

ЎЗБЕКСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ЖОҒАРЫ ЖӘНЕ ОРТА
АРНАУЛЫ ТӘЛІМ УӘЗІРЛІГІ

Б.Ф.Избосаров, И.Р.Камолов, Б.Т.Бисенова, С.С.Канатбаев

ЖАЛПЫ ФИЗИКА (МЕХАНИКА)

5110200 - Физика және астрономия оқыту методикасы

Науаи қаласы

Пікір жазғандар:

доц. Э.Н.Худайбердиев

ф.-м.п.к. Л. Зоирова

“Жалпы физика” (механика) оқулығы “Физика va астрономия оқыту методикасы” тәлім бағыты студенттері үшін арналған және Өзбекстан Республикасы Жоғары және орта арнаулы тәлім уәзірлігі тәрәпінен тастықталған үлгі пән дәстүрі негізінде жазылған. Оқулықта тақырыптар ізбе-іздігіне, пәндер аралық байланысқа, көлеміне, тақырыптардың теориялық жақтан баяндалуына айрықша назар аударылған. Сондай-ақ, тақырыптарда кестелер, сызбалар және өз-өзін қадағалау үшін тест сұрақтар мен тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер келтірілген.

Оқулықтан педагогика институттары және университеттердің физика-математика, табиғи және техника факултеттері студенттері пайдаланулары мүмкін.

АЛҒЫ СӨЗ

Біздің мемлекетіміз көп ұлтты болғандығы үшін қазақ мектептерінде бар. Осы мектептерді бітірген оқушылардың кеңінен пайдаланулары үшін әдебиеттер өте аздығын есепке алған күйде бұл оқулық жаратылды.

Оқулықта оқу материалының тізбектілігі, көлемі, баяндалуы, теориялық жағынан тереңдігі ең алғашқы түсініктерді үйреніп бастаған талапкерлер үшін өте түсінікті етіп көрсетілген.

Талапкерлердің түсінулері қолайлы болуы және оқулықтың сапасын арттыру мақсатында әр бір физикалық шаманың ережесі, мазмұны, практикалық маңызы, олардың эквивалент түсініктері да енгізілген. Тақырыптар соңында осы тақырыпты толық түсінтіре алатын тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер, кестелер, суреттер және өз - өзін бақылау үшін тесттерге кең орын берілген.

Талапкерлерге есептер шешу барысында қажет болатын барлық тұрақты шамалар да оқулықта орын алған. Оқулықта «Физика пәнінің өркендеу тарихы» бөлімінің енгізілуінен мақсат – талапкерлер пән тарихы жайлы көптеген мәлімет алулары үшін оларға ажыратылған өзіндік жұмыс сағаттарында үнемді пайдаланулары көзде тұтылған және физика пәні дамуында қосылған ғылыми мұралардан да хабардар болулары есепке алынған.

Оқулықтың негізгі мақсаты – талапкерлерге физика пәнін және тереңірек үйрету, теорияның практикадағы қолданылуын көрсетіп, физика және техника саласындағы ең жаңа жаратылыс және жаңалықтардан хабардор болулары және олар үйренулері қажет болған білім, дағды және біліктіліктерін қалыптастыру және физика пәніне байланысты негізгі түсінік және жетекші идеяларын практикада қолдай алулары үшін мүмкіншіліктерді жаратудан тұрады.

I БӨЛІМ. ФИЗИКА ПӘНІНІҢ ӨРКЕНДЕУ ТАРИХЫ

**Қыйын пәндер жоқ, тек қорытылуы
қыйын болған нұсқаулар ғана бар**

А.И. Герзен

ФИЗИКА ПӘНІНІҢ ӨРКЕНДЕУ ТАРИХЫ.

ФИЗИКА ПӘНІНІҢ БАСҚА ПӘНДЕРМЕН ҚАТЫНАСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: физика, физика пәні тарихы, механикалық заңдар, құрылыс механикасы, арифметика, геометрия, философия, астрономия, геология, география, Греция, Платон академиясы, Аристотель лицейі, Демокрит, Македония, материя, форма, Жер, Архимед, күш моменті, күш иіні, ауырлық, ұзындық, тартылыс күші, Архимед заңы, Мухаммад ал-Хоразмий, Ахмад ал- Фарғаний, Абу Наср ал- Фарабий, Абу Али ибн Сино, Абу Райхон Беруний, Омар Хайям, Абу Махмуд, Хамид ал- Хужандий, Насриддин ат- Тусий, Мырза Ұлықбек, Али Қушчи, Жер радиусы, глобус, сәуле.

Шексіз әлемді құрайтын материя түрлерінің ішкі құрылысын, өзара әсерін және қозғалыс заңдылықтарын зерттейтін табиғаттану ғылымының бір саласы физика. Адамзат, өзін қоршап тұрған табиғат жайлы білімдерді, жасау үшін болған аяусыз күрестер кезеңінде үйреніп барған. Алғашқы ғылыми мәліметтерді жинақтау, адамдар егін егіп, тұрақты өмір сүретін жерлерде басталған. Басқа барлық пәндер сияқты физиканың дамуына да адамдардың өмірлік жетіспеушіліктері себеп болды.

Өмір сүрген адамдар табиғатқа бүтіндей тәуелді болған. Өйткені, еш нәрсені өз қолдарымен жасамаған, айналасындағы барды қолданған. Жауын-шашын, суық және жабайы аңдардан үңгірлерге паналап жан сақтаған. Жайлап ау құралдарын ойлап тапқан және отты пайдалануды үйренген. Бұл процесспен олардың өмірі жеңілдей бастаған. Сонымен, табиғатты зерттеу, оны пайдалану және оған әсер етуді бастаған. Табиғат жайлы білімді үйрену және оның негізінде табиғат байлықтарын тиімді пайдаланудың

нәтижесінде адамзат суықта тоңу, қараңғыда қалу, аш қалу сияқты жағдайлардан және көп аурулардан арылды. Адам әлем бойлап, әуеде де суда да қозғалыста болады.

Ежелгі мысырлықтар және гректер механикасы сол дәуірдегі құрылыс техникасы және әскери техниканың талаптары мен тікелей байланысқан күйде пайда болды. XVII ғасыр соңы және XVIII ғасыр басында орындалған өте үлкен ғылыми жаратылыстарға да өсіп жатқан техника және әскери жетіспеушіліктер себеп болды.

Қазіргі пәннің пайда болуы Ежелгі Грециямен байланысқан. Ежелгі Шығыс пәннің өркендеуінде үлкен қызметтеріне қарамай, қазіргі заман физика пәнінің негізгі отаны Греция есептелінеді.

Қазіргі заман физика пәнінің отаны Греция екендігінде ***физика терминдерінің дүние бойынша сақталып қалғандығы*** дәлел бола алады:

Пәндердің аттары: математика, механика, физика, биология, география және басқалар.

Грек тілінен алынған ғылыми терминдер: масса, атом, электрон, изотоп және басқалар.

Формулалардың грек әліппесі негізінде істетілуі.

Грек ғалымдарының ғылыми әдебиеттерде көптеп кездесуі: Фалес (э.ал. 640÷594 - жылдар), Демокрит (э.ал. 463÷370 - жылдар), Пифагор (э.ал. VI ғасыр), Гераклит (э.ал. 530÷470 - жылдар), Аристотель (э.ал. 384÷322 - жылдар), Платон (э.ал. 429÷348 – жылдар), Архимед (э.ал. 278÷212 – жылдар), Герон (э.ал. 150÷100 – жылдар), Птоломей (э.ал. 87÷165 – жылдар) және басқалар эрамыздан алдыңғы дәуірде жасап өткен.

Эрамыздан алдыңғы дәуірде Платон академиясы, Аристотель лицейі құрылған еді. Бұл құрылған оқу орындары тар сала маман иелері – инженерлер, дәрігерлер, астрономдар, географтар, биологтар, физиктер, математиктер, химиктер және басқа маман, сала адамдарын қалыптастыруда қажетті орынға ие болған.

Эрамыздан алдыңғы VI ÷ V ғасырлардағы ғалымдар, негізінен философиялық көзқарасқа ие еді, олардың пікірлеулері пәнді философиялық тұрғыдан түсінтіретін еді. Ежелгі грек ғалымдарының философиялық көзқарастарынан бірі олар әлемнің жеке көрінісін түзуге әрекет жасады, осы себепті да бірінші материя жайлы түсініктер пайда болды. Материя және қозғалыстың жоғалмайтындығы жайлы бастапқы түсініктер пайда бола бастады. Демек, алғашқы рет атом туралы түсініктер пайда бола бастады. Мысалы, Демокриттің атом түзілісі жайлы философиялық көзқарастары мыналар: зат бір - бірінен атомдар санымен айырмашылық етеді, атом шексіз және әртүрлі пішінде, таза орта және атомнан басқа зат жоқ, кездейсоқ бірер зат пайда болмайды, пайда болуына себеп бар, ештеңеден ештеңе пайда болмайды, пайда болатыны бөлшектену және бірігуден тұрады.

Физика жайлы мәліметтерді бірінші рет кітап көрінісінде Аристотель (Арасту) (э.а. 384÷322 – жылдар) баяндаған. Оның “Физика”сы сегіз кітаптан құралған. Ол бұл кітаптарында табиғат құбылыстары туралы, сол дәуірдегі белгілі мәліметтермен ғана шектеліп қалмай табиғатқа өзінің көзқарастарын және тәжірибелерінің нәтижелерін баяндаған.

Аристотель Грецияның солтүстігіндегі Стагер қаласында, Македония патшасы сарайының дәрігері жанұясында туылған. 18 жасында Афинаға келіп Платон академиясында оқыған. Ол Платон академиясының “ақылы” деген атты алған. 335 жылы Академия жанында лицей (мектеп) ашқан. Аристотель Академиясында Платон мен жиырма жылдай бірге істеді, Платон өлімінен соң Македония патшасы Филипптың ұлы Александр Македонскийға сабақ берді. Аристотельді пәнді түсіндіруде идеалистик көзқарас жақтаушысы деп түсініледі, негізінен ондай емес. Аристотель зат және өрістің барлығын тән алады. Ол материяның түзілісін күрделі болуына қарап үйренуді тән алды. Біз Аристотель физикасында қазіргі заман физикасындай математикалық және физикалық формулаларды кездестірмесекде, бірақ оның табиғат жайлы түсініктерінің логикаға

негізделгендігін көреміз. Аристотель физикасын үйрену төрт түсінікке негізделген: 1- материя, 2- форма (пішін), 3- пайда болу, 4- қорытынды.

