катарында алууга болот. Мисалы суутектики *1* ге, кычкылтектики *16* га д.у.с. Бул сандарды салыштырып баалоо да, эсептөөлөрдө пайдалануу да ыңгайлуу.

Ар түрдүү кошулмалардын, заттардын салыштырма молекулалык массасын табуу үчүн аларды түзгөн элементтердин салыштырма атомдук массаларын Менделеевдин мезгилдик системасынан карап табабыз. Анан аларды кошуп коебуз. Ушундай жол менен, мисалы, суунун салыштырма молекулалык массасынын *18* ге барабар болорун табабыз $(H_2O: \rightarrow 1x2+16=18)$.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Салыштырма атомдук (же молекулалык) масса түшүнүгүн киргизүүнүн зарылчылыгы кандай фактылардан улам пайда болду?
2. Бул түшүнүк физикага кандайча киргизилди?
3. Салыштырма атомдук (же молекулалык) масса деп эмнени айтабыз?
4. Ар түрдүү кошулмалардын, заттардын салыштырма молекулалык массалары кантип аныкталат?
5. Көмүр кычкыл газынын (CO_2) салыштырма молекулалык массасы эмнеге барабар?
6. Менделеевдин мезгилдик системасынан карап, каалаган *10* элементтин салыштырма атомдук массасын көрсөткүлө.

81-§. Заттын саны. Авогадро турактуулугу

Заттын түзүлүшүнө байланыштуу изилдөөлөрдү жүргүзүүдө тандап алынган макротелодогу молекулалардын санын эсепке алуу зарыл. Заттагы молекулалардын (же атомдордун) санын заттын саны деп атаса болор эле. Бирок ар кандай макротелодо, §79 та сөз болгондой, молекулалар (же атомдор) эбегейсиз көп. Мисалы *1* $см^3$ сууда $3,7 \cdot 10^{22}$ молекула бар. Мындай сандарды ар түрдүү салыштырып талдоолордо, эсептөөлөрдө пайдалануу ыңгайсыз. Ошондуктан эсептеп саноонун (санактын) өзүнчө бир бирдигин киргизип, макротелодогу атомдордун (же молекулалардын) санын ошол бирдик менен берүү керек.

Мисалы, мектепте *1200* окуучу бар дейли. Анын 1^a-классында *30* окуучу болсун. Эгерде эсептеп саноонун бирдиги катарында ушул 1^a-классындагы окуучулардын санын алсак, анда мектептеги окуучулардын санын *40* класс деп берүүгө болот.

$$v = \frac{N_{окуучу}}{N_{1^a-кл}} = \mathbf{40}класс$$

Ушул мисалдагы сыяктуу макротелодогу атомдордун же молекулалардын санын баалоо үчүн эсептеп саноонун бирдиги катарында *12г* көмүртектеги атомдордун саны алынган. Ушул санды, башкача айтканда *12г* көмүртектеги көмүртектин атомдордун санын *1 моль* деп атап коюшкан.

Эсептеп саноонун ушундай бирдиги менен берилген атомдордун (же молекулалардын) санын физикада заттын саны деп атоо кабыл алынган. Демек *12г* көмүртектеги атомдордун саны, башкача айтканда ушул заттын саны *1 молго* барабар. Эми *1 моль* канча санды туюнтарын, башкача айтканда *12 г* көмүртекте канча атом болорун аныктайлы.

Бул санды *1 моль* көмүртектин массасын көмүртектин бир атомунун массасына бөлүү аркылуу аныктоого болот:

$$N = \frac{m_C}{m_{oC}}$$

m_C - *1 моль* көмүртектин массасы, m_{oC} - көмүртектин атомунун массасы, *N –1 моль* көмүртектеги атомдордун саны, башкача айтканда *1 молдун* мааниси.

Аталган массалардын сан маанилерин коюп, *1 молдун* канча санды туюнтарын табабыз:

$$N = \frac{m_C}{m_{oC}} = \frac{\mathbf{0{,}012}кг}{\mathbf{1{,}995 \cdot 10^{-26}}кг} \approx \mathbf{6 \cdot 10^{23}} \qquad (11.81.1)$$

Демек, *1 моль* зат $6 \cdot 10^{23}$ даана атомдон турган заттын санын туюнтат. (Мисалы, *1* класс *30* окуучудан турган окуучулардын санын туюнткан сыяктуу). Мындан ары берилген затта $6\cdot 10^{23}$ даана атом бар дегендин ордуна, берилген заттын саны *1 моль* го барабар деп айтабыз. (11.81.1) формуладан алынган сандын ушул ойду чагылдырышы үчүн ага *1/моль* же *моль* $^{-1}$ деген бирдик берилген. Демек,

$$N_A = 6\cdot 10^{23}\,моль^{-1} \tag{11.81.2}$$

Мындай белгилөө *1 моль* затта $6\cdot 10^{23}$ даана атом (же молекула) бар дегенди билдирет. Бул санды физикада Авогадро турактуулугу деп атайт. (XIX кылымда жашаган италиялык окумуштуунун урматына).

Түшүнүктүүрөк болуш үчүн бир мисалды талдайлы: берилген тело $12\cdot 10^{24}$ даана атомдон турсун. Ушул телодогу заттын саны канчага барабар?

Бул суроого жооп берели: заттын саны деп эсептеп саноонун *моль* деген бирдиги менен берилген атомдордун (же молекулалардын) санын айтабыз. Ал эми *1 моль* затта $6\cdot 10^{23}$ атом бар. Демек, $12\cdot 10^{24}$ даана атомдон турган телодогу заттын саны *20 молго* барабар.

$$\left(\begin{array}{l} 6\cdot 10^{23}\,атом - 1моль \\ 12\cdot 10^{24}\,атом - x \\ x = \dfrac{12\cdot 10^{24}}{6\cdot 10^{23}} = 20моль \end{array}\right)$$

Демек, N атомдон (же молекуладан) турган заттын санын табуу үчүн ушул санды N_A санына, башкача айтканда Авогадро турактуулугуна бөлүү керек.

$$v = \frac{N}{N_A} \tag{11.81.3}$$

Ар түрдүү эсептөөлөрдө ушундайча алынган заттын санын пайдалануу ыңгайлуу. Мисалы, берилген затта $12\cdot 10^{24}$ атом бар дегендин ордуна, берилген заттын саны *20 молго* барабар деп алгандык эсептөөлөр үчүн дагы, көз алдыга келтирип элестөө үчүн дагы кыйла ыңгайлуу.

Демек, заттын санын (11.81.3) формула менен аныктаса болот, анын СИ системасындагы бирдиги *1 моль*.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Эсептеп саноонун бирдиги катарында *1 моль* кандай зарылдыктардан улам физикага киргизилген?
2. *1 моль* үчүн кандай сан кабыл алынган?
3. Заттын саны деп эмнени айтабыз? Ал кандайча аныкталат? Ал физикага кандай максатта киргизилген? Чен бирдиги эмне?
4. Авогадро турактуулугу деп кандай сан алынган, ал канчага барабар?
5. *1 см*^{3} суудагы заттын саны канчага барабар? Эсептеп чыгаргыла.

82-§. Молдук масса

Жалпы саны Авогадро турактуулугуна барабар болгон атомдордон (же молекулалардан) турган заттын санын 1*моль* деп атайт. Ушул 1*моль* заттын массасын физикада молдук масса деп атоо кабыл алынган, аны M тамгасы менен белгилейт. Башкача айтканда, $6\cdot10^{23}$ даана атомдордон (же молекулалардан) турган заттын массасы молдук масса деп аталат. Эгерде берилген заттын бир атомунун (же молекуласынын) массасын m_o деп белгилесек, анда анын молдук массасы m_o менен Авогадро турактуулугунун көбөйтүндүсүнө барабар болушу керек.

$$M = m_o N_A \qquad (11.82.1)$$

Мында, M – берилген заттын молдук массасы, m_o - ошол заттын атомунун (же молекуласынын) массасы, N_A - Авогадро турактуулугу.

Көмүртектин молдук массасынын канчага барабар экендигин табалы: $m_{oC}=1{,}995\cdot 10^{-26}$ *кг*$\approx2\cdot 10^{-26}$.*кг*, $N_A=6\cdot 10^{23}$ *моль*$^{-1}$.

$$M_C = m_{oC}\cdot N_A \approx \mathbf{12\cdot 10^{-3}}\,кг\cdot моль^{-1} = M_{rC}\cdot \mathbf{10^{-3}}\,кг\cdot моль^{-1}$$

Бул формуланы ар кандай зат үчүн жазса болот:

$$M = M_r\cdot 10^{-3}\,кг\cdot моль^{-1} \qquad (11.82.2)$$

Мында, M - берилген заттын молдук массасы, M_r - ошол заттын салыштырма атомдук (же молекулалык) массасы.

(11.82.2) ден көрүнүп тургандай, эсептөөлөрдө заттын молдук массасын да, анын салыштырма атомдук (же молекулалык) массасы сыяктуу эле пайдалануу ыңгайлуу. Ошондуктан физикада заттын молдук массасы жөнүндөгү түшүнүк да кеңири пайдаланылат. Тигил же бул элементтин молдук массасын аныктоо үчүн Менделеевдин мезгилдик системасынан анын салыштырма атомдук массасын таап, (11.82.2) формуласындагы анын ордуна коебуз.

Бизге N молекулалардан турган кандайдыр бир зат берилсин. Анын молекуласынын массасы m_0 болсун. Анда бул заттын массасы

$$m = m_0\cdot N \qquad (11.82.3)$$

болот.

Бул формуладан N ди, (11.82.1) формуладан N_A ны таап, (11.81.3) формуладагы алардын ордуларына коюп, заттын санын туюнткан дагы бир негизги формуланы алабыз:

$$\nu = \frac{m}{M} \qquad (11.82.4)$$

Мында. ν - заттын саны, m – ушул заттын массасы, M – анын молдук массасы.

Демек, заттын саны ошол заттын массасынын анын молдук массасына болгон катышына барабар болот.

(11.81.3) жана (11.82.4) формулаларынан пайдаланып, физикадагы дагы бир маанилүү тыянакка келебиз:

$$N = \nu \cdot N_A = \frac{m}{M} N_A \qquad (11.82.5)$$

Мында, N – заттагы атомдордун (же молекулалардын) саны. Демек, ушул формуладан пайдаланып, каалагандай массага (m) ээ болгон белгилүү сорттогу затты түзгөн атомдордун (же молекулалардын) санын аныктоого болот. Мисалы, 1*кг* суутекте, же алюминийде канча атом болорун аныктоо мүмкүн. Ушуга бир эс токтотуп көргүлөчү! 5*кг* алюминийде канча атом болорун эсептөө мүмкүн эмес, бирок аныктоого болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. *1моль* деп кандай заттын санын айтабыз?
2. Молдук масса деген эмне?
3. Молдук масса кандайча аныкталат?
4. Молдук массаны эмне үчүн m_o менен N_A нын кобөйтүндүсүнө барабар деп алуу керек?
5. Заттын санын, анын массасы жана молдук массасы аркылуу туюнткула.
6. Белгилүү массага ээ болгон, белгилүү сорттогу затты түзгөн молекулалардын санын кандайча аныктоого болот?

83-§. Газ, суюктук жана катуу абалдагы телолордун түзүлүштөрү

Газдар. Газдарда атомдордун же молекулалардын ортосундагы аралыктар алардын өлчөмдөрүнө караганда көп эсе чоң болушат. Газдар оңой кысылат, алар формасын да, көлөмүн да сактабайт. Газдардын атомдору жана молекулалары эркин которула алышат, бири-бири менен кагылышышат. Анын натыйжасында алар баш аламан кыймылда болушат. Белгиленген атом же молекула башка атом же молекула менен кагылышканга чейин бир нече жүз *м/с* ылдамдыгы менен кыймылдашат.

Газдардын атомдору (же молекулалары) өздөрү камалган идиштин бетине тынымсыз урунушат. Мындай урунуулардын натыйжасында газ идиштин беттерине басым жасайт.

Суюктуктар. Суюктуктардын молекулалары бири-бирине жакын жайгашышкан. Ар бир молекула, тегерегиндеги молекулалар тарабынан кысылып турат. Ошондуктан ал тең салмактуулук абалынын чеке белинде термелип, калган молекулалар менен урунушуп турат. Убак-убагы менен гана айрым молекулалар калган молекулалардын кысымынан «секирип» чыгышы мүмкүн. Бирок алар кайра эле башка молекулалардын кысымына туш келет.

Суюктукту кысуу кыйын, ал формасын сактабайт. Эгерде суюктуктун молекулаларына сырттан күч аракет эткен болсо, анда молекулалардын кысымынан «секирип» чыккан молекулалар ошол күчтүн багыты боюнча кыймылдап барып, башка молекулалардын кысымына дуушар болушат. Суюктуктун агуучулугу ушул факт менен түшүндүрүлөт.

Катуу телолор. Суюктуктардан айырмаланып, катуу телолордун молекулалары жана атомдору өздөрүнүн белгилүү бир абалдарынын чеке белинде гана термелип турушат. Ошондуктан катуу телолор өздөрүнүн формасын жана көлөмүн сақташат.

Суроолор жана тапшырмалар

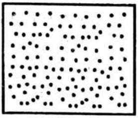
1. Газдар кандай түзүлгөн? Газдын молекулалары кандай кыймылдашат?
2. Суюктук кандай түзүлгөн? Анын агуучулугун кантип түшүндүрүүгө болот?
3. Суюктук өзү куюлган идиштин формасын ээлейт, анын эркин бети горизонталдуу болот. Бул фактыны кантип түшүндүрүүгө болот?
4. Катуу телолор кандай түзүлгөн? Суюктуктардан айырмасы эмнеде?

XII Бап. ИДЕАЛДЫК ГАЗДЫН МОЛЕКУЛАЛЫК-КИНЕТИКАЛЫК ТЕОРИЯСЫ. ТЕМПЕРАТУРА

84-§. Газдын басымы. Идеалдык газ

Газ басым жасайт. Мисалы, топтун ичиндеги аба, автомобилдин баллонунун камерасындагы аба, газ баллонуна камалган пропан газы д.у.с. Газдын басымы атайын прибор – манометр менен ченелет.

Ушул жерде табигый суроо туулат: газдын басымынын себеби эмнеде?



12.84.1-сүрөт

Бул суроого жооп берүү үчүн кандайдыр бир жабык идишке (12.84.1-сүрөт) камалган газды алып, аны МКТ нын негизги жоболоруна таянуу менен ой жүзүндө талдайбыз: газ атомдордон (же молекулалардан) турат, алар тынымсыз кыймылдашат; идиштеги газдын атомдору (же молекулалары) эбегейсиз көп, ошондуктан алар бири-бири менен тынымсыз урунушуп турат, ошондуктан алардын кыймылы толук баш аламан болот; идиштеги газдын атомдору (же молекулалары) идиштин каптал беттерине келип да урунушат, анын натыйжасында газдын басымы түзүлөт; идиштин бетинин ар бир участогуна келип урунушкан атомдордун (же молекулалардын) орточо саны бирдей болгондуктан, газ өзү камалган идиштин бардык беттерине бирдей басым жасайт.

Ушинтип, биз газдын өзү камалган идиштин бардык беттерине бирдей басым жасай тургандыгы жөнүндөгү тажрыйбалык фактыны МКТ нын негизги жоболоруна таянуу менен түшүндүрдүк.

Эми дагы бир суроо пайда болот: газдын басымы кандай чоңдуктардан көз каранды, бул көз карандылыкты математикалык түрдө кандайча жазууга болот?

Бул суроого жооп берип, коюлган проблеманы чечүү үчүн газдын касиеттерин, анын түзүлүшүн кеңири анализдейбиз: газ атомдордон (же молекулалардан) турат; алар белгилүү массага ээ жана тынымсыз баш аламан кыймылда болушат – демек алар кинетикалык энергияга ээ; алар белгилүү өлчөмгө ээ; алар өз ара аракеттенишет, демек потенциалдык энергияга ээ болушат; алар өзү камалган идиштин беттерине урунуп басым жасайт. Ушул басымды аныктообуз керек. Ал үчүн бул касиеттердин бардыгын эсепке алуу максатка ылайыктуу. Бирок, элестеп көргүлөчү, ар бир атомдун өлчөмүн, алардын өз ара аракеттенишүүсүнүн чоңдугун эсепке алуу оңой ишпи? Жок, ал өтө татаал. Мисалы, биринчи атомду экинчи атом өзүнө тартат. Демек, биринчи атом экинчи атомдун аракети менен шартталган потенциалдык энергияга ээ. Ушул эле атомго үчүнчү, төртүнчү д.у.с. көптөгөн атомдор аракет этишет. Демек, ошол биринчи атом үчүнчү, төртүнчү д.у.с. атомдордун аракети менен шартталган потенциалдык энергияларга да ээ болот. Бул энергиялардын бардыгын аныктоо деги эле мүмкүн эмес.

Анда эмесе биз басымды аныктай турган формуланы келтирип чыгара албай калабызбы?

Физикада ушундай кырдаал түзүлгөн кезде абстракциялоо деген метод пайдаланылат. Бул методдун мазмуну мында: заттын касиеттеринин бардыгы саналат дагы, алардын ичинен берилген шартта маанилүү болгон жана маанилүү эмес болгон касиеттери бөлүп көрсөтүлөт. Ушундан кийин маанилүү эместерин эске албай коюп, маанилүү касиеттерин гана эске алуу менен изилдөө улантылат.

Биз да ушул методдон пайдаланалы.

Газдын басымын аныктоо максат кылып коюлгандыктан атомдордун (же молекулалардын) массаларын, алардын кыймылын, санын эске албай койсо болбойт. Ал эми алардын өлчөмдөрү (көлөмү) газ камалган идиштин көлөмүнө жана атомдордун (же молекулалардын) ортосундагы орточо аралыкка караганда өтө кичине. Ошондуктан алардын өлчөмдөрүн эске албай койсо болот. Эгерде идиштеги газдын атомдору (же молекулалары) сейрегирээк жайгашса, алардын ортосундагы аралык чоңураак болуп, өз ара аракеттенишүүлөрү абдан кичине болот. Ошондуктан атомдордун (же молекулалардын) өз ара аракеттенишүүлөрүн, башкача айтканда алардын потенциалдык энергияларын да эске албай койсо болот. Алар урунушканда гана бири-бири менен аракеттенишет.

Эми маанилүү эмес касиеттери эске алынбай калгандан кийинки газды көз алдыбызга келтирип көрөлү: газ атомдордон (же молекулалардан) турат; алар белгилүү массага ээ, тынымсыз баш аламан кыймылда болушат. Алардын өлчөмдөрү эске алынбайт, алар бири-бири менен кагылышкан учурда гана аракеттенишет. Биз кийинки эсептөөлөрдү ушундай газ үчүн жүргүзөбүз. Мындай газды физикада *__идеалдык газ__* деп атайт. Идеалдык газ – чыныгы, реалдык газдын модели.

Демек, газдын атомдору (же молекулалары) идишке сейрек жайгашкан болушса, алардын өлчөмдөрүн жана өз ара аракеттенишүүлөрүн эске албай коюуга болот. Мындай газды идеалдык газ деп атайт. Башкача айтканда идеалдык газ деп атомдорунун (же молекулаларынын) өлчөмдөрү, алардын өз ара аракетенишүүлөрү эске алынбаган газды айтабыз.

Кадимки шарттарда, кадимки эле идишке камалган абаны идеалдык газ катарында алууга болот.

Мындан аркы эсептөөлөрдү биз ушундай идеалдык газ үчүн жүргүзөбүз. (Эсиңердеби, механикада телонун эмес, материалдык чекиттин кыймылы изилденет).

Суроолор жана тапшырмалар

1. Газдын басым жасарын мисалдар келтирип далилдегиле.
2. Газдын басымынын себебин түшүндүргүлө.
3. Газдын басымы кайсыл чоңдуктардан көз каранды болушу мүмкүн?
4. Идеалдык газ түшүнүгүн киргизүүнүн зарылчылыгы эмнеде? Ал түшүнүк кандайча киргизилди?
5. Идеалдык газ деп эмнени айтабыз?
6. Идеалдык газга мисалдар келтиргиле.

85-§. Идеалдык газдын молекулалык-кинетикалык теориясынын негизги теңдемеси

Идеалдык газдын басымын аныктайлы. Ал үчүн «мындай газдын басымы кандай чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?» деген суроого сапаттык түрдө жооп издейли.

Идиштин бетине убакыт бирдиги ичинде канчалык көп молекула келип урунса, газдын басымы ошончолук чоң болушу керек. Ал эми молекулалардын мындай урунууларынын саны ошол идиштин бирдик көлөмүндөгү (мисалы 1 $см^3$ көлөмүндөгү) молекулалардын санынан көз каранды болот. Бирдик көлөмдөгү молекулалардын саны канчалык көп болсо, урунуулардын саны да ошончолук көп болот. Физикада бирдик көлөмдөгү (же көлөм бирдигиндеги) молекулалардын санын молекулалардын концентрациясы деп атайт.

Молекулалардын концентрациясын, башкача айтканда көлөм бирдигиндеги молекулалардын санын аныктоо үчүн берилген көлөмдөгү молекулалардын санын (N) ошол көлөмгө (V) бөлүү керек, башкача айтканда

$$n = \frac{N}{V} \qquad (12.85.1)$$

Мында, n - газдын молекулаларынын концентрациясы, V - газ камалган идиштин көлөмү (газдын көлөмү), N - ошол идиштеги молекулалардын саны.

Демек, идеалдык газдын басымы ошол газдын молекулаларынын концентрациясына түз пропорциялаш болушу керек: $p \sim n$.

Газдын басымы идиштин бетине урунган молекулалардын массасына да түз пропорциялаш болушу керек. Чындыгында эле идиштин бетине бирдей ылдамдыкка ээ болгон, бирдей сандагы, бирок массалары ар башкача болгон молекулалар келип урунушса, массасы чоң болгон молекулалар чоңурак басым жасайт. (Ушул тыянакты көз алдыңарга элестетип көргүлө). Демек, $p\sim m_o$ болот.

Газдын басымы анын молекулаларынын ылдамдыгынан да көз каранды болушу керек. Чынында эле бирдей массага ээ болгон молекулалардын кайсылары чоңураак ылдамдык менен келип урунушса, ошолору чоңураак басым жасайт.

Газдын молекулалары баш аламан (жылуулук) кыймылына катышышат. Ошондуктан ар бир молекуланын ылдамдыгы абдан чоң да, абдан кичине да болушу мүмкүн. Өз ара кагылышуунун натыйжасында молекулалардын ылдамдыгы тынымсыз өзгөрүп турат.

Ушул факт бизди мындай бир ойго түртөт: молекулалардын ылдамдыгы үчүн кандай ылдамдыкты алууга болот?

Бул суроого жооп табууга бизге төмөнкү факт багыт берет: 3-класстагы окуучулардын боюнун бийиктиктери ар түрдүү, бирок алардын орточо мааниси белгилүү чоңдукка ээ болот. 6-класстын окуучулары жөнүндө да ушуларды эле айтуу мүмкүн. Бирок 6-класстын окуучуларынын боюнун орточо мааниси 3-класстын окуучуларыныкына караганда чоңураак.

Ушул сыяктуу газдын ар бир молекуласынын берилген шарттагы ылдамдыктары ар түрдүү болгону менен алардын орточо мааниси белгилүү чоңдукка барабар болот. Ошондуктан молекулалардын ылдамдыгы үчүн алардын орточо ылдамдыгынын маанисин алуу мүмкүн. Бул ылдамдыкты табуу үчүн ар бир молекуланын ылдамдыктарынын суммасын молекулалардын санына бөлүүгө болор эле:

$$\vec{\upsilon}_{\text{р}} = \frac{\vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2 + \ldots + \vec{\upsilon}_N}{N} \qquad (12.85.2)$$

Бирок, газдагы молекулалардын саны эбегейсиз көп болгондуктан жана алар баш аламан кыймылдагандыктан (12.85.2) туюнтмасындагы ылдамдыктардын суммасы нөлгө барабар болуп калат. Себебин ой жүзүндөгү тажрыйбанын негизинде түшүндүрөлү: кандайдыр бир атайын белгиленген молекула белгилүү чоңдуктагы ылдамдык менен оң тарапты көздөй кыймылдап баратсын. Молекулалар өтө көп, алар баш аламан кыймылда болушат. Ошондуктан молекулалардын ичинен ылдамдыгынын чоңдугу жогорудагы белгиленген молекуланын ылдамдыгынын чоңдугуна барабар болгон, бирок сол тарапты көздөй багытталган молекула сөзсүз табылат. Анан ушул эки молекуланын ылдамдыктарынын суммасы нөлгө барабар болот. Ушул сыяктуу эле калган ар бир эки молекулалардын ылдамдыктарынын суммасы да нөлгө барабар болуп калат.

Демек, газдын басымын аныктоодо (12.85.2) туюнтмасы менен аныктала турган $\bar{\upsilon}_{орт}$ ылдамдыгын алууга болбойт. Ошондуктан физикада, бул максатта молекулалардын ылдамдыктарынын квадраттарынын орточо мааниси алынат. Себеби сандын квадраты дайыма скалярдык оң сан болот жана алардын суммасы нөлгө барабар болбойт.

$$\bar{\upsilon}^2 = \frac{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2 + \ldots + \upsilon_N^2}{N} \qquad (12.85.3)$$

Мында, $\upsilon_1, \upsilon_2, \ldots, \upsilon_N$ - тиешелүү молекулалардын ылдамдыктары, N – газдагы молекулалардын саны, $\bar{\upsilon}^2$ – молекулалардын ылдамдыктарынын квадраттарынын орточо мааниси.

Газдын басымы анын молекулаларынын ылдамдыктарынын квадраттарынын орточо маанисине түз пропорциялаш болот деп алуу мүмкүн. Бирок, мейкиндик үч өлчөмдүү, басым бардык өлчөмдөр боюнча бирдей көрсөтүлөт. Ошондуктан басымды молекулалардын ылдамдыктарынын квадраттарынын орточо маанисинин өзүнө эмес, анын $\frac{1}{3}$ бөлүгүнө пропорциялаш деп алуу керек, башкача айтканда $p \sim \frac{1}{3}\bar{\upsilon}^2$.

Жогорудагы идеалдык газдын басымы жөнүндөгү айтылгандарды жыйынтыктап, идеалдык газдын басымын туюнткан формуланы төмөнкүчө жазса болот:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{\upsilon}^2 \qquad (12.85.4)$$

Мында, p- идеалдык газдын басымы, n – анын молекулаларынын концентрациясы, m_o – идеалдык газдын молекуласынын массасы, $\bar{\upsilon}^2$ – идеалдык газдын молекулаларынын ылдамдыктарынын квадраттарынын орточо мааниси.

Ушул теңдеме МКТнын негизги теңдемеси деп аталат. Физикада ал далилденип чыгарылган, биз болсо сапаттык мүнөздө талдоонун негизинде гана жазып койдук.

Бул теңдеме манометр менен ченеле турган, макроскопикалык чоңдук болгон басым менен газдын молекулаларына мүнөздүү болгон микроскопикалык чоңдуктардын байланышын көрсөтөт. Аны макроскопикалык дүйнө менен микроскопикалык дүйнөнү байланыштырып турат десе да болот. (Макро- жана микро- чоңдуктар жөнүндө 79-параграфтан карагыла).

Суроолор жана тапшырмалар

1. Газдын молекулаларынын концентрациясы деп эмнени айтабыз?
2. Идеалдык газдын басымынын анын молекулаларынын концентрациясына жана алардын массасына түз пропорциялаш болот деген тыянактарды түшүндүргүлө.
3. Идеалдык газдын басымы дагы кайсы чоңдуктан көз каранды болот, эмне үчүн?
4. Идеалдык газдын молекулалары эмне себептен баш аламан кыймылда болушат? Алардын ылдамдыктарынын чоңдуктары бирдейби? Эмне үчүн?
5. Басымды аныктоодо ылдамдыктын кандай маанисин эске алуу керек?
6. Молекулалардын ылдамдыктарынын орточо мааниси эмне үчүн нөлгө барабар болот?
7. $p\sim\frac{1}{3}\overline{\upsilon}^{2}$ болорун түшүндүргүлө.
8. МКТнын негизги теңдемесин эстеп калгыла, анын маанисин түшүндүргүлө. Бул теңдеме кайсыл макро жана кайсыл микро чоңдуктарды байланыштырып турганын эстеп калгыла.

86-§. Молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы. МКТнын негизги тендемесинин ушул энергия аркылуу жазылышы

Мисал катарында тоголонуп бараткан дөңгөлөктүн кыймылын карайлы. Ал алга умтулуу да, айлануу да кыймылына ээ болот.

Ушул сыяктуу газдын молекулалары да алга умтулуу да, айлануу да кыймылына келиши мүмкүн. Идеалдык газда анын молекулаларынын өлчөмдөрү эске алынбайт, башкача айтканда алар материалдык чекит катарында каралат. Ошондуктан аларды алга умтулуу кыймылына келет деп эсептейбиз жана алардын ушундай кыймылынын кинетикалык энергиясын аныктайбыз.

Молекулалар түрдүү кинетикалык энергияларга ээ болушат. Бирок алардын орточо мааниси, башкача айтканда молекулалардын орточо кинетикалык энергиясы белгилүү чоңдукка барабар болот. Молекулалардын кинетикалык энергиясы жөнүндө сөз болгондо ушул орточо кинетикалык энергияны ойго алуу керек. Бул энергия молекулалардын ылдамдыктарынын квадратынын орточо мааниси аркылуу аныкталат, башкача айтканда

$$\overline{E}=\frac{m_0\overline{\upsilon}^{2}}{2} \qquad (12.86.1)$$

болот. Демек, молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы молекулалардын массасы менен алардын ылдамдыктарынын квадратынын орточо маанисинин көбөйтүндүсүнүн жарымына барабар болот.

Молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясын туюнткан (12.86.1) формуланы эске алып, МКТнын (12.85.4) негизги теңдемесин төмөнкү түрдө жазууга болот:

$$p=\frac{2}{3}n\overline{E} \qquad (12.86.2)$$

Демек, идеалдык газдын басымы анын молекулаларынын концентрациясы менен, алардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясына түз пропорциялаш болот. Газдын молекулаларынын концентрациясы менен алардын орточо кинетикалык энергиясы канчалык чоң болсо, газдын басымы ошончолук чоң болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Эмне себептен параграфтын айтылышында «Молекулалардын алга умтулуу кыймылы» деп атайын бөлүп көрсөтүлгөн?
2. Берилген шартта газдын молекулаларынын кинетикалык энергиялары туруктуубу? Эмне үчүн? Орточо кинетикалык энергиясычы?
3. Молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы эмнеге барабар? Бул энергия аркылуу МКТнын негизги теңдемеси кандайча жазылат?
4. Идеалдык газдын басымы кайсыл чоңдуктардан кандайча көз каранды?

87-§. Температура. Температураны ченөөдөгү Цельсийдин шкаласы

Телолор, мисалы, ысытылган суу менен муздак суу бири-биринен жылуулук даражалары менен айырмаланышат.

Ушул фактыныү түшүндүрө турган, башкача айтканда телолордун жылуулук даражасын мүнөздөй турган физикалык чоңдукту киргизүү зарыл. Мындай чоңдук физикага киргизилген, аны *температура* деп атайт. Телонун жылуулук даражасы жогору болсо, анын температурасы да жогору деп, төмөн болсо температурасы да төмөн деп эсептөө кабыл алынган. Демек, эгерде биз телолордун температурасын ченей алсак, анда алардын жылуулук даражасын баалай алган болобуз.

Телолордун температурасын кантип ченөөгө болот?

Бул суроого жооп берүү үчүн окумуштууларга мындай бир факт түрткү берген: затты, мисалы, сууну, спиртти, же сымапты ысытса башкача айтканда температурасын жогорулатса, анын көлөмү чоңоет, ал эми муздатса – кичирейет.

Ушул факт оюна келген окумуштуулар жогорудагы суроого мындайча жооп беришет: заттын, мисалы, сымаптын көлөмүнүн температурадан көз карандылык кубулушун температураны ченөө үчүн пайдаланса болот. Ал үчүн түп жагы кичинекей идишчеге уланган ичке айнек түтүгүн алып, ага сымап куюу керек (идишче толуп, түтүктөн сымап кичине көтөрүлгөнгө чейин) (12.87.1-сүрөт). Сымаптын үстүндөгү түтүктүн бөлүгүнөн абаны сордуруп, түтүктүн оозун бекем жаап коюу керек. Ушундай кылганда сымаптын кеңейишине түтүктөгү аба каршылык көрсөтпөйт жана атмосфералык басым таасир этпейт. Ошондуктан булл учурда сымаптын көлөмүнүн өзгөрүшүнө температуранын гана өзгөрүшү себепкер болуп калат.


12.87.1-сүрөт

Эми ушундай түтүктөгү сымаптын жардамы менен температураны ченөө үчүн ал түтүктөгү сымаптын көлөмүнүн температурага жараша өзгөрүшүн граудирлөө (каттап калтыруу) керек. Ал үчүн төмөнкү иштерди аткаруу талап кылынат:

1. Түтүктөгү сымаптын кандайдыр бир жылуулук абалдагы температурасын «нөл» деп кабыл алып, сымаптын үстүнкү бети туш келген чекитине «*0*» деген белги коюу керек.

2. Кайсы бир закон ченемдикке таянуу менен ошол түтүктү шкалаларга бөлүп, аларга «*0*» дон баштап эсептелген цифраларды коюп чыгуу зарыл.

Бул ишти төмөнкүчө аткарышкан. Жогоруда айтылгандай сымап куюлган түтүктү өзүнө жараша тактайчага бекитип, тоңо баштаган сууга матырышкан. Анда түтүктөгү сымап белгилүү бир деңгээлде кармалып турган. Сымаптын ушул деңгээлинин тушуна «*0*» («нөл») деген белги коюшкан жана тоңо баштаган суунун температурасын «*0 градус*» деп белгилешкен. Анан ушул эле сымап куюлган түтүктү кайнап жаткан сууга матырышкан. Анда сымап мамычасынын денгээли жогорулап барып токтогон. Түтүктөгү сымаптын ушул денгээлинин тушуна «*100 градус*» деп белги коюшкан. Ушундан кийин сымап түтүгүнүн *0* жана *100* градус деген температураларды көрсөткөн чекиттеринин ортосун барабар *100* бөлүккө бөлүп койгон. Ушинтип телолордун температурасын өлчөй турган курал – термометр жасалган. Мындай термометрдин шкаласын (андагы бөлүп көрсөтүлгөн белгилерди жана аларга тиешелүү цифраларды) Цельсийдин шкаласы деп атайт. Ушундай шкаласы бар термометр менен өлчөнгөн температураны физикада «*градус Цельсий*» деп атайт жана «^0C» деп белгилейт. Демек, Цельсийдин шкаласы боюнча суу $0\ ^0C$ да тоңот, *100*

^0C да кайнайт. Адамдын денесинин температурасы $36,5\ ^0C$ болот. Ооруган кезде $40\ ^0C$ чейин көтөрүлүшү мүмкүн.

Ушинтип, биз «телолордун температурасын кантип ченөөгө болот» деген суроого жооп таптык. Телолордун температурасын Цельсийдин шкаласы менен граудирленген термометр менен өлчөсө болот. Анын көрсөтүүсү ^0C менен белгиленет. Термометрдин көрсөтүүлөрү боюнча телолордун жылуулук даражасын баалай алабыз. Мисалы, температурасы $40\ ^0C$ болгондогу абанын жылуулук даражасы $20\ ^0C$ болгондогуга караганда чоң болот, д.у.с. деп эсептейбиз.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Температура түшүнүгү физикага кандай зарылчылыктарга байланыштуу киргизилген?
2. Температураны ченөөдө кандай кубулуш, кандайча пайдаланылат?
3. Түтүктөгү сымаптын көлөмүнүн температурага жараша өзгөрүшү кандайча граудирленген?
4. Цельсийдин шкаласы`дегенде эмнени түшүнөсүңнөр? Бул шкала боюнча температуранын бирдиги эмне?

88-§. Абсолюттук температура.Температураны ченөөдөгү Кельвиндин шкаласы

Телолордун температурасын кантип ченөөгө болот? – деген суроонун тегерегинде дагы башкача ой жүгүртөлү.

Физикада дагы бир факт белгилүү: газдын температурасы жогорулаганда анын басымы чоңоет.

Ушул жерде мындай бир ой пайда болот: газдын басымынын температурага жараша өзгөрүүсүн эсепке алуунун негизинде температуранын шкаласын түзүп, аны менен температураны ченөөгө болсо керек.

Бул ойду окумуштуулар идеалдык газдын басымынын анын температурасына жараша өзгөрүүсүн теориялык түрдө талдоонун негизинде ишке ашырышкан. Теориялык изилдөөлөр мындай бир фактынын орун алышын көрсөткөн: идеалдык газдын температурасы -- $273,15\ ^0C$ болгон учурда, анын басымы нөлгө барабар болушу керек. Физикада температуранын ушул маанисин абсолюттук нөл температура деп атоо кабыл алынган. Демек, абсолюттук нөл температура $-273,15\ ^0C$ га барабар, мындай температура кезинде идеалдык газдын басымы нөлгө барабар болушу керек.

Ушул жерде дагы бир ой келет: температураны абсолюттук нөл температурадан баштап эсептесе болобу? Бул суроого окумуштуулар оң жооп беришкен жана температуранын абсолюттук шкаласын түзүшкөн. Бул шкаланы Кельвиндин шкаласы деп да атайт. Ал шкаланын нөлү абсолютттук нөл температурага дал келет, ал эми температуранын ар бир бирдиги Цельсий шкаласындагы градуска барабар болот.

Абсолюттук нөл температурадан баштап эсептелген температураны физикада абсолюттук температура деп атайт. Аны *T* тамгасы менен белгилейт. Абсолюттук температуранын СИ системасындагы бирдиги *Кельвин*, ал «*K*» деп белгиленет. Бир кельвиндин чоңдугу Цельсий шкаласындагы бир градустун чоңдугуна барабар болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Температураны ченөөдө идеалдык газдын кайсыл касиети пайдаланылат?
2. Абсолюттук нөл температура деген кандай температура? Цельсийдин шкаласы боюнча ал канчага барабар?
3. Температураны ченөөдөгү Кельвиндин шкаласы дегенде эмнени түшүнөбүз?
4. Абсолюттук температура деп эмнени айтабыз? Ал кандайча белгиленет? Анын бирдиги эмне?

89-§. Температураны ченөө боюнча Цельсийдин жана Кельвиндин шкалаларынын байланыштары

87-§, 88-§ да сөз болгондой, температураны ченөөнүн эки шкаласы бар: Цельсийдин жана Кельвиндин шкалалары. Ушул шкалалардын байланышын, башкача айтканда Цельсийдин шкаласы боюнча аныкталган температура менен Кельвиндин шкаласы боюнча аныкталган температуранын байланышын так аныктап коелу. Ал үчүн тиешелүү фактыларды дагы бир жолу санап чыгабыз:

1) Цельсий шкаласы боюнча $t=-273\ ^0C$ болгон температура Кельвиндин шкаласындагы $T=0$ маанисине, башкача айтканда абсолюттук нөл температурасына туура келет;

2) $t=0\ ^0C$ болгон температуранын мааниси $T=273\ K$ болгон абсолюттук температурага туура келет;

3) бир Кельвиндин чоңдугу Цельсий шкаласындагы бир градустун чоңдугуна барабар болот.

Бул фактылардан мындайча тыянак келип чыгат: абсолюттук температуранын ар кандай мааниси Цельсий шкаласы боюнча алынган температуранын тиешелүү маанисинен *273 градуска* чоң болот:

$$T = 273 + t \qquad (12.89.1)$$

Мындан көрүнүп тургандай, мисалы, суунун тоңуу температурасы Кельвиндин шкаласы менен алганда *273 K*, ал эми кайноо температурасы *373 K*.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Температураны ченөөдөгү Цельсийдин жана Кельвиндин шкалаларынын байланышын чагылдырган фактыларды келтиргиле. Алардан тыянак чыгаргыла.
2. Абсолюттук температура менен Цельсийдин шкаласы боюнча алынган температуранын байланышы кандай формула менен туюнтулат?
3. Коргошундун эрүү температурасы 327^0C. Кельвиндин шкаласы боюнча ал кандай температурага туура келет?

90-§. Температура – молекулалардын орточо кинетикалык энергиясынын чени

Мурдагы параграфта белгиленгендей, абсолюттук нөл температура кезинде идеалдык газдын басымы нөлгө барабар болушу керек. Бул – биринчиден. Экинчиден, идеалдык газдын басымы анын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясына түз пропорциялаш болот (12.86.2 ны карагыла), башкача айтканда идеалдык газдын басымынын бар болушу, анын молекулаларынын кинетикалык энергияга ээ болушу менен шартталган.

Бул эки фактыдан мындай тыянак келип чыгат: абсолюттук нөл температурада идеалдык газдын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы нөлгө барабар болушу керек. Башкача айтканда *T* нөлгө умтулганда ($T \to 0$) $\overline{E}$ да нөлгө умтулушу ($\overline{E} \to 0$) керек. Ал эми *T* чоңойгон сайын $\overline{E}$ дагы чоңоет, аны биз басымдын чоңойушунан билебиз. Демек, *T* нөлгө барабар болсо $\overline{E}$ да нөлгө барабар болушу керек. Экинчиден *T* жогоруласа $\overline{E}$ чоңоет, *T* төмөндөсө $\overline{E}$ кичирейет. Бул фактылардын негизинде биз мындай бир маанилүү тыянакка келебиз: абсолюттук температура *T* молекулалардын орточо молекулалык энергиясынын, $\overline{E}$ нин, чени болуп саналат. Эми ушул байланышты туюнткан формуланы келтирип чыгарыш керек. Биз бул формуланы даяр түрдө эле жазып коебуз, физикада ал далилденип чыгарылган:

$$\overline{E} = \frac{3}{2}kT \qquad (12.90.1)$$

Мында $\overline{E}$ – идеалдык газдын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы, *T* – газдын абсолюттук температурасы, *k* – пропорционалдык коэффициент. Аны физикада Больцмандын турактуулугу деп атайт, анын чоңдугу аныкталган:

$$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} Дж/К$$

Демек, идеалдык газдын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болуп анын абсолюттук температурасы эсептелет. T ны ченеп алып, (12.90.1) формуласынын жардамы менен $\overline{E}$ ни аныктоого болот.

Ушул жерде, көз алдынарга илимдин күчүн келтирип көргүлөчү – молекулалардын массасын жана ылдамдыгын ченебей туруп эле (аны ченей да албайбыз) алардын орточо кинетикалык энергиясын аныктоонун мүмкүндүгү түзүлдү.

Заттын молекулаларнынын кинетикалык энергиясынын анын абсолюттук температурасынан көз карандылыгы жөнүндөгү тыянакты, сапаттык түрдө, суюктуктардын жана катуу телолордун молекулалары жана атомдору үчүн да пайдалануу мүмкүн.

Ушинтип, биз эми «Температурасы жогору болгон зат температурасы төмөн болгон ошондой эл заттан эмнеси менен айырмаланат?» деген суроого «Темепературасы жогору болгон заттын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы чоң болот» деп жооп бере алабыз.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Идеалдык газдын абсолюттук температурасы нөлгө барабар болгон шартта анын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы да нөлгө барабар болушу керек деген тыянак кандайча чыгарылды?
2. Идеалдык газдын абсолюттук температурасы анын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болот деген тыянак кандайча чыгарылды? Бул тыянак математикалык түрдө кандайча жазылат? Ушул тыянакты идеалдык газдан башка заттар үчүн да пайдаланса болобу?
3. Бир эле тело ар түрдүү температураларда болгон кезде эмнелери менен айырмаланат?

91-§. МКТнын негизги теңдемесинин абсолюттук температура аркылуу жазылышы

МКТнын негизги теңдемесин жазалы (12.85.4):

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{\upsilon}^2$$

Бул теңдеме, мурда айтылгандай (85-§) макроскопикалык чоңдук болгон басым менен газдын молекулаларына мүнөздүү болгон микроскопикалык чоңдуктардын байланышын туюнтуп, басымдын себебин түшүндүрүүгө мүмкүндүк берет.

Молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы $\overline{E} = m_0\overline{\upsilon}^2 / 2$ болорун эске алып МКТнын негизги теңдемесин төмөнкүчө жазганбыз (12.86.2):

$$p = \frac{2}{3} n\overline{E}$$

Мында p – макрочоңдук, аны ченөөгө болот, $n, \overline{E}$ – микрочоңдуктар, аларды ченөөгө, саноого мүмкүн эмес.

90-§та айтылгандай молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болуп абсолюттук температура эсептелет. Ушул тыянакты чагылдырган (12.90.1) формуласындагы $\overline{E}$ нин маанисин жогорудагы теңдемеге коюп, төмөндөгүнү алабыз:

$$p = nkT \tag{12.91.1}$$

Ушинтип, биз МКТнын негизги теңдемесин абсолюттук температура аркылуу жаздык. Бул теңдемедеги p - идеалдык газдын басымы, ал макрочоңдук, ченесе болот; n –молекулалардын концентрациясы, аны түздөн-түз санап чыгуу мүмкүн эмес; k – Больцмандын туруктуулугу; T – абсолюттук температура, ал макрочоңдук, ченесе болот. (12.91.1) дан көрүнүп тургандай, идеалдык газдын басымы анын абсолюттук температурасына түз пропорциялаш болот. p ны жана T ны ченеп, берилген көлөмдөгү газдын молекулаларынын концетрациясын (12.91.1) теңдемеден аныктаса болот. Ушуга маани берип көргүлөчү, (12.91.1) теңдеменин жардамы менен көлөм бирдигиндеги молекулалардын санын аныктоонун мүмкүндүгү түзүлүп жатат! Илимдин күчү мына ушунда турат, түздөн-түз молекулаларды санап чыгуу деги эле мүмкүн болбосо да, алардын санын аныктоого болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. МКТнын негизги теңдемесин абсолюттук температура аркылуу негиздеп жазгыла.
2. (12.85.4), (12.86.2), (12.91.1) теңдемелеринин жалпы жактарын жана айырмачылыктарын талдагыла. Бул талдоону макро- жана микрочоңдуктарды эске алуу менен да жүргүзгүлө.
3. Газдын молекулаларынын концентрациясын кантип аныктоого болот? Формуласын жазгыла.

92-§. МКТнын негизги теңдемесинин макроскопикалык чоңдуктар аркылуу жазылышы. Газ абалынын теңдемеси

(12.85.4) жана (12.86.2) түрүндөгү МКТнын негизги теңдемесинде басымдын жалаң микрочоңдуктар менен болгон байланышы туюнтулган. Ал эми (12.91.1) түрүндөгү бул теңдемеде басымдын микрочоңдук (n) жана макрочоңдук (T) менен байланышы чагылдырылган. Микрочоңдуктар катышкандыктан бул түрдөгү МКТнын негизги теңдемелеринин тууралыктарын тажрыйбада көрсөтүү мүмкүн эмес. Ал үчүн МКТнын негизги теңдемесин жалаң макрочоңдуктар катышканлдай түрдө жазуу керек.

Мул максатта газдын молекулаларынын концентрациясын макрочоңдуктар аркылуу туюнтуу зарыл.

Газдын молекулаларынын концентрациясы $n=N/V$ болору белгилүү (85-§ты карагыла). Мында n – газдын молекулаларынын концентрациясы; V –газдын көлөмү; N -ошол көлөмдөгү молекулалардын саны.

Берилген көлөмдөгү молекулалардын саны төмөнкү формула менен туюнтулат (82-§ты карагыла)

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

Мында, N – берилген көлөмдөгү молекулалардын саны; m – ошол көлөмдөгү газдын массасы; M – ошол газдын молдук массасы (ал жөнүндө 82-§ты карагыла); N_A – Авогадро турактуулугу (ал жөнүндө 81-§ты карагыла).

Бул формуладагы N дин маанисин (11.82.1) формуласына коюп, төмөнкүнү алабыз:

$$n=\frac{1}{V}\frac{m}{M}N_A \qquad (12.92.1)$$

Эми n дин бул маанисин (12.91.1) тендемедеги n дин ордуна коюп, МКТнын негизги теңдемесин төмөнкү түрдө жазууга болот:

$$pV=\frac{m}{M}kN_AT \qquad (12.92.2)$$

Бул теңдемедеги kN_A көбөйтүндүсүн физикада R деп белгилөө кабыл алынган, аны универсалдык газдык турактуулук деп атайт.

$$R=kN_A=8,31\ Дж/моль\cdot К \qquad (12.92.3)$$

Бул белгилөөнү эске алып, (12.92.2) теңдемесин төмөнкү түрдө жазабыз:

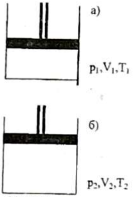
$$pV=\frac{m}{M}RT \qquad (12.92.4)$$

Мында, p – берилген көлөмдөгү газдын басымы, макрочоңдук, ченөөгө болот; V – газдын көлөмү, идеалдык газ үчүн, ал идиштин көлөмүнө барабар болот, себеби идеалдык газда анын молекулаларынын өлчөмдөрү эске алынбайт; m – берилген көлөмдөгү газдын массасы, макрочоңдук; M – газдын молдук массасы, берилген газ үчүн аны таблицалардан пайдаланып аныктаса болот (82-§ты карагыла); R – универсалдык газдык туруктуулук; T – газдын абсолюттук температурасы, макрочоңдук. Демек, (12.92.4) теңдемеде туруктуу чоңдуктардан башка бардык чоңдуктар макрочоңдуктар болуп саналышат, аларды ченөөгө болот.

Ушинтип биз МКТнын негизги теңдемесин макрочоңдуктар аркылуу жаздык.

Мейли, талдоонун обьектиси катарында белгилүү массага ээ болгон, поршень менен жабылган цилиндрге камалган газды алалы (12.92.1а - сүрөт). Бул газ берилген шартта белгилүү бир көлөмдү ээлеп турат; белгилүү бир температурага ээ болот; ал идиштин бетине белгилүү бир басым жасап турат. Бул үч чоңдук тең макрочоңдуктар, аларды макропараметрлер деп да атайт. Алардын бардыгы биригип берилген массадагы газдын абалын мүнөздөшөт. Белгилүү массадагы газ кандай абалда дегенде сөзсүз анын басымынын, температурасынын жана көлөмүнүн канчага барабар экендигин айтуу керек. Ошондуктан бул чоңдуктардын байланышын туюнткан (12.92.4) теңдемени газ абалынын теңдемеси деп атайт.

Мисал катарында поршен менен жабылган цилиндрдеги белгилүү массадагы газды карайлы. Башталышында газдын басымы p_1, көлөмү V_1, температурасы T_1 болсун. Поршен жогору көздөй жылган болсун (12.92.1б - сүрөт). Бул абалдагы газдын басымы p_2, көлөмү V_2, температурасы T_2 болуп калат. Ушул абалдардын кандай байланышы бар экендигин карайлы. Ал үчүн газдын ушул эки абалы үчүн тең (12.92.4) теңдемесин жазабыз.



12.92.1-сүрөт

I абал үчүн:

$$p_1V_1 = \frac{m}{M}RT_1 \text{ же } \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{m}{M}R \qquad (12.92.5)$$

II абал үчүн:

$$p_2V_2 = \frac{m}{M}RT_2 \text{ же } \frac{p_2V_2}{T_2} = \frac{m}{M}R \qquad (12.92.6)$$

Газдын I жана II абалдары үчүн жазылган (12.92.5) жана (12.92.6) теңдемелеринин оң жактары барабар, ошондуктан алардын сол жактары да барабар болушу керек:

$$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}=\text{const} \qquad (12.92.7)$$

Демек, берилген массадагы газдын басымы менен көлөмүнүн көбөйтүндүсүнүн анын температурасына болгон катышы газдын ар кандай абалдары үчүн турактуу болот. Газ абалынын (12.92.7) түрүндөгү теңдемесин биринчи жолу француз окумуштуусу Б.Клапейрон (1799-1864) жазган. Ал эми (12.92.4) формасындагы газ абалынын теңдемеси алгачкы жолу орус окумуштуусу Д.И. Менделеев (1834-1907) тарабынан алынган. Ошондуктан (12.92.4) формасындагы газ абалынын теңдемесин физикада Менделеев-Клапейрондун теңдемеси деп атайт.

12.92.1-сүрөттө көрсөтүлгөн сыяктуу тажрыйбаны жүргүзүп (12.92.7) теңдемесинин тууралыгын текшерсе болот. Ал үчүн цилиндрге андагы газдын басымын өлчөй турган манометрди туташтыруу керек, температураны өлчөө үчүн термометрдин, көлөмдү эсептеп чыгаруу үчүн миллиметрлери көрсөтүлгөн сызгыч болушу керек. Физикада мындай тажрыйба жүргүзүлгөн жана (12.92.7) теңдемесинин тууралыгы текшерилген. Мындан МКТнын негизги теңдемесинин туура экендиги жөнүндөгү тыянак чыгарылган. Ушундай тажрыйбаны мектеп шартында жүргүзсө да болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. МКТнын негизги теңдемесин жалаң макрочоңдуктар аркылуу жазуунун максаты эмнеде?
2. Жалаң макрочоңдуктар аркылуу жазылган МКТнын негизги теңдемесин жазгыла. Аны эмне үчүн газ абалынын теңдемеси деп атайт?
3. (12.92.4) формуласындагы газ абалынын теңдемесин келтирип чыгаргыла. Ал теңдемеге физикада кандай ат берилген?
4. (12.92.6) формасындагы газ абалынын теңдемесин келтирип чыгаргыла. Ал теңдеменин тууралыгын текшере турган тажрыйбанын долбоорун түзгүлө.

93-§. Газ абалынын теңдемесинин жекече учурлары. Газ закондору

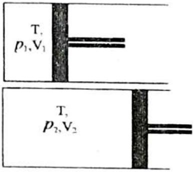
Газ абалынын теңдемесинен көрүнүп тургандай, газдын ар кандай абалы үч чоңдук менен берилет: басымы, көлөмү, температурасы менен. Бул чоңдуктардын биринин өзгөрүшү калган экөөнүн өзгөрүшүнө алып келет. Мисалы, поршен менен жабылган цилиндрдеги газ ысытылса, башкача айтканда температурасы жогорулатылса, анын басымы, көлөмү чоңоет.

Физикада ар кандай үч чоңдуктун өз ара байланышы изилденген учурларда төмөнкүдөй усул (метод) пайдаланылат: ушул үч чоңдуктун бирөө турактуу кармалып, калган экөөнүн байланышы изилденет. Кийин экинчиси, анан үчүнчүсү турактуу кармалат да калгандарынын байланыштары каралып, тиешелүү жыйынтык чыгарылат.

Газ абалын аныктоочу чоңдуктардын байланыштарын изилдөөдө да ушул усул пайдаланылат.

1. *Изотермалык процесс.*

Бизге массасы m болгон газ берилген болсун. Анын температурасы турактуу калгандай шартта көлөмү өзгөртүлсүн. Бул учурда газдын басымы кандайча өзгөрөт? – деген суроого жооп табалы. Мындай процесс, мисалы, 12.93.1-сүрөттө көрсөтүлгөн цилиндрдеги газ үчүн орун алат: поршень акырын жылдырылганда газдын температурасы өзгөрүүсүз калат.



12.93.1-сүрөт

Коюлган суроого жооп берүү үчүн газ абалынын (12.92.7) түрүндөгү теңдемесине кайрылабыз. Шарт боюнча $T=const$, башкача айтканда $T_1=T_2$.

Бул шартты эске алсак (12.92.7) теңдемеси төмөнкү түргө келет:

$$p_1V_1= p_2 V_2 \text{ же } pV=const \qquad (12.93.1)$$

Турактуу температура кезинде жүргөн процессти физикада ***изотермалык*** процесс деп атайт (грекчеден которгондо изос – бирдей, термос – жылуулук дегенди билдирет).

Демек, (12.93.1) теңдемесинен көрүнүп тургандай изотермалык процесс кезинде газдын берилген массасынын көлөмү өзгөрсө, анын басымы да өзгөрөт, бирок алардын көбөйтүндүсү турактуу бойдон калат. Газдын көлөмү канча эсеге чоңойсо, басымы ошончо эсеге азаят же тескерисинче болот.

Бул закон ченемдикке биз газ абалынын теңдемесин талдоонун негизинде келдик. Бирок физикада ал алгачкы жолу тажрыйба жүзүндө англиялык окумуштуу Р. Бойль (1627-1691) жана француз окумуштуусу Э. Мариотто (1620-1684) тарабынан ачылган. Ошондуктан аны Бойль-Мариотто закону деп атайт.

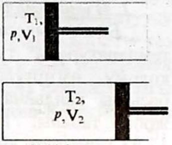
Бойль-Мариотто законунун себебин МКТнын негизги жоболоруна таянуу менен түшүндүрүүгө болот: температура турактуу болгондуктан изотермалык процесс кезинде газдын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы турактуу сакталат. Газдын көлөмү чоңойгондо газдын молекулаларынын концентрациясы, башкача айтканда көлөм бирдигиндеги молекулалардын саны азаят. Ошондуктан басым көрсөтүлүүчү бетке урунуучу молекулалардын саны азаят. Анын натыйжасында газдын ошол бетке көрсөткөн басымы азаят. Газдын көлөмү кичирейтилсе, ушуга тескери болгон факт орун алат.

2. Изобаралык процесс

Бизге массасы *m* болгон газ берилсин. Анын басымы турактуу калгандай шартта температурасы өзгөртүлсүн.Бул учурда газдын көлөмү кандайча өзгөрүлөт? –деген суроого жооп табалы.

Мындай процесс 12.93.2-сүрөттө көрсөтүлгөн цилиндрдеги газ үчүн орун алат: анын басымы өзгөрөйүн дегенде поршень жылып кетет да, басымы өзгөрбөй калат.

Коюлган суроого жооп берүү үчүн изотермалык процесс кезиндегидей эле газ абалынын (12.92.7) түрүндөгү теңдемесине кайрылабыз.



12.93.2-сүрөт

Шарт боюнча $p=const$, башкача айтканда $p_1=p_2$.

Бул шартты эске алсак, аталган теңдеме төмөнкү түргө келет:

$$\frac{V_1}{T_1}=\frac{V_2}{T_2}\text{ , башкача айтканда }\frac{V}{T}=const \qquad (12.93.2)$$

Турактуу басым кезинде жүргөн процессти физикада *изобаралык* процесс деп атайт (грекчеден которгондо изос - бирдей, барос - басым дегенди билдирет).

Демек, (12.93.2) ден көрүнүп тургандай изобаралык процесс кезинде газдын берилген массасынын, мисалы, температурасы өзгөртүлсө, анын көлөмү да өзгөрүлөт, бирок көлөмдүн абсолюттук температурага болгон катышы турактуу бойдон калат.

Бул закон ченемдик алгачкы жолу тажрыйба жүзүндө 1802-жылы француз окумуштуусу Ж.Гей-Люссак (1778-1850) тарабынан ачылган. Ошондуктан аны физикада Гей-Люссактын закону деп атайт.

Бул закондун орун алыш себебин МКТнын негизги жоболоруна таянуу менен түшүндүрөлү: температура, мисалы, жогорулатылса газдын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы чоңоюп, анын натыйжасында басым да чоңоюшу керек эле ((12.91.1) формуланы карагыла). Бирок, поршень (12.93.2-сүрөт) эркин кыймылдагандыктан жылып кетип, басым өзгөрбөй калат, себеби көлөм чоңоюп, газдын молекулаларынын концентрациясы азаят. Ушинтип, изобаралык процесс кезинде газдын температурасы чоңойсо, көлөмү да чоңоет. Эгерде газдын температурасы төмөндөтүлгөн болсо, ушуга тескери болгон факт орун алат.

3. Изохоралык процесс

Бизге массасы *m* болгон газ берилсин. Анын көлөмү турактуу калгандай шартта температурасы өзгөртүлсүн. Бул учурда газдын басымы кандайча өзгөрүлөт? – деген суроого жооп табалы.

Мындай процесс поршени жылбай тургандай бекитилген цилиндрдеги газда орун алышы мүмкүн.

Турактуу көлөм кезинде жүргөн процессти физикада *изохоралык* процесс деп атайт. Мындай, *V=const* болгон процесс кезинде газдын берилген массасынын температурасы өзгөртүлсө, анын басымы да өзгөрүлөт, бирок басымдын абсолюттук температурага болгон катышы турактуу бойдон калат.

$$\frac{p}{T} = const \qquad (12.93.3)$$

болот.

Бул закон ченемдик алгачкы жолу тажрыйба жүзүндө 1787-жылы француз окумуштуусу Ж. Шарль (1746-1823) тарабынан ачылган. Ошондуктан аны физикада Шарль закону деп атайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Газдын абалы кандай чоңдуктар менен берилет?
2. Үч чоңдуктун өз ара байланыштары физикада кандайча изилденет?
3. Газ абалын аныктоочу үч чоңдуктун байланыштарын изилдөөнүн кандай варианттарын сунуш кылууга болот?
4. Газ абалынын теңдемеси изотермалык, изобаралык жана изохоралык процесстер үчүн кандай түрдө жазылат?
5. Бойль-Мариотто законун айткыла, анын себебин түшүндүргүлө.
6. Гей-Люссактын законун айткыла, анын себебин түшүндүргүлө. Газдын температурасы төмөндөсө, анын көлөмү кандайча өзгөрөрүн талдагыла.
7. Шарлдын законун айткыла, анын себебин түшүндүргүлө. Газдын температурасы төмөндөсө, анын басымы кандайча өзгөрөрүн талдагыла.

XIII Бап. ТЕРМОДИНАМИКАНЫН НЕГИЗДЕРИ

Заттын температурасынын өзгөрүшү менен жүргөн кубулуштарды физикада жылуулук кубулуштары деп атайт. Жылуулук кубулуштарын изилдөөнүн эки жолу бар: 1) заттын молекулалык түзүлүштөрүн эске алуу менен изилдөө; 2) заттын молекулалык түзүлүштөрүн эске албай эле, анын касиеттерин, абалдарды мүнөздөөчү макропараметрлер боюнча изилдөө.

Телолордун молекулалык түзүлүштөрүн эске албастан, алардын макропараметрлерине таянуу менен изилденген жылуулук кубулуштарынын теориясын физикада *термодинамика* деп атайт. Бул главада биз ушул теориянын негиздерин карайбыз: ага мүнөздүү болгон түшүнүктөрдү, закончененемдиктерди беребиз, турмуштагы, техникадагы маанилерин ачып көрсөтөбүз.

94-§. Ички энергия

Механикадан бизге төмөнкүдөй илимий фактылар белгилүү:

1. Кыймылдагы тело кинетикалык энергияга ээ болот. Ал башка телолорго аракет этип, өзүнүн кинетикалык энергиясынын азайышынын эсебинен жумуш аткара алат, башкача айтканда ошол башка телонун кинетикалык энергиясын өзгөртөт.

2. Ар кандай телону Жер өзүнө тартат. Жердин ушундай тартуу аракети болгондугу үчүн ар кандай тело потенциалдык энергияга ээ болот, ушул энергиясынын эсебинен ал жумуш аткара алат, башкача айтканда өзүнүн кинетикалык энергиясын өзгөртүү менен кыймылга келе алат.

Молекулалык кинетикалык теориядан бизге төмөнкүдөй фактылар белгилүү:

1. Ар кандай зат молекулалардан турат. Бул молекулалар тынымсыз баш аламан кыймылда болушат.

2. Заттын молекулалары өз ара тартышышат жана түртүшүшөт. Мындай өз ара аракеттенишүүнүн мүнөзү жана чоңдугу молекулалардын ортосундагы аралыктан көз каранды болот.

Жогорудагыдай фактылардын негизинде төмөнкүдөй тыянактар келип чыгат:

1. Затты түзгөн молекулалар тынымсыз кыймылда болушкандыктан ар бир молекула тиешелүү кинетикалык энергияга ээ болот.

2. Затты түзгөн молекулалар өз ара аракеттенишкендиктен ар бир молекула аны курчап турган башка молекулалардын аракетинин

натыйжасында түзүлгөн потенциалдык энергияга ээ болот (Ар кандай тело Жердин тартуу аракетинин натыйжасында түзүлгөн потенциалдык энергрияга ээ болгон сыяктуу).

3. Затты түзгөн ар бир молекула кинетикалык жана потенциалдык энергияларга ээ болот. Ар кандай затта молекулалар эбегейсиз көп. Ошондуктан ар бир молекуланын кинетикалык жана потенциалдык энегиялары өтө кичине болсо да, берилген заттагы бардык молекулалардын кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасы сезилерлик чоң болот. Ушул энергияны физикада *ички энергия* деп атайт, аны U тамгасы менен белгилейт.

Демек, затты түзгөн молекулалардын кинетикалык жана потенциалдык энергияларынын суммасына барабар болгон энергияны ички энергия деп атайт.

Ушул жерде, закондуу түрдө, мындайча бир суроо туулат: заттын ички энергиясын аныктоого болобу?

Бул суроого жооп берүүгө аракеттенип көрөлүчү: ар кандай затта молекулалар эбегейсиз көп; заттын ички энергиясын аныктоо үчүн анын ар бир молекуласынын кинетикалык жана потенциалдык энергиясын аныктап, алардын суммасын табуу керек. Ушундай ишти аткаруу мүмкүнбү? Албетте, мүмкүн эмес! (Эмне үчүн экенин өзүңөр ойлонуп тапкыла). Демек заттын *ички энергиясын аныктоо мүмкүн эмес*.

Бирок *ички энергиянын өзгөрүшүн баалоого, аныктоого болот.*

Бизге белгилүү болгондой (90-§), молекулалардын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болуп абсолюттук температура эсептелет. Демек, затты түзгөн молекулалардын кинетикалык энергияларынын өзгөрүүсүн заттын температурасынын өзгөрүүсү боюнча баалоого болот.

Ал эми затты түзгөн молекулалардын потенциалдык энергияларынын өзгөрүүсүн заттын көлөмүнүн өзгөрүүсү боюнча баалоо мүмкүн. Себеби, молекулалардын потенциалдык энергиясы алардын ортосундагы аралыктардан көз каранды. Ал эми заттын көлөмү өзгөрүлгөндө молекулалардын ортосундагы аралыктар, демек, алардын потенциалдык энергиялары өзгөрүлөт.

Демек, заттын ички энергиясы анын температурасы менен көлөмүнөн көз каранды болот, алардын өзгөрүшү аркылуу ички энергиянын өзгөрүшү бааланат. Ал эми температура менен көлөм макроскопикалык параметрлер, алардын чоңдугун жана өзгөрүүсүн ченөө мүмкүн.

Ушинтип биз төмөнкүдөй маанилүү тыянакка келдик: ар кандай телолор, заттар ички энергияга ээ болушат; бул энергиянын абсолюттук маанисин аныктоо мүмкүн эмес (бир атомдуу идеалдык газдан башка телолордукун); ички энергия телонун температурасынан жана көлөмүнөн көз каранды болот; ушул параметрлердин өзгөрүүсү боюнча ички энергиянын өзгөрүүсүн баалоо жана аныктоо мүмкүн.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Механикадан энергияга байланыштуу кандай илимий фактылар белгилүү?
2. Заттын түзүлүшү жөнүндө МКТ дан кандай илимий фактылар белгилүү?
3. Механикадан жана МКТ дан белгилүү фактылардын негизинде кандай тыянак келип чыгат?
4. Ички энергия деген эмне?
5. Ички энергиянын абсолюттук маанисин аныктоого болобу? Эмне үчүн?
6. Ички энергиянын өзгөрүүсүн аныктоого болобу? Эмне үчүн?
7. Ички энергия макроскопикалык кандай параметрлерден көз каранды болот? Жообуңарды негиздегиле.
8. Телонун ички энергиясынын туруктуу экенин же өзгөрүп жатканын кантип билүүгө болот?

95-§. Бир атомдуу идеалдык газдын ичи энергиясы

Молекулалардан эмес, бөлөк-бөлөк атомдордон гана турган газ бир атомдуу газ болуп саналат. Мындай газдар болуп инерттүү газдар – гелий, неон, аргон ж.б. эсептелишет. Кадимки шарттарда (кадимки көлөм, басым, температура кезинде) мындай газдарды идеалдык газ катарында алуу мүмкүн. Алар бир атомдуу идеалдык газдар болуп саналышат.

Ушундай бир атомдуу идеалдык газдын ички энергиясын аныктоо мүмкүн.

Идеалдык газда анын молекулаларынын өз ара аракеттенишүүлөрү эске алынбайт, алардын потенциалдык энергиялары нөлгө барабар болот. Демек, ар кандай идеалдык газдын ички энергиясы анын молекулаларынын кинетикалык энергияларынын суммасына гана барабар болот. Ошондуктан идеалдык газдын ички энергиясын аныктоо үчүн анын молекулаларынын кинетикалык энергияларынын суммасын табуу керек. Мындай ишти бир атомдуу идеалдык газ үчүн гана аткаруу мүмкүн.

Бир атомдуу идеалдык газдын атомдору бири-бири менен урунушканга чейин алга умтулуу гана кыймылына келишет. Ал эми эки же андан көп атомдордон түзүлгөн молекулалардан турган идеалдык газдын молекулалары алга умтулуу эле эмес, айлануу кыймылына да келишет. Мисалы, түрдүү түстөргө боёлгон топту ыргытсак анын алга умтулуу эле эмес, айлануу да кыймылына келгендигин көрөбүз. Ал эми өтө кичинекей, түрдүү түстөргө боёлгон шарикти ыргытсак, анын алга умтулуу кыймылына келгенин көрөбүз, бирок айлануу кыймылына келгенин байкабайбыз. Ошондуктан топтун кинетикалык энергиясы жөнүндө сөз болгондо анын алга умтулуу жана айлануу кыймылдарынын кинетикалык энергияларын эске алуу керек. Ал эми кичинекей шариктин кинетикалык энергиясы анын алга умтулуу кыймылынын гана кинетикалык энергиясына барабар болот.

Ушул сыяктуу эле бир атомдуу идеалдык газдын атомунун кинетикалык энергиясы анын алга умтулуу кыймылынын кинетикалык энергиясына барабар болот. (Анткени биз атомду, материалдык чекит катары карайбыз). Ал эми башка идеалдык газдардын молекулаларынын кинетикалык энергиясы анын алга умтулуу жана айлануу кыймылдарынын кинетикалык энергияларынын суммасына барабар болот.

Бизге белгилүү болгондой (90-§), идеалдык газдын молекулаларынын алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергиясынын чени болуп, анын абсолюттук температурасы эсептелет. Абсолюттук температураны ченөө аркылуу бул энергияны аныктоо мүмкүн ((12.90.1) формуланы карагыла).

Демек, бир атомдуу идеалдык газдын ар бир атомунун (молекуласынын) орточо кинетикалык энергиясын (12.90.1) формуласын пайдалануу менен табууга болот:

$$\overline{E} = \frac{2}{3}kT$$

Ал эми массасы m, молдук массасы M болгон бир атомдуу идеалдык газдын бардык атомдорунун орточо кинетикалык энергияларынын суммасын аныктоо үчүн $\overline{E}$ ни газды түзгөн атомдордун санына көбөйтүү керек.

Мындайча аныкталган чоңдук аталган газдын ички энергиясына барабар болот.

Демек, бир атомдуу идеалдык газдын ички энергиясы аны түзгөн атомдордун алга умтулуу кыймылынын орточо кинетикалык энергияларынын суммасына барабар болот:

$$U = \overline{E}N = \frac{3}{2}kT \cdot N \qquad (13.95.1)$$

(11.82.5) жана (12.92.3) формулаларынан пайдаланып,

$$N = \frac{m}{M}\frac{R}{k} \qquad (13.95.2)$$

болорун табабыз.

(13.95.2) ни (13.95.1) ге коюп, төмөнкү формуланы алабыз:

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT \qquad (13.95.3)$$

Мында, m – берилген бир атомдуу идеалдык газдын массасы, M – анын молдук массасы, T – абсолюттук температурасы, U – ички энергиясы.

Демек, бир атомдуу идеалдык газдын ички энергиясы анын абсолюттук температурасына пропорциялаш болот, аны (13.95.3) формуласы менен аныктоо мүмкүн. Ал эми бир атомдуу эмес идеалдык газдардын дагы, ар кандай башка телолордун дагы ички энергиясын аныктоо мүмкүн эмес.

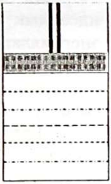
Суроолор жана тапшырмалар

1. Кандай газдар бир атомдуу идеалдык газдар болушат?
2. Идеалдык газдын ички энергиясы кайсыл энергияга барабар болот? Эмне үчүн?
3. Бир атомдуу идеалдык газдын башка идеалдык газдардан айырмачылыгы эмнеде? Бул айырмачылыкты мисалдар менен түшүндүргүлө.
4. Бир атомдуу идеалдык газдын ички энергиясы эмнеге барабар болот? Жообуңарды негиздегиле.
5. (13.95.2), (13.95.3) формулаларын келтирип чыгаргыла.
6. (13.95.3) формуласын ар кандай идеалдык газ үчүн пайдаланса болобу? Эмне үчүн?

96-§. Ички энергиянын өзгөрүшүнүн себептери

Бизге белгилүү болгондой, телонун ички энергиясынын өзгөрүшү, анын температурасынын жана көлөмүнүн өзгөрүшү боюнча бааланат (93-§). Ушул фактыларды эске алуу менен ички энергиянын өзгөрүшүнүн себептерин талдайбыз, башкача айтканда «кандай шарттарда телонун ички энергиясы өзгөрөт?» деген суроого жооп беребиз.