Ол отыз жыл барысында академия және лицейде лекциялар оқыды. Оның лекциялары негізінде төрт бағытта еді: 1. “Физика”. 2. “Аспан жайлы”. 3. “Пайда болу және жоғалу жайлы”. 4. “Материология”.

Аристотель кеңістіктегі денелер тұрақты, Жер айналасында шеңбер бойымен қозғалады, Жер үстіндегі денелердің қозғалысы екі дене әсерінде пайда болады, барлық денелер болмыста бірдей жылдамдықпен түседі, деп түсіндірген. Бұған себеп, денелердің болмыстардан қорқуы деп нұсқау берген. Аристотель өзінің табиғат заңдарына көзқарастары мен физика пәнінің атасы, деп тән алынған.

Италия ғалымы Г. Галилей және неміс ғалымы И. Кеплер өз тәжірибелеріне және есептеулеріне негізделіп теорияны бекітеді. Бірінші болып аспан денелерін телескопта күзеткен ғалымда Галилей еді. Оның әсіресе денелердің еркін түсуіне байланысты жұмыстары зейінге лайық. Динамиканың бірінші негіздерін Галилей жаратты. Оған дейін күштердің әсерін тек олар тепе - теңдікте болғандағана күзететін еді; еркін түсіп жатқан дененің үдемелі қозғалысын, сондай – ақ, жоғарыға атылған дененің қисық сызықты қозғалысын да ауырлық күшінің тұрақты әсері деп қараса-да, ешкім көрсетілген осындай қарапайым құбылыстардың заңдарын анықтай алмады. Галилей бұл заңды ашуда қадамды бірінші болып қойды және механиканың дамуы үшін жаңа және шексіз саланы жаратты. Бұл жаратылыс енді сол ұлы адам еңбектерінен ең маңызды және қайтарып болмайтын бөлігін құрайды.

Галилей пікірінше, “Бірде бір зейіннен сыртта құбылыс жоқ, ол (Аристотель) қарамаған болсын”.

Физика заңдарын әскери техникада бірінші рет іс жүзінде қолданған ғалым Архимед еді. Архимед эрамыздан алдыңғы 287 жылда Сицилия аралындағы Сиракуза қаласында астроном Фидия жанұясында туған.

Ол Александрияда оқып, Сицилияға математиканы жақсы үйренген ғалым ретінде қайтады. Оның негізгі ғылыми жұмыстары “Статика” элементтерін бейнелейді. Ол тек қана ғалым болмай, бәлкім инженерлік саласында да көп жаратылыстар жасады. Архимед туылған уақыттарда Сицилия аралы Рим және Карфаген арасындағы соғыс ошағы еді. Аралдағы әкімшілік егемендігін асрап қалу үшін қорғау ғимараттартарын құрады. Мұнда Архимедтің инженерлік қабілеті қол келеді. Ежелгі суыратын аспаптар, винттер жаратқан. Дененің жүзуі және де Архимед заңы. Күн айналасында Жердің айналуында бірінші Архимед айтқан.

Архимед соғыста қызмет етіп, осы соғыстың құрбаны болған. Ол Рим әскерінің қолымен 212 жылда өлтіріледі. Архимед бірінші ғалым ретінде тарихқа енді.

Оның физика пәнін дамытудағы үлестері төмендегілер:

- Түзу фигураның тепе – теңдік шарттары.
- Күш моменті, күштің иінге салыстырмалы кері пропорционалдығы.
- Салмақ және ұзындық жайлы түсінік, Жердің тартылыс күшін жеңетін күш жайлы.
- Сұйық тамшысының шар тәрізді болуына себеп Жердің тартылыс күші екендігі жайлы.
- Газ және сұйықтар үшін Архимед заңы, Архимед күші, денелердің сұйықтарда жүзуі Архимед күшіне негізделгендігі.
- Оптика және астрономия мен шұғылданып, Күн сәулесін бір нүктеге жинақтап және оны әскери жұмыстарда пайдаланғандығы, түрлі орталардан өткен жарық сәулесінің сынуы және бағытының өзгеруі.
- Әлем түзілісі жайлы пән тарихында Архимед екі жүйе, геоцентр және гелиоцентр түсініктерін енгізді.

V – VII ғасырларда ғылым, мәдениеттің дамуы шығысқа ауысты. Бұл дәуірде физика және басқа ғылымдардың дамуына үлкен үлес қосқан ұлы бабаларымыз жасаған. Бұл уақытта араптардың өте үлкен территорияға шығып, көрші территорияларды басып алуы құдыретті арап халифаты пайда

болуына себеп болды. Олар басып алған жерлерде арап тілі және дінін өткізе бастады. Арап халифатында аббасыйлар әкімшілікті қолға алғаннан кейін Бағдад қаласы центрге айналтырылды. Осы әулет дәуірінде, әсіресе Хорун ар-Рашид (785-809 жылдар) және оның ұлы Маъмун (813-833 жылдар) халифаттық қылған дәуірлерде халифаттықта экономикалық және мәдени өмір біраз жанданды. Бағдадта ашылған және кейіншелік “Маъмун академиясы” атымен әйгілі “Байт- ул хикма” (“Данышпандар үйі”) көптеген ғалым және ғұламалар жиналатын мекен еді. “Маъмун академиясы” ның көп жылдық жұмыстары барысында табиғи пәндер бойынша біраз жұмыстар жасалынып, шығармалар жазылды. Аудармашылар болса, грек және үнділер ие болған пән және мәдениет жетістіктерін өзінде көрсеткен әдебиеттерді да арап тіліне аударып, бұл білімдерді кең халыққа таратты.

Бағдад Шығыстың үлкен ғылыми және мәдени орталығына айналды, ғылым - пән өркендеп, философия, анық және табиғи пәндер өркендеді. Арап халифаты дәуірінде Бағдад, Самарқанд, Харезм, Бухара сияқты үлкен қалалардан келген саудегерлер ғылыми және мәдени қатынастарды орнатуда маңызды роль ойнады.

“Маъмун академиясы”нда алып барылған жұмыстарда ондаған отандастарымыз да актив қатынасты.

Онда Орта Азия ғұламалары да табиғи, астрономия, математика және философия пәндері бойынша жұмыстар алып барған және біз үшін бай мұра қалдырды. Бұлар қатарына, Абу Абдуллах Мухаммад ибн Муса әл-Хоразми, Ахмад ал - Фарғаний, Абу Наср ал - Фарабий, Абу Али ибн Сино, Абу Райхон Беруний, Омар Хаям, Омар Шағмини, Абу Махмуд, Хамид ал - Хужандий, Насриддин ат - Тусий, Мырза Ұлықбек, Али Қушчи сияқты жүздеген Орта Азияның әйгілі бейнелері өз қызметтерімен және ғылыми мұралары мен тек қана Орта Азия халықтарына ғана емес, бәлкім дүние халықтары арасында құрметпен тілге алынады.

Беруни заттардың тығыздығын, ғарыш физикасы, минералдар, жарық, дыбыс және магниттік құбылыстар сияқты көптеген бағыттарда жұмыс

жүргізді. Ол, әсіресе Жер радиусын өте дәлдікпен (Беруниде 6490 км, қазір 6400 км) өлшеген. Беруний Жердің шар тәрізді екендігін айтып, оның глобусы (макеті)н жаратқан және гидростатикалық әдіспен 50ден артық заттардың меншікті ауырлығын өлшеуге қол жеткізген және тағы басқалар. Әл-Хорезмидің математика, астрономия саласындағы жұмыстарын әлем тән алды. Ибн Синаны бүкіл әлем медицинаның атасы деп таниды. Оның бұдан басқа механикалық қозғалыс, ауа-райына қатысты, жарық құбылысы сияқты тақырыптардағы еңбектері де бар. Омар Хаям сол кез үшін өте күрделі календарь дайындаған болса, Омар Шағмини Жер осінің ауытқу әсерінен жыл мезгілдерінің ауысуын анықтады.

Физиканың кейінгі дамуы Еуропадан басталды. Чех ғалымы Н. Коперник бірінші болып күн жүйесінің құрылысын дұрыс түсіндіріп берді. Бірақ бұл түсінікті қабылдау өте қиын болды. Италиян ғалымы Г. Галилей мен неміс ғалымы И. Кеплер өздері жасаған тәжірибе және есептеулеріне сүйене отырып бұл ұғымды дәлелдеді.

Ұлы ағылшын ғалымы И. Ньютон физиканың дамуына өлшеусіз үлес қосқан. Күн және планеталар қозғалысының себептері, күш және оның денелердің қозғалысына әсері, жарықтың түсі туралы (сәуленің түсі) ғылыми жаңалықтар да Ньютонға тиісті.

XVIII-XIX ғасырлар ғылым жетістіктерін практикада қолдану дәуірі болды. Бұл кезде ғылыммен көптеген ғалымдар айналыса бастады. Бірінші бу машиналарының істетілуі, әскери техниканың дамуы, электр энергиясын пайдалану сияқты көптеген істер солардың еңбегінің жемісі.

Бұл кездегі ғалымдар қатарында Дж Ватт, М. Ломоносов, Л. Эйлер, Т. Юнг, О. Френель, А. Вольт, Х. Эрстед, А. Ампер, Г. Ом, М. Фарадей, Е. Х. Ленц, В. Вебер, Дж. Джоуль, В. Томсон, Л. Волсман, Д. Менделеев және басқаларды атауға болады.