Ал үчүн изилдөөнүн обьектиси катарында кыймылдуу поршень менен жабылган цилиндрдеги газды тандап алабыз (13.96.1а - сүрөт).

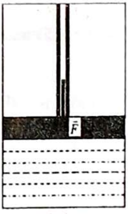


13.96.1-а сүрөт

Бул газдын температурасынын өзгөрүшүн, ага матырылган термометрдин көрсөтүүсү боюнча, көлөмүнүн өзгөрүүсүн поршендин ээлеген абалынын өзгөрүүсү боюнча баалоого болот.

Бир нече фактыны талдайлы.

1. Газ кысылган абалында кармалып туруп, бош кое берилсин. Анда, газ кеңейет, поршень сыртты көздөй жылат, башкача айтканда газдын көлөмү өзгөрүлөт. Демек, газдын ички энергиясы өзгөрүлөт.



13.96.1-б сүрөт

Бул өзгөрүүнүн кандайча жүрөрүн түшүндүрүү үчүн газды шарттуу түрдө бир нече катмарларга бөлөлү. (13.96.1а - сүрөттө ал бир нече пунктирлүү сызыктар менен көрсөтүлгөн). Газдын поршенге тийишип турган *1* катмары поршенге күч менен аракет этип, аны көтөрөт, башкача айтканда жумуш аткарат. Газдын *2* - катмары *1* - катмарына күч менен аракет этип, ал катмарды жылдырат, башкача айтканда жумуш аткарат. Газдын *3* - катмары болсо, анын *2* - катмарына күч менен аракет этип, аны жылдырат, башкача айтканда жумуш аткарат, д.у.с. Ушинтип, газдын кеңейиши газдын бардык катмарларынын, башкача айтканда газдын жумуш аткаруусу менен жүрөт.

Ал эми газдын кеңейиши, аны түзгөн молекулалардын потенциалдык энергиясынын башкача айтканда, анын ички энергиясынын өзгөрүшүн билдирет. Демек газдын ички энергиясы, анын өзүнүн жумуш аткаруусунун натыйжасында өзгөрөт.

2. Поршенге сырттан $\vec{F}$ күчү аракет этип (13.96.1б - сүрөт), газды кыссын. Бул учурда сырткы күч газдын катмарларын жылдырып, жумуш аткарат.

Анын натыйжасында газдын көлөмү, демек газдын ички энергиясы өзгөрүлөт.

Жогорудагы 1 жана 2 фактылардын негизинде төмөнкүдөй тыянакка келебиз: газдын ички энергиясы газдын өзү жумуш аткарган учурда же газга аракет эткен сырткы күч жумуш аткарган учурда өзгөрүшү мүмкүн. Демек, ички энергиянын өзгөрүшүнүн себеби болуп, газдын өзүнүн жумуш аткаруусу, же газга аракет эткен сырткы күчтүн жумуш аткаруусу эсептелет.

3. Цилиндрдеги ысытылган газ бөлмөгө жайгаштырылса, ал ошол бөлмөдөгү аба менен жылуулук тең салмактуулук абалына келгенге чейин муздайт. Башкача айтканда газдын температурасы, демек, анын ички энергиясы өзгөрүлөт.

Эгерде цилиндрдеги газ ысытылган плитанын үстүнө коюлса дагы анын температурасы, демек, ички энергиясы өзгөрүлөт.

Мындан төмөнкүдөй тыянак келип чыгат: телонун ички энергиясынын өзгөрүшүнүн себеби болуп, телонун сыртка жылуулук берүүсү, же сырттан жылуулук алуусу эсептелет.

Демек, ички энергиянын өзгөрүшүнүн себеби болуп төмөнкүлөр эсептелет: а) телонун өзүнүн жумуш аткаруусу; б) телого аракет эткен сырткы күчтүн жумуш аткаруусу; в) телонун сыртка жылуулук берүүсү; г) телонун сырттан жылуулук алуусу.

Ошондуктан, биз эми термодинамикадагы жумуштун кандайча аныкталарын жана жылуулук алмашуу сан жагынан кандай чоңдук менен бааланарын карашыбыз керек.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телонун ички энергиясынын өзгөрүшү кандай чоңдуктар аркылуу бааланат? Эмне үчүн?
2. Цилиндрдеги камалган газдын ички энергиясынын өзгөрүшү кандайча аныкталышы мүмкүн?
3. Кысылган газ кеңейген учурда анын ички энергиясынын өзгөрүшүн кандайча түшүндүрүүгө болот? Бул учурда ички энергиянын өзгөрүп жатканын биз кантип билебиз?
4. Сырткы күчтүн аракети менен газ кысылган кезде, анын ички энергиясынын өзгөрүшүнүн себеби эмнеде? Бул учурда ички энергиянын өзгөрүп жатканын биз кандай белгилер боюнча билебиз?
5. Жылуулук алмашуу кезинде ички энергиянын өзгөрө турганын биз кайдан билебиз?
6. Ички энергия кандай себептерге байланыштуу өзгөрүшү мүмкүн?

97-§. Термодинамикадагы жумуш

Мурдагы параграфта айтылгандай, газдын ички энергиясынын өзгөрүшүнүн себеби болуп, ошол газдын өзүнүн жумуш аткаруусу, же телого аракет эткен сырткы күчтүн жумуш аткаруусу эсептелет. Мындай жумуштун натыйжасында телонун көлөмү, демек аны түзгөн молекулалардын потенциалдык энергиясы өзгөрүлөт (13.96.1б - сүрөттө берилген мисалдарды карагыла).

Бирок, мындай жумуштун натыйжасында молекулалардын потенциалдык эле эмес, кинетикалык энергиясы да өзгөрүүгө дуушар болот.

Биз мына ушул кубулушту түшүндүрөлү. Ал үчүн газ кеңейген жана кысылган учурлардагы газдын жумуштарын талдайбыз.

Бул максатта, барыдан мурда, мындай талдоо кезинде биз таяна турган төмөнкү фактыларды көз алдыга келтирели.

Футболчуну көздөй топ учуп келатсын. Футболчу топту бутунун кандай абалында тосуп алганына жараша, анын бутуна ургандан кийин топ түрдүүчө кинетикалык энергия менен кыймылга келиши мүмкүн:

1. Топ бутуна келип тийген моменттен баштап футболчу бутун топтун кыймылынын багыты боюнча артты көздөй жылдырсын. Анда топ мурдагысына караганда азырак кинетикалык энергия менен кайра кайтат.

2. Топ бутуна келип тийген моментте футболчунун буту кыймылсыз турган болсун. Анда топ кандай кинетикалык энергия менен келип тийсе, ошондой кинетикалык энергия менен кайра кайтат.

3. Топту футболчу бутун алдыга көздөй шилтөө менен тосуп алсын. Анда топ мурдагысына караганда чоңурак кинетикалык энергия менен кайтат.

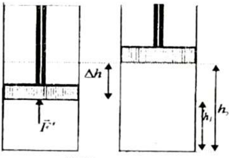
Ушул сыяктуу эле, цилиндрдеги поршенди сыртты көздөй жылдыруу менен андагы газды кеңейтели. Анда бул газдын молекулалары алыстап бараткан поршенге жана алыстап баратышкан башка молекулаларга барып урунушат. Анын натыйжасында ушул урунуунун натыйжасында урунган молекулалардын кинетикалык энергиялары азаят (жогорудагы 1-фактыны карагыла).

Демек газ кеңейген кездеги газдын аткарган жумушунун натыйжасында газдын температурасы төмөндөйт.

Эгерде поршень жылбай, газдын көлөмү өзгөрбөй турган болсо, анда поршенге жана бири-бирине урунушкан молекулалардын орточо кинетикалык энергиясы өзгөрүүсүз калат (2-фактыны карагыла). Газдын жумушу нөлгө барабар болуп, анын ички энергиясы туруктуу калат (эгерде сырткы чөйрө менен жылуулук алмашуу эсепке алынбаган болсо).

Газ кысылган учурда анын молекулалары, жакындап (утурлап) келаткан поршенге жана өзүн утурлап келаткан башка молекулаларга урунушат. Анын натыйжасында ушул урунган молекулалардын кинетикалык энергиялары чоңоёт (жогорудагы 3-фактыны карагыла). Демек, газ кысылган учурда газдын температурасы жогорулайт.

Ушинтип, биз төмөнкүдөй тыянакка келдик: газдын жумушунун, же газга аракет эткен сырткы күчтүн жумушунун натыйжасында газдын молекулаларынын потенциалдык дагы (96-§ты карагыла), кинетикалык дагы энергиялары өзгөрүлөт. Бул өзгөрүүлөр газдын көлөмүнүн жана температурасынын өзгөрүшү боюнча бааланат. Жыйынтыктап айтканда, аталган жумуштардын натыйжасында газдын ички энергиясы өзгөрүлөт.



13.97.1-сүрөт

Эми газдын жумушун, газ абалын аныктоочу параметрлер аркылуу аныктоого мүмкүндүк бере турган формуланы келтирип чыгаралы.

Изилдөөнүн обөектиси катарында кыймылдуу поршень менен жабылган цилиндрдеги газды алабыз. Бул газ поршенге $\vec{F}'$ күчү менен аракет этип, аны $\Delta h = h_2 - h_1$ аралыгына которуп, жумуш аткарсын (13.97.1-сүрөт). Бул жумуш төмөнкүгө барабар болот:

$$A' = F'\Delta h = F'(h_2 - h_1) \qquad (13.97.1)$$

F' күчү газдын басымынын натыйжасында пайда болот. Анын модулу төмөнкүгө барабар:

$$F' = p \cdot S \qquad (13.97.2)$$

Мында, p - газдын басымы; S – басым көрсөтүлгөн беттин аянты.

Эгерде Δh которулушу кичине болсо, газдын басымын жана F' күчүн туруктуу деп алса болот.

(13.97.2) ни (13.97.1) гө коюп төмөнкүнү алабыз:

$$A' = p(Sh_2 - Sh_1) \qquad (13.97.3)$$

Мындагы $Sh_2 = V_2$; $Sh_1 = V_1$ болот. V_2 –газдын кийинки, V_1 -анын мурдагы көлөмдөрү. Ушул белгилөөлөрдү эске алсак,

$$A' = p(V_2 - V_1) = p \cdot \Delta V \qquad (13.97.4)$$

болору келип чыгат.

Мында p –газдын басымы, $\Delta V=V_2 -V_1$ -газдын көлөмүнүн өзгөрүшү. Бул эки чоңдук тең газ абалын аныктоочу макропараметрлер, A' - газдын жумушу.

Демек, газдын жумушун газ абалын аныктоочу параметрлер аркылуу аныктоого болот. Ушул (13.97.4) формуласы менен аныкталган жумушту физикада термодинамикадагы жумуш деп атайт.

(13.97.4) формуладан көрүнүп тургандай, газ кеңейгендеги газдын жумушу оң болот, бул учурда газдын температурасы төмөндөйт (жогоруда негиздеп айтылды).

Ньютондун 3-закону боюнча поршень, башкача айтканда сырткы тело газга $\vec{F} = -\vec{F}'$ сырткы күчү менен аракет этет. Бул сырткы күчтүн жумушу $A = F \cdot \Delta h$ болот. Бул сырткы күчтүн жумушу менен газдын жумушу төмөнкүчө байланышкан:

$$A = F \cdot \Delta h = -F' \cdot \Delta h = -A'$$

Ошондуктан сырткы күчтүн жумушу

$$A = -A' = -p\Delta V \qquad (13.97.5)$$

болот.

Демек, сырткы телолор тарабынан аракет эткен күчтүн жумушу A, газдын жумушу A' тан белгиси боюнча айырмаланат.

Газ кеңейген кезде газдын жумушу A' оң, ал эми сырткы телолор тарабынан аракет эткен күчтүн жумушу терс болот. Алардын натыйжасында газдын температурасы төмөндөйт.

Газ кысылган болсо, газдын жумушу A' терс, сырткы тело тарабынан аракет эткен кучтун жумушу A оң болот (Сырткы күч поршенге, башкача айтканда сырткы телого аракет этет. Ошондуктан бул жерде сырткы тело аракет эткен күчтүн жумушу жөнүндө сөз болуп жатат).

Демек, изилдөөнүн обьектиси үчүн алынган газдын ички энергиясынын өзгөрүшү жөнүндө сөз болгондо, же газдын жумушу A', же сырткы тело тарабынан аракет эткен күчтүн жумушу A эсепке алынышы керек. Сырткы тело тарабынан аракет эткен күчтүн жумушун кыскача сырткы күчтүн жумушу деп атайт.

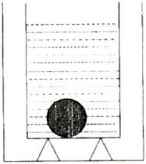
Суроолор жана тапшырмалар

1. Газдын, же ага аракет эткен сырткы күчтүн жумушунун натыйжасында ошол газдын молекулаларынын потенциалдык жана кинетикалык энергияларынын өзгөрүшүн негиздеп түшүндүргүлө.
2. Термодинамикадагы жумуш деп кайсыл жумуш айтылат? Ал эмнеге барабар?
3. Газдын жумушун газ абалын аныктоочу параметрлер аркылуу кантип эсептеп чыгарса болот?
4. Сырткы тело тарабынан газга аракет эткен күчтүн жумушу (же сырткы күчтүн жумушу) менен газдын жумушунун байланышы кандай?
5. Газдын ички энергиясынын өзгөрүшүн изилдөөдө газдын жумушу эске алынабы же сырткы күчтүн жумушубу? Жообуңарды негиздегиле.

98-§. Жылуулук саны

Телонун ички энергиясы сырткы телолор менен жылуулук алмашуунун натыйжасында дагы өзгөрөт **(96-§)**. Тактап айтканда, тело жылуулук алганда же сыртка жылуулук бергенде анын ички энергиясы өзгөрөт. Ички энергиянын ушундай жылуулук алмашуу учурларындагы өзгөрүүсүн аныктоого мүмкүндүк берүүчү чоңдукту киргизебиз. Бул чоңдукту физикада жылуулук саны деп атайт, аны физикада Q тамгасы менен белгилейт.

Бул чоңдукту киргизүү үчүн изилдөөнүн обьектиси катарында калориметрге куюлган сууну алалы (13.98.1-сүрөт).



13.98.1-сүрөт

Ушул сууга массасы m болгон, кайсы бир температурага чейин ысытылган темир шаригин салалы. Анда бул шарик сууга белгилүү бир сандагы жылуулукту, башкача айтканда жылуулук санын берет. Анын натыйжасында суунун температурасы жогорулайт, башкача айтканда ички энергиясы чоңоет.

Эгерде ушундай эле сууга массасы $2m$ болгон, мурдагычалык эле ысытылган темир шаригин салса, суунун температурасынын өзгөрүүсүнүн эки эсе чоң болгондугун тажрыйбалар көрсөтөт.

Демек, бул учурда темир шариги сууга мурдагыга караганда эки эсе көп жылуулук санын берет.

Эгерде мурдагыдай эле сууга массасы m болгон, бирок кызарганга чейин ысытылган темир шариги салынган болсо, анда сунун температурасынын, башкача айтканда ички энергиясынын өзгөрүшү биринчи учурга караганда чоң болорун тажрыйба көрсөтөт. Демек, темирдин температурасынын өзгөрүүсү чоң болсо дагы темирдин сууга берген жылуулук саны чоң болот.

Эгерде, эми мурдагыдай эле сууга массасы m болгон, темир менен бирдей температурага чейин ысытылган коргошун шаригин салса, суунун температурасынын, башкача айтканда ички энергиясынын өзгөрүүсү темир шаригин салгандагыга караганда кичинерээк болот. Демек ысык тело берген жылуулук саны ошол телонун массасы, температурасынын өзгөрүүсү менен катар, телонун тегинен да көз каранды болот.

Жогорудагыдай тажрыйбалардын негизинде мындай тыянак келип чыгат: жылуулук алмашуу кезинде ысык телонун муздак телого берген жылуулук саны, ошол ысык телонун массасына, температурасынын өзгөрүшүнө түз пропорциялуу болуу менен бирге, анын тегине да көз каранды болот.

Бул айтылгандарды математикалык түрдө төмөнкүчө жазуу мүмкүн:

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t \qquad (13.98.1)$$

Мында, Q - ысык телонун муздак телого берген жылуулук саны; m – ошол ысык телонун массасы; $\Delta t = t_2 - t_1$- анын температурасынын өзгөрүшү. Ал эми c - пропорциалаштык коэффициенти – ошол ысытылган телонун тегине мүнөздүү болгон чоңдук. Аны физикада заттын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу деп атайт (ал жөнүндө кийинки параграфты карагыла).

Демек, жылуулук алмашуу кезинде ысык телонун муздак телого берген жылуулук саны үчүн ошол ысык телонун салыштырма жылуулук сыйымдуулугунун, массасынын жана температурасынын өзгөрүшүнүн көбөйтүндүсүнө барабар болгон чоңдук алынат.

Жылуулук алмашуу кезинде муздак тело ысык телонун берген жылуулук санын толук бойдон өзүнө алат. Муздак тело алган жылуулук саны дагы ысык тело берген жылуулук саны сыяктуу эле (13.98.1) түрүндөгү формула менен аныкталат. Анда Q - муздак телонун ысык телодон алган жылуулук саны катарында алынат. Ал эми c жана m тиешелүү түрдө ошол муздак телонун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу жана массасы; $\Delta t = t_2 - t_1$- анын температурасынын өзгөрүшү болуп саналышат.

Чынында эле, Q - жылуулук санын алып жаткан муздак телонун массасы кичине болсо, анын температурасынын өзгөрүүсү чоң, ал эми массасы чоң болсо, температурасынын өзгөрүүсү кичине болот. Бул өзгөрүүнүн телонун теги менен да байланышы бар. Демек, c, m, Δt чоңдуктары жылуулук алган муздак тело үчүн жазылган болсо, (13.98.1)- формула муздак телонун алган жылуулук санын туюнтуп калат.

Жогорудагыларды жыйынтыктап, төмөндөгүлөрдү белгилөөгө болот:

а) жылуулук алмашуу кезинде ысык тело муздак телого белгилүү бир жылуулук санын берет;

б) бул учурда муздак тело ошончолук жылуулук санын алат;

в) жылуулук алмашуу кезинде тело берген же алган жылуулук саны (13.98.1) формуласы менен аныкталат; алар бири-биринен белгилери боюнча айырмаланышат: жылуулук санын берген тело үчүн $Q<0$ (себеби $t_2<t_1$), ал эми жылуулук санын алган тело үчүн $Q>0$ (себеби $t_2>t_1$ болот;

г) жылуулук алмашуунун жүрүшүндө ысык телонун ички энергиясы, ошол телонун муздак телого берген жылуулук санынчалык мааниге азаят; муздак телонун ички энергиясы болсо, ысык телодон алган жылуулук санынчалык мааниге чоңоет.

Демек, жылуулук саны – жылуулук алмашуу кезиндеги жылуулук алган, же жылуулук берген телолордун ички энергияларынын өзгөрүшүнүн чени болуп саналат. Ошондуктан анын бирдиги дагы энергиянын бирдиги сыяктуу *Джоуль (Дж)* болуп эсептелет.

Жогорудагы мисалдарда биз башка телолордон ажыратылган, муздак жана ысык эки телонун жылуулук алмашууларын карадык. Эгерде телого жылуулук саны жылуулуктун булагы, мисалы, меш тарабынан берилген болсо, тело алган жылуулук саны кандайча аныкталат деген суроо берилиши мүмкүн. Бул учурда дагы тело алган жылуулук саны, башкача айтканда телонун ички энергиясынын чоңоюшу (13.98.1) формуласы боюнча аныкталат. Бирок, печтин ички энергиясы азайбайт, анын азайышы күйгөн отундун энергиясынын эсебинен толукталып турат.

Демек, телого жылуулук саны салыштырмалуу ысык болгон, башкача айтканда температурасы жогору болгон башка тело тарабынан же жылуулук булагы тарабынан берилиши мүмкүн. Эки учурда тең тело алган жылуулук саны (13.98.1) формуласы менен аныкталат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Физикада «жылуулук саны» түшүнүгү кандай зарылдыкка байланыштуу киргизилген?
2. Ысык телонун муздак телого берген жылуулук саны кандай чоңдуктардан көз каранды болот? Аларга түшүндүрмө бергиле.
3. Жылуулук алмашуу кезинде ысык телонун муздак телого берген жылуулук саны эмнеге барабар? Муздак телонун алган жылуулук санычы? Жообуңарды негиздегиле.
4. Телонун жылуулук булагынан алган жылуулук саны кандайча аныкталат?
5. Жылуулук саны эмнени көрсөтөт? Бул тыянакка алып келүүчү фактыларды келтиргиле.

99-§. Салыштырма жылуулук сыйымдуулук

Мурдагы параграфта жылуулук алмашуу кезинде тело берген (же алган) жылуулук санын туюнтуучу (13.98.1) формуласындагы *c* пропорциялаштык коэффициенти, ошол телонун тегине мүнөздүү болгон чоңдук экени айтылган. Анын салыштырма жылуулук сыйымдуулугу деп аталары белгиленген.

Биз азыр ошол чоңдуктун физикалык маанисин ачып көрсөтөбүз.

Мейли, массасы $m = 1\ кг$ болгон телонун температурасы $\Delta T = 1K$ ге төмөндөсүн (же жогоруласын). Анда бул тело башка телого

$$Q = c\,m\,\Delta t = c \cdot 1кг \cdot K \qquad (13.99.1)$$

жылуулук санын берген (же алган) болот. Мындан:

$$c = \frac{Q}{1кг \cdot K} \qquad (13.99.2)$$

болору келип чыгат.

Демек, салыштырма жылуулук сыйымдуулук – бул *1кг* телонун температурасы *1К* ге өзгөргөн учурда ошол тело берген же алган жылуулук саны болуп саналат.

Жылуулук саны болсо жылуулук берген же жылуулук алган телонун ички энергиясынын канчага өзгөргөндүгүн көрсөтөт. Ушул айтылгандардан мындайча тыянак келип чыгат: салыштырма – жылуулук сыйымдуулук массасы *1кг* болгон телонун температурасы *1К* ге өзгөргөндө анын ички энергиясынын канчага өзгөргөндүгүн көрсөтөт.(13.99.2) формуладан көрүнүп тургандай анын бирдиги $1\frac{Дж}{кг \cdot K}$ болуп саналат.

Катуу жана суюк телолордун салыштырма жылуулук сыйымдуулуктары тажрыйбада аныкталып, жадыбал түрүндө берилген. Мисалы, суунун салыштырма жылуулук сыйымдуулугу *4200 Дж/(кг·К)*, керосиндики *2100 Дж/(кг·К)*, темирдики *460 Дж/(кг·К)*, коргошундуку *140 Дж/(кг·К)* болуп саналат.

Демек, мисалы, *1 кг* суунун температурасы *20 °C* кезиндеги ички энергиясы, температурасы *19 °C* кезиндеги ички энергиясынан *4200 Дж* га чоң болот. Ошондуктан, эгерде *1 кг* суу 1 *°C* га муздаса, ал бөлмөгө *4200 Дж* энергия, ал эми *1 кг* керосин *1 °C* га муздаса бөлмөгө *2100 Дж* энергия берет. Ошондуктан ысытуу же муздатуу системаларында сууну пайдаланган ыңгайлуу болот.

Суроолор жана тапшырмалар

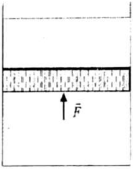
1. Салыштырма жылуулук сыйымдуулук деген эмне? Жообунарды негиздегиле.
2. Салыштырма жылуулук сыйымдуулук эмнени көрсөтөт? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
3. Эмне үчүн ысытуу (мисалы, үйлөрдү) жана муздатуу (мисалы автомобилдердин кыймылдаткычын) системаларында сууну пайдаланышат?

100-§. Термодинамиканын биринчи закону

Мурдагы параграфтардан бизге телонун же системанын ички энергиясынын төмөнкүдөй шарттарда өзгөрө тургандыгы белгилүү болду:

1. Тело же система өзү жумуш аткарса.
2. Телого же системага аракет эткен сырткы күч жумуш аткарса.
3. Тело же система башка телого жылуулук санын берсе.
4. Тело же система башка телолордон жылуулук санын алса.

Ушул учурларды дагы бир жолу талдайлы. Ал үчүн изилдөөнүн обөектиси, же изилденүүчү система катарында кыймылдуу поршень менен жабылган цилиндрдеги газды алалы (13.100.1-сүрөт).



13.100.1-сүрөт

I. Бул газга сырттан жылуулук берилбесин, ал дагы сыртка жылуулук бербесин. Ушундай шартта газ кеңейсин. Анда газ тарабынан поршенге аракет эткен F күчү оң жумуш аткарат, башкача айтканда $A' > 0$ болот (Себеби күч менен которулуштун багыты дал келет).

Бул жумуштун натыйжасында газдын ички энергиясы азаят, башкача айтканда $\Delta U<0$ болот. Ички энергиянын мындай өзгөрүшү ошол жумушка барабар болушу керек. Бул барабардыкты төмөнкүчө жазуу мүмкүн:

$$\Delta U = -A' \qquad (13.100.1)$$

Себеби, ушундай жазылганда гана бул барабардык жогорудагы фактыны чагылдырат: $A' > 0$ болгондо $\Delta U<0$ болору келип чыгат.

Ньютондун 3-закону боюнча поршень газга $\vec{F} = -\vec{F}'$ күчү менен аракет этет. Газ кеңейип бараткан да бул күч да жумуш аткарат, ал жумуш терс, башкача айтканда $A<0$ болот. (Себеби күч менен которулуштун багыттары бири-бирине карама-каршы). Ички энергиянын $\Delta U<0$ болуп өзгөрүшү ушул жумушка да барабар болот. Бул барабардыкты төмөнкүчө жазуу мүмкүн:

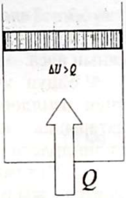
$$\Delta U=A \qquad (13.100.2)$$

Чынында эле ушундай жазуу кийинки айтылган фактыны чагылдырат: $A<0$ болгондо ички энергия да $\Delta U<0$ болот.

Эгерде газга поршень аркылуу $\vec{F}$ сырткы күчү аракет этип, ал кысылган болсо, анын ички энергиясы чоңоёт, башкача айтканда $\Delta U>0$ болот. Бул учурда поршенге газ тарабынан $\vec{F}' = -\vec{F}$ күчү аракет этет. Бул күчтөрдүн жумуштары, тиешелүү түрдө, $A>0$, $A' < 0$ болот. (эмне үчүн мындай болорун жогорудагыларга салыштырып өзүңөрчө талдагыла). Бул фактыларды дагы (13.100.1) жана (13.100.2) барабардыктары так чагылдырат.

Жогоруда талданган фактылардан төмөндөгүдөй тыянак келип чыгат:

Газга (системага) жылуулук берилбесе, же газ (система) сыртка жылуулук бербесе, анын ички энергиясы газдын (системанын), же ага аракет эткен сырткы күчтүн жумуш аткаруусунун натыйжасында өзгөрөт. Газдын (системанын) ички энергиясынын бул учурдагы өзгөрүшү ушул жумуштарга барабар болот. Кайсыл жумуштун эске алынганына жараша бул өзгөрүүнү (13.100.1) же (13.100.2) формулалары менен аныктоо мүмкүн (A жана A' жумуштарынын белгилери карама-каршы, бирок модулдары барабар).



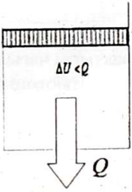
13.100.2-сүрөт

II. Изилденип жаткан газдын көлөмү өзгөрүлбөсүн, башкача айтканда газдын, же сырткы күчтүн жумушу нөлгө барабар болсун. Бирок газга Q жылуулук саны берилсин, башкача айтканда газ Q жылуулук санын сырттан алсын (13.100.2-сүрөт). Бул чурда $Q>0$ болот (98-§ди карагыла).

Жылуулук алган газдын температурасы жогорулайт, башкача айтканда ички энергиясы чоңоет, $\Delta U>0$ болот. Ички энергиянын мындай өзгөрүшү газ алган жылуулук санына барбар болот. Бул барабардыкты

$$\Delta U=Q \qquad (13.100.3)$$

түрүндө жазуу мүмкүн, себеби ушундай жазуу $Q>0$ болгондогу $\Delta U>0$ болорун туура көрсөтөт.



13.100.3-сүрөт

Эгерде газ сыртка Q жылуулук санын берсе ($Q<0$), анын ички энергиясы азаят ($\Delta U<0$). Бул фактыны дагы (13.100.3) формула туура чагылдырат (13.100.3-сүрөт).

Демек, газ (система), же ага аракет эткен сырткы күч жумуш аткарбаса, анда анын ички энергиясы ага сырттан берилген жылуулук санынын, же ал сыртка берген жылуулук санынын натыйжасында өзгөрөт.

Газдын (системанын) ички энергиясынын бул учурлардагы өзгөрүшү ал алган же берген жылуулук сандарына барабар болот. Бул фактыларды (13.100.3) формуласы туюнтат.

Ш. Изилденип жаткан газга Q жылуулук саны берилсин, ошол эле мезгилде ал газ, же ага аракет эткен сырткы күч жумуш да аткарсын. Бул учурда газдын ички энергиясы өзү алган жылуулук санынын жана өзү, же сырткы күч аткарган жумуштун эсебинен өзгөрөт. Бул өзгөрүүнү жылуулук саны жана жумуш аркылуу төмөнкүчө туюнтууга болот:

$$\Delta U = -A' + Q\ , \qquad (13.100.4)$$

же

$$\Delta U = A + Q \qquad (13.100.5)$$

Ушул барабардык дайыма орун алат. Ал чагылдырган закончөнемдикти физикада термодинамиканын биринчи закону деп атайт.

Ал законго, (13.100.5) нын негизинде төмөнкүчө формулировка берүү мүмкүн: системанын ички энергиясынын өзгөрүшү ага аракет эткен сырткы күчтүн жумушу менен ага сырттан берилген жылуулук санынын суммасына барабар болот.

(13.100.4) ти төмөнкүчө жазалы:

$$Q = \Delta U + A' \qquad (13.100.6)$$

Ушундай жазуунун негизинде термодинамиканын биринчи законуна төмөнкүдөй формулировка берүү мүмкүн: системага берилген жылуулук саны анын ички энергиясын өзгөртүүгө жана системанын жумуш аткаруусуна сарпталат.

Термодинамиканын биринчи законунун эки формулировкасы тең күчтө. Ал закон тажрыйбалардын негизинде ачылган. Ал - жылуулук кубулуштарындагы энергиянын сакталуу жана айлануу закону болуп саналат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Системанын ички энергиясы кандай шарттарда өзгөрөт?
2. (13.100.1) барабардыгын негиздеп түшүндүргүлө.
3. (13.100.2) барабардыгын негиздеп түшүндүргүлө.
4. (13.100.3) барабардыгын негиздеп түшүндүргүлө.
5. (13.100.4) жана (13.100.5) барабардыктарын негиздеп түшүндүргүлө.
6. (13.100.6) жана (13.100.6) барабардыктарына таянуу менен термодинамиканын биринчи законун айткыла.

101-§. Ар түрдүү процесстердин термодинамиканын биринчи законунун негизинде түшүндүрүлүшү

Ар түрдүү процесстердин жүрүшүндө орун алуучу кубулуштарды термодинамиканын биринчи законунун негизинде түшүндүрүүгө болот. Биз ушул фактыны талдайбыз. Ал үчүн изилдөөнүн обөектиси катарында идеалдык газды алабыз.

1. <u>Изотермалык процесс</u>. Изотермалык $T=const$ процесси кезинде идеалдык газдын ички энергиясы өзгөрүүсүз сакталат, башкача айтканда $\Delta U=0$ болот ((13.95.3) формуланы карагыла). Бул учурда (13.100.6) ден төмөнкүнү алабыз: $Q = A'$, башкача айтканда системага берилген жылуулук саны толук бойдон системанын жумуш аткаруусуна кетет. Эгерде система жылуулук санын алган болсо, башкача айтканда $Q>0$ болсо, ал оң жумуш аткарат, башкача айтканда

$A'>0$ болот. Бул - газ кеңейет дегенди билдирет. Эгерде система жылуулук санын берсе, $Q<0$ болуп, система терс жумуш аткарат, $A'<0$ болот. Бул - газдын көлөмүнүн кичирейе турганын билдирет. Демек, система сырттан жылуулук алган учурда, анын ички энергиясынын өзгөрбөй калышы үчүн анын көлөмү чоңоёт. Ал эми, система сыртка жылуулук берген учурда, анын ички энергиясынын өзгөрбөй калышы үчүн, анын көлөмү кичирейет.

*2. **Изохоралык процесс**.* Мындай, $V=const$ болгон процесс кезинде газдын жумушу нөлгө барабар болот ((13.97.5) формуланы карагыла). Ошондуктан (13.100.6) ден төмөнкүнү алабыз:

$$\Delta U = Q$$

Бул барабардык төмөнкүнү билдирет: Эгерде система Q жылуулук санын алса $(Q>0)$, анда анын ички энергиясы чоңоет, башкача айтканда $\Delta U>0$ болот (газ ысыйт). Ал эми система Q жылуулук санын берсе $(Q<0)$, анын ички энергиясы азаят, $\Delta U<0$ болот. Бул учурда жылуулук саны системанын ички энергиясынын канчага өзгөргөнүн көрсөтөт.

Турактуу көлөм кезинде массасы *1кг* болгон системанын температурасын *1К* ге өзгөртүү үчүн аѓа белгилүү бир жылуулук санын берүү керек. Бул жылуулук санына барабар болгон чоңдукту турактуу көлөм кезиндеги салыштырма жылуулук сыйымдуулук деп атайт, аны c_v деп белгилейт.

*3. **Изобаралык процесс.*** Мындай, $p=const$ болгон процесс кезинде системанын көлөмү өзгөрүп, ал жумуш аткарат, ага жылуулук саны да берилет. Ошондуктан

$$Q = \Delta U + A$$

барабардыгы орун алып, системага берилген жылуулук саны анын ички энергиясын өзгөртүүгө жана системанын жумуш аткаруусуна сарпталат.

Турактуу басым кезинде массасы *1кг* болгон системанын температурасын *1К* ге өзгөртүү үчүн ага белгилүү бир жылуулук санын берүү керек. Бирок, бул учурда изохоралык процесс кезиндегиге караганда чоңураак жылуулук санын берүү зарыл. Себеби ал бир эле температураны жогорулатууга эмес, жумуш аткарууга да сарпталган болот. Демек, $p=const$ кезинде системанын температурасын *1К* ге өзгөртүү үчүн ага, $V=const$ кезиндегиге караганда чоңурак жылуулук санын берүү керек. Бул - системанын турактуу басым кезиндеги c_p салыштырма жылуулук сыйымдуулугу, анын турактуу көлөм кезиндеги c_v салыштырма жылуулук сыйымдуулугуна каранда чоң боло тургандыгын билдирет.

*4. **Адиабаттык процесс.*** Сырткы чөйрө менен жылуулук алмашпай турган системада орун алуучу процессти карайлы. Мындай, процессти адиабаттык процесс деп атайт.

Демек, адиабаттык процесс кезинде $Q=0$ болот. Ошондуктан термодинамиканын биринчи закону бул учурда төмөнкү түрдө жазылат:

$$\Delta U= A \quad \text{же} \quad \Delta U= -A \qquad (13.101.1)$$

Мындан, адиабаттык процесс кезинде системанын ички энергиясы жумуштун эсебинен гана өзгөрүлөт деген тыянак келип чыгат.

Албетте, системаны сырткы чөйрө менен таптакыр жылуулук алмашпагандай абалда кармоо мүмкүн эмес. Бирок, ошондой болсо да айрым учурларда адиабаттык деп эсептөөгө мүмкүн болгондой процессти алууга болот. Мисалы, процесс өтө тез жүрсө, система сырткы чөйрө менен жылуулук алмашууга үлгүрбөйт жана мындай процесс адиабаттык болот.

Мейли, система өтө тез кысылсын. Анда сырткы күч оң жумуш аткарып *($A>0$)*, системанын ички энергиясы чоңоёт *($\Delta U>0$)*, башкача айтканда анын температурасы жогорулайт.

Мейли, система өз алдынча өтө тез кеңейсин. Анда система оң жумуш аткарат *($A>0$)* жана анын натыйжасында системанын ички энергиясы азаят *($\Delta U<0$)*, башкача айтканда температурасы төмөндөйт.

Өтө тез кысканда ар кандай система сыяктуу аба дагы ысыйт. Ушул кубулушту немец инженери Дизель (1858-1913) ичинен күйүүчү кыймылдаткычтарды түзүүдө пайдаланган.

Эгерде цилиндрдеги аба өтө тез кысылса, аба ысыйт. Ушундай ысыган абага күйүүчү май чачыратылып берилсе, ал өзү эле от алып, күйүп кетет. Ушул кубулуштун негизинде Дизель өзүнүн кыймылдаткычын түзгөн. Мындай кыймылдаткычтарды дизелдик кыймылдаткычтар деп атайт. Алар бензин менен эмес дизелдик отун (солярка) менен иштешет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Изотермалык процесс кезиндеги кубулуштарды термодинамиканын биринчи законунун негизинде түшүндүгүлө.
2. Изохоралык процесс кезиндеги кубулуштарды аталган закондун негизинде түшүндүргүлө.
3. Изобаралык процесс кезиндеги кубулуштарды аталган закондун негизинде түшүндүргүлө.
4. Турактуу көлөм жана турактуу басым кезиндеги салыштырма жылуулук сыйымдуулук деп кандай чоңдуктар айтылат? Алар бири-бирине барабарбы? Эмне үчүн?
5. Адиабаттык процесс деп кандай процесс айтылат? Эмне үчүн өтө тез жүргөн процессти адиабаттык деп алууга болот?
6. Адиабаттык процесс кезиндеги кубулуштарды аталган закондун негизинде түшүндүргүлө.
7. Карбюратордук жана дизелдик кыймылдаткычтардын иштөө принциптери, айырмачылыктары жөнүндө жазуу түрүндө баяндама даярдагыла.

102-§. Жылуулук кыймылдаткычтарынын иштөө принциптери. Жылуулук кыймылдаткычтарынын пайдалуу аракет коэффициенти

Жылуулук кыймылдаткычтарынын иштөөсүн биз ичинен күйүүчү кыймылдаткычтардын мисалында карайбыз. Мындай кыймылдаткычтарда эркин кыймылдай ала турган поршен менен жабылган цилиндр болот (13.102.1-сүрөт).

Эгерде поршендин эки тарабында басымдардын айырмасы түзүлсө, анда поршень чоң басым болгон тараптан кичине басым болгон тарапты көздөй түртүлөт. Мисалы, $p_1 > p_0$ болсо, поршень төмөн көздөй түртүлүп которулат. Ушинтип p_1 басым менен турган газ жумуш аткарат.

Ичинен күйүүчү жылуулук кыймылдаткычтарында басымдардын айырмасы цилиндрдеги отундун (күйүүчү майдын, газдын) күйүшүнүн эсебинен түзүлөт. Отун күйгөн кезде цилиндрде пайда болгон газдын температурасы кескин жогорулайт. Ошондуктан анын басымы кескин чоңоюп, поршендин эки тарабындагы басымдын айырмасы түзүлөт. Натыйжада газ поршенди жылдырып жумуш аткарат.

Мейли, отун күйгөн кездеги газдын температурасы T_1 болсун. Бул температураны физикада *ысыткычтын температурасы* деп атайт.

Температурасы T_1 болгон ушул газ, биринчиден, кеңейип, өзүнүн ички энергиясынын эсебинен жумуш аткарат. Экинчиден, ушул процесс жүргөн убакыт аралыгында газ сырткы чөйрөгө белгилүү жылуулук санын берет. Ушулардын натыйжасында газдын ички энергиясы азайып, температурасы T_2 ге чейин төмөндөйт. Бул температураны физикада *муздаткычтын температурасы* деп атайт. Бул температура кыймылдаткычты курчап турган чөйрөнүн температурасынан жогору болот.

Төмөнкүдөй эки жылуулук машиналарын элестетип көрөлү: экөөнүн тең ысыткычтарынын температурасы T_1, муздаткычтарынын температурасы T_2 болсун. Бирок, биринчисинде, газдын температурасы жумуш аткаруунун жана сырткы чөйрөгө жылуулук санын берүүнүн натыйжасында өзгөрсүн. Ал эми экинчисинде болсо, жумуш аткаруунун эсебинен гана өзгөрсүн.

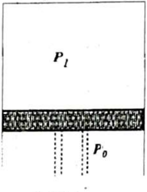
Ушул жылуулук машиналарын өз өзүнчө талдап, алардын пайдалуу аракет коэффициенттерин (ПАК) аныктайлы.

1. Жылуулук машинасында жумушчу газдын (жумуш аткаруучу газдын) температурасы, башкача айтканда ички энергиясы жумуш аткаруунун жана сырткы чөйрөгө жылуулук берүүнүн натыйжасында өзгөрсүн.

Бул учурда жумушчу газ (цилиндрдеги жумуш аткара турган газ) күйүп жаткан отундан Q_1 жылуулук санын алсын. Ушул жылуулук санынын эсебинен жумушчу газ A' жумушун аткарсын жана сырткы чөйрөгө Q_2 жылуулук санын берсин. Энергиянын сакталуу закону боюнча

$$|Q_1| = A' + |Q_2| \qquad (13.102.1)$$

болот. Мындагы A' жумушу пайдалуу жумуш. Себеби ар кандай машина жумуш аткаруу үчүн иштейт. Ал эми сыртка берилген Q_2 жылуулук саны - энергиянын пайдасыз жоголгон бөлүгү болуп саналат. Q_1 болсо, отундун күйүшүнүн эсебинен алынган баштапкы энергия. Аны ысыткычтан алынган жылуулук саны деп атайт. Бул жылуулук санынын бир бөлүгү пайдалуу A' жумушун аткарууга сарпталса, экинчи бөлүгү Q_2 жылуулук саны катарында пайдасыз жоголот. Сырткы чөйрөгө берилген ушул жылуулук санын муздаткычка берилген жылуулук саны деп атайт.



13.102.1-сүрөт

Эми ушундай жылуулук машинасынын ПАКин аныктайлы.

Тигил же бул машинанын ПАКин табуу үчүн ошол машина тарабынан аткарылган пайдалуу жумуштун, ал сарптаган (же сарптай турган) жалпы энергиянын чоңдугуна болгон катышын аныктоо керек.

Демек, биз карап жаткан жылуулук машинасынын ПАКи төмөнкү формуланын жардамында аныктоого болот:

$$\eta = \frac{A'}{|Q_1|} = \frac{|Q_1| - |Q_2|}{|Q_1|} = 1 - \frac{|Q_2|}{|Q_1|} \qquad (13.102.2)$$

Мындан көрүнүп тургандай дайыма $\eta < 1$ болот.

2. Жылуулук машинасындагы жумушчу газдын температурасы жумуш аткаруунун эсебинен гана өзгөрсүн. Газ - идеалдык газ болсун. Ушундай кыймылдаткычтуу машинаны идеалдык жылуулук машинасы деп атайт. Мындай машиналардын пайдалуу аракет коэффициенти ар кандай жылуулук машиналарына караганда чоң болушу керек. Себеби аларда ички энергиянын өзгөрүшү толук бойдон жумуш аткарууга сарпталат. Ошондуктан мындай машинанын п.а.к. тин η_{max} деп белгилейбиз. Аны төмөнкү формула менен аныктоо мүмкүн:

$$\eta_{max} = \frac{A'}{U_1} = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \qquad (13.102.3)$$

Мында, U_1 - жумушчу идеалдык газдын T_1 температура кезиндеги ички энергиясы, аны жумуш аткаруу үчүн сарпталышы мүмкүн болгон энергиянын чоңдугу катарында караса болот; U_2 - ошол газдын T_2

температура кезиндеги ички энергиясы; $A=U_1-U_2$ - жумушчу газ аткарган пайдалуу жумуш.

(13.95.3) формуланы эске алуу менен (13.101.1) формуланы төмөнкү түрдө жазуу мүмкүн:

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (13.102.4)$$

Демек, идеалдык машинанын ПАКи ысыткычтын жана муздаткычтын температураларынын айырмасына түз пропорциалаш болот. Мындай машинаны, ал жөнүндө биринчи жолу талдоо жүргүзүп, (13.102.4) формуласын жазган француз инженери С. Карнонун урматына (1796-1832), Карнонун машинасы деп атайт.

Карно далилдеп көрсөткөндөй (13.102.4) формуланын эң негизги мааниси төмөнкүдө.

Ысыткычынын температурасы T_1, муздаткычынын температурасы T_2 болгон ар кандай реалдык жылуулук машинасынын ПАКи ушундай режим үчүн алынган идеалдык жылуулук машинасынын ПАКнен чоң болбойт. Ошондуктан (13.102.4) формуласы жылуулук машиналарынын ПАКинин максималдык маанисинин чегин көрсөтөт.

Мейли, ысыткычынын температурасы T_1, муздаткычынын температурасы T_2 болгон жылуулук машинасынын ПАКин жогорулатууну максат кылып коелу. Бирок, биз кандай аракет жасасак дагы анын ПАКи (13.102.4) формуласы менен аныкталган мааниден чоң болбойт. Мисалы, $T_1=800$ K, $T_2=300$ K болгон режимде иштеген идеалдык жылуулук машинасынын ПАКи

$$\eta_{max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \approx \mathbf{0{,}62}, \text{ же } \eta_{max} = 62\%$$

болот. Демек, ушундай режимде иштеген реалдык жылуулук машинасынын ПАКи *62%* тен жогору болбойт.

Чынында эле жылуулук кыймылдаткычы менен иштеген машиналардын ПАКи *40%* ке жакын. Дизелдин кыймылдаткычынын ПАКи салыштырмалуу чоң, ал *44%* ке барабар. Демек, жылуулук машиналарынын ПАКин жогорулатуунун реалдуу мүмкүнчүлүктөрү бар. Бул маселе - эң башкы техникалык маселе болуп саналат.

Жылуулук машиналарынын ПАКин жогорулатуунун кандай жолдору бар экенин карайлы. (13.102.4) формуладан көрүнүп тургандай, $T_2=0$ болсо, башкача айтканда муздаткычтын температурасы абсолюттук нөлгө барабар болгондо $\eta_{max} = 1$ же $\eta_{max} = 100\%$ болор эле. Бирок, иш жүзүндө мындай болуш деги эле мүмкүн эмес. Муздаткычтын температурасы айлана чөйрөнүн температурасынан төмөн болбойт. Демек, муздаткычтын температурасын төмөндөтүү аркылуу жылуулук машинасынын ПАКин жогорулатуу мүмкүн эмес.

(13.102.4) ден көрүнүп тургандай, ПАКи жогорулатуунун дагы бир жолу бар: ал - ысыткычтын температурасын жогорулатуу. Мындай ишти аткаруу мүмкүн. Бирок, ар кандай материал (катуу тело) белгилүү гана ысыктыкка туруштук бере алат. Ысыган сайын материалдын серпилгичтүүлүгү азаят жана эрип да кетет. Демек, T_1 ди чоңойтуунун да чеги бар.

Жылуулук машиналарынын ПАКин жогорулатуунун мындай да мүмкүнчүлүктөрү бар: бири-бирине салыштырмалуу кыймылга келүүчү тетиктердин ортосундагы сүрүлүүнү азайтуу; сарпталган отундун толук күйүшүнө жетишүү. Инженер-окумуштуулардын негизги көңүлү азыр ушуга бурулган.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Ичинен күйүүчү жылуулук кыймылдаткычтарында отундун энергиясынын эсебинен жумуш аткаруунун мүмкүнчүлүгү кайсыл тетиктер аркылуу түзүлөт? Жумуш бул тетиктер аркылуу кандай шартта аткарылышы мүмкүн?
2. Поршендин эки бетиндеги басымдардын айырмасы кандайча түзүлөт?
3. Цилиндрдеги отундун күйүшүнүн натыйжасында ысыган газдын температурасы кандай себептерден улам төмөндөшү мүмкүн?
4. Ысыткычтын температурасы, муздаткычтын температурасы деп кандай температуралар айтылат?
5. Кандай эки жылуулук машиналарынын орун алышы мүмкүн? Алардын айырмачылыгы эмнеде?
6. (13.102.1) формуласы мүнөздүү болгон жылуулук машинасынын иштешине түшүндүрмө бергиле.
7. Машиналардын ПАКи кандайча аныкталат?
8. Жылуулук машинасынын ПАКи эмнеге барабар? Ага түшүндүрмө бергиле.
9. Идеалдык жылуулук машинасы деп кандай машина айтылат? Анын ПАКи эмнеге барабар? Ал эмне үчүн « максималдык ПАК» деп айтылат?
10. (13.102.4) формуласын келтирип чыгаргыла жана ага түшүндүрмө бергиле. Анын эң негизги мааниси эмнеде?
11. Жылуулук кыймылдаткычтарынын ПАКин жогорулатуунун кандай теориялык жана практикалык жолдору бар. Алардын ар бирине түшүндүрмө бергиле.

103-§. Отундун энергиясы. Отундун күйүүсүнүн салыштырма жылуулугу

Ар кандай жылуулук машинасы тигил же бул отундун күйүшүнүн натыйжасында бөлүнүп чыккан энергиянын эсебинен иштейт. Кыймылдаткычтын цилиндриндеги отун (суюк же газ абалындагы отун) күйгөндө жылуулук бөлүнүп чыгат. Анын натыйжасында цилиндрдеги жумушчу газ ысып, кеңейип, поршенди түртүп кооторот, башкача айтканда жумуш аткарат.

Тигил же бул отун күйгөндө (катуу, суюк же газ отун) жылуулуктун бөлүнүп чыгуу кубулушу илимде, техникада, турмушта кеңири пайдаланылат.

Отун күйгөндө бөлүнүп чыга турган жылуулук санын аныктайлы.

Байкоолор жана тажрыйбалар отун күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук саны, ошол отундун массасына түз пропорциялаш болорун жана отундун тегинен (сортунан) да көз каранды боло тургандыгын көрсөтөт. Чынында эле, мисалы, *2кг* бензин күйгөндө, *1кг* бензин күйгөндөгүгө караганда 2 эсе чоң жылуулук саны бөлүнүп чыгат. *1кг* бензин жана *1кг* таш көмүр күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук сандары бирдей болбойт.

Бул фактыларды математикалык түрдө төмөнкүчө жазууга болот:

$$Q=q\ m \qquad (13.103.1)$$

Мында, m - отундун массасы; Q - ошол отун толук күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук саны; q - пропорциалаштык коэффициент, ал ошол отундун тегине мүнөздүү болгон чоңдук. Аны физикада ***отундун күйүүсүнүн салыштырма жылуулугу*** деп атайт.

Ушул чоңдуктун физикалык маанисин ачып көрсөтөлү.

Мейли, массасы *1кг* болгон отун толук бойдон күйүп бүтсүн. Анда бул отундан

$$Q=q\cdot 1\ кг$$

жылуулук саны бөлүнүп чыгат. Мындан

$$q=Q/1\ кг \qquad (13.103.2)$$

болорун табабыз.

Бул формуладан көрүнүп тургандай, отундун күйүүсүнүн салыштырма жылуулуту *1кг* отун толук күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук санына барабар болот. Анын бирдиги *1 Дж/кг.*

Бензин үчүн $q=4,6\cdot 10^7$ *Дж/кг* , таш көмүр үчүн $q=2,7\cdot 10^7$ *Дж/кг.* Демек, *1 кг* бензин күйгөндө $4,6\cdot 10^7$ *Дж* , таш көмүр күйгөндө $2,7\cdot 10^7$ *Дж* жылуулук саны бөлүнүп чыгат.

Ар түрдүү отундардын күйүүсүнүн салыштырма жылуулуктары аныкталып, таблица түрүндө берилген.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Отун күйгөндө жылуулуктун бөлүнүп чыгуу кубулушу каерлерде пайдаланылат? Мисалдар келтиргиле.
2. Отун күйгөндө бөлүнүп чыккан жылуулук саны кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?
3. Отундун күйүүсүнүн салыштырма жылуулугу эмнени мүнөздөйт? Ал эмнеге барабар болот?
4. Кургак жыгач отундун күйүүсүнүн салыштырма жылуулугу $1,0\cdot 10^7$ *Дж/кг*, ал эми табигый газдыкы $4\cdot 10^7$ *Дж/кг* га барабар. Бул чоңдуктар эмнелерди билдирет?

XIV Бап. ЗАТТЫН АГРЕГАТТЫК АБАЛДАРЫ. ЗАТТЫН БИР АГРЕГАТТЫК АБАЛЫНАН ЭКИНЧИ АБАЛЫНА ӨТҮҮЛӨРҮ

Жылуулук кубулуштарын изилдөөнүн негизги багыттарынын бири болуп, заттын агрегаттык абалдарынын өзгөчөлүктөрүн, алардын биринен экинчисине өтүшүнүн законченемдиктерин изилдөө эсептелет. Мындай изилдөөлөр МКТнын жана термодинамиканын негизинде жүргүзүлөт. Бул главада заттын агрегаттык абалдары, алардын биринен экинчисине өтүүлөрү ушул эки теориянын (МКТнын жана термодинамиканын) негизинде каралат.

104-§. Заттын агрегаттык абалдары

Жаратылыштан бизге мындай факт белгилүү: түзүлгөн шартка жараша ар кандай зат түрдүү абалдарда болушу мүмкүн: катуу, суюк жана газ абалдарында. Мисалы, муз, суу жана буу бир эле заттын түрдүү абалдары. Заттын ушундай абалдарын физикада агрегаттык абалдар деп атайт. Демек, зат үч агрегаттык абалда болушу мүмкүн: катуу, суюк жана газ абалдарында.

Ушул жерде мындай бир суроо туулат: бир эле зат ар түрдүү агрегаттык абалдарда боло алат, бул абалдарында алар эмнелери менен айырмаланышат?

Бул суроого жооп берүү үчүн МКТ нын негизги жоболоруна кайрылалы:

1. Зат молекулалардан турат. Ар бир затка өзүнө тиешелүү молекулалар таандык. Ошондуктан ар түрдүү агрегаттык абалдарда турган бир эле заттын молекулалары бирдей болушат.

2. Заттын молекулалары тынымсыз кыймылда болушат, алар өз ара аракеттенишет. Заттын ар түрдүү абалдарында анын молекулаларынын кыймылдарынын, өз ара аракеттенишүүлөрүнүн, бири-бирине карата жайланыштарынын мүнөздөрү түрдүүчө болушу мүмкүн.

Чындыгында эле ушундай болору илимде далилденген: бир зат ар түрдүү агрегаттык абалдарында өзүнүн молекулаларынын жайгашыштары, кыймылдарынын жана өз ара аракеттенишүүлөрүнүн мүнөздөрү боюнча айырмаланышат. Газ абалындагы заттын молекулаларынын бири-бирине салыштырмалуу орточо аралыктары, алардын өлчөмдөрүнө караганда өтө эле чоң болот. Ошондуктан алардын ортосундагы өз ара аракеттенишүү начар. Ушул себептен улам газдын молекулалары, эгерде ал идиште кармалып турбаса, мейкиндикке таралып кетет.

Суюктуктарда молекулалар бири-бирине дээрлик тийишип тургандай жайгашышкан. Ар бир молекуланы аны курчап турган башка молекулалардан түзүлгөн торчодо кармалып турат деп элестетүүгө болот. Ушул торчонун ичинде молекула термелүү кыймылына келип турат: ээлеп турган абалынан, мисалы, оң тарапка жылайын десе ошол тараптагы молекулалардан түртүлүп, артка кайтат. Кыймылын улантайын деп келатып сол тараптагы молекулаларга урунат. Ушинтип термелүү кыймылына келет. Анан убак-убагы менен молекула өзү камалып турган молекулалардын «торчосунан» «секирип» чыгат. Бирок, заматта эле башка молекулалардын «торчосуна» камалат, молекулалардын ушундай камакта турушунун убактысы өтө кичине, ал орто эсеп менен 10^{-11} с га барабар. (Температура жогорулаганда молекулалардын камалып (кармалып) туруу убактысы да азаят). Ошондуктан суюктук туруктуу формага ээ болбойт, ал агат. (Ушул фактыны өз алдыңарча түшүндүргүлө, 83-§ты карагыла).

Катуу телолордун молекулалары же атомдору суюктуктардыкынан айырмаланып, белгилүү бир тең салмактуулук абалдын чеке белинде термелип турушат, алар суюктуктардыкындай бул абалдан «секирип» чыга алышпайт. Ошондуктан катуу телолор формасын да, көлөмүн да сактайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Заттын агрегаттык абалдары дегенде эмнени түшүнөбүз? Мисалдар келтиргиле.
2. Зат ар түрдүү агрегаттык абалда болгон учурларында эмнелери менен айырмаланышат? Жообуңарды негиздегиле.
3. Заттын газ абалына мүнөздөмө бергиле.
4. Заттын суюк абалына мүнөздөмө бергиле.
5. Заттын катуу абалына мүнөздөмө бергиле.

105-§. Заттын бир агрегаттык абалынан экинчи абалына өтүүлөрү

Айрым заттардын бир агрегаттык абалдан экинчи абалга өтүшүн көрүп эле жүрөбүз. Мисалы, суу бууланат, муз эрийт. Бул процесстер заттын сырттан жылуулук санын алуусунун, же сырткы чөйрөгө жылуулук санын берүүсүнүн даражасына жараша тездетилиши же акырындатылышы мүмкүн.

1. Буулануу жана конденсация.

Буулануу. Суюктуктун бууга, башкача айтканда газга айлануусун буулануу деп атайт. Демек, буулануу кезинде суюктуктан молекулалар бөлүнүп чыгып, бууну (газды) пайда кылышат.

Суюктуктун буулануусун МКТнын негизинде түшүндүрөлү.

Мурдагы параграфта айтылгандай суюктуктун ар бир молекуласы башка молекулалар «түзгөн торчодо» термелүү кыймылына келишет, ал убак-убагы менен бул «торчодон» «секирип» чыгып, башка молекулалар «түзгөн торчого» туш келет. Ушинтип, молекулалар тынымсыз кыймылдашып, кинетикалык энергияга ээ болушат. Айрым молекулалардын кинетикалык энергиясы салыштырмалуу чонурак, башкалардыкы кичинерээк болушу мүмкүн. Суюктуктун бетинде турган, чонурак кинетикалык энергияга ээ болгон молекулалар аны курчап турган молекулалардын «торчосунан» «секирип» чыккандан кийин суюктукка кайра кайтпай учуп кетиши мүмкүн. Бууну мына ушул молекулалар түзүшөт. Демек, буулануу кезинде кинетикалык энергиясы салыштырмалуу чоң болгон молекулалар, калган молекулалардын тартуу күчүн женип, учуп чыгышат. Анын натыйжасында суюктукта калган молекулалардын орточо кинетикалык энергиясы азаят. Мына ошондуктан буулануунун натыйжасында суюктуктун температурасы төмөндөйт.

Байкоолор жана тажрыйбалар буулануунун тездиги төмөнкү себептерден көз каранды экенин көрсөтөт:

1. *Суюктуктун тегинен*. Мисалы, бирдей шартта бензин сууга караганда, суу майга караганда тез бууланат. Бул фактыны ар түрдүү суюктуктардын молекулаларынын ортосундагы тартышуу күчүнүн бирдей эместиги менен түшүндүрүү мүмкүн. Мындай күч кичине болгон суюктуктар тез бууланат жана тескерисинче болот.

2. *Суюктуктун температурасынан*. Мисалы ысыган суу муздак сууга караганда тез бууланат. Бул фактыны төмөнкүчө түшүндүрсө болот: суюктуктун температурасы жогорулаганда, анын калган молекулаларынын тартуу күчүн жеңип чыгып кете ала тургандай кинетикалык энергияга ээ болгон молекулалардан саны көбөйөт.

3. *Суюктуктун бетинин аянтынан*. Бул аянт чоң болсо бирдей шартта, бирдей убакыт ичинде көп молекулалар учуп чыгат. Демек, буулануу тез жүрөт.

4. *Суюктуктун бетиндеги абанын басымынан*. Мисалы, суюктук жабык идиште болуп, суюктуктун үстүнкү бетиндеги басым чоң болсо, буулануу акырын жүрөт. Себеби, бул учурда, учуп чыгуучу молекулалар суюктуктун бетиндеги басымга каршы жумуш аткарышы керек болот. Мындай молекулалардын саны азырак болгодуктан буулануу акырын жүрөт.

5. *Суюктуктун бети боюнча жүрүүчү шамалдын, башкача айтканда абанын агымынын болушунан*. Мисалы, шамал болгон учурда суюктук тез бууланат. Бул фактыны төмөнкүчө түшүндүрсө болот: суюктуктун бетиндеги молекулалар башка молекулалардын түзгөн «торчосунан» «секирип» чыгып, кайра түшүп турушат. Кинетикалык энергиясы чоңурак болгондору гана кайра кайтпай учуп кетишип, бууну түзүшөт. Шамал болгон учурда, «секирип чыгып» кайра сууга кайтуучу молекулалардын бир бөлүгү шамал менен кетип, сууга кайтпай калат. Ушинтип бууну түзгөн молекулалардын саны көбөйөт, Башкача айтканда буулануу күчөйт.

Конденсация. Суюктуктан учуп чыгып, бууну түзгөн молекулалар баш аламан жылуулук кыймылында болушат. Натыйжада алар суюктукка кайтпай буу, газ бойдон калышат. Бирок, алардын айрымдары, көбүнчө кичинерээк кинетикалык энергияга ээ болгондору, суюктукка кайра кайтышы мүмкүн. Башкача айтканда буунун суюктукка айланышы мүмкүн. Мындай кубулушту физикада *конденсация деп атайт.* Буунун температурасы төмөндөгөндө конденсациялануу процесси тездейт (себебин түшүндүргүлө).

2. Эрүү жана катуулануу

Эрүү. Катуу заттын суюуктукка айлануусун эрүү деп атайт. Телону эритүү үчүн, аны кайсы бир температурага чейин ысытуу керек. Телонун эрий баштаган температурасын анын эрүү температурасы деп атайт. Тело толук эрип бүткөнгө чейин, ага жылуулук берилсе да температурасы жогорулабайт.

Ар бир затка белгилүү бир эрүү температурасы мүнөздүү. Мисалы, муздун эрүү температурасы $0\ ^oC$, коргошундуку $327\ ^oC$ темирдики $1539\ ^oC$ д.у.с.

Эрүү кубулушун МКТнын негизинде төмөнкүчө түшүндүрсө болот: температура жогорулаганда катуу телолордун молекулаларынын термелүү кыймылынын орточо кинетикалык энергиясы чоңоет. Мындай энергиянын белгилүү бир маанисинде айрым молекулалар тең салмактуулук абалынан бошоп чыгышат да, кайра ал ордуна келишпейт. Ар бир молекула бошонуп чыккан башка молекулалардын «түзгөн» торчосунда термелип калат. Ушинтип, катуу тело суюктукка айланат.

Катуулануу. Суюктуктун катуу затка айланышын катуулануу деп атайт. Суюктуктун катуулануу процесси жүрүшү үчүн, аны белгилүү бир температурага муздатуу керек. Суюктуктун катууланышы башталган температураны ошол суюктуктун катуулануу температурасы деп атайт. Катууланып бүткөнгө чейин телонун температурасы турактуу кармалып турат.

Ар кандай заттын эрүү жана катуулануу температуралары дал келишет. Мисалы, суу *0 °C* та тоңо баштаса, муз *0 °C* та эрий баштайт.

3. Сублимация. Заттын катуу абалынан газ абалына өтүү кубулушун *сублимация* деп атайт. Мисалы, кышында тоңуп турган кездемелер да кургайт. Нафталиндин жыты бөлмөгө тарайт.

Сублимация кубулушуна карама-каршы процессти да жүргүзүүгө болот. Башкача айтканда газ абалындагы заттан, аны суюктукка айлантпай туруп, түз эле катуу затты алуу да мүмкүн.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Буулануу деп кандай кубулуш айтылат? Анын себебин МКТнын негизинде түшүндүргүлө.
2. Эмне себептен буулануунун натыйжасында суюктуктун температурасы төмөндөйт?
3. Буулануунун тездиги эмнелерден көз каранды болот? Алардын себептерин түшүндүргүлө.
4. Конденсация деп кандай кубулуш айтылат? Анын себебин МКТнын негизинде түшүндүргүлө.
5. Эмне себептен кышында көчөдөн ысык бөлмөгө киргенде көз айнек тердейт?
6. Буулануу жана конденсация кубулуштарына турмуштан мисалдар келтиргиле.
7. Эрүү деп кандай кубулуш айтылат? Катуулануу депчи? Алардын себептерин МКТнын негизинде түшүндүргүлө.
8. Эрүү температурасы деп кайсы температура айтылат? Катуулануу температурасы депчи? Алардын кандай байланыштары бар?
9. Эрүү жана катуулануу температуралары сыяктуу буулануу жана конденсация температуралары барбы? Эмне үчүн?
10. Сублимация деп кандай кубулуш айтылат? Мисалдар келтиргиле.
11. Буулануу процессинде бууланып жаткан суюктуктун температурасы өзгөрөбү? Эрүү процессинде эрип жаткан катуу телонун температурасычы? Катуулануу процессинде катууланып жаткан суюктуктун температурасычы?

106-§. Каныккан буу, анын басымы

Идишке бөскөрөк суюктук куюлуп, бекем жаап коюлсун. Анда бул идиштеги суюктукта төмөнкүдөй процесс орун алат: суюктуктун кинетикалык энергиясы чоңурак болгон молекулалары суюктуктан бөлүнүп чыга баштайт, башкача айтканда буулануу процесси башталат. Ошол эле мезгилде суюктуктан бөлүнүп чыккан айрым молекулалар кайрадан суюктукка кайтат, Башкача айтканда буулануу менен кошо конденсация процесси да жүрөт. Бирок, башталышында буулануу тезирек жүргөндүктөн буунун тыгыздыгы, башкача айтканда басымы улам чоңоет. Бул өз кезегинде конденсация процессин күчөтөт, буунун тыгыздыгы чоңойгон сайын суюктукка кайра кайткан молекулалардын саны көбөйөт. Бара-бара буулануунун тездиги менен конденсациянын тездиги барабарлашып калат. Башкача айтканда убакыт бирдиги ичинде канча молекула суюктуктан бөлүнүп чыкса, ошончо молекула кайрадан суюктукка кайтат. Ушул моменттен баштап буунун тыгыздыгы чоңойбойт. Буу өзүнүн суюктугу менен динамикалык тең салмактуулукта болот. Ушундай бууну физикада <u>*каныккан буу*</u> деп атайт.

Эгерде суюктук куюлган идиштен аба сордурулуп ташталган болсо, суюктуктун үстүндөгү көлөмгө жалаң гана каныккан буу толот. Ушундай шарттагы каныккан буунун басымынын анын көлөмүнөн жана температурасынан кандайча көз каранды болорун изилдейли.

Тажрыйбалар көрсөткөндөй каныккан бууну, жакындаштырылган түрдө, идеалдык газ катарында алсак болот. Ошондуктан анын абалын аныктоочу p,V,T параметрлеринин байланыштары идеалдык газ абалынын теңдемеси аркылуу туюнтулат. Ушул теңдемени эске салалы:

$$pV=\frac{m}{M}RT$$

Мындан $m=m_oN$ (m - идеалдык газдын массасы; m_o- анын бир атомунун же молекуласынын массасы; N - ушул газдагы атом же молекулалардын саны) болорун эске алып ал теңдемени төмөнкүчө жазабыз:

$$p=\frac{N}{V}\frac{m_0}{M}RT \tag{14.106.1}$$

же

$$p=n\frac{m_0}{M}RT \tag{14.106.2}$$

Ушул теңдемелерге таянып изотермикалык жана изохоралык процесстер кезинде каныккан буунун басымынын тиешелүү түрдө анын көлөмүнөн жана температурасынан кандайча көз каранды болорун изилдейли.

1. <u>***Изотермалык процесс,***</u> <u>*T=const*</u>. Ушундай процесс кезинде каныккан буунун көлөмүн кичирейтели. Анда башталышында буунун тыгыздыгы бир азга чоңоет. Анын натыйжасында буудан суюктукка өткөн молекулалардын саны көбөйө баштайт. Ал эми суюктуктан бууга кошулган молекулалардын саны көбөйбөйт. Себеби температура туруктуу сакталып жатат. Ушинтип, буу менен өзүнүн суюктугунун ортосундагы динамикалык тең салмактуулук бузула баштайт. Убакыттын өтүшү менен мындай тең салмактуулук кайра калыбына келет. Буунун концентрациясы мурдагы маанисине барабар болуп калат. Себеби (14.106.1) формуладагы көлөмдүн кичирейишине жараша

буунун молекулаларынын саны да азаят, ал эми алардын катышы өзгөрүүсүз калат. Ошондуктан бул учурда буунун басымы өзгөрбөйт.

Демек, каныккан буунун изотермикалык процесси кезиндеги анын абалынын өзгөрүшүн туюнтуучу (14.106.1) же (14.106.2) теңдемелеринин оң тараптары туруктуу сакталат. Бул - каныккан буунун басымы мындай процесс кезинде туруктуу сакталат, ал көлөмдөн көз каранды болбойт дегенди түшүндүрөт.

2. ***Изохоралык процесс,*** *V=const*.

Ушундай процесс кезинде каныккан буунун температурасы жогорулатылган болсун.

Бул учурда төмөнкүдөй эки факт орун алат. Биринчиден каныккан буунун температурасынын жогорулашы менен анын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы чоңоет. Бул өз кезегинде буунун басымынын чоңоюшун шарттайт ((14.106.2) ни карагыла).

Экинчиден, температуранын жогорулашы менен суюктуктан бууга кошулган молекулалардын саны көбөйөт, буулануу конденсацияга караганда тезирек жүрөт. Ошондуктан буунун молекулаларынын концентрациясы чоңоет. Бул дагы өз кезегинде буунун басмымынын чоноюшун шарттайт ((14.106.2) ни карагыла).

Ушул фактылардан мындайча тыянак келип чыгат: изохоралык процесс кезинде каныккан буунун басымы анын температурасынын жана анын молекулаларынын концентрациясынын өзгөрүшүнө байланыштуу өзгөрөт. Бул өзгөрүүнү газ абалынын теңдемеси чагылдырат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Каныккан буу деп кандай буу айтылат? Анын пайда болуу механизмин түшүндүргүлө.
2. Кандай шартта суюктуктун үстүндө жалаң гана каныккан бууну алууга болот?
3. (14.106.1) жана (14.106.2) теңдемелерине түшүндүрмө бергиле.
4. Изотермалык процесс кезинде каныккан буунун басымы анын көлөмүнөн көз каранды болобу? Себебин түшүндүргүлө.
5. Изохоралык процесс кезинде каныккан буунун басымы анын температурасынан көз каранды болобу? Себептерин түшүндүргүлө.
6. Эмне себептен температурасы жогорулаганда суюктуктун бууланууусу тездейт?
7. Каныккан бууну идеалдык газ катарында алууга болот. Идеалдык газ үчүн Бойль-Мариоттун, Шарлдын закондору орун алат. Каныккан буу үчүн ушул закондор орун алабы? Себептерин түшүндүргүлө.

107-§. Кайноо

Суюктукка жылуулук берилсе, ал ысып барып, кайнайт. Суюктуктун кайноосунун механизмин ачып көрсөтөлү.

Суюктук ысый баштаганда анын ичинде жана анын идиштин бети менен тийишкен бөлүгүндө көбүкчөлөр пайда болот.

Көбүкчө пайда болору менен ага каныккан буу толот. Температуранын жогорулашы менен бул көбүкчөдөгү каныккан бууда изобаралык процесс жүрөт: анын басымы чоңоеюн дегенде («басым эмне үчүн чоңоюшу керек?» - деген суроого өзүңөрчө жооп тапкыла) көлөмү чоңоюп кетет да басымы өзгөрүүсүз калат.

Бул көбүкчөгө вертикалдуу төмөн көздөй багытталган оордук күчү жана жогору көздөй багытталган архимеддик күч аракет этет. Көбүкчөнүн көлөмү чоңойгондо ага аракет эткен оордук күчүнө караганда архимеддик күч тезирек чоңоет. Натыйжада көбүкчө жогору көздөй ылдамдануу менен көтөрүлөт.

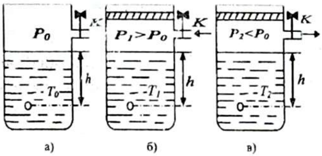
Ысытуунун башталышында суюктуктун жогору катмарындагы температура төмөнүрөк болот. Ошондуктан жогору көтөрүлүп бараткан көбүкчөдөгү каныккан буунун температурасы төмөндөп, басымы кескин азаят, себеби: биринчиден буунун молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы азаят; экинчиден конденсация жүрүп, молекулалардын концентрациясы азаят. Басымдын мындай кескин азайышына жараша көбүкчөнүн көлөмү өзгөрүп үлгүрбөйт. Ошондуктан көбүкчө суюктуктун ичинде жарылып кетет. Айрымдары суюктуктун бетине чыгып жарылат. Суюктуктун температурасы жогорулаган сайын суюуктуктун бетине чыгып жарылган көбүкчөлөрдүн саны көбөйөт. Температуранын белгилүү бир маанисинде бөлүкчөлөрдүн бардыгы суюктуктун бетине чыгып жарылышат. Ушул температурада суюуктуктун бүткүл көлөмүндө пайда болгон буу көбүкчөлөрү суюуктуктун бетине чыгып жарылышат, Башкача айтканда буу сыртка, суюуктуктун көлөмүнүн бардык бөлүгүнөн бөлүнүп чыгат. Ушул кубулушту кайноо деп атайт. Демек, кайноо кезинде суюктуктун бетиндеги бөлүгү эле эмес, анын көлөмүнүн бардык бөлүгү буулануугa дуушар болот.