Орыс физикасы және химиясына негіз салған М.В.Ломоносов өз ғылыми қызметтерін тәжірибе талаптары мен байланыстырып алып баратын еді. Оның қатты және сұйық денелердің табиғаты, оптика, метеорология,

атмосфера үстіндегі өте көп түрлі ізденіс, әр түрлі практикалық мәселелермен байланысатын еді. XIX ғасыр бастарында бу машиналарының пайда болуы жылулықты ең пайдалы және ең қолай жолмен механикалық жұмысқа айналдыру мәселесін шешуді қажет етті. Бұл мәселені тек техникалық жолмен ғана шешіп болмайтын еді. 1824 жылда француз инженері Сади Карно жылулықтың механикалық жұмысқа айналу проблемасын жалпы көріністе тексергеннен кейін ғана жылулық машиналарының пайдалы жұмыс коэффициентін арттыру шындықтан да мүмкін болды. Сонымен бірге Карно жаратылысы энергияның бір түрден екінші түрге айналуы және ұзатылуы жайлы жалпы теориясы – термодинамиканың пайда болуы үшін да фундамент болды. Сонымен, практиканың талаптары жаңа физикалық жаратылыстарға себеп болады, бұл жаратылыстар болса, техниканың және де дамуы үшін негіз болады. Бірінші қарауда өте теориялық және абстракт болып көрінген физикалық жаратылыстардың анық уақыт өткеннен кейін техниканың түрлі қажетті салаларында жұмсала басталғандығын көрсететін мысалдар аз емес.

1831 жылда Фарадей жағынан электромагниттік индукцияның жаратылуы электр құбылыстардан практикада кең пайдалану мүмкіншілігін берді.

1869 жылда Д.И.Менделеев жағынан жаратылған периодтық заң химиялық құбылыстар және атомдар жайындағы теорияның өркендеуінде өте үлкен роль ойнап қалмай, бұл жаратылыс қазіргі уақытта да физика және химияның өте көп практикалық мәселелерін шешуде қолданба болып қызмет етуде.

Өткен ғасырдың 70 – жылдарында Максвелл электромагниттік процестердің жалпы теориясын жаратты. Максвелл бұл теорияға негізделіп, электромагниттік энергия толқындар тәрзінде таралуы мүмкін, деген қорытындыға келді. Максвеллдің бұл қорытындысының турылығын 1888 жылы Герц тәжірибеде дәлелдеді. Бір неше жылдан соң А.С. Попов радиотелеграфты жарату үшін Максвелл - Герц жаратылысынан

пайдаланады. Радиотехниканың өркендеуі, өз орнында, физиктердің табиғат қасиеттерін үйренудегі экспериментал жұмыстары үшін жаңа және кең мүмкіншіліктер ашып берді.

А.Г.Столетовтың “актино - электрик” құбылыстар үстіндегі тексерулері (1888-1889) қазіргі заман техникасында (телевидение, автоматика және басқаларда) кең қолданылып жатқан фотоэлектрик эффекттің табиғатын анықтауда өте қажетті роль ойнады.

XX ғасырға келіп, ғылым және пән өте үлкен дәрежедегі жетістіктерге ие болды, мұның негізінде техника өркендеді, атом энергиясын пайдалану мүмкіндігі туды. Ғасырдың екінші жарымына келіп адамның қадамы, ол ғасырлар барысында армандаған басқа Ғарыш денелері(Ай)не дейін жетіп барды, Ғарыш сырлары адам алдында айқын бола бастады. Бұл дамудың түп негізінде әлбетте, физика пәнінің орны өте үлкен. Осы кездегі ғалымдар: Г. Лоренц, А. Эйнштейн, В. Рентген, Дж. Томсон, М. Планк, Е. Резерфорд, Н. Бор, А. Жоффе, С. Вавилов, Де Броундарды шын мәнінде жаңалық ашты деуге болады.

XXI ғасырға келіп, ғылым - пән, техника жетістіктерінің белгілері кіріп бармаған еш бір сала немесе тармақ қалмады, десек мүлде адаспаған боламыз!

Табиғи білімдердің ішінде физика жетекші орынды иелейді. Физиканың әрбір зерттелген заңдылығы қоғамның дамуына күшті әсер етеді. Сондықтан Өзбекстанда да қазіргі уақытта физика ғылымының дамуы үшін көлемді жұмыстар жүргізіліп жатыр. Бұл жұмыстармен Өзбекстан Ғылым академиясына қарасты ғылыми-зерттеу институттары мен жоғары оқу орындарының зертханаларындағы ғалымдар шұғылданады.

Механикалық құбылыстармен М.Т. Оразбаев атындағы Механика және ғимараттардың сейсмикалық беріктігі институты, жылу құбылысымен Ғылым академиясының Жылу физикасы бөлімінде академик Р.Қ. Хабибуллаев басшылығында жұмыс жүргізілгендігі барлығымызға белгілі. Жарық құбылыстарына байланысты жұмыстар «Физика-Күн» ғылыми

өндірістік бірлестігінде зерттеліп жатыр. Электр құбылыстарымен ғылым академиясының Электроника институты, Физика-техника институты шұғылданады. Бұдан басқа физиканың практикасы ретінде «Кибернетика» ғылыми өндірістік бірлестігінде базар экономикасы жағдайында республиканың әлеуметтік-экономикалық дамуы үшін жаңаша басқару тәсілдері, модельдері мен информация-технологияларды жасаумен шұғылданады.

Ғарыш физикасына байланысты зерттеулер академияның Астрономия институтында жүргізіледі.

Заттың құрылысын терең үйрену - ядро физикасы институтында жүргізілсе, Материалтану институтында қасиеті алдын ала белгіленген материалдар табу проблемалары зерттеледі.

Ежелгі грек ғалымдары бірінші рет заттар атомдардан құралғандығын айтқаннан кейін барлық денелер кеңістік денелерінен тұратындығын дәлелдеген болса, өткен ғалымдардың барлығы табиғат заңдарын үйренуде, оларды өзара байланыстылық заңдылықтарын ашуға әрекет жасаған. Дүниенің жеке физикалық картасын жаратуға негіз салған.

Әрине физиканың дамуы бір қалыпты болмады. Кейбір кездерде көптеген жаңалықтар ашылса, кейде даму бәсеңсіді. Дегенмен, адамдар әрқашан қиыншылықтарды жеңіп алға ұмтылған.

Физиканың басқа пәндермен қатынасы. Табиғаттану ғылымына физикамен қатар математика, биология, геология тағы басқа ғылымдар жатады. Бұлар бір – бірімен өзара тығыз байланысты.

Физика мен кейбір басқа табиғи пәндер арасына анық бір шекара қойып болмайды. Физика мен химия арасында олардың екеуіне де тиісті болған кең салалар бар, физикалық химия және химиялық физика деген арнайы пәндер да пайда болған. Біраз жеке характердегі мәселелерді үйренуде физикалық методтардан пайдаланылатын білім салалары да бірлесіп, арнайы пәндерді құрайды: мысалы, аспан денелерінде болатын физикалық құбылыстарды

үйренетін астрофизика, Жер атмосферасы және Жер қабығында болатын физикалық құбылыстарды үйренетін геофизика пәндері осы тәрізде пайда болған. Физика саласындағы жаратылыстар көбіне басқа пәндердің өркендеуіне түрткі беріп келді. Микроскоп және телескоптың жаратылуы биология және астрономияның дамуын үдетті. Физиктер жағынан жаратылған спектрал анализ астрофизиканың негізгі тәсілдерінен бірі болып қалды және басқалар.

Физика үшін математиканың маңызы туралы итальяндық атақты ғалым Галилео Галилей өте тамаша айтқан: «Философия біздің көз алдымызда үнемі ашулы тұратын ұлы кітапта жазылған (мен Әлем жайлы айтып отырмын), бірақ егер оның тілін алдын ала үйренбесең және ол бедерленген жазуды танымасаң, онда оны түсіну мүмкін емес. Оның тілі - математика...»

ФИЗИКАЛЫҚ ЗАҢДАР, ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАР ЖӘНЕ ҰҒЫМДАР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: физикалық заңдар, физикалық құбылыстар, физикалық ұғымдар, өлшеу принципі, өлшеу нәтижесі, тартылыс құбылысы, жылу құбылысы, инерция құбылысы, бүкіләлемдік тартылыс заңы, итеріліс құбылысы, жылулық қозғалысы, орын ауыстыру ұғымы, анық бағытта салыстыру, шамамен сипатталу, объектив маңызы, құбылыстарды қарастыру, бүкіл физикалық заттардың қасиеттері, материяның жеке түрі, физикалық шамаларды өлшеу.

Физикалық заңдар тәжірибелерден алынған мәліметтерді жинақтау нәтижесінде табылады. Бұл заңдардың қатесіздігі олардан келіп шығатын қорытындылардың тәжірибеге сай екендігімен тексеріледі. Физикалық заңдар физикалық құбылыстар арасындағы объектив ішкі байланыстарды және физикалық шамалар арасындағы нақты қатынастарды бейнелейді.

Көбіне, физикалық заңдардың мазмұны белгілі А және В физикалық шамалардың сан мәндері a және b арасындағы қатынас ретінде

математикалық пішінде бейнеленеді. Бұдан физикалық заңдарды анықтау үшін физикалық шамаларды өлшеу принципіал маңызға ие.

Біреп физикалық шаманы өлшеу оны өзімен бірдей болған және бірлік етіп алынған басқа бір шама мен анық бағытта салыстыру түсініледі. Мысалы, біреп дененің ұзындығын өлшеу үшін ұзындық бірлігі етіп алынған басқа денені оның үстіне тізбектеп қойып шығылады.

Анықталынуынша, өлшеу нәтижесі ешқашан абсолют анық болмайды; өлшеу нәтижесінің анықтық дәрежесі өлшеу техникасының дамуына және өлшеу жұмысының қаншалықты терең орындалуына байланысты болады. Сол үшін әр қандай өлшеудің нәтижесі тек төмендегідей берілуі мүмкін: біреп физикалық шаманың сан мәні a шамамен a_1 және a_2 мәндер арасында; $\Delta a = a_1 - a_2$ айырма a ға салыстырмалы қанша кіші болса, физикалық шама A сонша анық өлшенген болады. Бұдан тәжірибелер негізінде анықталатын физикалық заңдар абсолют анық бола алмайтындығы көрінеді.