Суюктук кайнап жаткан кезде анын температурасы өзгөрүлбөйт. Ушул, суюктук кайнап жаткан температураны, физикада кайноо температурасы деп атайт.

Эми суюктуктун кайноо температурасы эмнелерден көз каранды болот, аны өзгөртүүгө болобу? - деген суроолорго жооп берели. Ал үчүн кайрадан кайноо процессинин механизмине кайрылабыз.

Изилдөөнүн обьектиси катарында үч идишке куюлган суюктукту алалы. Алардын биринин үстү ачык болсун, суюктуктун бетинен p_0

атмосфералык басымы таасир этсин (14.107.1а - сүрөт). Экинчи идиштин капкагы жабылып, анын *к* кранынан аба үйлөп киргизилген болсун (14.107.1б - сүрөт). Бул учурда суюктуктун бетинен $p_1 > p_0$ болгон басым таасир этет. Үчүнчү идиштин капкагы жабылып, анын *к* краны аркылуу абанын бир бөлүгү сордурулуп коюлсун (14.107.1в - сүрөт). Бул учурда суюктуктун бетинен $p_2 < p_0$ басым таасир этет.



14.107.1 -сүрөт

Жогоруда айтылгандай, суюктуктун температурасынын кандайдыр бир маанисинде көбүкчөлөр пайда болуп, аларга каныккан буулар толот. Ошолордун ичинен биз бир көбүкчөнү тандап алып, ага талкуу жүргүзөлү. Бул көбүкчөнүн ичиндеги басым, биринчи учурда (14.107.1а - сүрөт), p_0 атмосфералык басымы менен бийиктиги *h* болгон суюктуктун мамычасынын басымынын суммасына барабар болот. Демек, температурасы T_0 болгон шарттагы көбүкчөнүн ичиндеги басым ушул p_0 жана $p=\rho gh$ басымдарынын суммасына барабар болот:

$$p_{к0}=p_0+\rho gh \tag{14.107.1}$$

Мында, $p_{к0}$ - T_0 температура кезинде пайда болгон көбүкчөнүн ичиндеги буунун басымы; p_0 - суюктуктун бетине таасир эткен атмосфералык басым; ρgh - суюктуктун мамычасынын басымы.

Температура T_0 дон кичине эле жогорулап, көбүкчөдөгү басым чоңоеюн дегенде анын көлөмү чоңоюп кетет. Анын натыйжасында көбүкчөгө аракет эткен архимеддик күч чоңоюп, көбүкчө ылдамдануу менен жогору көтөрүлөт. Кайноонун негизинде мына ушул кубулуш жатат (бул жөнүндө мурда айтылгандарды дагы бир жолу көз алдыңарга келтиргиле).

Эми экинчи идиштеги суюуктуктагы көбүкчөнүн басымын талдайлы (14.107.1б - сүрөт). Көбүкчө мурдагыдай эле деңгээлде пайда болсун. Бирок бул учурда көбүкчө мурдагыдай T_0 температурасында эмес, андан чоңурак болгон $T_1 > T_0$ температурасында пайда болот. Себеби, бул учурда көбүкчөдөгү басым

$$p_{к1}=p_1+\rho gh \tag{14.107.2}$$

болот. Мында p_1 - суюктуктун бетине таасир эткен басым. Ал p_0 дон чоң, башкача айтканда $p_1 > p_0$. Демек, $p_{к1} > p_{к0}$ болушу керек. Мындай шарт $T_1 > T_0$ болгондо гана орун алат.

Мындан төмөнкүчө тыянакка келебиз: экинчи идишке көбүкчөлөр биринчи идиштегиге караганда жогорурак температурада пайда болот. Ошондой эле кайноого байланыштуу бардык процесстер бул идиште жогорурак температурада жүрөт. Натыйжада бул идиштеги суюктук жогорурак температурада кайнайт. Демек, суюктуктун кайноо температурасы анын бетиндеги түзүлгөн басымдан көз каранды болот. Бул басым чоң болсо кайноо температурасы жогору, кичине болсо - төмөн болот.

Теориялык талдоонун негизинде алынган бул тыянактын тууралыгын байкоолор жана тажрыйбалар көрсөтөт. Мисалы, деңиз деңгээлиндеги шартта, башкача айтканда $p_0 = 100325$ *Па* болгон шартта суу $100\ ^oC$ да кайнайт. Ал эми басым $1,6 \cdot 10^{6}$ *Па* болгон буу казанында суу $200\ ^oC$ да дагы кайнабайт. Жабык идиштеги суунун бетиндеги абаны сордуруу аркылуу басымды азайтуу менен (14.107.1в - сүрөт) сууну комнаталык температурада кайнатуу да мүмкүн.

Тоодон жогору көтөрүлгөндө атмосферанын басымы азаят. Ошондуктан суу $100\ ^oC$ да эмес, андан төмөн болгон температурада кайнайт. Мисалы, деңиз деңгээлинен *7134 м* болгон бийиктикте (Памир тоосундагы Ленин пиги) атмосфералык басым $4 \cdot 10^{4}$ *Па* болот, суу $70\ ^oC$ га жакын температурада кайнайт.

Мурда айтылгандай, суюктук кайнагандан кийин, жылуулук берүү күчөтүлсө дале, анын температурасы жогорулабайт. Буулануу тездейт, бирок суюктуктун температурасы көтөрүлбөйт. Ошондуктан мисалы, деңиз деңгээлинен бийик турган жерлерде эт тез бышпайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Буу көбүкчөлөрү качан пайда болот? Температуранын жогорулашы менен бул көбүкчөдө кандай процесс жүрөт?
2. Эмне себептен бул көбүкчө жогору көздөй көтөрүлөт?
3. Эмне себептен бул көбүкчө жогору көтөрүлүп баратып жарылат?
4. Кандай шартта көбүкчөлөрдүн бардыгы суюктуктун бетине чыгып жарылат?
5. Кайноо кубулушуна кандай белгилер мүнөздүү?
6. Суюктуктун кайноо температурасы анын бетинде түзүлгөн басымдан кандайча көз каранды? Эмне үчүн?
7. 14.107.1а -, 14.107.1б - сүрөттөрүндө сөз болгон кубулуштарды түшүндүргүлө.
8. 14.107.1в - сүрөтүндө берилген идиштеги суюктукта пайда болуучу көбүкчөнүн басымы эмнеге барабар? Жообуңарды негиздегиле.
9. Суюктук кайнагандан кийин жылуулук берүү күчөтүлсө кандай кубулуш орун алат?
10. Бирдей шартта ар түрдүү суюктуктар бирдей температурада кайнашабы? Себебин түшүндүргүлө.
11. Кайнатылып бышырыла турган эт Ошто тез бышабы же Алайдабы? Эмне үчүн?

108-§. Атмосферадагы суу буулары. Абанын нымдуулугу

Жер шарынын бетинин *70%* ке жакынын океандардагы, деңиздердеги, көлдөрдөгү жана дарыядардагы суулар ээлейт. Суу тынымсыз бууланып турат. Ошондуктан абанын составында суунун буусу да бар болот. Албетте, абадагы суу буусунун саны бардык жерде бирдей болбойт, океандарга, деңиздерге жакын жерлерде ал көбүрөк болушу керек. Абадагы суу бууларынын саны *абанын нымдуулугу* деген чоңдук аркылуу мүнөздөлөт. Физикага абанын абсолюттук нымдуулугу жана салыштырма нымдуулугу деген чоңдуктар киргизилген.

Абанын берилген шарттагы *абсолюттук нымдуулугу* үчүн ошол абанын, көлөмү $1м^3$ болгон бөлүгүндөгү суу буусунун массасы алынат. Башкача айтканда абанын абсолюттук нымдуулугу үчүн ошол абадагы суу буусунун тыгыздыгы алынат. Эгерде, мисалы, абанын $1\ м^3$ көлөмүндө $15\ г$ суу буусу болсо, анын абсолюттук нымдуулугу $15\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ га барабар болот.

Аба массасынын которулуп турушуна байланыштуу андагы суу буусу жалпысынан алганда каныккан буу болбойт. Жамгыр жаап жаткан учурда, ошол жамгыр жааган жердеги абанын составындагы суу буусу каныккан болушу мүмкүн. Бирок, жамгыр токтоп, күн ачылгандан кийин буу кайра эле каныкпаган абалына келет.

Демек, абанын составындагы суу буусунун саны, башкача айтканда анын абсолюттук нымдуулугу аба ырайына жараша азайып жана көбөйүп турушу мүмкүн. Бирок, азайганда биротоло жок болуп кетпейт. Ошондой эле берилген шартта нымдуулук токтоосуз көбөйө да бербейт. Абадагы суу буусу көбөйүп отуруп, каныккан абалына жеткенден кийин, мисалы, жамгыр жаап жатканда, анын тыгыздыгы андан ары чоңойбойт, башкача айтканда абанын абсолюттук нымдуулугу көбөйбөйт. Себеби, бул учурда буулануу менен конденсация процесстеринин ортосунда динамикалык тең салмактуулук түзүлөт.

Демек, берилген температура жана басым кезинде абадагы суу буусунун тыгыздыгы, башкача айтканда абанын абсолюттук нымдуулугу өзүнүн кандайдыр бир максималдык маанисине чейин чоңоюшу мүмкүн. Мындай максималдык мааниге нымдуулук абадагы суу буусу каныккан абалга келген учурда ээ болот. Берилген температура жана басым кезиндеги буунун мындай максималдык тыгыздыгы, башкача айтканда абанын абсолюттук нымдуулугу турактуу болот. Нормалдык атмосфералык басым, ар кандай температура кезиндеги абанын максималдык нымдуулугу, башкача айтканда абадагы каныккан суу буусунун тыгыздыгы физикада аныкталып, таблица түрүндө берилген.

Атмосферанын температурасы жогорурак болгон кезде, абадагы суу буусунун тыгыздыгы чоңурак болгондо гана ал каныккан абалга келет. Мисалы, $10\ ^oC$ температура кезинде абадагы суу буусунун тыгыздыгы $9{,}2\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ болсо, ал каныккан болот. Ал эми, $15\ ^oC$ температура кезинде абадагы суу буусунун тыгыздыгы $9{,}4\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ болсо, ал каныккан болбойт. Мындай шартта бууланув конденсацияга караганда ылдамырак жүрөт. Бул эки процесстин ортосунда динамикалык тең салмактуулук буунун тыгыздыгы $12{,}8\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ болгон учурда түзүлөт.

Башкача айтканда тыгыздыктын ушундай маанисинде абадагы буу каныккан абалга келет.

$t,\ ^0C$	P		$\rho\ г/м^3$	$t,\ ^0C$	P		$\rho\ г/м^3$
	кПа	мм. сым. мам.			кПа	мм. сым. мам.	
-20	0,103	0,772	0,88	16	1,817	13,63	13,65
-10	0,259	1,95	2,14	17	1,937	14,53	14,50
-5	0,401	3,01	3,25	18	2,062	15,47	15,39
-4	0,437	3,28	3,53	19	2,196	16,47	16,32
-3	0,463	3,47	3,83	20	2,337	17,53	17,35
-2	0,517	3,88	4,14	21	2,486	18,65	18,35
-1	0,563	4,22	4,49	22	2,642	19,82	19,44
0	0,611	4,58	4,85	23	2,809	21,07	20,60
1	0,656	4,92	5,20	24	2,984	22,38	21,81
2	0,705	5,59	5,57	25	3,168	23,76	23,07
3	0,757	5,68	5,95	26	3,361	25,21	24,40
4	0,813	6,10	6,37	27	3,565	26,74	25,79
5	0,872	6,54	6,80	28	3,780	28,35	27,26
6	0,935	7,01	7,27	29	4,05	30,04	28,7
7	1,005	7,54	7,70	30	4,242	31,82	30,3
8	1,072	8,04	8,28	40	7,376	55,32	51,2
9	1,148	8,61	8,83	50	12,333	92,51	83,2
10	1,227	9,20	9,41	60	19,915	149,38	130,5
11	1,312	9,84	10,02	70	31,158	233,71	198,4
12	1,401	10,51	10,67	80	47,302	355,12	354,1
13	1,497	11,23	11,36	90	70,093	525,76	424,1
14	1,597	11,98	12,08	100	101,325	760,00	598,0
15	1,704	12,78	12,84	200	1555	11664	7099

Төмөнкүдөй эки фактыны көз алдыга келтирели: эрте менен абанын температурасынын $10\ ^{o}C$, абсолюттук нымдуулугунун $9,2\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ экендиктери белгилүү болсун. Ал эми, түштө температура дагы эле $10\ ^{o}C$ боюнча калсын. Бирок, ченөөлөр абанын абсолюттук нымдуулугун $7\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ болуп калганын көрсөтсүн.

Бул берилгендер эрте менен жана түштө төмөнкүдөй кубулуштардын орун алышын туюнтат: эрте менен абадагы буу каныккан болот, буулануу менен конденсация процесстери динамикалык тең салмакта болушат. Ошондуктан, мисалы, жууп, жайылып коюлган көйнөк кургабайт, киши тердеген болсо, өзүнчө тез кургап кетпейт. Ал эми түштө болсо, абадагы буу каныкпаган болот, буулануу конденсацияга караганда тезирек жүрөт. Ошондуктан, мисалы, нымдуу материалдар убакыттын өтүшү менен кургайт. Бул процесстин тездиги, берилген температурадагы абанын нымдуулугунун ошол эле температурада аба ээ боло ала турган максималдык нымдуулуктан канчалык чоңдукта кичине болушуна көз каранды болот. Башкача айтканда айлана-чөйрөдөгү буулануу процессинин тездиги ушул чөйрөнү курчап турган абанын нымдуулугунун анын ошол температурадагы каныккан абалында ээ болуучу нымдуулугунан канчага кичине болушунан көз каранды. Бирок, мисалы, абанын температурасы $25\ ^{o}C$, анын абсолюттук нымдуулугу $15\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ деген маалыматтын өзү бизге абадагы буунун каныккан абалынан канчага алыс экени жөнүндөгү ойду билдирбейт. Ал үчүн таблицаны кароо керек. Дайыма аны карай берүү ыңгайсыз. (Бул температурада абсолюттук нымдуулук $15\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ болгондо гана абадагы буу каныккан болот).

Ошондуктан физикага абанын *салыштырма нымдуулугу* деген түшүнүк киргизилген.

Абанын салыштырма нымдуулугу үчүн процент менен туюнтулган, абанын берилген температурадагы абсолюттук нымдуулугунун, ошол эле температура, ошол эле абадагы буунун каныккан абалында ээ боло турган абсолюттук нымдуулугуна болгон катышы алынат:

$$\varphi=\frac{\rho}{\rho_0}100\% \qquad (14.108.1)$$

Мында, φ - абанын берилген температура кезиндеги салыштырма нымдуулугу; ρ - ошол шарттагы абанын абсолюттук нымдуулугу, башкача айтканда абадагы буунун тыгыздыгы; ρ_0 - ошол шартта абадагы буу каныккан болсо, ошол аба ээ боло турган абсолюттук нымдуулук, башкача айтканда ушундай абалдагы абада боло турган буунун тыгыздыгы.

Жогорудагы мисалга дагы кайрылып, анын салыштырма нымдуулугун табалы. Шарт боюнча $t = 25\ ^oC$, $\rho = 15 \cdot 10^{-3}\ кг/м^3$, ρ_0 ду тиешелүү таблица боюнча аныктайбыз: $\rho_0 = 23 \cdot 10^{-3}\ кг/м^3$. Демек,

$$\varphi = \frac{15 \cdot 10^{-3}\ кг/м^3}{23 \cdot 10^{-3}\ кг/м^3} = 65{,}2\%$$

Эгерде бизге абанын температурасы $25\ ^oC$ салыштырма нымдуулугу *65,2 %* деген маалымат берилген болсо, ошол абадагы буу каныккан абалынан канчага алыс экенин баалай алабыз. (Буу каныккан абалында болсо $\varphi = 100\ \%$ болор эле. Демек абадагы буунун каныгуусуна чейин дагы кыйла бар деген ойду айта алабыз).

Абанын нымдуулугун баалоо үчүн физикада ошол абанын составындагы суу буусунун басымы да пайдаланылат.

Абанын составында бир нече газ бар: азот, кычкылтек, көмүр кычкыл газы, суу буусу д.у.с. Ар кандай бетке ар бир газ, башка газдын бар, же жок экендигине карабастан басым жасайт. Ар бир газ көрсөткөн басымды парциалдык басым деп атайт. Демек, абанын составындагы суу буусунун басымын, буунун парциалдык басымы деп атайт. Абанын басымы аны түзгөн газдардын парциалдык басымдарынын суммасына барабар болот.

Абадагы суу буусунун парциалдык басымы чоң дегендик, ошол абанын абсолюттук нымдуулугу чоң дегенди билдирет. Ар кандай температура кезиндеги каныккан суу буусунун парциалдык басымдары да аныкталып, таблица түрүндө берилген.

Абадагы буунун парциалдык басымы боюнча абанын салыштырма нымдуулугу төмөнкүчө аныкталат.

$$\varphi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\% \qquad (14.108.2)$$

Мында, φ - абанын берилген температура кезиндеги салыштырма нымдуулугу; p - ошол шарттагы абанын абсолюттук нымдуулугу, башкача айтканда андагы буунун парциалдык басымы; p_0 - ошол шартта абадагы буу каныккан болсо, ошол аба ээ боло турган абсолюттук нымдуулук, башкача айтканда ушундай шарттагы абада боло турган буунун парциалдык басымы.

Абанын салыштырма нымдуулугун атайын приборлордун жардамында аныкташат. Биз алардын ичинен «психрометр» деген прибордо кандайча аныктала турганын карайбыз (грекчеден которгондо «психрос» - муздак дегенди түшүндүрөт).

Психрометр эки бирдей термометрден жасалат. Алардын бири кургак термометр деп аталат, себеби анын шариги абада кадимкидей эле турат. Ал абанын температурасын көрсөтөт. Термометрлердин экинчисин нымдуу термометр деп аташат. Себеби анын шариги чүпүрөк менен оролуп коюлат; чүпүрөктүн учу кичинекей идишчедеги сууга матырылган болот: ошондуктан чүпүрөк дайыма нымдалып турат.

Нымдалган чүпүрөктөгү суу бууланып тургандыктан нымдуу термометрдин шариги муздайт. Ошондуктан нымдуу термометрдин көрсөтүүсү кургак термометрдикине караганда төмөнүрөк болот. Эгерде абанын нымдуулугу аз болсо, башкача айтканда аба кургак болсо, термометрлердин көрсөтүүлөрүнүн айырмасы чоң болот. Абанын нымдуулугу көбөйгөн сайын бул айырма азаят. Демек, ушул айырма боюнча абанын салыштырма нымдуулугун аныктоо мүмкүн.

Абанын салыштырма нымдуулугу психрометрдин кургак жана нымдуу термометрлериин көрсөткүчтөрү боюнча атайын түзүлгөн «психрометриялык таблицанын» жардамында аныкталат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Абанын нымдуулугу эмнени мүнөздөйт?
2. Абанын абсолюттук нымдуулугу үчүн кандай чоңдук алынат?
3. Жалпы алганда абадагы суу каныккан болбобу? Эмне үчүн?
4. Берилген температурада абанын нымдуулугу токтоосуз чоңое береби? Эмне үчүн?
5. Берилген температурадагы аба кандай учурда максималдык нымдуулукка ээ болот?
6. Бирдей эле температурадагы, бирок ар түрдүү нымдуулуктагы абага кандай кубулуштар мүнөздүү? Мисалдар келтиргиле.
7. Абанын салыштырма нымдуулугу деген түшүнүк кандай зарылдыкка байланыштуу киргизилген?
8. Абанын салыштырма нымдуулугу үчүн кандай чоңдук алынат?
9. Салыштырма нымдуулуктары *40%* жана *80%* болгон абаларга мүнөздөмө бергиле.
10. Абанын абсолюттук жана салыштырма нымдуулуктары дагы кандай чоңдук аркылуу берилет?
11. Эмне үчүн абанын нымдуулугу чоң болгондо андагы буунун парциалдык басымы чоң болушу керек?
12. Психрометрдин түзүлүшү кандай? Ал аркылуу абанын нымдуулугу кандайча бааланат?
13. Психрометрдин кургак жана нымдуу термометринин көрсөтүүлөрү кандай учурда бирдей болушу мүмкүн? Эмне себептен?

109-§. Абанын нымдуулугу менен байланышкан кээ бир кубулуштар

Аба ырайы үч актер - күн, аба, буу катышкан эң чоң спектакль болуп саналат деп айтып коюшат. Күндүн энергиясынын натыйжасында Жердин бетинин бардык бөлүктөрү бирдей ысыбайт. Ошондуктан басымдын айырмасы түзүлүп, шамал пайда болот. Шамалдын натыйжасында океандардагы, деңиздердеги суунун бууланышынан пайда болгон буулар Жердин суусу жок, кургак бөлүгүнө да тарайт. Ошондуктан бардык жердеги абада, бардык мезгилдерде суу буусу бар, башкача айтканда аба дайыма белгилүү бир нымдуулукка ээ болот.

Абанын нымдуулугунун кишинин ден соолугуна тийгизген таасири: Абанын нымдуулугу адамдын ден соолугуна жана өзүн-өзү сезүүсүнө таасирин тийгизет. Мисалы, абанын температурасы $25-30\ ^oC$, салыштырма нымдуулугу *25%* болгон күнү киши өзүн жакшы эле сезиши мүмкүн. Бирок, ошондой эле температурадагы абанын салыштырма нымдуулугу *90%* болгон күнү киши ысылап өзүн начар сезет. Себеби абанын нымдуулугу чоң болгондуктан анын денесинин бетинен буунун чыгышы азаят, денеси жакшы муздабайт. Же, мисалы, абанын температурасы 18^oC, салыштырма нымдуулугу *25%* болгон күнү адам өзүн үшүгөндөй сезиши мүмкүн. Бирок, ал ошондой эле температурадагы абанын салыштырма нымдуулугу *70-80%* болгон күнү өзүн жакшы эле сезет.

Дагы бир мисал келтирели. Ошко караганда, мисалы, Владивостокто аба нымдуу. Ошондуктан $35\ ^oC$ ысыкка Владивостокто, $-35\ ^oC$ суукка Ошто чыдоо кыйыныраак болот.

Абанын салыштырма нымдуулугу *40-60%* болгон учурларда киши өзүн жакшы сезери тажрыйбада далилденген. Эгерде мындай нымдуулук *10-15%* болуп, аба кургап кетсе, бууланyу тез жүрөт. Анын натыйжасында кишинин дем алуу жолдору жана органдары муздайт, суук тийип калышы да мүмкүн.

Шүүдүрүмдүн жана бубактын пайда болушу.

Кээ бир күндөрү эрте менен туруп, мисалы, жалбырактардын бетинде шүүдүрүм түшкөнүн, кээде бубактын туруп калганын көрөбүз. Алардын кандай шарттарда, эмне үчүн пайда болгонун түшүндүрөлү.

Мейли, абанын температурасы кечкурун 20^oC, абсолюттук нымдуулугу $15,4\cdot10^{-3}$ *кг/м*^{3} болсун. Түн ичинде абанын температурасы 15^oC га чейин төмөндөсүн. Температурасынын ушундай төмөндөп бараткан процессинде абада кандай өзгөрүүлөр болорун талдайлы.

Температурасы 15^oC болгон абанын максималдык абсолюттук нымдуулугу $12{,}8\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ болот, башкача айтканда абанын ар бир $1м^3$ көлөмүндө $12{,}8г$ буу бар болот. Бул температурада мындан ашык буунун болушу мүмкүн эмес.

Абанын температурасы 20^oC болгон кезинде анын ар бир $1м^3$ көлөмүндө $15{,}4г$ буу бар болчу. Демек, ушул аба 15^oC га чейин муздаганда сөзсүз түрдө, анын ар бир 1 $м^3$ көлөмүнөн, $2{,}6$ $г$ буу сууга айланышы керек. Жалбырактын бетиндеги шүүдүрүм деп аталган суу - мына ушул себептен улам пайда болот.

Эми жогорда аталган шартта пайда болгон шүүдүрүм кайсыл температурадан башталат деген суроого жооп берели.

Абанын температурасы төмөндөй баштаганда анын нымдуулугу мурдагы бойдон эле калышы мүмкүн. Бирок бул процесс абанын температурасы 18^oC болгонго чейин гана уланат. Себеби 18^oC температура кезинде аба $15{,}4\cdot10^{-3}$ $кг/м^3$ абсолюттук нымдуулугуна ээ боло алат. Демек, `18 ^oC температурасынан баштап абадагы конденсация кубулушу буулануууга караганда тез жүрө баштайт. Ушинтип, шүүдүрүмдүн түшүшү абанын температурасы 18^oC болгон учурдан башталат.

Шүүдүрүмдүн түшүшүнө байланыштуу орун алган фактыларды дагы бир жолу санап чыгалы:

1. Берилген t_1 температурада аба ρ_1 абсолюттук нымдуулугуна ээ болот.

2. Температура төмөндөгөндө ρ_1 өзгөрүүсүз калышы мүмкүн. Бирок бул процесс $\rho_{2max}=\rho_1$ болгон t_2 температурасына чейин гана уланат. Бул учурда шүүдүрүм түшпөйт.

3. Температура t_2 ден да төмөндөй баштасын. Анда ρ_1 дин мурдагыдай сакталып калышы мүмкүн эмес. Ал азайышы керек болот. Ошондуктан буунун белгилүү бөлүгү сууга айлана баштайт. Буунун сууга ушундайча айланышынан улам шүүдүрүм түшөт.

Эгерде шүүдүрүм башталган температура 0 ^oC дан төмөн болсо, анда жалбырактын бетинде шүүдүрүм эмес, бубак пайда болот, башкача айтканда суу эмес, кардын бөлүкчөлөрү пайда болот.

Булуттардын пайда болушу.

Мейли, Жердин бетинин кайсы бир бөлүгүндөгү аба максималдык нымдуулукка ээ болсун. Анын Жердин бетине жакын бөлүгүнүн температурасы жогорурак болот, себеби ал Жерден белгилүү бир жылуулук санын алат. Ошондуктан конвекция кубулушу орун алып, жылуурак аба жогору көтөрүлөт. Анын ордун муздак аба толуктайт. Жогору көтөрүлүү менен бирге аба кеңейет, ал оң жумуш аткарат. Бул жумуштун натыйжасында абанын ички энергиясы азаят ($\Delta U = -A^1$, § 100 ты карагыла), башкача айтканда температурасы төмөндөйт. Эгерде абанын температурасы шүүдүрүм башталуу температурага чейин төмөндөгөн болсо, булут пайда болот.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Суусу жок чөлдөрдөгү аба дагы белгилүү бир нымдуулукка ээ болушун кантип түшүндүрсө болот?

2. Абанын нымдуулугу кишинин өзүн-өзү сезүүсүнө, ден соолугуна таасирин тийгизеби? Эмне үчүн?

3. Эмне үчүн электр плитасы менен ысытылган бөлмөдөгү плитанын жанына суусу бар идишти коюп коюшат?

4. Шүүдүрүмдүн түшүшүнүн себеби эмнеде? Шүүдүрүм кандайча түшөт? Өзүңөр мисал тандап алып, тиешелүү таблицанын негизинде, аны түшүндүргүлө.

5. Кышында көчөдөн ысык бөлмөгө киргенде көз айнектин тердеш себебин түшүндүргүлө.

6. Мончодон эки түтүк өткөрүлгөн. Алардын биринен муздак, экинчисинен ысык суу агат. Колду тийгизбей туруп, кайсы түтүктөн ысык суу агып жатканын кантип билүүгө болот?

7. Бубак качан түшөт? Анын себеби эмнеде?

8. Булут кантип пайда болот?

110-§. Бууланую, конденсация жана кайноо кезиндеги энергиялык айлануулар. Буугa айлануунун салыштырма жылуулугу

Физикалык кубулуштардын себептери, алардын орун алышынын механизмдерди тиешелүү закондордун, теориялардын негизинде түшүндүрүлөт.

Заттын ар түрдүү агрегаттык абалдарындагы түзүлүштөрүн талдоодо, заттын бир агрегаттык абалынан экинчи абалына өтүү кубулуштарын түшүндүрүүдө биз, көбүнчө, МКТ нын негизги жоболоруна, идеалдык газдын молекулалык-кинетикалык теориясына таяндык.

Эми ушул кубулуштарды энергиянын сакталуу законунун негизинде карап чыгабыз.

Бууланую. Суюктук бууланган кезде, андан кинетикалык энергиясы салыштырмалуу чоң болгон молекулалар учуп чыгышат (104-§). Ушуга байланыштуу, суюктукта калган молекулалардын орточо кинетикалык энергиясы, мурдагыга караганда азаят. Ошондуктан бууланып жатканда суюктуктун температурасы төмөндөйт. Аны турактуу кармап туруу үчүн суюктуктун ушул учурда жоготкон ички энергиясын конденсациялай тургандай жылуулук санын берип туруу керек.

Мейли, бизге *1 кг* суу берилсин. Анын, турактуу, мисалы, комнаталык температура кезинде тынымсыз бууланышына шарт түзөлү. Ал үчүн суунун буулануу аркылуу жоготуп жаткан энергиясын компенсациялай тургандай жылуулук санын тынымсыз берип туруу керек. Белгилүү бир жылуулук саны берилгенден кийин суу толук бойдон бууга айланат. башкача айтканда, жылуулук берүүнүн натыйжасында комнаталык температурадагы *1 кг* суудан, ошол эле температурадагы *1 кг* буу пайда болот. Бул - молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы белгилүү бир чоңдукка ээ болгон *1 кг* суудан молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы ошончолук эле болгон *1 кг* буу алынгандыгын түшүндүрөт.

Ушул жерде закондуу түрдө, мындай бир суроо туулат: сууга берилген жылуулук саны эмнеге сарпталды?

Бул суроого жооп берүү үчүн суу жана анын буусун, бир система катарында кароо менен буулануу процессине талдоо жүргүзөлү.

Термодинамиканын биринчи закону боюнча системага берилген жылуулук саны анын ички энергиясын чоңойтууга жана системанын сырткы телонун үстүнөн аткарган жумушуна сарпталышы керек (§ 100 ты, (13.100.6) формуланы карагыла). Биздин мисалда суу жана анын буусунан гана турган система каралып жатат, өзгөрүү, системанын өзүнүн ичинде гана жүрөт. Ошондуктан системанын жумушу нөлгө барабар. Мындан, буулануу кезинде суунун температурасын турактуу кармап туруу үчүн берилген жылуулук саны айтылган системанын ички энергиясын өзгөртүүгө гана сарпталат деген тыянак келип чыгат. Бирок, бул учурда системанын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы өзгөргөнү жок. Демек, системанын ички энергиясынын өзгөрүшү, бул учурда, анын молекулаларынын орточо потенциалдык энергиясынын өзгөрүшү аркылуу жүрөт.

Чынында эле, комнаталык температура, атмосфералык басым кезинде буу (газ), ошондой эле шарттагы сууга караганда чоңурак көлөмдү ээлеп турат. Алардын молекулаларынын ортосундагы аралык чоңурак болот. Бул - буунун молекулаларынын орточо потенциалдык энергияларынын чоңурак болорун шарттайт.

Демек, буулануу кезинде суюктуктун температурасын турактуу кармап туруу үчүн сарпталган жылуулук саны системанын ички энергиясын чоңойтууга, тактап айтканда, системанын буу абалындагы бөлүгүнүн ички энергиясын чоңойтууга сарпталат.

Мейли, система толук бойдон буу абалына өтсүн. Системанын бул абалдагы ички энергиясы, анын буулануу баштала элек, суюктук абалындагы ички энергиясына караганда белгилүү мааниге чоң болот. Бул маани буулануу жүрүп жатканда системанын температурасын туруктуу кармап туруу үчүн сарпталган жылуулук санына барабар болот. Ошондуктан, эгерде ушул жылуулук саны белгилүү болсо, анда кайсы бир температурадагы берилген суюктуктун ички энергиясына караганда, ошол эле температурадагы андан пайда болгон буунун ички энергиясынын канчага чоң боло турганын билүү мүмкүн.

Биз эми ушул, жылуулук санын, башкача айтканда берилген суюктукту туруктуу температура кезинде толук бууга айландыруу үчүн керек боло турган жылуулук санын аныктоону карайлы. Анын ошол суюктуктун массасына пропорциялаш болорун тажрыйбалар көрсөтөт. Мисалы, *2 кг* сууну толук бууга айландыруу үчүн *1 кг* сууну ушундай айландырууга караганда *2* эсе көп жылуулук саны сарпталат. Ошондой эле бул жылуулук саны суюктуктун тегинен да көз каранды. Мисалы, *1 кг* керосинге караганда *1 кг* сууну толук бууга айландыруу үчүн көбүрөк жылуулук саны сарпталат.

Бул айтылгандарды математикалык түрдө төмөнкү формула менен чагылдыруу мүмкүн:

$$Q=r\ m \tag{14.110.1}$$

Мында, m- суюктуктун массасы; Q - ушул суюктукту туруктуу температура кезинде, мисалы, кайноо температурасында толук бууга айландыруу үчүн керек болгон жылуулук саны; r - пропорциалдык коэффициент, ал ошол суюктуктун тегине мүнөздүү болгон чоңдук. Аны физикада *бууга айлануунун салыштырма жылуулугу* деп атайт.

Ушул чоңдуктун физикалык маанисин ачып көрсөтөлү.

Мейли, массасы *1 кг* болгон суюктук туруктуу температура кезинде толук бууга айландырылсын. Ал үчүн ага

$$Q=r\cdot 1\ кг$$

жылуулук санын берүү керек болот.

Мындан

$$r=\frac{Q}{1кг} \tag{14.110.2}$$

болору келип чыгат.

Бул формуладан көрүнүп тургандай, бууга айлануунун салыштырма жылуулугу *1 кг* суюктукту, туруктуу температура кезинде толук бууга айландыруу үчүн керек болгон жылуулук санына барабар болот. Анын бирдиги *1 Дж/кг*.

Суу үчүн $r=2{,}3\cdot 10^6$ *Дж/кг*. башкача айтканда *1 кг* сууну туруктуу температура кезинде толук бууга айландыруу үчүн $2{,}3\cdot 10^6$ *Дж* жылуулук санын берүү керек. Бул жылуулук саны, системанын («суу-буу» системасынын) ички энергиясын чоңойтууга сарпталат. Демек, *1* *кг* буунун ички энергиясы, ошол эле температурадагы суунун ички энергиясына караганда *$2{,}3\cdot10^6$ Дж* га чоң болот.

Мындан төмөнкүдөй маанилүү тыянак келип чыгат: бууга айлануунун салыштырма жылуулугу *1 кг* буу абалындагы заттын ички энергиясынын ошол эле температурадагы, ошол эле заттын суюк абалындагы ички энергиясына караганда канчага чоң экендигин көрсөтөт.

Конденсация кезиндеги энергиялык айланууларды карайбыз.

Мейли, массасы m, температурасы t болгон буудан конденсациянын жүрүшүндө массасы m, температурасы t болгон суу пайда болсун. Жогоруда айтылгандай бул суунун ички энергиясы тиешелүү буунун ички энергиясынан кичине болот. Ошондуктан буунун ички энергиясынын бир бөлүгү гана өзү пайда кылган суунун ички энергиясына айланат. Ал эми калган бөлүгү жылуулук катарында сырткы чөйрөгө берилет.

Демек, берилген система турактуу температура кезинде толук бойдон буу абалына өткөнгө чейин сырттан канчалык жылуулук санын алса, конденсация жүрүп, ал кайрадан суюк абалга өтүү процессинде ал сыртка ошончолук жылуулук санын бериши керек. Ошондуктан, мисалы, *1 кг* буунун толук бойдон сууга айлануу процессинде сырткы чөйрөгө *$2{,}3\cdot10^6$ Дж* жылуулук саны берилет.

Кайноо кубулушун энергиялык айлануулардын негизинде талдайбыз.

Жогоруда айтылгандай, суюктук бууланган кезде анын температурасын турактуу кармап туруу үчүн, буулануудан улам суюктук жогото турган ички энергиясынын бөлүгүн компенсациялап тургандай жылуулук санын берип туруу керек. башкача айтканда бул учурда убакыт бирдиги ичинде суюктуктун ички энергиясы канчага азая турган болсо, ошол эле убакыт ичинде, ага ошончолук жылуулук саны берилиши керек. Эгерде ушул убакыт ичинде суюктукка мында айтылгандан кыйла чоң болгон жылуулук саны берилсе, анда суюктуктун бууланышы да жүрөт, температурасы да жогорулайт. Температура жогорулаган сайын буулануу да тез жүрөт.

Суюктуктун температурасы кайноо температурасына жеткенде ал кайнай баштайт. Ушундан баштап суюктукка жылуулук санын берүү улантылса дале, анын температурасы жогорулабайт, башкача айтканда анын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы чоңойбойт. Бул процесс суюктук толук бууга айланып бүткөнгө чейин жүрөт. Ушундан кийин дале жылуулук санын берүү улантылса, пайда болгон буунун температурасы жогорулай баштайт.

Демек, кайнай баштагандагы, мисалы, суунун температурасы менен ушул суу толук бууга айланган моменттеги буунун температурасы бирдей болот, нормалдуу атмосфералык басым кезинде ал $100\ ^0C$ га барабар. Бул - кайноо температурасындагы суунун молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы менен ошол эле температурадагы буунун молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы бирдей болот деген фактыны туюнтат. Бирок, бул фактынын негизинде алардын ички энергиялары бирдей болот деп айтууга акыбыз жок! Себеби кайнаган суу толук бууга айланганга чейин системага белгилүү бир жылуулук саны берилип жатат. Бул жылуулук саны системанын ички энергиясын чоңойтууга, тактап айтканда, системанын молекулаларынын потенциалдык энергияларын чоңойтууга сарпталат. Ошондуктан, мисалы, кайноо температурасы кезиндеги *1 кг* буунун ички энергиясы, ошол эле температурадагы *1 кг* суунун ички энергиясына караганда $2,3 \cdot 10^6$ *Дж* га чоң болот.

Кайноо кезинде буулануу суюктуктун бүткүл көлөмү боюнча жүргөндүктөн убакыт бирдиги ичинде берилүүчү жылуулук саны канчага көбөйтүлсө буулануунун тездиги ошого тиешелүү түрдө чоңое берет. Ошондуктан берилген жылуулук саны канчалык чоң болсо дагы кайнап жаткан суюктуктун температурасы жогорулабайт. Ал эми буулануу суюктуктун үстүнкү бетинен гана жүргөн учурда мындай болбойт, берилүүчү жылуулук саны көбөйтүлгөн болсо, суюктуктун температурасы дагы ошого тиешелүү түрдө жогорулайт.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Бууланып жатканда суюктуктун температурасы өзгөрөбү? Эмне үчүн?
2. Бууланып жаткан суюктуктун температурасы кандай шартта туруктуу кармалышы мүмкүн?
3. Массалары, температуралары бирдей болгон суюктук менен анын буусунун ички энергиялары бирдей болобу? Эмне үчүн? Бул фактыны термодинамиканын биринчи законунун негизинде түшүндүргүлө.
4. Суюктукту туруктуу температура кезинде толук бууга айлантуу үчүн керек болгон жылуулук саны кандай чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?
5. Бууга айлануунун салыштырма жылуулугу эмнени мүнөздөйт? Ал эмнеге барабар болот?
6. Спирттин бууга айлануусунун салыштырма жылуулугу $9 \cdot 10^5$ *Дж/кг* га барабар. Бул чоңдук эмнени билдирет?
7. Конденсация кубулушуна энергиялык кандай айлануулар мүнөздүү?
8. Эмне үчүн эрте жазда мөмөлүү дарактарды үшүктөн сактоо максатында алардын түбүнө түтөткү коюшат?
9. Бетине шүүдүрүм түшкөндө өсүмдүктүн жалбырагы тез муздайбы, же ал үшүктөн сакталышы мүмкүнбү? Себебин түшүндүргүлө.
10. Кайноо кезинде энергиялык кандай айлануулар орун алат?
11. Эмне себептен суюктук кайнап жатканда жылуулук берүү күчөтүлсө да, суюктуктун температурасы жогорулабайт?
12. Денени кайнап жаткан сууга күйгүзүп алуу коркунучтууракпы же анын буусунабы? Эмне үчүн?

111-§. Эрүү жана катуулануу кезиндеги энергиялык айлануулар. Эрүүнүн салыштырма жылуулугу

Катуу телого жылуулук берилгенде анын температурасы жогорулайт, башкача айтканда анын ички энергиясы чоңоет. Ички энергиянын мындай өзгөрүшү телого берилген жылуулук санына барабар болот.

Телонун температурасы эрүү температурасына жеткенде эрий баштайт. Ушундан баштап телого жылуулук санын берүү улантылса да, анын температурасы жогорулабайт. Бул процесс тело толук эрип бүткөнгө чейин жүрөт. Ушундан кийин дале жылуулук санын берүү улантылса, пайда болгон суюктуктун температурасы жогорулай баштайт.

Демек, эрий баштагандагы, мисалы, муздун температурасы менен, ал толук эрип бүткөн моменттеги суунун температурасы бирдей болот, нормалдуу шартта ал *0 °C* га барабар. Эрүү процессинин натыйжасында, мисалы, ушундай температурадагы *1 кг* муздан ошондой эле температурадагы *1 кг* суу алынат. Бул - молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы белгилүү бир мааниге ээ болгон *1 кг* муздан, молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы ошончолук эле болгон *1 кг* суу алынгандыгын түшүндүрөт.

Ушул жерде мындай бир суроо туулат: андай болсо, эрип бүткөнгө чейин музга берилген жылуулук саны эмнеге сарпталды?

Бул суроого жооп берүү үчүн музду жана андан пайда болгон сууну бир система катарында кароо менен эрүү процессине талдоо жүргүзөлү.

Термодинамиканын биринчи закону боюнча системага берилген жылуулук саны анын ички энергиясын чоңойтууга жана системанын сырткы телонун үстүнөн аткарган жумушуна сарпталышы керек. Биздин мисалда муз жана анын суусунан гана турган система каралып жатат, өзгөрүү системанын өзүнүн ичинде гана жүрөт. Ошондуктан системанын жумушу нөлгө барабар. Мындан, эрүү кезинде, бул процесстин токтоп калбастыгы үчүн берилген жылуулук саны, айтылган системанын ички энергиясын өзгөртүүгө гана сарпталат деген тыянак келип чыгат. Бирок, бул учурда, жогоруда айтылгандай, системанын молекулаларынын орточо кинетикалык энергиясы өзгөргөнү жок. Демек, системанын ички энергиясынын өзгөрүшү анын молекулаларынын орточо потенциалдык энергиясынын өзгөрүшү аркылуу жүрүшү керек.

Эрүү кезинде катуу телонун температурасын туруктуу кармап туруу үчүн сарпталган жылуулук саны системанын ички энергиясын чоңойтууга, тактап айтканда, системанын суюктук абалындагы бөлүгүнүн ички энергиясын чоңойтууга сарпталат.

Мейли, система толук бойдон суюктук абалына өтсүн. Системанын бул абалындагы ички энергиясы, анын эрүү эми башталып жаткандагы ички энергиясына караганда белгилүү мааниге чоң болот. Бул маани катуу телону эритүү үчүн сарпталган жылуулук санына барабар болот. Ошондуктан, эгерде ушул жылуулук саны белгилүү болсо, анда телонун эрий баштаган моменттеги ички энергиясына караганда, ал телонун эрип бүткөн моменттеги ички энергиясынын канчага чоң болорун билүү мүмкүн.

Биз эми ушул жылуулук санын, башкача айтканда эрүү температурасында тигил же бул телону толук эритүү үчүн сарпталган жылуулук санын аныктоону карайлы. Бул жылуулук санынын, ошол эрий турган телонун массасына пропорциялаш болорун тажрыйбалар көрсөтөт. Мисалы, *2 кг* музду толук эриткенде, *1 кг* музду толук эриткендегиге караганда эки эсе чоң жылуулук санын берүү керек. Ошондой эле бул жылуулук саны телонун затынын тегинен да көз каранды. Мисалы, *1 кг* коргошунду эритүүгө караганда *1 кг* темирди эритүү үчүн көбүрөк жылуулук саны талап кылынат.

Бул айтылгандарды математикалык түрдө төмөнкүчө жазууга болот:

$$Q=\lambda m \qquad (14.111.1)$$

Мында m - катуу телонун массасы; Q - эрүү температурасында турган ушул телону толук суюктукка айландыруу үчүн керек болгон жылуулук саны; λ - пропорциалдык коэффициент, ал ошол катуу телонун тегине мүнөздүү болгон чоңдук. Аны физикада *эрүүнүн салыштырма жылуулугу* деп атайт.

Ушул чоңдуктун физикалык маанисин ачып көрсөтөлү.

Мейли, массасы *1 кг* болгон катуу тело эрүү температурасында толук бойдон суюктукка айландырылсын. Ал үчүн ага

$$Q=\lambda\cdot 1\ кг$$

жылуулук санын берүү керек болот.

Мындан,

$$\lambda=\frac{Q}{1кг} \qquad (14.111.2)$$

болору келип чыгат.

Бул формуладан көрүнүп тургандай, эрүүнүн салыштырма жылуулугу *1 кг* катуу телону толук эритүү үчүн керек болгон жылуулук санына барабар болот. Анын бирдиги *1 Дж/кг*.

Муз үчүн $\lambda = 3{,}4\cdot 10^5$ *Дж/кг*. Демек, *1 кг* муздун эриши үчүн ага $3{,}4\cdot 10^5$ *Дж* жылуулук саны берилиш керек. Бул жылуулук саны системанын ички энергиясын чоңойтууга сарпталат. Демек, эрүү температурасындагы *1 кг* муздун ички энергиясына караганда, ошол эле температурадагы *1 кг* суунун ички энергиясы $3{,}4 \cdot 10^5$ *Дж* га чоң болот.

Мындан төмөнкүдөй маанилүү тыянак келип чыгат: эрүүнүн салыштырма жылуулугу эрүү температурасындагы *1 кг* катуу абалдагы заттын ички энергиясына караганда ошол эле температурадагы, ошол эле заттын суюк абалындагы ички энергиясынын канчага чоң болорун көрсөтөт.

Катуулануу кезинде энергиялык кандай өзгөрүүлөр жүрөрүн карайбыз.

Бизге белгилүү болгондой (104-§ты карагыла), суюктуктун катуулана баштаган температурасы, тиешелүү катуу телонун эрий баштаган температурасына барабар болот. башкача айтканда берилген катуу тело кайсыл температурада эрисе, тиешелүү суюк тело ошол температурада катууланат. Мисалы, муз $0\ ^oC$ да эрийт, суу ошол эле температурада тоңот. Муз аралашкан сууга жылуулук саны берилсе, муз эришин улантат, тескерисинче бул аралашма сыртка жылуулук санын бере тургандай шарт түзүлсө, суу тоңушун улантат.

Суюктук муздап, анын температурасы катуулануу температурасына чейин жетсин. Ушул моменттен баштап, толук катуу абалга өткөнгө чейин суюктуктун температурасы өзгөрүлбөйт.

Мейли, берилген суюктук толук бойдон катуу абалына өтсүн. Катуу абалындагы ушул телонун ички энергиясы тиешелүү суюктуктун ички энергиясына караганда кичине болот. Демек, суюктуктун ички энергиясынын бир бөлүгү гана өзү пайда кылган катуу телонун ички энергиясына өтөт. Ал эми калган бөлүгү жылуулук катарында сырткы чөйрөгө берилет.

Демек, берилген система эрүү температурасында толук бойдон суюктук абалына өтүшү үчүн сырттан канчалык жылуулук санын алган болсо, катуулануу жүрүп, ал кайрадан катуу абалына өтүү процессинде сыртка ошончолук жылуулук санын бериши керек. Ошондуктан, мисалы, *1 кг* суунун толук бойдон музга айлануу процессинде сырткы чөйрөгө $3{,}4 \cdot 10^5$ *Дж* жылуулук саны берилет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Катуу телого жылуулук берилсе, анын температурасы тынымсыз эле чоңое береби?
2. Массалары, температуралары бирдей болгон катуу тело менен анын суюктугунун ички энергиялары бирдей болобу? Ал жөнүндөгү тыянакты биз кандай фактынын негизинде айта алабыз?
3. Катуу телону эрүү температурасында толук бойдон суюк абалына өткөрүү үчүн керек болгон жылуулук саны кайсыл чоңдуктардан, кандайча көз каранды болот?

4. Эрүүнүн салыштырма жылуулугу эмнени мүнөздөйт? Ал эмнеге барабар болот?
5. Алюминийдин эрүүсүнүн салыштырма жылуулугу $3{,}9\cdot10^5$ *Дж/кг* га барабар. Бул чоңдук эмнелерди билдирет?
6. Катуулануу кубулушуна энергиялык кандай өзгөрүүлөр мүнөздүү?
7. 109- жана 110-§тарды салыштырып окуп, тиешелүү кубулуштардын жүрүшүндөгү жалпылыктарды жана айырмачылыктарды бөлүп көрсөткүлө.
8. Муз аралашып турган суу тоңобу, же андагы муз эрийби? Кайсыл процесс, кандай шартта орун алышы мүмкүн?

112-§. Туюк жана туюк эмес системалардагы жылуулук алмашуулар. Жылуулук балансасынын теңдемеси

Физиканын изилдөөсүнүн обьекти болуп тело же телолордун системасы эсептелет. Телолордун системасын, кыскача, система деп атап коет.

Мейли, изилдөөнүн обьекти катарында калориметрге куюлган сууну жана ысытылган темир шаригин алалы (мындай мисал §98 та каралган, андагы 13.98.1-сүрөттү карагыла). Калориметрдин стаканынын массасы, биз эске албай кое тургандай кичине болсун. Сырткы чөйрө (аба) менен суунун жана темир шаригинин жылуулук алмашуулары эске алынбасын. Анда биздин изилдөөбүздүн обьектиси болуп калориметрдеги суудан жана темир шаригинен турган система эсептелет. Шарт боюнча бул системага кирген телолор, ага кирбеген башка телолор менен аракеттенишпейт, жылуулук алмашышпайт. Алар бири-бири менен гана жылуулук алмашышат. Мындай системаны физикада туюк система деп атайт. Туюк системадагы телолор бири-бири менен гана аракеттенишет, бири-бири менен гана жылуулук алмашышат.

Эгерде берилген система сырткы чөйрө менен да жылуулук алмашса, же сырткы телолор менен да аракеттенишсе, ал туюк эмес система деп аталат.

Мейли, жогоруда сөз болгон суунун жана темир шаригинин калориметрдин стаканы менен жылуулук алмашуусун эске албай коюуга мүмкүн болбосун. Мисалы, суунун жана темир шаригинин массалары стакандын массасынан көп деле чоң болбосун. Анда суу жана шариктен турган система туюк система болбой калат. Себеби алар өздөрү түзгөн системага кирбеген алюминий стаканы менен жылуулук алмашып жатышат.

Эгерде бул учурда система катарында калориметрдеги суу, калориметрдин алюминий стаканы жана сууга салына турган темир шариги алынган болсо, анда жылуулук алмашуу ошолордун ортосунда, башкача айтканда системанын ичинде жүргөн болот. Ошондуктан эми бул система туюк система болуп саналат.

Ушул, калориметрдеги суу, калориметрдин алюминий стаканы жана сууга салына турган, ысытылган темир шаригинен турган туюк системадагы жылуулук алмашуу процессин талдайлы.

Ысытылган шарик сууга салынгандан кийин системанын ичинде жылуулук алмашуу жүрөт: темир шариги сууга жана стаканга жылуулук берет. Бул процесс алардын ортосунда жылуулук тең салмактуулук абалы калыптанганга чейин жүрөт.

Мейли, темир шариги беркилерге Q_1 жылуулук санын берсин. Анын натыйжасында шариктин ички энергиясы ΔU_1 ге өзгөрөт. Шарик жумуш аткарган жок. Ошондуктан термодинамиканын биринчи закону боюнча

$$Q_1=\Delta U_1 \qquad (14.112.1)$$

болот.

Жылуулук алмашуунун жүрүшүндө суу - Q_2 , алюминий стаканы Q_3 жылуулук санын алышат. Алардын ички энергияларынын өзгөрүштөрү тиешелүү түрдө

$$Q_2=\Delta U_2 \qquad (14.112.2)$$

жана

$$Q_3=\Delta U_3 \qquad (14.112.3)$$

болот.

Шарт боюнча туюк система сырткы телолор менен өз ара аракеттенишпегендиктен жумуш аткарбайт, алар менен жылуулук алмашпайт. Ошондуктан термодинамиканын биринчи закону боюнча туюк системанын ички энергиясы өзгөрүүсүз калат.

Ушул айтылгандарды дагы бир көз алдыбызга келтирели: туюк системага кирген телолор бири-бири менен жылуулук алмашышат; ошондуктан алардын ар биринин ички энергиясы өзгөрүлөт; бири муздаса, экинчиси ысыйт, башкача айтканда биринин ички энергиясы азайса экинчисиники чоңоет; ушундай процесстин натыйжасында туюк системанын ички энергиясы өзгөрүүсүз калат, башкача айтканда системаны түзгөн телолордун ички энергияларынын өзгөрүүлөрүнүн суммасы нөлгө барабар болот. Бул айтылгандарды жогорудагы туюк система үчүн математикалык түрдө жазалы:

$$\Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = 0 \qquad (14.112.4)$$

(14.112.1), (14.112.4), (14.112.4) барабардыктарын эске алып, (14.112.4) теңдемесин төмөнкүчө жазса болот:

$$Q_1+ Q_2+ Q_3=0 \qquad (14.112.5)$$

Мында Q_1 - темир шариги берген жылуулук саны; Q_2 - суу алган жылуулук саны; Q_3 - суу куюлган алюминий стаканы алган жылуулук саны.

Демек, темир шариги берген, суу жана алюминий стаканы алган жылуулук сандарынын суммасы нөлгө барабар болот.

Мейли, туюк система n телолордон турсун. Анда (14.112.5) теңдемеси мындай система үчүн төмөнкү түрдө жазылат:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n = 0 \qquad (14.112.6)$$

Мында $Q_1, Q_2, \ldots Q_n$ - туюк системаны түзгөн телолордун бири-бирине берген жана бири-биринен алган жылуулук сандары.

Демек, туюк системаны түзгөн телолордун бири-бирине берген жана бири-биринен алган жылуулук сандарынын суммасы нөлгө барабар болот. Бул закон ченемдикти чагылдырган (14.112.6) теңдемесин физикада *жылуулук балансынын теңдемеси* деп атайт.

Бул теңдеменин негизинде бир мисалды талдайлы.

Температурасы $-10\ ^oC$ болгон муздун кичинекей сыныгын ысык сууга салганда ал белгилүү бир убакыттан кийин толук эрип кеткен болсун.

Бул кубулушту изилдөөнүн обьектиси катарында муз, суу жана суу куюлган идиштен турган системаны алалы. Бул система туюк болсун, башкача айтканда ал сырткы телолор менен жылуулук алмашпасын.

Бул процесс кезинде музга суу Q_1, ал эми суу куюлган идиш Q_2 жылуулук санын берет. Ошондуктан алардын температурасы төмөндөйт. Ал эми муз, биринчиден $-10\ ^oC$ дан $0\ ^oC$ га чейин ысыйт. Ал үчүн Q_3 жылуулук санын алат. Экинчиден, эрийт. Ал үчүн Q_4 жылуулук санын алат. Үчүнчүдөн, ошол муздан $0\ ^oC$ температурада пайда болгон суу системанын калган бөлүктөрү менен жылуулук тең салмактуулук абалына келгенге чейин ысыйт. Ал үчүн Q_5 жылуулук санын алат. Шарт боюнча система туюк. Ошондуктан бул процесс үчүн төмөнкү түрдөгү жылуулук балансасынын теңдемесин жазса болот:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 = 0 \qquad (14.112.7)$$

Жылуулук балансасынын теңдемеси телолордун жылуулук алмашуусу орун алган маселелерди чечүүдө, тиешелүү кубулуштарды түшүндүрүүдө кеңири пайдаланылат. Бул учурда системанын белгилүү бөлүктөрүнүн анын башка бөлүктөрүнө берген жылуулук сандарын "-", ошол башка бөлүктөрүнүн алган жылуулук сандарын "+" белгилер менен алуу керек.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Туюк система деп кандай система айтылат? Мисалдарга таянып жооп бергиле.
2. Туюк эмес система деп кандай система айтылат? Мисалдарга таянып жооп бергиле.
3. Тиешелүү мисалдарга таянуу менен жылуулук балансасынын теңдемесин келтирип чыгаргыла. Бул теңдеменин негизинде кайсыл закон жатат?
4. (14.112.6) теңдемесине талкуу бергиле.
5. (14.112.7) теңдемесин негиздеп жазгыла.

XV Бап. СУЮКТУКТУН АБА ЖАНА КАТУУ ТЕЛОЛОР МЕНЕН ЧЕКТЕШКЕН БЕТТЕРИНДЕ ОРУН АЛУУЧУ КУБУЛУШТАР

Идишке куюлган кайсы бир суюктукту алалы. Анын үстүнкү (эркин) бети аба же өзүнүн буусу менен, калган беттери өзү куюлган идиштин каптал беттери менен тийишип (чектелип) турат. Суюктуктун ушундай башка чөйрө менен чектешкен беттери ошол суюктуктун калган массасына салыштырмалуу өзгөчө шартта болушат. Анын натыйжасында айрым кубулуштар орун алат. Мисалы, суунун кичинекей тамчысы майлап коюлган жыгач сызгычтын бетинде турса тоголок форманы алат, ал эми сызгыч майланбаган болсо, ал жыйылып кетет, д.у.с. Мындай кубулуштар суюктуктун башка чөйрө менен чектешкен беттериндеги молекулаларга ошол суюктуктун ички бөлүгүндөгү молекулалардын жасаган арекеттеринин бирдей эместиги менен түшүндүрүлөт.

Бул главада суюктуктун аба жана катуу тело менен чектешкен беттеринде орун алуучу айрым кубулуштар каралып, талданат.

113-§. Беттик тартылыш

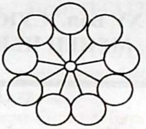
Берилген суюктуктун башка чөйрө менен (мисалы, газ же катуу тело, же башка тектеги суюктук менен) чектешкен бетине «беттик тартылыш» деп аталган кубулуш мүнөздүү болот. Бул кубулушка түшүндүрмө берерден мурда айрым мисалдарга кайрылабыз.

Горизонталь жайгашкан майланган бетке суунун кичинекей тамчысын жайгаштыралы. Анда бул тамчынын жалпайыңкы жумуру форманы алганын көрөбүз. Эгерде дагы кичинерек тамчы алынган болсо анын тоголоигурак формага ээ болоорун байкайбыз.

Бул учурларда тамчыга тик ылдый көздөй багытталган оордук күчү жана тик өйдө көздөй багытталган серпилүү күчү аракет этет (тамчынын молекулалары менен майланган беттеги майдын молекулаларынын аракеттенишүүлөрүн эске албай коё туралы). Тамчы ушул эки күчтүн кысуу аракетине дуушар болот. Бул аракет чоңурак болгондо тамчы жалпайыңкы жумуру, кичинерек болгондо тоголоигурак форманы алат.

Ушул жерде мындай бир суроо туулат: эгерде тамчыга көрсөтүлгөн кысуу аракети болбосо, ал кандай форманы алар эле?

Жогорудагы талдоонун негизинде бул суроого кыйналбай эле жооп берүү мүмкүн: бул учурда тамчы тоголок, же шар формасын алмак. Чынында эле, суунун тамчысына бир гана оордук күчү аракет этe тургандай шарт түзүлсө, ал шар формасын алат. Мисалы, жамгырдын тамчылары, суу тамчылап турган ичке түтүктөн үзүлө берердеги суунун тамчысы, шар формасына ээ болушат. Космос кораблинде учуп жүрүшкөн космонавттар суу эркин коё берилсе, ал шар формасын ээлей турганын байкашат.



15.113.1-сүрөт

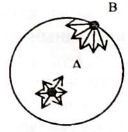
Бул айтылгандардан төмөндөгүдөй тыянак келип чыгат: суунун кандайдыр бир бөлүгү аба менен гана чектешип тургандай абал түзүлсө, ал шар формасын ээлейт. Ал эми, математикадан белгилүү болгондой, шардын бетинин аянты ар кандай башка фигуралардын беттеринин аянттарына караганда эң кичине мааниге ээ болот. Демек, суунун кандайдыр бир бөлүгү аба менен гана чектешип тургандай абал түзүлсө, ал өз алдынча, бети минималдык аянтка ээ боло тургандай гана форманы алат. Бул касиет суудан башка да суюктуктарга мүнөздүү болот.

Эми ушул фактынын орун алыш себебин түшүндүрөлү. Ал үчүн МКТнын негизги жоболоруна кайрылабыз. Ага чейин төмөнкү тажрыйбаны талдап көрөлү.

Радиусу *r* болгон кичинекей алкакка резина жиптери байланып коюлсун. Бул жиптердин ар биринин экинчи учуна кичинекей пласмасса шариктери бекитилсин. Бул шариктерди 15.113.1-сүрөттө көрсөтүлгөндөй жайгаштыралы. Анда, созулган резиналар, жиптери өздөрүнө бекитилген шариктерди, ичкери көздөй тартып турушат. Эми бир шарикти катардан чыгарып жиберели.

Анда калган шариктер козголушуп, кайрадан мурдагы сыяктуу, бирок кичинерек радиуска ээ болгондой айлана боюнча тизилип калышат. башкача айтканда шариктердин бардыгы ичкери көздөй тартылып турган кезде, шариктердин сырткы бети башкача айтканда сырткы чөйрө (аба) менен чектешкен бети, тартышып тургандай эффект түзүлөт.

Эми кайрадан аба менен гана чектешип турган суюктуктун тамчысын кароого өтөлү. Бул тамчынын ичкерки бөлүгүндө жайгашкан ар бир молекулага (мисалы, 15.113.2-сүрөттөгү *А* - молекуласына аны тегерете курчап турушкан башка молекулалар тартуу күчү менен аракет этишет. Молекулалар бардык тарап боюнча бирдей бөлүнгөндүктөн бул күчтөрдүн модулдары барабар болушат жана алардын геометриялык суммасы, башкача айтканда тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар болот. Натыйжада каралып жаткан молекула үчүн бардык тарап бирдей болот, ал эч кайсы тарапты көздөй умтулбайт. Бул факт тамчынын ички бөлүгүндө жайгашкан бардык молекулаларга мүнөздүү болот. Тамчынын бетинде жайгашкан ар бир



15.113.2-сүрөт

молекулага (мисалы, *B* - молекуласына) болсо ичкери көздөй суюктуктун аларга жакын жайгашкан башка молекулалары тартуу күчтөрү менен аракет этишет (15.113.2-сүрөт). Ошондой эле аларга суюктук менен чектешип турган абанын молекулалары да тартуу күчтөрү менен аракет этишет. Бирок бул күчтөр баштагы күчтөргө салыштырмалуу өтө кичине болушат.

Ошондуктан тамчынын бетинде жайгашкан молекулаларга аракет этүүчү тартуу күчтөрүнүн тең аракет этүүчүлөрү ичкери, шардын борборун көздөй багытталган болот, башкача айтканда суюктуктун бетиндеги ар бир молекула ичкери көздөй тартылып, ошол тарапты карай умтулуп турушат. Мына ушул себептен улам тамчы шар формасына ээ болот. Бул учурда тамчынын (суюктуктун) аба менен чектешкен бетинде тартышып тургандай эффект түзүлөт. Ошондуктан бул кубулушту физикада «беттик тартылыш» деп атайт.

Ушул эффекттин түшүнүктүүрөк болушу үчүн дагы бир мисалды талдайлы.

Эл көп топтолгон аянтта бир киши өзү үйрөткөн аюусун ойнотуп жатсын. Анда, элдин бардыгы аны тегеректеп калышат. Улам кийинки келгени, башкача айтканда эң чекедегилери ичкери көздөй умтула беришет. Натыйжада, эл оюнчунун айланасында тегерек боюнча жайгашып калышат. Ушул абалда, топтун эң четинде турган кишилер өз ара тартышып, тегеректи пайда кылып жаткандай эффект түзүлөт. Аларды оңойчулук менен жирен өтүүгө болбойт.

Демек, тигил же бул системаны түзгөн бөлүкчөлөрдүн эң четиндегилери ичкери көздөй умтулуп турушса, алар ошол сырткы бетинин аянты минималдуу боло тургандай форманы алышат. Башкача айтканда алар өздөрү түзгөн беттин аянтын минималдык мааниге чейин кыскартышат.

15.113.3-сүрөт

Ушул сыяктуу эле суюктуктун тамчысын түзүшкөн молекулалардын эң четиндегилери ичкери көздөй тартылып, умтулуп турушат. Ошондуктан алар, аба менен чектешип турган бетинин аянты минималдуу боло тургандай, форманы, башкача айтканда шар формасын алышат. Башка сөз менен айтканда, молекулалар өздөрү түзгөн беттин аянтын минималдык мааниге чейин кыскартышат. Ушул кубулушту физикада «беттик тартылыш деп атайт». Себеби бул учурда суюктуктун бетиндеги молекулалар өз ара тартышып тургандай эффект түзүлөт (факт жүзүндө мындай, салыштырмалуу күчтүү тартышуу орун албайт). Натыйжада бул бет бөтөн бөлүкчөлөрдүн, кичинекей телолордун өтүп кетишине тоскоолдук көрсөтөт.

Беттик тартылыш кубулушу, бардык бети аба менен чектешип турган суюктуктун тамчысы үчүн эле эмес, башка чөйрөлөр менен чектешип, түрдүү форманы алып турган суюктуктарга да мүнөздүү. Мисал катарында идишке куюлган сууну карайлы. Анын ички бөлүгүндө жайгашкан молекулага аны курчап турган башка молекулалардын аракет эткен тартуу күчтөрүнүн тең аракет этүүчүсү нөлгө барабар болот. Ошондуктан ал (дагы башка молекулалар сыяктуу эле) эч кайсы тарапты көздөй умтулбайт (15.113.3-сүрөт). Ал эми суунун бетинде жайгашкан молекула башка абалда турат. Анын үстүнкү тарабында тыгыздыгы суунун тыгыздыгына караганда өтө кичине болгон аба бар. Бул абанын молекулаларынын, суюктуктун бетиндеги молекулаларга аракет эткен тартуу күчтөрү, эске албай коё турганчалык кичине. Ошондуктан ал молекулаларга аракет эткен тартуу күчтөрүнүн тең аракет этүүчүсү ичкери көздөй багытталган болот, жана ал молекулалар ичкери көздөй умтулуп турушат. Бирок идиштеги суунун массасы чоң болгондуктан бул күчтөр сууну шар формасына алып келе албайт. Ошондой болсо да аба менен чектешкен беттеги молекулалардын ичкери көздөй умтулушунун натыйжасында түзүлгөн беттик тартылыш кубулушу орун алат. Бул тыянакка төмөнкүдөй тажрыйбанын негизинде ишенүүгө болот: суунун бетине ийнени узунунан акырын жайгаштырса, ал чөгүп кетпей суунун бетинде кармалып калат. Демек, бул учурда ийне беттик тартышуунун эсебинен кармалып турат.

Суроолор жана тапшырмалар

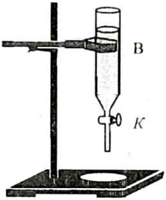
1. Майланган бетке жайгашкан суунун кичинекей тамчылары кандай формага ээ болушат? Мындай форманын болушунда тамчыга аракет эткен күчтөрдүн кандай ролу бар?
2. Суунун тамчысына бир гана оордук күчү аракет эте тургандай шарт түзүлсө, ал кандай формага ээ болот? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
3. Эгерде суунун кандайдыр бир бөлүгү аба менен гана чектешип тургандай абал түзүлсө, ал өз алдынча бети минималдык аянтка ээ боло тургандай гана форманы алат. Ушул тыянакты мисалдар менен гана түшүндүргүлө.
4. 15.113.1- сүрөттө берилген тажрыйбаны жана анын негизинде алынган тыянакты түшүндүргүлө.
5. Суунун тамчысы менен жүргүзүлгөн ой жүзүндөгү тажрыйбаны (15.113.2-сүрөт) талдагыла. Аны 15.113.1-сүрөттө келтирилген тажрыйба менен салыштыргыла. Бул тажрыйбалардан алынган тыянактарды да салыштыргыла. Беттик тартылыш кубулушуна аныктама бергиле. Бул аныктаманын тууралыгын башка мисалдар менен да негиздегиле.
6. Эгерде суунун тамчысы жогорку басымдагы аба менен чектешип турган болсо, анын беттик тартылышы мурдагыдай эле боло беле? Эмне үчүн?
7. Беттик тартылыш кубулушу бардык бети аба менен чектешип турган суюктуктун тамчысы үчүн эле мүнөздүү болобу? Бул суроого тиешелүү мисалдарды талдоо менен жооп бергиле.

114-§. Беттик тартылыш коэффициенти

Суюктуктун беттик тартылышы күчтүү, начар болушу мүмкүн. Ошондуктан ушул фактыны мүнөздөй турган, башкача айтканда беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөй турган чоңдукту киргизүү зарыл.

Ал үчүн, баарыдан мурда, беттик тартылыштын эмнелерден көз каранды болушун теориялык жактан негиздеп, талдайлы.

Биринчиден, беттик тартылыш суюктуктун тегинен көз каранды болушу керек. Себеби кайсы суюктук тыгыз болуп, молекулаларынын тартышуу күчтөрү чоңураак болсо, анын башка чөйрө (мисалы, аба) менен чектешкен беттеги молекулаларынын ичкери көздөй умтулушу күчтүрөөк болот. Мындан, мындай суюктуктун беттик тартылышы күчтүрөөк болот деген тыянак келип чыгат. Бул факт тажрыйбада текшерилген. Мисалы, бирдей эле шартта сымаптын беттик тартылышы суунукуна караганда 6,5 эсеге жакын күчтүү болот.



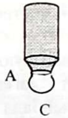
15.114.1-сүрөт

Беттик тартылыш, дагы суюктуктун температурасынан көз каранды болушу мүмкүн. Температура жогорулаганда суюктук кеңейет, анын молекулаларынын ортосундагы аралык чоңойот. Ошондуктан суюктуктун молекулаларынын тартышуу күчтөрү начарлайт. Натыйжада суюктуктун башка чөйрө менен чектешкен бетиндеги молекулаларынын ичкери көздөй умтулушу салыштырмалуу начар болот. Мындан, температурасы жогорулаганда суюктуктун беттик тартылышы начарлайт деген тыянак келип чыгат. Тажрыйбалар бул тыянактын да тууралыгын далилдеген. Мисалы, суунун $0\ ^0C$ температура кезиндеги беттик тартылышы, анын $100\ ^0C$ температура кезиндеги беттик тартылышына караганда *1,3* эсеге жакын күчтүү болот.

Беттик тартылыш суюктук беттешип турган экинчи чөйрөнүн тегинен, анын тыгыздыгынан да көз каранды болушу керек. Себеби ал канчалык тыгыз болсо, анын молекулалары суюктуктун аны менен чектешкен бетиндеги молекулаларына ошончолук чоңурак тартуу күчү менен аракет этет. Натыйжада суюктуктун ошол бетиндеги молекулаларынын ичкери көздөй умтулушу начарырак болуп калат. Демек, бул учурда суюктуктун беттик тартылышы начарлайт. Бул теориялык гипотезанын тууралыгы да тажрыйбада текшерилген. Мисалы, $20\ ^0C$ температура кездеги суунун өзүнүн буусу менен чектешкен бетиндеги беттик тартылышы анын суюк абалдагы бензол менен чектешкен бетиндеги беттик тартылышына караганда *2* эсеге жакын күчтүү болот. Ушул эле суунун беттик тартылышы, анын анилин (ал дагы суюктук) менен чектешкен бетиндеги беттик тартылышына караганда *13* эсеге жакын күчтүү болот.

Эми беттик тартылыштарды жогорудагыдай салыштырууларга мүмкүндүк берген чоңдукту башкача айтканда беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөй турган чоңдукту киргизели.