Сонымен, физикалық шамалар арасындағы мөлшерлі қатынастарды математикалық пішінде бейнелейтін физикалық заңдар абсолют анық болмайды; олардың анықтығы әрдаим пән және техниканың белгілі бір дәуіріндегі даму дәрежесіне сай келеді.

Физикалық заңдардың шамамен сипатталуы, олардың объектив маңызын кемітпейді: физикалық заңдар материяның объектив қасиеттерін абсолют анық бейнелемеседе, шамамен және салыстырмалы тәрізде түзу бейнелейді, бізді орап алған табиғатты тереңірек біле бару кезеңінде физикалық заңдардың анықтық дәрежесі арта барады. Пән дамуының әр бір тарихий басқышында бізге болмыстың шамамен «алымын» береді, бірақ уақыт өтуімен бұл «алым»дар жақсыланып, дүниенің таусылмайтын объектив қасиеттерін толық және анық бейнелейді.

Физиканың негізгі заңдары - табиғаттың да негізгі заңдары. Мысалы, сақталу заңдары - дененің өзінің не оның бөліктерінің бардан жоғалып кетпейтінін және жоқтан пайда болмайтынын көрсетеді. Анықтап айтқанда, энергия мен массаның, электр

зарядының, атомдардың және тағы басқа шамасы сақталатынын көрсетеді. Физикада әлсіз әсерлесу деген ұғым бар. Материяның өте ұсақ бөліктерінің бір-біріне әрекет ететін әлсіз күштері осылай деп аталады. Әлгі әлсіз күштер секундтың мыңнан бір бөлігіндей уақыт ішінде-ақ дүниедегі зат атаулының бәрін аса жеңіл бөліктерге - нейтрино мен электрондарға - айналдырып үлгерер еді.

Физика сонымен қатар болмыстағы бар денелердің қандай жағдайда өзін қалай ұстайтынын, өзге денелер мен күштердің әсерінен қалай қозғалып, қалай өзгеруін де көрсетуі мүмкін. Мысалы, Ньютонның қозғалыс заңдары, бүкіләлемдік тартылыс заңы, Гуктің деформация туралы заңы, Максвеллдің электромагниттік өріс заңы және тағы басқа осындай заңдар қатарына жатады.

Физиканың заңдары бір-бірінен туындап жатуы, немесе бірі екіншісінің салдары болуы да мүмкін. Мысалы, энергияның сақталу заңы физикалық қозғалыстың ауысулары мен өзгерулері заңының салдарынан туады. Сол сияқты термодинамиканың екінші бастамасы жылудың ыстық денелерден салқындау денелерге қарай ауысу бағытын көрсетсе, ал жылу двигательдерінің жұмыс істеу принципі соның салдары десе де болады.

Физикалық құбылыстар. Табиғатта өтіп жатқан құбылыстардың бәрін **физикалық құбылыстар** деп атаймыз. Мысалы: жел де, боран да, су да, бу да, найзағай да, жаңғырық та, толқын да, батар Күннің қызаруы да, суық ауаның ішке енуі де, кемпірқосақтың түрлі түске боялуы да және тағы сол сияқты бәрі де физикалық құбылыстар болып есептеледі. Ал физика табиғатта кездесетін осы алуан түрлі құбылыстарды: зерттей отырып, бұл құбылыстардағы нақты заңдылықтар мен түрленулерді алып, анықтап, олардың өзара байланыстарын көрсете отырып, оларға ғылыми нанымды түсініктер береді.

Әрине, бұл айтылғандар - өздігінен табиғатта өтіп жатқан құбылыстар. Бұдан басқа белгілі бір ықпалдың нәтижесінде пайда болатын физикалық құбылыстардың толып жатқан мысалдарын келтіруге болады. Мәселен, тау суының тасқынынан туған механикалық энергияның электр энергиясына айналуы - физикалық құбылыс, сол сияқты, Күннің ішінде өтіп жатқан процесстің өзі де - физикалық құбылыс. Судың ағуы, майдың жұғуы, шықтың түсуі, тұманның түсуі, міне, осылардың бәрі - физикалық құбылыс. Осы толып жатқан физикалық құбылыстардың ішінара кейбіреулерін қарастырайық.

Тартылыс құбылысы. Кез келген затты, мысалы, тасты, допты, ағаш кесіндісін, жебені және тағы басқа жер бетіне горизонталь бағытта, немесе көкжиекке белгілі бұрышпен жоғары қарай лақтырсақ, осы заттардың қайсысы болмасын, сол бағытында қозғалып кете бермей, қисық сызықты *траектория* жасап (траектория-латынның *trajektus* - қозғалу, жылжу, ауысу деген мағына беретін сөзі), қайтып жерге түседі. Осы заттарды тік жоғары лақтырсақ, олар біраз жоғары көтеріліп, сол ізімен жерге құлап түседі. Үй шатырында салбырап ілулі тұрған сүңгі мұздар еріп кетсе, қолымызда тұрған зат немесе шегеде ілулі тұрған денелер «босатып» жіберсек, жерге түседі. Жер бетінен ұшырылған Жердің жасанды серіктері бастапқы түзу сызықты бағытында ұшпайды, қисық сызықты траектория жасап, жерге оралады. Жердің айналасындағы барлық заттар, денелер, Жердің жасанды серіктері, Ай, бұлт және оның үстіндегі барлық заттар да Жерге тартылады.

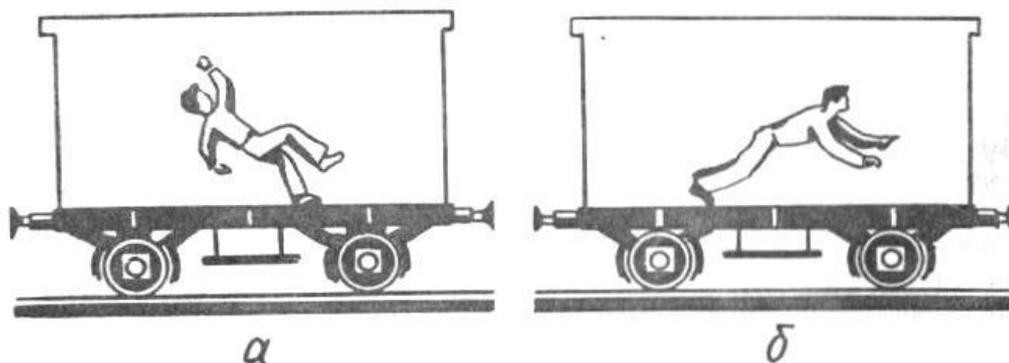
Сонымен, мынадай қорытындыны жадымызда сақтауымыз керек: Жердің бетіндегі және оның айналасы мен төңірегіндегі денелер мен заттардың бәрі Жерге тартылады. Бұл қорытынды тек Жерге ғана қатысты емес, Жер сияқты, басқа да аспан денелері өздерінің төңірегіндегі денелер мен заттарды өздеріне қарай тартады

екен. Мысалы, Күн өзінің айналасындағы планеталарды (планета - латынның «planeta» - шарлаушы, жылжымалы деген мағына беретін сөзі) өзіне қарай тартып тұратындықтан, ол планеталар сол Күнді шыр айналып, өз орбиталарында қозғалып жүреді. Бұдан шығатын екінші қорытынды: бүкіл әлемдегі аспан денелері (Күн, Жер, Ай және басқа планеталар) өздерінің айналасындағы заттар мен денелерді өздеріне тартады. Бірақ бұл жолда айырықша анықтап айтып кететін нәрсе - Күн Жерді және басқа планеталарды өзіне қалай тартатын болса, Жер мен басқа планеталар да Күнді өзіне қарай солай тартады. Дәл сол сияқты Жер Айды өзіне қарай қалай тартатын болса, Ай да Жерді өзіне қарай солай тартады.

Сонымен, бұдан шығатын үшінші қорытынды: бүкіл әлемдегі барлық заттар, денелер өзара бірін-бірі тартады. Сондықтан жалпы дүниеге ортақ бұл тартылыс заңы *бүкіләлемдік тартылыс заңы* деп аталады. Бүкіләлемдік тартылыс заңына сәйкес Жер өзінің төңірегіндегі заттарды тартатыны сияқты, бұл заттар да Жерді өзіне тартады. Бірақ олардың Жерді өзіне тарту шамасы өте аз болғандықтан, ол көбіне есептелмейді.

Жұғу құбылысы. Әрбір оқушы ыдысқа құйылған айранның майдың және тағы басқа сұйықтардың сол ыдысқа жұғып қалатынын көріп жүр, сонда осы ыдыстағы жұғындыға қарап, сол ыдысқа қандай сұйық құйылғанын дәл айтуға болады. Әрине, жұғу тек сұйық заттарға ғана тән деп есептеуге болмайды. Мысалы, қатты затқа қатты зат та жұғады. Оған бордың тақтаға жұғуы айқын дәлел бола алады. Бормен тақтаға жазу - бордың тақтаға «жұғу» құбылысын пайдалану деген сөз, яғни тақтаға жазу - бордың тақтаға жұғуы. Дәл осы сияқты, ақ қағазға оқушының қаламмен жазуы да - сия мен қарындаш ұшының қағазға жұғуы. Әр түрлі бояулар, майлар, ерітпелер белгілі бір денелерге жұғып, оларға түрлі түс, рең беруі - осы жұғу құбылысының нәтижесі.

Инерция құбылысы. Бұл құбылысты біз күн сайын кездестіреміз. Автобустың, троллейбустың, трамвайдың, машинаның немесе көліктердің ішінде тұрғанымызда (отырғанымызда), бұл көліктер кілт тоқтағанда, біз алға қарай толқып кетіп, құлап қала жаздаймыз. Дәл сол сияқты жүк машинасының үстінде жатқан шелек, дөңгелек және тағы басқа заттар машина кілт тоқтағанда, алға қарай домалап кетер еді. Немесе дәл осы сияқты әлгі көліктер түрлері біз ішінде отырғанда тыптыныш тұрып, содан кейін орнынан дереу қозғалып кетсе, онда біз артқа қарай лық етіп, тағы да толқып кетеміз. Осындай көліктің кілт тоқтауы, не дереу орнынан қозғалуы кезіндегі оның ішіндегі денелердің, адамдардың



1.1-сурет

артқа немесе алға «толқып» кетуінің себебі - олар өздерінің бастапқы қозғалыс күйін сол қалпында сақтауға тырысуы (1.1-сурет). Шынында да, көлік (мысалы автобус) кілт тоқтағанда, оның ішіндегі адамдар алдында автобус қозғалысымен бірдей болған өзінің бастапқы бірқалыпты қозғалысын сақтауға тырысады.

Автобус қандай жылдамдықпен қозғалған болса, оның ішіндегі адамдар сондай жылдамдықпен қозғалып келе жатады. Автобус кілт тоқтағанда, адамдар сол бастапқы бірқалыпты қозғалысын сақтауға тырысады да, алға қарай толқып немесе жылжып кетеді. Өйткені, оларды осындай бірқалыпты күйде ұстап келе жатқан автобус

тоқтады ғой. Дәл сол сияқты автобус, арба және тағы басқа көліктер орнынан дереу қозғалғанда да оның ішіндегі адамдар немесе заттар артқа қарай ауытқиды. Өйткені, сол көлік ішіндегі денелер өздерінің бастапқы «тыныштық» күйін сақтауға тырысады. Міне, осы құбылысты, яғни денелердің өзінің бастапқы қозғалысын, не бастапқы тыныштық күйін сақтау құбылысын *инерция құбылысы* деп атайды. *Инерция сөзі латынның қозғалыссыз, әрекетсіз* деген мағынадағы сөзінен алынған. Олай болса, инерция — әрбір дене сырттан әрекет немесе ықпал жасалғанда, өзінің бастапқы күйін сақтауға тырысады деген мағына береді. Яғни, *инерция — денелердің қозғалыстың «қолына түсіп, қолды болмау», әрекеттің әміріне, әуеніне төңкеріліп берілмеу қасиеті* болды.

Сұйықтың өзіне батырылған денені сыртқа итеру құбылысы. Мұны да күнделікті өмірде өте жиі көреміз. Қармақ салғанда жеңіл қалтқының су бетінде қалқып жүріп, батпауы—осының дәлелі. Қалтқыны судың ішіне қолмен батырып, одан кейін жібере салсақ, оны жіберген сәтте-ақ су дереу ытқытып, сыртқа шығарып жібереді. Дәл сол сияқты шелектегі суға резеңке допты, кеуек ағашты батырып ұстап тұрып, жібере салсақ, оларды да су сыртқа ытқытып шығарады, өйткені бұл денелерге су тарапынан жоғары қарай бағытталған, көлемі дене көлеміндей судың салмағына тең күш әсер етеді. Өмірдің өзінде өтіп жататын мұндай табиғи құбылыстардың тізімін жалғастыра беруге болар еді, бірақ мақсат-ол емес. Мақсат - осы табиғи құбылыстардың құпиясын білу, соны ашу, зерттеу. Оны іске асыратын да физика ғылымы болып табылады.

Табиғат құбылыстары физикалық шамалар арқылы сипатталады. Мысалы, кеңістіктегі екі нүктенің арасы ұзындық, екі дененің бір – біріне әсері күш, денелердің қозғалысы жылдамдық, үдеу арқылы сипатталады.

Физикалық ұғымдарға барлық құбылыстар, бүкіл физикалық заттардың қасиеттері, тіпті, материяның жеке түрі (мысалы, физикалық өрістердің түрлері), физикалық шамалар және тағы басқалар жатады.

Физикалық ұғымдарды меңгермейінше физикалық заңдар мен заңдылықтарды, теорияларды білу мүмкін емес. Сонымен, ұғым дегеніміз болмыстағы бар заттардың және құбылыстардың физикалық қасиеттерін, олардың арасындағы қарым-қатынастарды анықтау жолында пайда болған таным немесе болмыстың нақты бейнесі. Кейде физиканың бір жүйесіндегі ұғымдар физиканың өзге жүйелеріндегі ұғымдардан пайда болуы мүмкін. Мәселен, молекулалардың «жылулық қозғалысы» ұғымы орын ауыстыру ұғымына сүйенеді. Қысқасы, бір жүйедегі ғылыми ұғымдарды меңгергенде сол ұғымдардың басқа саладағы ұғыммен байланысы жүзеге асады. Шынында, физикалық жаңа ұғымдар бұрын қалыптасқан ұғымдарды әрі кеңейтеді, әрі тереңдетеді. Сонымен, ұғымдар нақтыланады. Кейбір ұғымдар күнделікті өмір тәжірибесінен, белгілі құбылыстарды қарастырудан басталып, іске асырылады. Мысалы, күш, қысым, механикалық жұмыс, қуат ұғымдары осылай қалыптасқан.

ФИЗИКАЛЫҚ ШАМАЛАР ЖӘНЕ ӨЛШЕУ БІРЛІКТЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: физикалық шамалар, өлшем бірлігі, метрлік жүйелер, бірліктер жүйесі, физикалық шаманың бірлігі, негізгі және туынды бірліктер, қосымша бірліктер, ұзындық (метр), масса (килограмм), уақыт (секунд), температура (кельвин), ток күші (ампер), жарық күші (кандела), жазық бұрыш (радиан), денелік бұрыш (стерадиан), СИ -[SI] (французша – Systeme International), бірліктердің унификациялануы, атм, ат.к, мм.сын.бағ., мм.су.бағ., бар, паскаль, эрг, кал, ккал, эв, кВт-сағ, Джоуль (Дж), қолдануға ыңғайлылығы, когеренттілігі, жүйесіз бірліктер, еселік және үлестік көбейткіштер, МКС жүйесі, МТС жүйесі, МКСГ жүйесі, МКСА, Гаусс жүйесі, СГСЭ және СГСМ жүйелері, СГС жүйесі.

Физиканың түбегейлі түсініктерінің бірі - физикалық шамалар. Физиканың барлық теориялары, заңдылықтары, қағидалары физикалық шамалар арасындағы байланыстар, қағидалар, қатынастар екені сөзсіз. Олай болса, әрбір физикалық шама ұғымын қалыптастыру қажет. Сондықтан алдымен сол физикалық шама ұғымын анықтайық. Физика зерттейтін объектілерге қолданылатын түсініктер мен ұғымдар **физикалық шамалар** деп аталады. Оларға, мысалы, жол, жылдамдық, үдеу, энергия, қуат, ток күші, кернеу, кедергі, жарқырау, жарықтылық, жарық күші, толқын ұзындығы және тағы басқалар жатады.

Физикалық шамалар деп, физикалық құбылыстарды, материяның қозғалыс пішіндері және қасиеттерін мөлшерлі сипаттайтын шамаларға айтылады.

Әр қандай физикалық шама сан мәні және өлшеу бірлігінің көбейтіндісі арқылы бейнеленеді.

$$\text{Физикалық шама} = \text{сан мәні} \cdot \text{өлшеу бірлігі}$$

Мысалы, уақыт = 3 секунд немесе $t = 3 \text{ с}$, бұл болса уақыт секундының 3 есе үлкен мәніне теңдігін бейнелейді.

Квадрат жақшалар [] ішінде физикалық шама белгісі болса, осы физикалық шаманың өлшеу бірлігін бейнелейді.

Мысалы, $[t] = \text{с}$ бұл болса төмендегідей оқылады: «Уақыттың өлшеу бірлігі секунд».

Физикалық шаманың сандық мәні дегеніміз—осы физикалық шаманың мөлшерін көрсететін дербес сан. Нақты алынған физикалық шаманың сандық мәні сол шаманың өзі анықталатын өлшем бірлігіне байланысты. Өлшем бірлігі туралы ұғымды, негізінен, физика ғылымы туғызады десек қателеспейміз. Өлшем бірліктерісіз физикалық шамалардың мән-мағынасы ешқашан толық ашылмайды.

Негізгі шамалар

Ұзындық	$[l] = \text{м}$	метр
Масса	$[m] = \text{кг}$	килограмм
Уақыт	$[t] = \text{с}$	секунд
Ток күші	$[I] = \text{А}$	Ампер
Температура	$[T] = \text{К}$	Кельвин
Зат мөлшері	$[v] = \text{моль}$	моль
Жарық күші	$[I] = \text{кд}$	кандела

Қалған шамалар **туынды шамалар** деп аталады.

Туынды шамалар деп, негізгі шамаларды дәрежеге көтеру, көбейтіру немесе бөлулер жәрдемінде жаратылады. Сол үшін туынды (пайда етілген) шамалар деп аталады.

Скаляр шамалар деп, тек сан мәні мен сипатталатын шамаға айтылады.

Мысалы, t уақыт, T температура, A жұмыс, q заряд, I ток күші, R кедергі.....

Векторлық шамалар деп, сан мәні және бағыты мен сипатталатын шамаға айтылады.

Мысалы, v жылдамдық, a үдеу, F күш, E электр кернеулігі, j ток тығыздығы,.....

Енді физикалық шамалардың өлшем бірліктеріне тоқталайық. Жалпы, физикалық шамалардың бірліктерін анықтағанда жиі қолданылатын, ең қажетті деген бірнеше физикалық шамаға арнап өлшемдер тағайындалады. Ал қалған физикалық шамалардың өлшемдерін сол бастапқы өлшем бірліктері арқылы шығарып алуға болады. Өмір тәжірибесі механикалық құбылыстар үшін физикалық үш шаманың өлшемдерін тағайындау толық жеткілікті болатынын, ал молекулалық, электрлік, оптикалық құбылыстар үшін төрт тәуелсіз шама өлшемдері қажет екенін көрсетті.