Ал үчүн төмөнкүдөй тажрыйбаны жүргүзөбүз. В бюреткасына суу куябыз да, андан суу кичинеден тамчылап тургандай кылып, К кранын кичине ачабыз (15.114.1-сүрөт). Анда ар бир тамчы кичинеден чоңоюп отуруп үзүлүп түшөт. Анын кандайча үзүлгөнүн тагырак байкоо үчүн бюретканын учун тамчы менен кошо экранга проекциялайбыз. Бул проекциядан тамчы чоңойгон сайын ошол тамчы менен бюретканын учундагы суунун ортосунда улам ичкерип бараткан моюнча пайда болгону көрүнөт (15.114.2-сүрөт). Бул АВ моюнчасы ичкерип отуруп, кандайдыр бир минималдык r радиусуна ээ болгон моментте С тамчысы үзүлүп түшөт. Пайда болгон тамчыга вертикалдуу төмөн көздөй оордук күчү, жогору көздөй моюнчанын айланасы (узундугу) боюнча бөлүштүрүлгөн беттик тартылыш күчү аракет этет. Алардын модулдары барабар болгондуктан бирин бири компенсациялап турушат. Ошондуктан тамчы тең салмактуулук абалда болот. Тамчы чоңойгон сайын ага аракет эткен оордук күчү да, беттик тартылыш күчү да чоңоюп отурат. Бирок беттик тартылыш күчү оордук күчүнө жараша улам эле чоңоё бере албайт. Тамчынын оордук күчү белгилүү бир мааниге жеткенде беттик тартылыш күчү аны компенсациялай албай калат. Натыйжада тамчы үзүлүп кетет. Ушул моментте тамчыга аракет эткен оордук күчүнүн чоңдугу, ага аракет эткен беттик тартылыш күчүнүн чоңдугуна барабар болот. Ушул фактынын негизинде, үзүлүп кеткен тамчыга аракет эткен оордук күчүн аныктоо аркылуу, тамчы үзүлүп жаткан моменттеги беттик тартылыш күчүн таап алуу мүмкүн.



15.114.2-сүрөт

Бул ишти төмөнкүчө аткарууга болот. Сууну тамчылатып, анын 40-50 тамчысын бөлүп алабыз. Бул тамчылардан топтолгон суунун массасын рычагдуу тарозанын жардамы менен ченейбиз. Алынган маанини тамчылардын санына бөлөбүз. Натыйжада бир тамчынын массасын аныктайбыз. Аны билип, тамчыга аракет эткен оордук күчтү табабыз:

$$P = mg \qquad (15.114.1)$$

Мында m - тамчынын массасы; g - эркин түшүүнүн ылдамдануусу; P- тамчыга аракет эткен оордук күчү.

Жогоруда айтылгандай, тамчы үзүлөр моментте ага аракет эткен беттик тартылыш күчүнүн чоңдугу (15.114.1) формуласы. менен аныкталган тамчынын оордук күчүнө барабар болот. Ошондуктан

$$F=P \text{ же } F=mg \qquad (15.114.2)$$

Мында, F - тамчы үзүлөр моментте, ага аракет эткен беттик тартылыш күчү; $P=mg$ - ошол тамчыга аракет эткен оордук күчү. Беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөө үчүн беттик тартылыш күчүн алуу мүмкүн эмес. Себеби бул күч моюнчаны чектеген айлананын узундугунан көз каранды болот. Ал эми беттик тартылышты мүнөздөгөн чоңдук бетти чектеген узундуктан көз каранды болбостугу керек. Ошондуктан беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөө үчүн беттик тартылыш күчүнүн ошол күч бөлүштүрүлгөн айлананын узундугуна болгон катышына барабар болгон чоңдукту алуу зарыл. Башкача айтканда беттик тартылышты төмөнкү чоңдук мүнөздөшү керек:

$$\sigma=\frac{F}{l} \qquad (15.114.3)$$

же,

$$\sigma=\frac{F}{2\pi r} \qquad (15.114.4)$$

Мында F - беттик тартылыш күчү; $l=2\pi r$ - ошол беттик тартылыш күчү бөлүштүрүлгөн айлананын узундугу, башкача айтканда суюктуктун туура кесилишин чектеген беттин айланасынын узундугу; r - ошол айлананын роадиусу; σ (гректин «сигма» деген тамгасы)- беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөөчү чоңдук, аны физикада «беттик тартылыш коэффициенти» деп атайт.

Демек, беттик тартылыш коэффициенти – бул беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөөчү чоңдук. Ал беттик тартылыш күчүнүн ошол күч бөлүштүрүлгөн сызыктын узундугуна болгон катышына барабар болот. Же, тактап айтканда, ал суюктуктун тигил же бул кесилишинин узундугу боюнча бөлүштүрүлгөн беттик тартылыш күчүнүн, ошол сызыктын узундугуна болгон катышына барабар болот.

СИ системасындагы күчтүн бирдигинин *Н*, узундуктун бирдигин *м* экенин эске алып, (15.114.3) формуланын негизинде беттик тартылыш коэффициентинин бирдигин аныктайбыз. Ал $\left[H/_{м}\right]$ болот. Бул бирдиктин эмнени билдирерин талдайлы.

Берилген суюктуктун кандайдыр бир кесилишинин узундугу *1м* болсун. Ушул кесилишинен суюктук үзүлгөн моменттеги беттик тартылыш күчү *1Н* болсун. Анда ушул суюктуктун беттик тартылыш коэффициенти $1\frac{H}{м}$ ге барабар болот. Эгерде башка бир суюктук ушундай шартта үзүлгөн моментте *0,075 Н* беттик тартылыш күчү пайда болсо, бул суюктуктун беттик тартылыш коэффициенти $0{,}075\frac{Н}{м}$ ге барабар болот.

Аба менен чектешкен ар түрдүү суюктуктардын, ар түрдүү температурадагы беттик тартылыш коэффициенттери тажрыйбада аныкталып, таблицада берилген.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөй турган чондукту киргизүүнүн кандай зарылчылыгы бар эле?
2. Беттик тартылыш эмнелерден көз каранды болот? Эмне үчүн?
3. Беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөөчү чоңдукту киргизүүгө мүмкүндүк берүүчү, 15.114.1-сүрөттө көрсөтүлгөн тажрыйбага түшүндүрмө бергиле.
4. Бюретканын учундагы тамчы үзүлүп жаткандагы беттик тартылыш күчүн кантип аныктоого болот?
5. Беттик тартылышты сан жагынан мүнөздөөчү чондук катарында беттик тартылыш күчүн алса болобу? Эмне үчүн?
6. Беттик тартылышты сан жагынан кайсыл чоңдук мүнөздөйт? Ал эмнеге барабар?
7. Беттик тартылыш коеффициентинин бирдиги эмне? Ага түшүндүрмө бергиле.
8. Суунун, самындын эритмесинин, бензиндин, спирттин беттик тартылыш коэффициенттерин салыштыргыла. Бул суюктуктардын колдогу майланышкан кирди кетирүү касиеттери бирдейби? Бул касиет менен суюктуктардын беттик тартылыш коэффициенттеринин байланышы бар деп ойлойсуңарбы? Жообуңарды негиздегиле.

115-§. Нымдоо жана нымдабоо

Суюктук менен катуу телонун беттешүүсүнө мүнөздүү болгон айрым кубулуштарды карайбыз.

Суу куюлган стаканга таза айнек пластинкасын салып, кайра тартып алсак, анын бетинин сууланышып турганын байкайбыз. Эгерде айнек пластинкасын парафин же май менен каптап туруп, мындай тажрыйбаны жүргүзсөк, анда пластинкага суунун жукпагандыгын көрөбүз.

Ушул фактылардын себебин МКТ нын негизги жоболоруна таянуу менен түшүндүрөлү.

Мурдагы параграфтарда төмөнкү факт далилдүү көрсөтүлгөн: суюктуктун аба (же башка газ) менен чектешкен бетиндеги молекулаларын, анын ичкерки молекулалары өзүнө тартып турушат.

Ал эми абанын молекулалары болсо бул молекулаларга дээрлик таасир көрсөтө алышпайт. Ошондуктан суюктуктун бетиндеги молекулалар ичкери көздөй умтулушат. Анын натыйжасында суюктук бетинин аянты эң кичине боло тургандай форманы алууга, башкача айтканда шар формасына келүүгө умтулат.

Суюктук катуу тело менен чектешип турган учурда суюктуктун бетиндеги молекулалар менен катуу телонун бетиндеги молекулалардын өз ара тартышууларын эске албай коюуга мүмкүн эмес. Себеби алар сезилерлик даражада болушат.

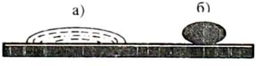
Демек, бул учурда суюктуктун бетиндеги молекулаларга ичкери көздөй ошол суюктуктун башка молекулалары, сыртты көздөй аны менен чектешип турган катуу телонун молекулалары тартуу аракетин көрсөтүшөт. Ушул аракеттердин кайсынысынын чоңурак болгонуна жараша төмөнкүдөй эки кубулуштун орун алышы мүмкүн:

1. Мейли суюктуктун өзүнүн молекулаларынын тартышууларына караганда суюктук менен катуу телонун молекулаларынын тартышуулары күчтүрөк болсун. Анда суюктук менен чектешип турган катуу телону суюктуктан бөлүп алганда, анын бетинде суюктуктун жука катмары жабышкан бойдон калышы керек.

Ушул илимий фактын негизинде, суу куюлган стаканга таза айнек пластинкасын салып, кайра тартып алганда, анын бетинин сууланып калышын төмөнкүчө түшүндүрсө болот: суунун молекулаларынын өз ара тартышууларына караганда суу менен айнектин молекулаларынын тартышуулары күчтүрөк болот. Ошондуктан суунун молекулаларынын белгилүү бөлүгү айнектин бетине жабышкан бойдон калат. Башка сөз менен айтканда суу айнектин бетин нымдайт. Ушул себепке байланыштуу бул кубулушту физикада *нымдоо* деп атайт.

Демек, суюктуктун молекулаларынын өз ара тартышууларына караганда суюктук менен катуу телонун молекулаларынын тартышуулары күчтүрөк болгон учурда, суюктуктун катуу телону *нымдоо* кубулушу орун алат. Мындай суюктук менен катуу телонун чектешүүлөрүн ажыратканда катуу телонун бетинде суюктуктун жука катмары жабышып калат.

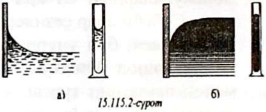
2. Мейли, суюктуктун өзүнүн молекулаларынын тартышуулары, суюктук менен катуу телонун молекулаларынын тартышууларына караганда күчтүрөк болсун. Анда суюктук менен чектешип турган катуу телону суюктуктан бөлүп алганда, анын бетинде суюктуктун молекулалары жабышып калбай, андан ажырап калышы керек. Ошондуктан, мисалы, парафин менен капталган айнек пластинкасына суу жукпайт, парафиндин молекулалары суунун



15.115.1- сүрөт

молекулаларын тартып, өзүнө жабыштырып кала албайт. Башка сөз менен айтканда суу парафинди нымдабайт.

Демек суюктуктун молекулаларынын өз ара тартышуулары, суюктук менен катуу телонун молекулаларынын тартышууларына караганда күчтүрөк болсо, катуу телону *нымдабоо* кубулушу орун алат. Бул учурда катуу телого суюктук жукпайт.



15.115.2-сурот

Нымдоо жана нымдабоо кубулуштарын дагы төмөнкү байкоолордон көрүүгө болот. Суюктуктун азырак бөлүгү кандайдыр бир катуу телонун бетине төгүлсүн. Эгерде суюктук бул катуу телону нымдаган болсо, ал телонун бети боюнча агып, жайылып кетет (15.115.1а - сүрөт). Ал эми нымдабаган боолсо, суюктук жайылып кетпейт, ал жалпайыңкы жумуру формага келет (15.115.1б - сүрөт).

Идишке куюлган суюктуктун ал идиштин бетин нымдоосун же нымдабоосун төмөнкү белгилери боюнча билүүгө болот. Эгерде суюктук нымдоочу болсо, идиштин ички капталына жакын жерде ал бир аз көтөрүңкү тартып турат. Суюктуктун бети иймек болот (15.115.2а -сүрөт). Эгерде суюктук нымдабоочу болсо, тескерисинче, идиштин ички капталына жакын жерде суюктук төмөнүрөк түшүп турат. Суюктуктун бети томпок болот (15.115.2б - сүрөт).

Суроолор жана тапшырмалар

1. Мурдагы параграфтарда суюктуктун кандай чөйрө менен чектешкен учурлары каралган эле? Бул параграфтачы?
2. Суюктуктун бети газ менен жана катуу тело менен чектешкен учурларды салыштырып талдагыла. Бул учурлардагы башкы айырмачылыкты бөлүп көрсөткүлө.
3. Нымдоо кубулушу кандай шартта орун алат? Ал кандай белгиси боюнча билинет?
4. Нымдабоо кубулушу кандай шартта орун алат? Ал кандай белгиси боюнча билинет?
5. Эмне себептен суюктук катуу телону нымдоочу болсо, анын тамчысы бул телонун бетинде жайылып кетет, нымдабоочу болсо жалпайыңкы жумуру форманы алат?
6. Эмне себептен суюктук идиштин бетин нымдоочу болсо, ал идиштин ички бетинде иймек, нымдабоочу болсо томпок форманы алат?

116-§. Капиллярдуулук

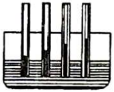
Ички диаметри *1-2 мм* келген айнек түтүкчөсүн же шариктүү ручканын бошогон стерженин суу куюлган стаканга салалы. Анда бул түтүкчөлөрдүн ичиндеги суулардын стакандагы суунун деңгээлине караганда бир аз жогору көтөрүлүп калганын көрөбүз.

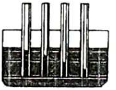
Суунун айнекти жана пласмассаны нымдай турганы белгилүү. Ушул эки фактынын негизинде мындайча тыянак чыгарууга болот: тигил же бул суюктук нымдаган материалдан жасалган ичке түтүкчөнү ошол суюктукка салса, суюктук түтүкчө боюнча бир аз жогору көтөрүлөт (15.116.1-сүрөт).

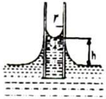
Эгерде жогорудагыдай эле айнек түтүкчөсү сымапка салынган болсо, анын ичиндеги сымап, тескерисинче, идиштеги сымаптын деңгээлине караганда бир аз төмөн түшүп турганын байкоого болот. Сымап болсо айнекти нымдабайт. Демек, тигил же бул суюктук нымдабай турган материалдан жасалган ичке түтүкчөнү ошол суюктукка салса, суюктук түтүкчө боюнча бир аз төмөн түшөт (15.116.2-сүрөт).

Эгерде жогорудагыдай тажрыйбаларды чачтай ичке түтүкчөлөр менен жүргүзсө, суюктуктардын түтүкчөлөр боюнча жогору көтөрүлүү же төмөн түшүү бийиктиктеринин мурдагыларга караганда чоңурак болорун көрүүгө болот. Демек, суюктуктардын түтүкчөлөр боюнча жогору көтөрүлүү, же төмөн түшүү бийиктиктери ошол түтүкчөлөрдүн ички диаметринен көз каранды: түтүкчөнүн ички диаметри канчалык кичине болсо, суюктуктун ал түтүкчөлөр боюнча көтөрүлүү же түшүү бийиктиктери ошончолук чоң болот (15.116.1-15.116.2-сүрөттөр).

Мындай кубулушту, башкача айтканда ичке түтүкчөлөр боюнча суюктуктун жогору көтөрүлүү, же төмөн түшүү кубулушун, физикада *капиллярдык кубулуш* деп атайт (Мындай термин "capilus-чач" деген латын сөзүнөн алынган).


15.116.1-сүрөт


15.116.2-сүрөт



15.116.3-сүрөт

Эми биз капиллярдык кубулуштарынын (же капиллярдуулуктун) орун алуу себебин түшүндүрөлү.

Мурдагы параграфта айтылгандай, суюктук нымдоочу болсо идиштин капталына жакын жерде ал бир аз көтөрүңкү тартып турат да, суюктуктун бети иймек болот (15.115.2а - сүрөт). Бул-биринчи факт.

Дагы бир илимий факт 113-114-§тардан белгилүү: беттик тартылыштын, башкача айтканда беттик тартылыш күчүнүн таасиринин натыйжасында суюктук дайыма өзүнүн эркин бетинин аянтын минималдык мааниге чейин азайтууга умтулат.

Ушул эки фактынын негизинде капиллярдык кубулуштун орун алуу механизмин талдайлы: түтүкчөнү сууга салган моментте анын ичиндеги суюктуктун бети иймек форманы алууга умтулат. (Себеби суунун молекулаларынын өз ара тартылышууларына караганда суу менен айнектин молекулаларынын тартышуулары күчтүрөк болот). Ошол эле мезгилде суунун беттик тартылыш күчүнүн натыйжасында суу өзүнүн иймек бетин түздөөгө умтулат. (Себеби түтүкчөдөгү суюктуктун эркин бети, ал тегиз - горизонталь турганда минималдык аянтка ээ болот). Бирок бул бет түздөлө койбойт, себеби, жогоруда айтылгандай, суу менен айнектин молекулаларынын тартышуулары күчтүүрөөк. Беттик тартылыш күчү да иймек бетти түздөөгө умтулган, горизонттон төмөн карай багытталган (вертикалдуу эмес) аракетин токтотпойт. Ал эми түтүкчөнүн бети болсо, бул аракетке каршы аракет этип, суунун ушул бөлүгүнө горизонттон жогору көздөй багытталган серпилгич күч менен таасир этет. Мына ушул күч түтүкчөдөгү сууну жогору көтөрөт. Бул учурда суунун бети иймек бойдон калат.

Ушул жерде суроо туулат: суу түтүкчө боюнча канчалык бийиктикке чейин көтөрүлө алат? Эми биз ушул суроого жооп берели.

Жогоруда айтылгандай, суу түтүкчө тарабынан, ага жогору көздөй аракет эткен серпилүү күчүнүн тасири астында көтөрүлө баштайт. Бул күчтүн модулу, иймек бетти түздөөгө багытталган беттик тартылыш күчүнүн модулуна барабар болот.

Түтүкчөдөгү сууга, ушул күчтөн башка дагы оордук күчү аракет этет.

Түтүкчө боюнча суу көтөрүлгөн сайын, анын ичиндеги суунун массасы жана ага аракет эткен оордук күчү чоңоюп барат. Ал эми беттик тартылыш күчү жана модулу ага барабар болгон, ага карама-каршы багытталган, сууну түтүкчө боюнча жогору көтөрүп бараткан серпилүү күчү өзгөрүүсүз калат.

Качан ушул, кийинки, күч оордук күчүнө барабар болуп калганда, суунун көтөрүлүшү токтойт. Демек, ушул серпилүү күчү биринчи жактан беттик тартылыш күчүнө, экинчи жактан, капиллярдык түтүкчөдөгү сууга аракет эткен оордук күчүнө барабар болот. Мындан беттик тартылыш күчүнүн модулу менен оордук күчүнүн модулунун барабар болору жөнүндөгү тыянак келип чыгат.

$$\left|F_{б.т}\right| = |P| \qquad (15.116.1)$$

Мында, $F_{б.т}$ - түтүкчөдөгү сууга (суюктукка) аракет эткен беттик тартылыш күчү; P - ага аракет эткен оордук күчү.

Ушул күчтөрдүн ар бирин кандайча аныктоого болорун карайлы.

Беттик тартылыш күчүн (15.114.3) же (15.114.4) формуласынан тапса болот:

$$F_{б.т} = \sigma\, l \qquad \text{же} \qquad F_{б.т} = \sigma\ 2\pi r \tag{15.116.2}$$

Мында, σ - суюктуктун беттик тартылыш коэффициенти; l - суюктуктун бетин чектеген сызыктын узундугу; r - суюктуктун бети чектелген айлананын радиусу. Ал түтүктүн ички радиусуна барабар болот (15.116.3-сүрөт).

Түтүкчөдөгү суюктукка аракет эткен оордук күчүн түтүкчөгө жана суюктуктун тегине мүнөздүү болгон чоңдуктар аркылуу туюнтабыз.

Бизге белгилүү болгондой,

$$P = mg = \rho V g \tag{15.116.3}$$

Мында, ρ - суюктуктун тыгыздыгы; V - анын көлөмү; g - эркин түшүүнүн ылдамдануусу; $m = \rho V$ - суюктуктун массасы; P - суюктукка аракет эткен оордук күчү.

Түтүкчөдөгү суюктуктун көлөмү түтүкчөнүн ошол суюктук ээлеген көлөмүнө барабар болот,

$$V = Sh = \pi \cdot r^2 h \tag{15.116.4}$$

Мында, r - түтүкчөнүн радиусу (же түтүкчөдөгү суунун бетин чектеген айлананын радиусу); h - суюктуктун бийиктиги же түтүкчөнүн суюктук ээлеген бөлүгүнүн бийиктиги, $S = \pi r^2$ - түтүктүн (түтүктөгү суюктуктун) туура кесилишинин аянты. (15.116.4) ни (15.116.3) формулага коюп, суюктукка аракет эткен оордук күчүн жогоруда айтылган чоңдуктар менен туюнтабыз:

$$P = \rho g \pi r^2 h \tag{15.116.5}$$

(15.116.5) жана (15.116.2) формулалар туюнткан күчтөрдүн маанисин (15.116.1) барабардыкка коёбуз:

$$\sigma 2\pi r = \rho g h \pi r^2$$

Мындан түтүкчө боюнча көтөрүлгөн суюктуктун бийиктигин табабыз:

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} \tag{15.116.6}$$

Демек, капиллярдык түтүкчө боюнча суюктуктун көтөрүлүү бийиктиги ошол суюктуктун беттик тартылыш коэффициентине түз, ал эми түтүктүн радиусу менен суюктуктун тыгыздыгына тескери пропорциялаш болот. Бул тыянак чындыкты туура чагылдырат: чынында эле түтүкчөнүн радиусу кичине болсо, суюктук чоңурак бийиктикке көтөрүлөт; беттик тартылыш коэффициенти чоң болгон суюктук, бирдей шарттарда, чоңурак бийиктикке көтөрүлөт.

Биз келтирип чыгарган (15.116.6) формула жана нымдоо кубулушунун мисалында жүргүзүлгөн талдоолор, нымдабоо учурунда орун ала турган капиллярдык кубулуштар үчүн да туура болот. Бирок, бул учурда сөз капиллярдык түтүкчөлөрдөгү суюктуктун көтөрүлүшү жөнүндө эмес, анын төмөн түшүшү жөнүндө жүрүшү керек.

Капиллярдык кубулуштар жаратылышта, турмушта көп кездешет. Мисалы, суу өсүмдүктөрдүн ткандарындагы капиллярдык идишчелер аркылуу тамырдан жогору көтөрүлүп чыгат. Капиллярдуулуктун натыйжасында жердин кыртышындагы ным жогору көтөрүлүп чыгат да, бууланып кетет. Натыйжада жер кыртышы кургайт. Мындайча кургап кетүүнү азайтуу үчүн капиллярды бузуу керек. Бул болсо, топуракты жумшартуу, жерди айдап коюу менен ишке ашырылат.

Канттын кесегин чайдын бетине тийгизсе эле, кант боюнча чай көтөрүлүп кетет. Керосин лампасындагы билик боюнча керосин көтөрүлүп чыгат, д.у.с.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Суюктук нымдай турган материалдан жасалган түтүкчөнү суюктукка салса, кандай кубулуш байкалат? Нымдалбай турган материалдан жасалган түтүкчөнү салсачы?
2. Айнек түтүкчөсүн сууга жана сымапка салса кандай кубулуштар байкалат? Себебин түшүндүргүлө.
3. Капиллярдык кубулуш деп кайсыл кубулуш айтылат?
4. Капиллярдык кубулуштун орун алыш себебин сууга салынган айнек түтүкчөсүнүн мисалында түшүндүргүлө.
5. Суюктук түтүк боюнча канчалык бийиктикке чейин көтөрүлө алышы мүмкүн?
6. (15.116.6) формуласын далилдеп чыгаргыла.
7. (15.116.6) формуласына таянып, капиллярдык кубулушка талкуу жүргүзгүлө, тиешелүү мисалдарды келтиргиле.
8. Капиллярдык кубулуштарга жаратылыштан жана турмуштан мисалдарды келтиргиле.
9. Капиллярдуулукту азайтууга жана күчөтүүгө болобу? Кантип?
10. Капиллярдык кубулуштун орун алыш себебин сымапка салынган айнек түтүкчөсүнүн мисалында түшүндүргүлө.
11. Сымап айнек түтүкчөсү боюнча канчалык тереңдикке чейин төмөн түшүшү мүмкүн?
12. (15.116.6) формуласын сымапка салынган айнек түтүкчөсүнүн мисалында кайрадан далилдеп чыгаргыла.

117-§. Катуу телолордун түзүлүшүн үйрөнүүдө атомдордун түзүлүшүн эске алуунун мааниси. Атом, ион жөнүндө түшүнүктөр

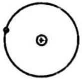
Катуу телолор, биринчиден, кадимки шарттарда өздөрүнүн формасын сакташат. Экинчиден, алардын атомдору же молекулалары белгилүү бир тең салмактуулук абалдарынын чекебелинде кичинекей термелүүлөрдү жасап турушат.

Газдардын жана суюктуктардын түзүлүшүн, аларга мүнөздүү болгон закон ченемдиктерди караган учурларда биз МКТнын негизги жоболоруна гана таянганбыз.

Катуу телолордун түзүлүшүн үйрөнүү үчүн бул жоболор жетишсиздик кылат. Себеби, кээ бир катуу телолордо белгилүү бир тең салмактуулук абалдардын чекебелинде ошол телолордун атомдору, башка бир телолордо алардын иондору, дагы башкаларында телолордун молекулалары кичинекей термелүүлөрдү жасап турушат. Бул учурларда атомдордун составындагы электрондор атомдордун өзүнө тиешелүү болгондой кыймылга келүүсү, же терс иондун составында кармалып туруусу, же эч кайсыл атомго тиешеси жок эркин кыймылдап жүрүүсү мүмкүн.

Ошондуктан катуу телолордун түзүлүшүн үйрөнүүдө аларды түзгөн атомдордун түзүлүшүн эске алуу зарыл.

8-класстан белгилүү болгондой, атом ядродон жана электрондордон турат. Ядро оң зарядга, электрон терс зарядга ээ болгон бөлүкчөлөр. Ядрону электрондор тынымсыз айланып жүрүшөт (16.117.1-сүрөт, мында эң жөнөкөй атомдун модели берилген). Атом кадимки абалында электрдик нейтралдуу болот, башкача айтканда зарядга ээ болбойт. Себеби анын ядросунун оң зарядынын чоңдугу менен электрондорунун терс зарядынын чоңдугу бирдей болот жана бул заряддар бирин - бири компенсациялап турушат.



16.117.1-сүрөт

Эгерде кадимки абалдагы тигил же бул атомдон кандайдыр бир таасирдин натыйжасында электрон бөлүнүп чыгып кетсе, ал оң зараядга ээ болуп калат. Мындай атомду физикада оң ион деп атайт.

Эгерде кадимки абалдагы тигил же бул атомго башка электрон келиш кошулса, ал терс зарядга ээ болуп калат. Мындай атомду терс ион деп атайт.

Атомдун массасы негизинен анын ядросунун массасы менен аныкталат. Анын электрондорунун массасы эске албай кое тургандай кичине болот.

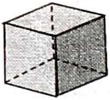
Химиялык элементтер бири- биринен ядролорунун заряддары менен айырмаланышат. Атомдордон электрондор чыгып кетип, оң иондор түзүлгөндө да, атомдорго электрондор кошулуп, терс иондор түзүлгөндө да атом ядросунун заряды өзгөрбөйт. Ушул себепке байланыштуу тигил же бул атом жана ошол атомдон түзүлгөн оң жана терс иондор бир эле химиялык элементке таандык болот. Ошондуктан, мисалы, натрийдин атому, натрийдин оң иону, же натрийдин терс иону деп айтылат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Катуу телолор суюктуктардан жана газдардан эмнелери менен айырмаланышат?
2. Катуу телолордун түзүлүшүн МКТнын негизги жоболоруна таянуу менен эле үйрөнүүгө болобу? Эмне үчүн?
3. Атомдун түзүлүшү кандай?
4. Кадимки шарттарда атомдун электрдик нейтралдуу болушун кантип түшүндүрүүгө болот?
5. Оң ион, терс ион деп эмнелер айтылат? Алар кантип түзүлөт?
6. Химиялык элементтер бири - биринен эмнелери менен айырмаланышат?
7. Тигил же бул атом, андан түзүлгөн оң жана терс иондор бир эле элементке таандык болобу, же андай эмеспи? Себебин түшүндүргүлө.

118-§. Кристаллдар

Лупаны алып, аны менен айрым катуу телолордун (мисалы, туздун, канттын, муздун д.у.с.) майда күкүмдөрүн көңүл коюп тиктесе, төмөнкүлөрдү көрүүгө болот: айрым күкүмдөр жылмалап койгон сыяктуу тегиз грандар менен чектелип турушат. Бул грандар бири- бири менен белгилүү бир бурчтарды түзүшөт. Бул бурчтар ар түрдүү заттар үчүн ар түрдүү болушат. Мисалы, кайнатма туздун кичинекей күкүмүнүн грандары көбүнчө кубдун грандарындай болот (16.118.1- сүрөт). Ал эми майда муздун каптал грандары бири- бири менен 120^0 бурч түзгөн алты бурчтуу призманы элестетет (16.118.2- сүрөт).


16.118.1-сүрөт

Ушундай, өзүнө мүнөздүү болгон табигый грандары бар болуп түзүлгөн катуу телолорду, көбүнчө катуу телолордун майда күкүмдөрүн *кристаллдар* деп атайт. Көпчүлүк заттын кристаллдары өтө кичине өлчөмдөргө ээ болушат. Мисалы, туздун, кум шекердин кристаллдарынын өлчөмдөрү өтө кичине. Бирок жаратылышта өлчөмү адамдын боюндай келген тоо хрусталдарынын кристаллдары да кездешет.

Бир даана кристаллдан же белгилүү бир тартип менен жайгашкан кристаллдардан турган затты *монокристалл* деп атайт (грекчеден которгондо «моно»- «бир» дегенди билдирет).

Кадимки катуу заттар тартипсиз жайланышкан, бири- бири менен биригип калышкан монокристаллдардан түзүлөт. Мындай заттарды *поликристалл* деп атайт (грекчеден которгондо «поли»- «көп» дегенди билдирет). Мисалы, кум шекердин күкүмү монокристалл, ал эми ак кант (рафинад канты) поликристалл болуп саналышат. Кадимки металлдар да поликристаллдар болушат.

Ар бир заттын монокристаллынынын грандары бири - бири менен дайыма белгилүү бир бурчту түзүп турушат жана ал белгилүү бир туура формага ээ болот. Бул факт монокристаллдардын ар түрдүү багыттарындагы физикалык касиеттеринин ар түрдүүчө болушун шарттайт.

Кристаллдардын бекемдиги, серпилгичтүүлүгү, жылуулуктан кеңейүүчүлүгү, жылуулук жана электр өткөрүмдүүлүктөрү, айрым оптикалык касиеттери (мисалы, жарыкты сындыруусу), алардын ар түрдүү багыттары боюнча ар түрдүүчө болушат. Кристаллдардын ар түрдүү багыттардагы физикалык касиеттеринин ар түрдүүчө болушун физикада кристаллдардын анизотропиясы деп атайт (грекчеден которгондо «анизос»- бирдей эмес, «тропос» - багыт дегенди түшүндүрөт). Бардык монокристаллдар анизотроптуу болушат.

Ал эми поликристаллдарга анизотроптуулук мүнөздүү болбойт. Бул фактыны түшүндүрөрдөн мурда ага аналогиялуу болгон төмөнкү фактыны келтиребиз.

Жалгыз турган бир кишинин көрүү касиети бардык багыттар боюнча бирдей эмес, ал алды тарабындагыларды көрөт, артындагыларды көрбөйт. Алды тарапты тиктеген көздөр бар, каптал жактарды жана арткы тарапты тиктеген көздөр жок. Ал эми ушундай жеке кишилерден түзүлгөн түртүшмө базардагы эл үчүн, башкача айтканда баш аламан жүрүшкөн көп сандаган кишилердин тобу үчүн бардык багыттар бирдей. Бардык тараптарды тиктеген көздөр бар. Бул топ биргеликте бардык тарапты көрө алат.

Поликристаллдар баш аламан жайгашышкан, көп сандаган мококристаллдардан түзүлөт. Толук баш аламан жайгашкан мындай монокристаллдардын тобу үчүн тигил же бул багыт артыкчылыкка ээ болбой калат. Алар үчүн бардык багыттар окшош, бирдей болот (монокристаллдарда мындай эмес болчу, мисалы, ал бир багытта токту жакшы өткөрсө, экинчи багытта жакшы өткөрбөйт болчу д.у.с.). Мына ошондуктан поликристаллдардын физикалык касиеттери бардык багыттары боюнча бирдей болушат, поликристаллдар анизотроптуу болушпайт, алар изотроптуу болушат (грекчеден которгондо «изос» - бирдей, «тропос- багыт дегенди түшүндүрөт).

Суроолор жана тапшырмалар

1. Лупа менен айрым заттардын майда күкүмдөрүн тиктегенде эмнелерди көрүүгө болот?
2. Кристалл деген эмне? Заттардын кристаллдарынын өлчөмдөрү көбүнчө чоң болобу же кичинеби?
3. Монокристалл деген эмне? Поликристалл дегенчи? Моно- жана поликристаллдарга мисалдар келтиргиле.
4. Монокристаллдардын физикалык касиеттери, анын бардык багыттары боюнча бирдей болобу? Эмне үчүн?
5. Поликристаллдардын физикалык касиеттери, анын бардык багыттары боюнча бирдей болобу? Эмне үчүн?

119-§. Кристаллдык торчолор. Кристаллдардын түрлөрү

Кристалл деп айтылганда көбүнчө жалгыз кристаллды, башкача айтканда монокристаллды түшүнөбүз. Мурдагы параграфта айтылгандай, ар бир кристаллдык телонун (заттын) кристаллдары (монокристаллдары) өзүнө мүнүздүү болгондой туура формага ээ болушат. Алардын грандары жылмалап койгондой тегиз болот жана бири- бири менен белгилүү бурчтарды түзүп турушат.

Ушундай фактылар аныкталгандан кийин физиканын алдында алардын себебин түшүндүрүү, башкача айтканда «Эмне себептен заттын кристаллдары дайыма өзүнө мүнөздүү болгон туура формага ээ болушат?» деген суроого жооп берүү проблемасы коюлган. XIX кылымдын башталышында, биринчи жолу бул проблеманы чечүү боюнча төмөнкүдөй гипотеза айтылган: кристаллды түзгөн бөлүкчөлөр, башкача айтканда атомдор туура, белгилүү бир иреттүүлүк менен жайгашкан болуштары керек. Атомдордун ушундай жайгашкандыгынын натыйжасында, алар түзгөн кристаллдар туура формага ээ болуп жатышат.

Бул гипотезанын тууралыгы тажрыйбада текшерүү керек эле. Бирок, аны лупанын, микроскоптун жардамы менен жүргүзүүгө болбойт. Себеби алардын жардамы менен кристаллдардын атомдорун көрүү мүмкүн эмес. Анда, кристаллдардын түзүлүшүн кантип изилдөөгө болот?

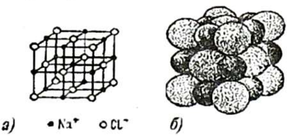
Ал үчүн кристаллдардан өтүп кете ала турган нурдун кызматынан пайдалануу керек эле. Мындай нур болуп рентген нурлары эсептелет. (Бул нур 1896-жылы немец физиги Рентген тарабынан ачылган. Бул нур кишинин денесинен өтүп кете алат жана анын ички организмдерин көрүп изилдөөгө мүмкүндүк берет. Ошондуктан ал медицинада кеңири пайдаланылат).

Бул нур кристаллдардан өтүп кете алат. Ошондуктан аларды окумуштуулар кристаллдардын түзүлүшүн изилдөөдө пайдаланышкан. Кристаллдар жөнүндө бериле турган маалыматтар рентген нурлары менен жүргүзүлгөн тажрыйбалардын жана тиешелүү теориялык талдоолордун негизинде алынган.

Кристаллды түзгөн бөлүкчөлөр бири-биринен белгилүү бир аралыктарда, белгилүү бир ырааттуулук менен жайгашышкан. Жылуулук кыймылынын натыйжасында бул аралыктар кичине өзгөрүшү мүмкүн. Бирок, берилген температурадагы алардын орточо мааниси туруктуу болот. Кристаллды түзгөн бөлүкчөлөрдүн орточо абалына туш келген чекиттердин, башкача айтканда түйүндөрдүн тобун ошол кристаллдын *кристаллдык торчосу* же *мейкиндиктик торчосу* деп атайт.

Кристаллдык торчолордун түйүндөрүндө кайсыл бөлүкчөлөрдүн жайгашканына, алардын өз ара аракеттенишүүлөрүнүн мүнөзүнө жараша кристаллдар төрт түргө бөлүнүшөт: иондук, атомдук, металлдык жана молекулалык болуп.

Төмөндө ушундай кристаллдардын ар бирине кыскача мүнөздөмө беребиз. (Алар жөнүндөгү билимдердин электр тогуна тиешелүү айрым законченемдерди окуганда пайдасы тиет).