Сонымен, физикалық шамалардың *өлшем бірлігі* деп мөлшері шартты түрде бірге тең біртекті физикалық шамалардың сандық сипаттамасын айтады. Өлшем бірлігін алу үшін бір-біріне тәуелсіз бірнеше физикалық шамалар алынуы тиіс. Әрине, оларды тұтастырудың өз мән-мағынасы бар.

Физикалық шаманың бірлігі – анықтама бойынша бірге тең сан мәні берілген физикалық шама. Бірліктер екі түрге бөлінеді – *негізгі* және *туынды* бірліктер.

Өлшемдері бір – біріне тәуелсіз, ерікті түрде тағайындалатын шаманы негізгі физикалық шама, ал олардың өлшем бірліктері *негізгі бірліктер* деп аталады.

Өлшемдері физика заңдарымен немесе физикалық шамалардың анықтамаларымен сипатталатын және негізгі өлшемдермен өрнектелетін бірліктерді *туынды бірліктер* деп атайды.

Өзара белгілі қатынастармен байланысқан негізгі және туынды бірліктердің жиынтығы бірліктер жүйесі деп аталады.

Жоғарыда айтылғандарға мысал ретінде өлшем бірлігінің метрлік жүйесін келтіруге болады. *Өлшем бірліктерінің метрлік жүйелері* деп уақыт, ұзындық және килограмм-масса бірліктері алынған өлшем бірліктерін айтады. Бұл бірлік бойынша аудан мен көлем ұзындықтың туындысы ретінде алынады. Бірақ метрлік жүйелер негізіне санаулы бірліктер (атап айтқанда, ұзындық, масса және уақыт бірліктері) енетін болғандықтан, ал туынды бірліктер санатында аудан мен көлем ғана алынатындықтан, ол өлшем бірліктер жүйесі ретінде өмір, қоғам сұраныстарын толық қанағаттандыра алмады. Сондықтан басқа да физикалық шамалардың өлшем бірліктері жүйелері алына бастаған.

Бірліктердің халықаралық жүйелері. Дамыған елдер арасында саудасаттық, экономикалық, ғылыми-техникалық байланыстың дамуы өлшем бірліктердің бір жүйеге бағынуын талап

ете бастады. Мұндай жүйеде когеренттік және күнделікті өмірде қолдануға ыңғайлылық принциптерінің іске асуы қажет болды.

Электрлік және магниттік құбылыстардың адам өмірінде кеңінен қолданылуына байланысты электрлік, магниттік өлшем бірліктердің метрлік бірліктермен сипатталу мүмкіндігін қамтамасыз етуде күн тәртібіне қойылды.

Айта кету керек, бұл проблема күні бүгінге дейін толық шешімін таппай келе жатқан мәселе. Көптеген елдерде тарихи себептерге байланысты өздерінде ғана қолданылатын бірліктер қалыптасқан. Мәселен, Англия, Франция, Италия, АҚШ тағы басқа мемлекеттерде қазірдің өзінде тағайындалған өлшем бірліктердің халықаралық жүйесіне көндіге алмай келеді. Ұзындықты фут, ярд, температураны фаренгейт, көлемді пинта, галлон, баррельмен өлшеу осы елдерде кеңінен таралған.

Қандайда бір бірліктер жүйесі болмасын халықаралық деңгейде қолданылмайды. Тіпті механикадағы ең жетілген бірліктер жүйесі-МКГСС жүйесінің өзі кең көлемде пайдалануға жарамады. Себебі, механика мен қолданбалы механика ғылымдарының мұқтаждығын кәдімгідей өтеп келген МКГСС жүйесі электрлік бірліктермен сәйкестендірілмегендіктен, әмбебап жүйенің рөлін атқара алмады.

Тарихи, алғаш физикалық шамалардың бірліктер жүйесі - 1791 жыл Францияның Ұлттық жиналысында қабылданған өлшемдердің метрлік жүйесі болып табылады. Онда ұзындықтың, ауданның, көлемнің, сыйымдылықтың (механикалық) және салмақтың ғана өлшем бірліктері бекітілді. Ал олардың негізгі бірліктері ретінде метр мен килограмм тағайындалды. 1800 жыл К. Гаусс негізгі және туынды бірліктердің жиынынан құралатын өлшем бірліктер жүйесін жасаудың әдістемесін ұсынды. Гаусс ұсынған бірліктер жүйесінің негізінде өзара тәуелсіз, еркін түрде тағайындалған үш шаманың бірліктері қабылданды. Олар - ұзындықтың бірлігі - миллиметр, массаның бірлігі - килограмм,

уақыттың өлшем бірлігі – секунд деп тағайындалды. Бұл жүйені Гаусс *абсолют жүйе* деп атады. Ғылым мен техниканың даму барысына сай Гаусс ұсынған жүйеге негізделген бірнеше физикалық шамалардың өлшем бірліктері жүйесі пайда болды. Олардың барлығы да өлшемдердің метрлік жүйесіне сүйенгенімен негізгі бірліктердің ыңғайлы жүйесін бере алмады.

Айта кету керек, бірліктері аталған Халықаралық жүйенің де өзіне тән кемшіліктері бар. Мысалы, үш түрлі күштің үш түрлі бірлікпен - механикалық күш - ньютон, электр тогының күші - ампер, жарық күшінің - канделамен өлшенуі.

Негізгі бірліктердің Халықаралық жүйесіне қосымша екі бірлік енеді. Олар - жазық және денелік бұрыштардың бірліктері - радиан және стерadian. Бұл бірліктердің қосымша бірліктер деп аталу себебі оларды негізгі бірліктер қатарына жатқызуға болмайды, өйткені бұрышпен қозғалуды сипаттайтын шамалардың өлшемділіктерін сипаттауда қиындықтар туындайды. Сонымен бірге, оларды туынды бірліктер қатарына жатқызуға да болмайды, өйткені, негізгі бірліктерден құралмайды. Жазық бұрыштың өлшем бірлігі - радиан (рад), доғасының ұзындығы радиуске тең екі радиустің арасындағы бұрышқа тең шама. $1 \text{ рад} = 57^{\circ}17'48,8''$.

Денелік бұрыштың бірлігі - стерadian (ср) - төбесі сфераның центрінде орналасқан, сфера бетінде ауданы қабырғасы сфера радиусына тең квадраттың ауданына тең аудан кесетін денелік бұрышқа тең шама.

Денелік бұрыш пен жазық бұрыштың арасында мынадай қатынас бар:

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right),$$

мұнда, Ω - денелік бұрыш, α - сфера ішінде берілген денелік бұрыштың жасаған конустың төбесіндегі жазық бұрыш. 1 ср денелік

бұрышқа $65^{\circ}32'$ -қа тең жазық бұрыш сәйкес келеді, π ср бұрышқа 120° -қа тең жазық бұрыш, ал 2π ср денелік бұрышқа 180° жазық бұрыш сәйкес келеді.

Халықаралық жүйенің қосымша бірліктері бұрыштық жылдамдық, бұрыштық үдеу секілді шамаларды сипаттауға қолданылады. Радианмен стерadian теориялық есептерде кеңінен қолданылғанымен тәжірибеде сирек кездеседі. Мысалы, стерadian көбінесе жарық техникасында ғана пайдаланылады. Практикада бұрыштарды радианмен сипаттау қажет болған жағдайда трансценденттік сандар ($-\pi, 2\pi$ т.б.) қолданылады. Қолдануға ыңғайлы болғандықтан бұрыш өлшегіш саймандардың барлығы дерлік бұрыштық градуспен, минутпен, секундпен градуирленген.

1954 жылы өлшемдер мен таразылардың X Бас конференциясында негізгі өлшем бірліктері тағайындалды. Олар - метр, килограмм, секунд, ампер, кельвин градусы және свеча.

1960 жылы өлшемдер мен таразылардың XI Бас конференциясы жоғарыда аталған алты негізгі бірліктерге негізделген жүйені Халықаралық жүйе, қысқаша СИ -[SI] (французша – Systeme International атауының бас әріптері) деп атады. Негізгі алты, қосымша екі бірліктер (жазық бұрыштың өлшем бірлігі-радиан және денелік бұрыштың бірлігі-стерadian), алғашқы жиырма жеті туынды бірліктердің тізімі, оған қоса еселік және үлестік бірліктерді жасаушы приставкалар бекітілді. Бірліктердің Халықаралық жүйесі іргелі физикамен қолданбалы физиканың Халықаралық одағында, Халықаралық электротехникалық комиссияда тағы да басқа халықаралық ұйымдарда қабылданды. ЮНЕСКО өзінің барлық мүшелерін бірліктердің Халықаралық жүйесін ұстануға міндеттеді. Біздің елімізде (ол кезде ССРО) бірліктердің Халықаралық жүйесі 1961 жылдан бастап енгізілді. Бірліктердің Халықаралық жүйесінің мынадай артықшылықтары бар:

1. **Әмбебаптығы** - ғылым мен техниканың, өндірістің барлық аумақтарын қамтиды.

2. **Бірліктердің унификациялануы.** Мысалы, бұрын қолданылып келген қысымның бірнеше бірліктерінің (атм, ат.к, мм.сын.бағ., мм.су.бағ., бар, т.б.) орнына Халықаралық жүйеде жалғыз Паскаль ғана, ал жұмыстың және энергияның (оның ішінде жылу энергиясының) бұрынғы бірліктерінің (кгс·м, эрг, кал, ккал, эв, кВт·сағ т.б) орнына тек бір ғана Джоуль (Дж) қолданылатын болды.

3. **Қолдануға ыңғайлылығы.**

4. **Когеренттілігі.** Туынды шамалардың бірліктерін анықтайтын физикалық тендеулердегі пропорционалдық коэффициенттің өлшемсіз бірге тең болуы.

5. **Массаның өлшем бірлігі (килограмм) мен күштің өлшем бірлігінің (ньютон) айырмашылығының айқындалуы.**

6. **Теңдеу мен формулаларды жазудың жеңілдеуі.**

7. **Оқу процесінде физиканы оқытудың жеңілдеуі.**

8. **Әр түрлі елдер арасында ғылыми-техникалық және экономикалық байланыстар кезінде өзара түсіністіктің жақсаруы.**

1971 жылы өлшемдер мен таразылардың XIV Бас конференциясы бірліктердің Халықаралық жүйесінің жетінші негізгі бірлігі - зат мөлшерінің бірлігі - мольді қабылдады.

Халықаралық бірліктер жүйесінің (ХЖ) негізгі бірліктері

Физикалық шаманың бірлігі	Атауы	Бірлік тің белгі ленуі	Анықтамасы
Ұзындық	метр	м	Метр - жазық электромагниттік толқынның вакуумде секундтың 1/299792458 үлесіндегі уақытта өтетін қашықтығына тең болады
Масса	килограмм	кг	Килограмм – халықаралық килограмм эталонының массасына тең болады.
Уақыт	секунд	с	Секунд – цезий – 133 атомының негізгі күйінің екі әсеріне нәзік деңгейлерінің арасындағы өтуге сәйкес келетін сәулеленудің 9 192 631 770 периодтарына тең болады
Электр тогының күші	ампер	А	Ампер – ұзындығы шексіз, көлденең қимасының ауданы ескерімсіз аз, вакуумде бір – бірінен бір метр қашықтықта орналасқан екі параллель түзу сызықты

			өткізгіштермен өткен кезде әрбір өткізгіштің ұзындығы бір метр әрбір учаскесінде $2 \cdot 10^{-7}$ ньютон өзара әрекеттесу күшін тудыратын өзгермейтін токтың күшіне тең
Термодинамикалық температура	Кельвин	К	Кельвин - судың үштік нүктесінің термодинамикалық температурасының $1/273,16$ бөлігіне тең
Зат мөлшері	моль	моль	Моль – массасы 0,012 кг көміртегі-12-де қанша атом болатын болса, сонша құрылымдық элементтерден тұратын жүйенің зат мөлшеріне тең болады.
Жарық күші	кандела	кд	Кандела – жарығының энергетикалық күші берілген бағытта стеридианға $1/683$ ватт болатын жиілігі $540 \cdot 10^{12}$ Гц монохроматтық сәуле шығаратын көздің осы бағыттағы жарық күші

Қосымша бірліктер

Жазық бұрыш	Радиан	рад	Радиан – шеңбердің арасындағы доғасының ұзындығы радиусқа тең болатын екі радиусының арасындағы бұрышқа тең
Денелік бұрыш	Стередиан	ср	Стередиан – төбесі сфераның центрінде орналасқан, сфераның бетінен қабырғасы сфераның радиусына тең болатын квадраттың ауданын кесіп алатын денелік бұрышқа тең болады.

Халықаралық жүйенің туынды бірліктері физикалық шамалар арасындағы тәуелділікті тағайындайтын заңдар негізінде немесе шаманың анықтамасының негізінде қорытылып шығарылады.

Жүйесіз бірліктер. Көптеген ғалымдардың орасан зор еңбектерінің нәтижесінде физикалық шамалар бірліктерінің бірсыпыра жүйелері жасалынып, сол бірліктерді кезкелген жүйеде сипаттауға мүмкіндік бола тұра әлі күнге ешқандай жүйеге жатпайтын бірліктер адамзат тіршілігінің түрлі аумақтарында қолданылып келеді. Мұндай бірліктердің көбісі өзінің қолдануға ыңғайлылығымен ұтымды, мысалы, атмосфера, сағат, литр т.б. ал енді біреулері тарихи дәстүрлердің күшімен өміршең, мысалы, дюйм, пұт, шақырым т.б.

Өлшемділікті талдау. Тәжірибе нәтижелерін тіркегенде және есептеу барысында алынған мәліметті жазғанда физикалық шамалардың өлшем

бірліктері қоса жазылады. Кезкелген теңдіктің оң жағы мен сол жағының өлшемділіктері бірдей болуы тиіс. Өлшемділіктерді талдау әдісі физикалық шамалардың дұрыстығын анықтағанда, физикалық ұқсастық теориясында кеңінен қолданылады. Физикалық шамалар арасындағы заңдылық қатынасын өлшемділікті талдаудың негізгі теоремасының көмегімен тағайындайды.

Өлшеу бірліктері кезкелген ретте таңдап алынуы мүмкін. Ежелде олар практикалық характердегі пікірлерге байланыстырып таңдалған: мысалы, ежелгі орыс ұзындық бірлігі «локот»(тірсек) немесе ағылшынша «фут» (ағылшын тілінде foot - пай) сияқты өлшеу бірліктері адам денесінің өлшемдерімен байланысты.

XVIII ғасырда француз ғалымдары өлшеу бірліктерін уақыт өтуімен тұрақты және жоғалмайтын объекттерге байланыстырып, олардың «абсолют» жүйесін жаратуға ұрынып көрді, мысалы, ұзындық бірлігі үшін меридиан ұзындығының $1/40\,000\,000$ бөлігін алуға қаулы қылынды. Бірақ, дәл осындай ұзындықтағы сызғышты қатесіз жасау еш мүмкін емес. Басқа «абсолют» бірліктерді белгілеуде да осыған ұқсас қыйыншылықтарға ұшырады. Сол үшін өткен ғасырдың соңынан бастап бірліктер үлгі (эталон) денелер жәрдемінде белгіленетін болды, сондай – ақ, ұзындық бірлігі метр және өлшеу және таразылардың халықаралық бюросында сақталатын иридийлы платинадан жасалған сызғыш үстіндегі екі сызықша арасындағы қашықтық ретінде анықталады, бірақ қазіргі уақытта анық мағынада «аралас» жүйе істетіледі, бұл жүйеде бірліктердің бір бөлігі эталон денелер жәрдемінде анықталады, екінші бөлігі болса, қайта пайда ету мүмкін болған анық физикалық құбылыстар жәрдемінде анықталады. Мысалы, 1960 жылы Халықаралық конференцияда қабылданған *халықаралық бірліктер жүйесі* (қысқартылған белгісі ХБ) ұзындық бірлігі (м) үшін сондай бірлік қабылданған, оған криптон 86 изотопының Kr^{86} болмыста жаратылған спектріндегі сары сызық толқын ұзындығынан $1650763,73$ і орналасады

$$1\text{м} = 1650763,73 \lambda (\text{Kr}^{86})$$

Осы тәрізді анықталған метр эталон сызғыштағы екі сызық арасындағы кашықтыққа туры келетін көне метрге өте жақын. Бірақ көне метрге карағанда оның артықшылығы сонда, мұның жоғалуы және бұзылуы мүмкін емес, ол уақыт өтуімен өзгермейді, эталон таяқшаның ұзындығы, ол жасалған материалдың «көнеруі» нәтижесінде өзгеруі мүмкін, бірер ұзындықты криптон – 86 изотопы спектріндегі сары сызықтың толқын ұзындығы мен және уақытты қайта – қайта салыстырып көру мүмкін.

Өте көп сандағы метрлер немесе метрдің өте кіші бөліктерімен өлшенетін ұзындықтарды өлшеу үшін, ұзындық бірлігі – метрден бөлшектер жүйесі жәрдемінде жаратылған бірліктер істетіледі.

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}, 1 \text{ см} = \frac{1}{100}, 1 \text{ мм} = \frac{1}{1000}, 1 \text{ мк (микрон)} = \frac{1}{1000} \text{ мм және}$$

басқалар.

Халықаралық бірліктер жүйесінде *масса бірлігі* үшін иридийлі платинадан жасалған өлшеу және таразылардың Халықара бюросында сақталатын дененің *килограмм* деп аталатын массасы қабылданған. Килограммның массасы (кг) 1000 см³ таза судың 4 °С дегі массасына өте жақын келеді. Килограммнан кіші және үлкен болған бірліктер бұл күйде да ондық жүйе жәрдемінде белгіленеді.

$$1 \text{ тонна} = 1000 \text{ кг}, 1 \text{ грамм} = \frac{1}{1000} \text{ кг және тағы басқалар.}$$

$$\text{Уақыт бірлігі үшін 1900 жыл 1 январдағы тропик жылдың } \frac{1}{315569259747}$$

бөлігіне тең уақыт қабылданған. Тропик жыл деп Күннің эклиптика бойынша жасайтын көрінбе қозғалысында көктемгі тең күндік нүктесі арқылы тізбектей екі есе өтуі арасындағы уақытқа айтылады, сонымен уақыт бірлігі Жердің Күн айналасында айналып шығу уақытымен байланысты. Уақыттың бұл бірлігі *секунд* деп аталады.

Әр қандай басқа физикалық шама үшін да өзінің, жалпы айтқанда, кезкелген таңдап алынған өлшем бірлігін белгілеу мүмкін. Мысалы, аудан бірлігі үшін алдын таңдап алынған ұзындық бірлігіне байланыстырмай

кандайда бір дененің ауданын алу мүмкін еді, бірақ бірліктерді мұндай таңдап алу өте қолайсыз болатын еді. Сол үшін, мысалы, аудан бірлігі етіп, жақтарының ұзындығы ұзындық бірлігіне тең болған квадраттың ауданы қабылданады. Басқа физикалық шамалар мен өлшеу бірлігі алдын таңдап алынған басқа шамалар арасындағы анық заңдылықтарға негізделеді.

Әр түрлі бірліктер жүйелері бір – бірінен қайсы бірлік жүйесіне негізделініп алынғанымен айырмашылық етеді. ГОСТ 9867-61 жағынан пәннің барлық салаларында, техникада және ауыл шаруашылығында, дәл осындай оқытуда ең қолай жүйе деп бекітілген бірліктердің халықаралық жүйесінен пайдаланамыз. Халықаралық жүйе өлшеудің әр түрлі салалары үшін мөлшерленген бір қанша тәуелсіз бірліктер жүйелеріне бөлінеді:

Бірліктердің Халықаралық жүйесі ГОСТ 9867- 61					
Механикалық бірліктер жүйесі ГОСТ 7664-61	Жылулық бірліктері жүйесі ГОСТ 8550-61	Электр және магнит бірліктері жүйесі ГОСТ 8033-56	Акустикалық бірліктер жүйесі ГОСТ 8849-58	Жарық бірліктері жүйесі ГОСТ 7932-56	Радиоактивтік және иондастырушы сәулелену бірліктері жүйесі ГОСТ 8848-63

ХБ жүйесінде негізгі механикалық бірліктер етіп метр (м), килограмм – масса (кг) және секунд (сек) тер алынған болып, оған қосымша өлшеудің әр түрлі салалары үшін төмендегі: жылулық үшін – Кельвин градусы, электр үшін – ампер және жарық үшін – свечадан тұратын бірліктер енгізілген.