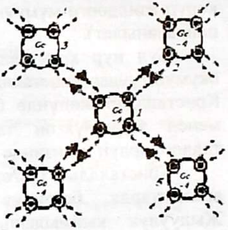


16.119.1-сүрөт

1. Иондук кристаллдар. Мындай түрдөгү кристаллдардын кристаллдык торчосунун түйүндөрүндө оң жана терс иондор жайгашкан болот. Алар өз ара табияты электрдик болгон күч менен тартышып турушат. Мындай кристаллдардын катарына, мисалы, кайнатма туздун, (*NaCL)* дун кристаллы кирет. Мындай кристалл түзүлүп жатканда *Na* дин атомдорунан бирден электрон оңой эле бошонуп чыгат да, *Cl* дун атомдоруна келип кошулат. Натыйжада *Na* дин оң иондуу *Cl* дун терс иондору пайда болот. Алар өз ара тартышып, бири- бирине жакындашып барып токтошот. Мындай тартышуу бардык тарап боюнча бирдей болот. Ошондуктан *Na* дин жана *Cl* дун иондору бири- биринен бардык тараптар боюнча бирдей аралыктарда кармалып калышат. Ушинтип, түйүндөрүндө *Na* дин оң иондору жана *Cl* дун терс иондору турган, куб формасындагы, кристаллдык торчо түзүлөт (16.119.1а -, б - сүрөттөр). Бул сүрөттөрдө кристаллдык торчонун модели (16.119.1а - сүрөт) жана иондордун торчодо кандайча жайгашышы (16.119.1б - сүрөт) көрсөтүлгөн.

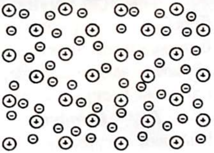
Иондук кристаллдарга исланд шпатынын ($CaCO_3$), калий- фтордун (KCl) д.у.с. заттардын кристаллдары кирет.

2. Атомдук кристаллдар. Атомдук кристаллдардын кристаллдык торчосунун түйүндөрүндө нейтралдык атомдор жайланышкан болот. Алар бири- бири менен коваленттик байланышта болушат. Мындай байланыштын мааниси төмөнкүдө.



16.119.2-сүрөт

Ар бир коңшу эки атомдун, мисалы, германий кристаллынын 1-чи жана 2-чи атомдорунун (16.119.2 - сүрөт) бирден валенттик электрондору бири- бири менен тынымсыз алмашып, биринчисиникинин ордун экинчисиники, экинчисиникинин ордун биринчисиники толуктап турат. Бул эки электрондор өз-өзүнүн атомдоруна тиешелүү болушпайт. Ар бир электрон эки атомго тең тиешелеш болот, башкача айтканда ар бир атом бул электрондорго ортоктош болушат (16.119.2 - сүрөт). Ошондуктан алар электрдик нейтралдуу болушат. Тандап алынган атомдун (мисалы, 1- атомдун) калган электрондору да кристаллдын башка атомдорунун (3-, 4-, д.у.с.) электрондору менен ушундай байланышта болушат. Ушинтип, кристаллдык торчонун түйүндөрүндө нейтралдык атомдор жайланышкан кристаллдар түзүлөт. Мындай кристаллдардын катарына германийдикинен башка дагы кремнийдин, алмаздын, графиттин, күкүрттүү цинктин (ZnS) д.у.с. кристаллдары кирет.



16.119.3-сурот

3. Металлдык кристаллдар. Металлдардын кристаллдашуу процессинде (металлдардын кристаллынын түзүлүү процессинде) анын атомдору жакындашышат. Бул учурда, табиятын биз азыр түшүнө албай тургандай күч пайда болот. (Мындай күчтүн табияты физиканын квант механикасы деген теориясында ачып көрсөтүлөт). Ушул күчтүн натыйжасында металлдын атомдорунун сырткы орбиталарында жүргөн электрондору (валенттик электрондору) атомдордон бөлүнүп чыгат.

Бирок, иондук кристаллдар түзүлгөндөгүдөй, бул электрондор башка атомдорго барып кошула алышпайт, терс ионду түзө алышпайт. Себеби металлдын атомдорунун бардыгы бирдей, жогоруда айтылган күч бардык атомдордон валенттик электрондорду бөлүп чыгарат. Ушинтип, эч бир атомго тиешелүү болбогон электрондордун тобу түзүлөт. Ал эми валенттик электрондорунан ажыраган атомдор, башкача айтканда оң иондор биригип, металлдын кристаллынын кристаллдык торчосун түзүшөт. Демек, металлдын кристаллынын кристаллдык торчосунун түйүндөрүндө анын оң иондору жайгашкан болот. Бул иондорду түзүп, өздөрүнүн атомдорунан ажырап чыккан валенттик электрондор кристаллдык торчолордун түйүндөрүндө турушкан оң иондорду аралап жүрүшөт (16.119.3 - сүрөт). Алар кайсыл багыт боюнча болсо да, эркин которула алышат. Бул айтылган фактылар бардык металлдарга мүнөздүү.

4. Молекулалык кристаллдар. Мындай кристаллдардын кристаллдык торчосунун түйүндөрүндө нейтралдуу молекулалар турушат. Бромдун (Br_2), йоддун (J_2), ошондой эле нафталиндин, парафиндин д.у.с. кристаллдары молекулалык кристаллдар болуп сыналышат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Ар бир заттын кристаллынын сырткы турпатына эмнелер мүнөздүү? Бул фактыны түшүндүрүү үчүн кандай гипотеза сунуш кылынган?
2. Бул гипотезанын тууралыгы кандайча далилденген? Кристаллдык торчо деген эмне?
3. Кристаллдардын кандай түрлөрү бар? Алар эмнелери боюнча айырмаланышат?
4. Иондук кристаллдарга 16.119.1 - сүрөткө таянуу менен мүнөздөмө бергиле.
5. Атомдук кристаллдарга 16.119.2 - сүрөткө таянуу менен мүнөздөмө бергиле.
6. Металлдык кристаллдарга 16.119.3 - сүрөткө таянуу менен мүнөздөмө бергиле.
7. Молекулалык кристаллдар деген эмне? Ага мисалдар келтиргиле.

120-§. Аморфтук телолор

Айрым катуу телолордун, мисалы, айнектин, айрым пластмассалардын майда күкүмдөрүнүн беттери жылма болбойт жана алар белгилүү бир туура форманы алышпайт. (Мындай катуу телолордун кристаллдары болбойт). Ушундай телолорду физикада аморфтук телолор деп атайт (грекчеден которгондо «морфе»- форма дегенди түшүндүрөт, ал эми «а» мүчөсү кошулуп айтылса формада эмес, формасы жок дегенди билдирип калат).

Демек, кристаллдык телолор (поликристаллдар) туура формага ээ болушкан кичинекей телочолордон (монокристаллдардан) түзүлөт. Ал эми аморфтук телолордун мындай кичинекей телочолору болбойт. Алардын атомдору белгилүү бир ырааттулукта эмес, баш аламан жайгашышат. Ошондуктан алардын майда күкүмдөрү белгилүү бир форманы алышпайт.

Аморфтук телолор поликристаллдар сыяктуу болушат. Катуу абалында алар кристаллдык телолор ээ болуучу механикалык касиеттерге ээ болушат. Ошондуктан катуу телолордун механикалык касиеттери жөнүндө сөз болгондо (кийинки параграфта каралат), алар кристаллдык жана аморфтук телолор деп атайын бөлүп каралбайт.

Аморфтук телолордун белгилүү бир эрүү температурасы болбойт. Алардын кристаллдык телолордон айырмаланган белгилеринин бири болуп ушул факт эсептелет.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Аморфтук телолордун кристаллдык телолордон айырмачылыгы эмнеде?
2. Аморфтук жана кристаллдык телолордун кандай жалпы жактары, касиеттери бар?

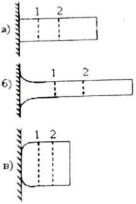
121-§. Катуу телолордун деформациясы. Деформациянын түрлөрү

Катуу телолордун башкы өзгөчөлүгү болуп алардын көлөмүнүн жана формасынын сакталышы эсептелет. Бирок, күч аракет эткенде алардын формасы же көлөмү өзгөрүшү мүмкүн. Күчтүн аракетинин натыйжасында катуу телолордун формасынын же көлөмүнүн өзгөрүшүн физикада деформация деп атайт. Ошондуктан физикада күчтүн таасири астында тигил же бул катуу телонун көлөмү же формасы өзгөрүлдү дегендин ордуна, катуу тело деформацияланды деп айтат.

Телонун көлөмүнүн же формасынын өзгөрүшү, башкача айтканда телонун деформацияланышы анын бир бөлүгүнүн башка бир бөлүгүнө салыштырмалуу жылып (которулуп) кетиши менен жүрөт. Мисалы, пружина созулганда анын бир бөлүгү башка бөлүгүнөн алыстайт, ал эми кысылган кезде- жакындайт. Мындай жылып кетүү ошол телого, мисалы, пружинага күч аракет эткен учурда гана орун алат. Эгерде телону деформациялаган ушул күч өзүнүн аракетин токтотсо, башкача айтканда телого (мисалы, пружинага) күч аракет этпей калса, ал тело мурдагы калыбына кайра келет, башкача айтканда телонун деформациясы жоголот. Мындай деформациялаган күч аракет этпей калганда кайра жоголуп кетчү деформацияны, физикада *серпилгичтүү деформация* деп атайт.

Дагы бир мисалды талдайлы. Пластилинге күч аракет этсе, ал созулат, деформацияланат. Бирок күчтүн аракети токтогондо, ал мурдагы калыбына кайра келбейт, анын деформациясы жоголбойт. Мындай деформацияны, башкача айтканда деформациялаган күчтүн аракети токтогондо, кайра жоголуп кетпей турган деформацияны физикада <u>*пластикалуу деформация*</u> деп атайт.

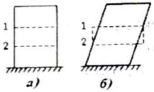
Демек, телону деформациялаган күчтүн аракети токтогондон кийин ошол телонун деформациясынын жоголуп кетишине, же жоголбой калышына жараша деформация эки түргө бөлүнөт: серпилгичтүү жана пластикалуу болуп.



16.121.1-сүрөт

Телолордун деформациясы ошол телолордун бир бөлүгүнүн башка бөлүгүнө салыштырмалуу жылышынын (которулушунун) мүнөзүнө жараша да түрлөргө бөлүнөт.

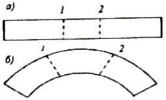
1.Созулуу жана кысылуу деформациялары. Созулуу деформациясы кезинде телонун бир катмары анын экинчи катмарынан алыстайт (16.121.1б - сүрөт) ал эми кысылуу деформациясы кезинде- жакындайт (16.121.1в - сүрөт).



16.121.2-сүрөт

2. Жылышуу деформациясы. Мындай деформация кезинде телонун бир катмары экинчи катмарына салыштырмалуу жылышып кеткен болот (16.121.2б - сүрөт).

3. Ийилүү деформациясы. Мындай деформация телонун бир катмарынын созулууга, экинчи катмарынын кысылууга дуушар болушу менен жүрөт (16.121.3б - сүрөт).



16.121.3-сүрөт

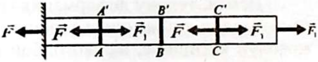
4. Толгонуу деформациясы. Мындай деформация кезинде телонун бир учундагы катмарлары, мисалы, сааттын жебесинин багыты боюнча жылышып кетсе, экинчи учундагы катмарлары ага карама- каршы багытта жылышкан болушат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Катуу телонун деформациясы деп эмне айтылат?
2. Телонун деформацияланышы кандайча жүрөт?
3. Күчтүн аракети токтогондон кийин телонун деформациясынын жоголуп кетишине жана жоголбой калышына жараша деформациялар кандай түрлөргө бөлүнөт? Деформациянын ушундайча бөлүнгөн ар бир түрүнө аныктама бергиле.
4. Телонун бир катмарынын башка катмарына салыштырмалуу жылып кетүүсүнүн мүнөзүнө жараша деформациялар кандай түрлөргө бөлүнөт? Деформациянын ушундайча бөлүнгөн ар бир түрүнө түшүндүрмө бергиле.
5. Деформациялардын ар бир түрүнө (мурдагы эки жана кийинки төрт түрүнө) турмуштан жана техникадан мисалдар келтиргиле.

122-§.Серпилгичтүү телолор. Серпилүү күчү. Телолордун механикалык чыңалуусу

Эгерде берилген телого серпилгичтүү деформация мүнөздүү болсо, ал телону серпилгичтүү тело деп атайт. Демек, серпилгичтүү телону деформацияласа, ал кайра мурдагы калыбына келет. Бул факт телону деформациялаганда аны кайра мурдагы калыбына алып келүүчү күч пайда болорун көрсөтөт. Бул күчтү, бизге механикадан белгилүү болгондой, серпилүү күчү деп атайт.



16.122.1-сурот

Мейли, бир учу дубалга бекитилген стерженин экинчи учуна 16.122.1-сүрөттө көрсөтүлгөндөй $\vec{F}_1$ күчү аракет этсин. Анда, Ньютондун үчүнчү законуна ылайык стерженин дубалга бекитилген биринчи учуна дубал тарабынан $\vec{F} = -\vec{F}_1$ серпилүү күчү аракет этет.

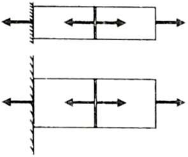
Серпилүү күчүнүн ролун көрсөтүү максатында, ой жүзүндө, стерженин AA^1 кесилишиндеги эки катар тизилген молекулалардан турган жука катмарды бөлүп алалы. Бул катмардын оң тарабындагы бетине, андан сырткаркы турган молекулалар аркылуу $\vec{F}_1$ күчү аракет этет. Ал эми анын сол тарабындагы бетине андан сырткаркы турган молекулалар $\vec{F}$ күчү менен аракет этет. Ушул күч серпилүү күчү болуп саналат (16.122.1-сүрөт). Бул айтылгандар стерженин BB^1, CC^1 д.у.с. кесилиштеринин бардыгына мүнөздүү болот. Демек, бир учу бекитилген, экинчи учуна $\vec{F}_1$ күчү аракет эткен стерженин бардык кесилиштеринде, ага карама- каршы багытталган $\vec{F} = -\vec{F}_1$ серпилүү күчү пайда болот.

Ушинтип, AA^1 кесилишиндеги стерженин жука катмарынын эки бетинен, эки тарапты көздөй $\vec{F}_1$ жана $\vec{F}$ күчтөрү аракет этишет. Натыйжада ошол катмарга күч келип турат, ал чытырап чыңалган абалда болот. (Ал эми бул күчтөр аракет эте элек мезгилде ал катмарга эч кандай күч келбей эле турган болчу). Ушундайча күч келип турган абалдагы телону механикалык чыңалуу абалында турган тело деп атоо кабыл алынган. Демек, $\vec{F}_1$ жана $\vec{F}$ күчтөрүнүн аракети астында стерженин AA^1, ошондой эле андан башка дагы бардык кесилиштери механикалык чыңалуу абалында турушат. Мындан, ошол берилген стержен механикалык чыңалуу абалында турат деген тыянак келип чыгат.

Эми биз кандай чоңдукту механикалык чыңалуу үчүн алууга болорун карайлы.

Ал үчүн жогорудагы ой жүзүндөгү тажрыйбаны дагы улантабыз. Эгерде $\vec{F}_1$ күчү, демек, $\vec{F}$ күчү чоңурак болсо, стерженге (телого) көбүрөк күч келет, башкача айтканда анын механикалык чыңалуусу чоңурак болот. Демек, телодо пайда болгон серпилүү күчү $\vec{F}$ канчалык чоң болсо, телонун механикалык чыңалуусу ошончолук чоң болот. Бул - биринчи тыянак.

Дагы бир ой жүзүндөгү тажрыйбаны жүргүзөлү. Дубалга туура кесилиш аянттары *S* жана *4S* болгон эки стержень бекитилген болсун. Аларга бирдей $\vec{F}_1$ күчтөрү аракет этишсин (16.122.2 - сүрөт). Анда туура кесилиш аянты кичине болгон стерженге көбүрөк күч келет, ал эми ошол стержендин механикалык чыңалуусу чоңурак болот. Эгерде туура кесилиш аянттары ар түрдүү телолордо пайда болгон серпилүү күчтөрү бирдей болушса да, туура кесилиш аянты кичине болгон телонун механикалык чыңалуусу чоң болот. Бул - экинчи тыянак.



16.122.2-сүрөт

Ушул жана жогоруда айтылган биринчи тыянактын негизинде төмөнкүдөй жалпы жыйынтык чыгырса болот: телодо серпилүү күчү пайда боло тургандай шарт түзүлгөндө ошол тело механикалык чыңалуу абалында болот. Телонун мындай механикалык чыңалуусу, аны пайда кылган серпилүү күчүнө түз, ал эми ошол телонун туура кесилиш аянтына тескери пропорциялаш болот. Бул айтылган жалпы жыйынтыкты математикалык түрдө жазабыз:

$$\sigma = \frac{F}{S} \qquad (16.122.1)$$

Мында, *F* - телодогу механикалык чыңалууну пайда кылган серпилүү күчү; *S* - ошол телонун туура кесилиш аянты; σ - ошол телонун механикалык чыңалуусу (кээде аны телонун чыңалуусу деп да коет).

Телонун механикалык чыңалуусунун бирдигин (16.122.1) формуласын пайдалануу менен келтирип чыгарабыз.

Мейли, телонун кесилиш аянты $1м^2$ болсун. Бул телодогу механикалык чыңалууну *1Н* күч пайда кылсын. Анда телодо пайда болгон механикалык чыңалуу $1\frac{Н}{м^2}$ ка барабар болот. Ушул механикалык чыңалуу, механикалык чыңалуунун бирдиги үчүн кабыл алынат. Механикадан белгилүү болгондой, СИ системасындагы басымдын бирдиги да $1\frac{Н}{м^2}$. Аны *1Па* деп атайт. Ошондуктан механикалык чыңалуунун бирдигин да *1Па* деп аташат. Демек, механикалык чыңалуунун СИ системасындагы бирдиги *1П*а.

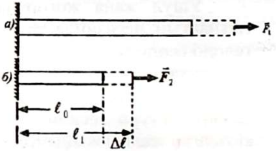
Суроолор жана тапшырмалар

1. Кандай тело серпилгичтүү тело деп айтылат? Мындай телолорго мисалдар келтиргиле.
2. Серпилүү күчү кандай шартта пайда болот? Анын бар экенин кайсыл факт көрсөтөт? Серпилүү күчү деформацияланган телонун бардык кесилиштеринде пайда болорун түшүндүргүлө.
3. Деформацияланган телонун механикалык чыңалуу абалында болорун тиешелүү ой жүзүндөгү тажрыйбалардын негизинде түшүндүргүлө.
4. Кандай чоңдукту механикалык чыңалуу үчүн алууга болорун негиздегиле жана тиешелүү формуланы негиздеп жазгыла.
5. Механикалык чыңалуунун бирдиги эмне? Аны эмне үчүн *1Па* деп атайт?

123-§. Гуктун закону

Созулуу деформациясынын мисалында телонун механикалык чыңалуусу жөнүндөгү талкууну улантабыз.

Бир учу дубалга бекитилген стержендин экинчи учуна $\vec{F}_1$ күчү аракет этсин (16.123.1а - сүрөт). Анда бул стержендин бардык кесилиштеринде серпилүү күчү пайда болот. Бул күч, өз кезегинде, стержендин ошол, бардык кесилиштеринде механикалык чыңалууну пайда кылат.



16.123.1-сүрөт

Эгерде стержень көбүрөк созулса, башкача айтканда чоңураак деформациялануууга дуушар болсо, анын механикалык чыңалуусу да чоңурак болот. Демек, телонун механикалык чыңалуусу анын узаруусуна, тактап айтканда, абсолюттук узаруусуна көз каранды. Бирок, берилген телонун мындай абсолюттук узаруусун анын механикалык чыңалуусунун чени катарында алууга болбойт.

Бул ойдун тууралыгын төмөнкү мисал менен бекемдейбиз.

Мейли, баштапкы узундугу $l_0 = 10$ *мм* жана $l_0 = 10$ *м* болгон, бирдей материалдан жасалган стержендердин ар бири, *1мм* ге узартылган болсун. Ушул учурда, ушул стержендерде пайда болгон механикалык чыңалуулар бирдей болор беле? Албетте, бирдей болбойт. 10 м дик стерженде мындай чыңалуу кичине, ал эми *10мм* дик стерженде салыштырмалуу өтө чоң болушу керек.

Анда, берилген телонун механикалык чыңалуусунун чени үчүн, анын кандайча узаруусун алууга болот?

Мейли, бизге баштапкы узундуктары $l_0 = 5м$ жана $l_0 = 10м$ болгон, бирдей эле материалдан жасалган стержендер берилсин. Бул стержендер созулсун, деформациялансын. Бирок бул учурда алардын ар бир, *1 метр* узундуктагы бөлүктөрү *1см* ге узарган болсун. Анда бул стержендердин ар бир барабар бөлүктөрү бирдей узарууга дуушар болушат. Натыйжада стержендердин мындай узарууларынан пайда болгон механикалык чыңалуулары да бирдей болушат.

Ушул айтылгандарды дагы бир жолу көз алдыбызга келтирели:

1). Бирдей материалдан жасалган, узундуктары ар түрдүү болгон стержендер созулбай турганда, алардын механикалык чыңалуулары нөлгө барабар болот;

2). Ушул стержендердин бардыгы созулса жана бул учурда алардын ар бир барабар бөлүктөрү (мисалы, *1м* ден болгон бөлүктөрү) бирдей чоңдукка узарган болсо, бардык стержендердин механикалык чыңалуулары бирдей болуп калат.

Демек, берилген телонун *1м* ге барабар болгон бөлүгүнүн узарышын (деформациясынын чоңдугун), ошол телонун механикалык чыңалуусунун чени үчүн алууга болот. (Себеби мындай узаруу нөл болгондо механикалык чыңалуу нөлгө барабар болуп, чоң болгондо - чоң болуп жатат.

Телонун *1м* ге барабар болгон бөлүгүнүн узаруусун физикада телонун салыштырмалуу узаруусу деп атайт, аны ε (епсилон) тамгасы менен белгилейт. Мындай узарууну математикалык түрдө төмөнкүчө жазса болот:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{1\,м} \text{ же, } \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \qquad (16.123.1)$$

(Салыштырмалуу узаруу ε, $l_0 = 1\ м$ болгондогу Δl ге барабар болот).

Мында, $\Delta l = l_1 - l_0$ - телонун узаруусу, же абсолюттуу узаруусу (16.123.1б - сүрөт); l_0 - телонун мурдагы, l_1 – анын кийинки узундугу; ε - телонун салыштырмалуу узаруусу, башкача айтканда телонун ар бир метринин узаруусу.

Созулуу деформациясынын мисалында жогоруда алынган тыянактар толук бойдон кысылуу деформациясы үчүн да туура болот. Бар болгон айырмасы, бул учурда тело кыскаргандыктан $\varepsilon < 0$ болот.

Жогоруда айтылгандай, берилген телонун механикалык чыңалуусунун чени болуп, анын салыштырмалуу узаруусу (же кыскаруусу) эсептелет. Тажрыйбалар көрсөткөндөй телолордун механикалык чыңалуулары ошол телолордун тегинен да көз каранды болот. Ар түрдүү телолордун салыштырмалуу узаруулары бирдей болсо да, алардын чыңалуулары ар түрдүү болушат.

Демек, телолордун механикалык чыңалуулары алардын салыштырмалуу узарууларына (же кыскарууларына) түз пропорциялаш болот.

Бул тыянакты математикалык түрдө жазабыз:

$$\sigma = E|\varepsilon| \qquad (16.123.2)$$

Мында, $|\varepsilon|$ - телонун салыштырмалуу узаруусу, же кыскаруусу; σ - телонун механикалык чыңалуусу; E - телонун тегине мүнөздүү болгон чоңдук. Аны физикада серпилгичтүүлүктүн модулу же Юнгдун модулу деп атайт.

Юнгдун модулунун СИ системасындагы бирдиги да механикалык чыңалуунун бирдиги сыяктуу эле $1Па$, себеби ε бирдиги жок чоңдук. Ар түрдүү материалдар үчүн Юнгдун модулу тажрыйбада аныкталып, таблица түрүндө берилген. Мисалы, алюминий үчүн $E=7\cdot 10^{10}Па$, хромникелдүү болот үчүн $E=21\cdot 10^{10}\ Па$, коргошун үчүн $E=0{,}17\cdot 10^{10}Па$ д.у.с. Кайсыл тело үчүн Юнгдун модулу чоң болсо, ошол тело созуу же кысуу аракеттерине чоң каршылык көрсөтөт.

(16.123.2) формуласы туюнткан законченемдикти физикада Гуктун закону деп коет.

Бул формуланы өзгөртүп түзөбүз. Ал үчүн мындагы σ нын ордуна анын аныктамасын туюнткан (16.122.1) формуласын, ал эми ε дун ордуна анын (16.123.1) формуласы менен берилген маанисин коёбуз:

$$\frac{F}{S} = E\ \frac{|\Delta l|}{l_0}$$

Мындан серпилүү күчүн табабыз:

$$F = E\ \frac{S}{l_0}|\Delta l| \qquad (16.123.3)$$

Төмөнкүдөй белгилөөнү киргизебиз:

$$k = E\frac{S}{l_0} \qquad (16.123.4)$$

Анда (16.123.3) мындай түргө келет:

$$F = k|\Delta l| \qquad (16.123.5)$$

Мында, F - тело деформацияланганда пайда болгон серпилүү күчү; Δl - телонун абсолюттуу узарышы (же кыскарышы), башкача айтканда жылышуусу; k - берилген телого мүнөздүү болгон (анын тегине, узундугуна , туура кесилиш аянтына көз каранды болгон) турактуу чоңдук.

(16.123.5) формуласын механикадан белгилүү болгон Гуктун закону менен салыштырабыз:

$$F = -kx \text{ же } F = k|x| \qquad (16.123.6)$$

Мында , F - тело деформацияланганда пайда болгон серпилүү күчү; $|x|$ - телонун жылышуусу, башкача айтканда абсолюттуу узарышы (же кыскарышы); k - телонун катуулугу.

Демек, (16.123.4) формуласы менен берилген k чоңдуту телонун катуулугу болуп саналат. Ал формуладан көрүнүп тургандай, телонун катуулугу анын туурасынан кесилиш аянтына түз, узундугуна тескери пропорциялаш болот жана да, ал телонун затынын тегинен көз каранда болот. Чынында эле, мисалы, жипти эки учунан кармап созгондо, аны эки кабаттагандан кийинки учтарынан кармап созгондогуга караганда жумшагырак сезилет, оңоюрак созулат.

Демек, (16.123.2) жана (16.123.6) формулалары бир эле закондун (Гуктунун) эки түрдөгү жазылышы болуп саналышат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телонун абсолюттук узаруусу деген эмне? Берилген телонун механикалык чыңалуусу ошол телонун абсолюттук узаруусунан көз каранды болобу? Мындай узарууну телонун механикалык чыңалуусунун чени катарында алуу мүмкүнбү? Эмне үчүн? Жообуңарды мисалдар менен негиздегиле.
2. Телонун салыштырмалуу узаруусу деген эмне? Ал кандайча аныкталат?
3. Эмне себептен телонун салыштырмалуу узаруусун анын механикалык чыңалуусунун чени катарында алууга болот? Бул тыянак телонун салыштырмалуу кыскаруусуна да мүнөздүү болобу?
4. Телолордун механикалык чыңалуусу эмнелерден, кандайча көз каранды болот? (16.123.2) формуласынын жазылышын негиздеп айткыла.
5. Юнгдун модулу, же серпилүчтүүлүктүн модулу деген эмне? Серпиличтүүлүгүнүн модулу чоң болгон тело, анысы кичине болгон телодон эмнеси менен айырмаланат? Анын бирдиги эмне?
6. Юнгдун модулун тажрыйбанын негизинде аныктоого мүмкүндүк берүүчү формуланы жазгыла. (Мындай формулага Юнгдун модулу жана түздөн - түз ченөөгө мүмкүн болгон чоңдуктар кириши керек).
7. Гуктун законунун (16.123.2) жана (16.123.6) формулалары аркылуу берилиштерин салыштыргыла. Телонун катуулугунун кандай чоңдуктардан, кандайча көз каранды болорун негиздегиле.

124-§. Катуу телолордун механикалык касиеттери

Тажрыйбалар жана байкоолор көрсөткөндөй, катуу телолор бири-биринен серпиличтүүлүгү, пластикалуулугу, бышыктыгы, морттугу, катуулугу менен айырмаланышат. Алардын бул касиеттери аларга күч менен аракет этип, механикалык тасир көрсөткөндө өздөрүн билгизишет. Ошондуктан телолордун бул касиеттерин телолордун механикалык касиетери деп атайт. Ушул касиеттердин ар бирине кыскача токтолобуз.

1. Телолордун серпилгичтүүлүгү, пластикалуулугу. Серпилгичтүүлүктүн чеги. Деформацияланган айрым телолор бул деформацияны пайда кылган күч аракет этпей калгандан кийин, кайрадан мурунку калыбына келе алат. Телонун мындай касиетин телонун *серпилгичтүүлүгү* деп атайт.

Ал эми кээ бир деформацияланган телолор, бул деформацияны пайда кылган күч аракет этпей калгандан кийин деле, ошол деформацияланган калыбында кала берет. Телонун мындай касиетин телонун *пластикалуулугу (же ийилгичтиги)* деп атайт.

Серпиличтүүлүк жана пластикалуулук бардык катуу телолорго мүнөздүү болот. Мисалы, болоттон жасалган пружинага азырак жүк асып, аны кайра алса, пружина мурдагы калыбына келет, ал серпиличтүүлүк касиетине ээ. Эгерде ушул эле пружинага массасы чоң болгон телону асуу менен көбүрөк чоюп, кайра коё берсе, ал мурдагы калыбына толук келе албашы мүмкүн. Демек бул учурда пружина пластикалуулук касиетке ээ болот. Ошондуктан телолорду серпиличтүү жана пластикалуу деп бөлүү шарттуу гана болот. Берилген серпилгичтүү тело белгилүү бир чоңдуктагы салыштырмалуу узарууга душар болгонго чейин серпилгичтүү бойдон калышы мүмкүн. Тело мындан ашыкча созулганда, анын пластикалуулук касиети көрүнө баштайт. Ошондуктан турмушта пайдаланылып жүргөн пружиналуу таразалардын пружинасынын узарышы чектеп коюлат.

Тело өзүнүн серпиличтүүлүгү сакталып кала тургандай максималдык салыштырмалуу узарууга дуушар болсун. Ушул абалда ал белгилүү чоңдуктагы механикалык чыңалууга ээ болот. Эгерде бул телонун механикалык чыңалуусу дагы чоңоё тургандай шарт түзүлүп, (башкача айтканда тело дагы кичине созулуп) кайра коё берилсе, ал тело мурдагыдай серпилгичтүү бойдон гана кала албайт. Телонун механикалык чыңалуусунун ушул маанисин физикада серпилгичтүүлүктүн чеги деп атайт.

Мейли, тело деформацияланган болсун. Анда бул телодо механикалык чыңалуу пайда болот. Эгерде ушул механикалык чыңалуу берилген телонун серпиличтүүлүк чегинен кичине же ага барабар болгондой чоңдукта болсо, тело серпилгичтүү бойдон калат. Деформациялоочу күчтүн аракети токтогондон кийин ал кайра мурдагы калыбына толук келет. Эгерде бул механикалык чыңалуу телонун серпиличтүүлүк чегинен чоң болуп калса, тело кайра мурдагы калыбына келе албай калат. Тело бул учурда серпиличтүүлүк гана эмес, пластикалуулук касиетке да ээ болот. Мындай учурда Гуктун закону орун албайт.

Ар бир тело белгилүү бир серпиличтүүлүктүн чегине ээ болот. Мисалы, коргошундун серпиличтүүлүгүнүн чеги $25 \cdot 10^4$ *Па*, ал эми созулган темирдики $3160 \cdot 10^4$ *Па*. Бирок телолордун серпиличтүүлүгүнүн чеги алардын температурасына жана сырткы басымга жараша өзгөрүшү мүмкүн.

2. Телолордун бышыктыгы, морттугу. Бир дагы тело чексиз созула бербейт. Акыры барып үзүлөт. Ушул үзүлөр моментте тело белгилүү бир механикалык чыңалууга ээ болот. Механикалык чыңалуунун ушул маанисин телонун бышыктыгынын чеги деп атайт. Ар бир тело белгилүү бир бышыктыктын чегине ээ болот. Мисалы, созулуу кезиндеги коргошундун бышыктыгынын чеги $15 \cdot 10^6$ *Па*, алюминийдики - $100 \cdot 10^6$ *Па*, болоттуку $500 \cdot 10^6$ *Па*. Демек, телонун бышыктыгы, анын бышыктыгынын чеги менен бааланат.

Айрым телолордун серпиличтүүлүгүнүн чеги менен бышыктыгынын чеги бири- бирине абдан жакын болот. Мындай телолор пластикалуулук касиетке ээ болушпайт. Алардын механикалык чыңалуулары серпиличтүүлүктүн чегинен өткөндө эле үзүлүп (кыйрап) кетишет. Демек алар же серпиличтүү бойдон калат, же кыйрап кетет. Мындай телолорду морт деп атайт. Айнек, фарфор, мрамор, чоюн д.у.с. телолор морт болушат. Мындай телолор азырак эле деформацияланганда кыйрап калышат (сынып кетишет).

3. Телолордун катуулугу. Телолор бири- биринен серпиличтүүлүктөрү, бышыктыктары боюнча эле эмес, катуулуктары боюнча да айырмаланышат. Мейли, биринчи тело, экинчи бир телонун бетин тилип кете алсын. Анда ошол биринчи телонун катуулугу экинчи телонукуна караганда чоң болгон болот. Мисалы, жез пластикасынын бетин айнектин кыры тилип кетет, ал эми жез пластикасынын кыры айнектин бетин тилип кете албайт. Демек, жезге караганда айнек катуу. Ал эми алмаз айнектин бетин тилип кетет. Демек, алмаз айнекке караганда катуу.

Телонун катуулугу менен бышыктыгы байланыштуу болушат. Тело канчалык катуу болсо, ал ошончолук бышык да болот.

Кесүүчү, көзөөчү материалдар катуулугу чоң болгон телолордон жасалат.

Суроолор жана тапшырмалар

1. Телонун механикалык касиеттерин санагыла. Эмне себептен аларды жалпысынан «телолордун механикалык касеттери» деп атайт?
2. Телолордун серпилгичтүүлүгү деген эмне?
3. Телолордун пластикалуулугу деген эмне?
4. Эмне үчүн телолордун серпилгичтүү, пластикалуу деп бөлүнүшүн шартуу деп коюшат?
5. Серпилгичтүүлүктүн чеги деген эмне?
6. Тело серпилгичтүүлүктүн чегинен чоң болгон механикалык чыңалууга чейин созулган болсо, Гуктун закону орун алабы? Эмне үчүн?
7. Телонун бышыктыгы деп эмнени айтууга болот? Телонун бышыктыгынын чеги деген эмне? Ал эмнени көрсөтөт?
8. Морт телолордун бышык телолордон башкы айырмачылыгы эмнеде? Морт телого мүнөздөмө бергиле, мисалдар келтиргиле.
9. Кандай телолор катуу деп айтылат? Катуулугу чоң болгон телолор каерлерде пайдаланылат?

КОЛДОНУЛГАН АДАБИЯТТАР

1. Орто мектептердин физика боюнча окуу китептери.
2. Физиканы окутуунун усулдугу боюнча китептер.
3. Физика боюнча илимий-популярдык, элементардык китептер.
4. «Жалпы физика» боюнча окуу китептер.

МАЗМУНУ

IX БАП. МЕХАНИКАЛЫК ТЕРМЕЛҮҮЛӨР ЖАНА ТОЛКУНДАР ___ 161

X БАП. БАСЫМ. ГИДРО-АЭРОСТАТИКАНЫН ЭЛЕМЕНТТЕРИ ___ 184

Папиев М., Арзыкулов А., Кожобекова П., Калбекова М., Эгемназарова А., Алиева Ч.

Физиканын негиздери

1-КИТЕП

Орто мектептердин 10-класстарынын окуучулары жана жогорку окуу жайларынын даярдоо бөлүмүнүн угуучулары, жалпы физика курсун окуган студенттери үчүн окуу колдонмосу

Механика ● Молекулалык физика

Редактор: ________________
Тех.редактор: **М. Маматалиев**
Корректор: ________________
Компьютерде жасалгалоо: **Ө. Жакыпов**

Терүүгө 21.06.2012-жылы берилди.
Басууга 25.08.2012-жылы кол коюлду.
Кагаздын форматы 60х84 1\16.
Көлөмү 19,5 басма табак. Нускасы 500. Буюртма № 217
«Ошбасмакана» АК офсеттик ыкма менен басылды.
Ош шаары. Курманжан датка көчөсү-209