Төмендегі кестеде бірліктердің Халықаралық жүйесінде қолданылатын еселік және үлестік көбейткіштер берілген

Көбейткіш	приставка	приставканың белгісі	
		халықаралық	орысша
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$	экса	Е	Э
$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$	пета	Р	П

$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	тера	T	Т
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	гига	G	Г
$1\ 000\ 000 = 10^6$	мега	M	М
$1\ 000 = 10^3$	кило	k	к
$1\ 00 = 10^2$	гекто	g	г
$1\ 0 = 10^1$	дека	da	да
$0,1 = 10^{-1}$	деци	d	д
$0,01 = 10^{-2}$	санти	c	с
$0,001 = 10^{-3}$	милли	m	м
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	микро	μ	мк
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	нано	n	н
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	пико	p	п
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	фемто	f	Ф
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	атто	a	а

Әр бір өлшеу бірлігі алдына бір көбейткіштен артық қойылуы мүмкін емес.

Жоғарыда айтылғанындай, ХБ жүйесінің негізгі бірліктерінен оның туынды бірліктерін алу мүмкін. Берілген туынды бірліктерді негізгі бірліктер мен байланысын бейнелеу үшін өлшемділік формулалары қолданылады.

Егер негізгі шамалардың өлшемділіктерін шартты ретте төмендегіше: ұзындықты – L, массаны – M, уақытты – T, ток күшін – I, температураны - θ және жарық күшін – J мен белгілесек, бірер x шаманың СИ жүйесіндегі өлшемділік формуласын төмендегідей жазу мүмкін:

$$[x] = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\sigma} \theta^{\rho} J^{\mu}$$

Физикалық шама x тың өлшемділігін табу үшін $\alpha, \beta, \gamma, \sigma, \rho, \mu$ дәреже көрсеткіштерінің сан мәндерін анықтау қажет. Бұл дәреже көрсеткіштер оң немесе теріс, бүтін немесе бөлшек сандар болуы мүмкін.

Мысал. Жұмыстың өлшемділігі табылсын. $A = F \cdot l$ қатынасқа негізделіп

$$[A] = L^2MT^{-2} \text{ болады.}$$

Мысал. Меншікті жылулық сыйымдылығының өлшемділігі табылсын.

$$c = \frac{Q}{m\Delta t} \text{ болып, } [Q] = [A] \text{ болғандығы үшін } [c] = L^2T^{-2}\theta^{-1} \text{ болады.}$$

Қандайда физикалық шаманың СИ жүйесіндегі өлшемділігін білген күйде, оның өлшеу бірлігін бұл жүйеде табу қиын емес. Мысалы, жұмыстың өлшеу бірлігі $m^2kgсек^{-2}$ ге, меншікті жылулық сыйымдылығының өлшеу бірлігі болса $m^2сек^{-2}град^{-1}$ ге тең болуы керек.

Бірліктердің Халықаралық жүйесінің негізгі бөліктерінің бірі, **механикалық шамаларды өлшеу үшін мөлшерленген (ГОСТ 7664 – 61) МКС жүйесі** болып есептелінеді. **МКС жүйесінің негізгі бірліктері метр (м), килограмм (кг)ға секунд (секунд)** дан тұрады.

Жоғарыда айтылғанындай, физикалық шамалардың байланысына негізделген күйде, бұл жүйенің негізгі бірліктерінен оның туынды бірліктері шығарылады. Мысалы, жылдамдықтың бірлігі төмендегі қатынастан анықталынады:

$$g = \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

Ұзындық бірлігі – метр, уақыт бірлігі – секунд болғандығы үшін, МКС жүйесінде жылдамдықтың бірлігі 1м/сек болады. Дәл осындай, үдеудің бірлігі 1 м/сек² болады.

Күштің бірлігін анықтайық. Ньютонның екінші заңына негізделіп

$$dF = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Массаның бірлігі үшін 1 кг, үдеудің бірлігі үшін 1 м/сек² қабылданған, МКС жүйесінде күштің бірлігі етіп, 1 кг массаға 1 м/сек² үдеу бере алатын күшті алуымыз керек. Күштің мұндай бірлігіне Ньютон (Н) делінеді:

$$1Н = 1кг \cdot 1 м/сек^2$$

Дененің ауырлығы және массасының өзара байланысына тоқталып өтеміз. Дененің Р ауырлығы деп, оның Жерге тартылыс күшіне, яғни денеге $g = 9,81м/сек^2$ үдеу бере алатын күшке айтылады, сонымен,

$$P = mg$$

МКС жүйесінде дененің ауырлығы әр қандай күш сияқты Ньютондарда өлшенеді. Кейбір күйде дененің ауырлығы килограммдарда өлшенеді. Күштің бұл бірлігі (килограмм) МКС жүйедегі бірлігі еместігін әрдайым есте сақтау қажет. Бұл **техникалық жүйедегі бірлігі** болып есептеледі. Бұл жүйеде негізгі бірліктер үшін ұзындық бірлігі (1м), уақыт бірлігі (1сек) және күш бірлігі қабылданған. Күш бірлігі етіп, 45^0 географик кеңдікте теңіз денгейі биіктігінде 1 кг массалы денеге әсер ететін Жер тартылыс күшіне тең күш алынған. Бұл бірлік килограмм – күш делінеді. Сонымен, бірліктердің **техникалық жүйесінде** негізгі бірліктер төмендегідей қабылданған:

Ұзындық бірлігі – 1 метр (1м),

Күш бірлігі - 1 килограмм – күш (1кГ),

Уақыт бірлігі - 1 секунд (1 сек).

Бір – біріне ұқсамайтын әр түрлі болған, физикалық шамалар – масса және ауырлықтың, бұл екі бірліктерін адастырмау үшін оларды қысқаша белгілейміз: 1 килограмм масса бірлігін кг мен, ауырлық(күш)тың 1 килограмм бірлігін болса **кГ** деп белгілейміз. Килограмм – ауырлық және Ньютон арасындағы қатынасты табамыз. **1кГ ауырлық** деп, массасы 1 кг ға тең болған дененің ауырлығына айтылады, яғни

$$1 \text{ кГ} = 1 \text{ кг} \cdot 9,81 \text{ м/сек}^2$$

Екінші жағынан

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек}^2$$

болғандығы үшін

$$1 \text{ кГ} = 9,81 \text{ Н}.$$

Ауырлықтың килограмм сипаттамасынан, дене ауырлығының килограмм (кг) дарда бейнеленген сан мәні осы дене массасының килограмм (кг) дарда бейнеленген сан мәндеріне теңдігі келіп шығады. Мысалы, егер дененің массасы 2 кг болса, оның ауырлығы 2 кГ ға тең. Бұдан кейін дененің килограммдарда алынған ауырлығын Ньютондарда бейнелеу керек.

МТС жүйесі - механикалық шамаларды өлшеу үшін жұмсалған бірліктер жүйесі. Ол 1927 жыл Францияда қабылданған және кейінірек Россия мемлекетінде қолданылған. Бұл жүйенің бірліктері метр (м), тонна (Т), секунд (с).

Халықаралық бірліктер жүйесінің (СИ) негізгі бөліктерінің бірі (ГОСТ 8550- 61) МКСГ жүйесі жылулық шамаларды өлшеу үшін мөлшерленген. МКСГ жүйесінің негізгі бірліктері метр (м), килограмм (кг), секунд (сек), градус (град) дан тұрады.

Шамалардың мольдерде бейнеленген бірліктерін пайда ету үшін меншікті бірліктердегі граммды *грамм – моль (моль)* мен және килограммды *киломоль (кмоль)* мен алмастырылады, мұнда киломоль үшін массасы молекулалық ауырлығына тең болған, килограммдарда бейнеленген заттың мөлшері қабылданған.

Халықаралық бірліктер жүйесінің (СИ) негізгі бөліктерінің бірі (ГОСТ 8033- 56) МКСА жүйесі электрлік және магниттік шамаларды өлшеу үшін мөлшерленген. Бұл жүйе 1901 жылы итальян ғалымы Жоржи ұсынысы негізінде қабылданған. Сол үшінде бұл жүйе кейде Жоржи жүйесі деп аталады. МКСА жүйесінің негізгі бірліктері метр (м), килограмм (кг), секунд (сек) және ампер (А) ден тұрады. МКСА жүйесінің туынды бірліктері физикалық шамалар арасындағы байланысты көрсететін заңға негізделіп келіп шығады. Мысалы, электр мөлшерінің бірлігі кулон (Кл), ток күші 1А болғанда өткізгіштің көлденең қимасынан 1 сек та өтіп жатқан электр мөлшері $q=I t$ теңдеуден анықталынады, яғни $1\text{Кл} = 1\text{А} \cdot 1\text{сек}$. Потенциалдар айырмасының бірлігі – вольт (В), $P =U I$ теңдеуден анықталады, бұл жерде P – токтың қуаты. Бұдан $1\text{В} = \frac{1\text{Вм}}{1\text{А}}$. Дәл осы жолмен қалған туынды шамалардың бірліктерін МКСА жүйеден табу мүмкін.

МКСА бірліктер жүйесінің қолданылуы формулалардың рационализация етілуі (қарапайымдастырылуы) мен байланысты. Электрлік және магниттік құбылыстары теориясына тиісті болған көпшілік теңдеулерде 4π

санды көбейтуші кіреді (мысалы, Гаусс теоремасы, жазық конденсатор сыйымдылығы, соленоид ішіндегі магнит өрісі кернеулігі және тағы басқалар). Теңдеулердің рационализация етілуі электротехника және радиотехникада өте көп қолданылатын формулаларда бұл көбейтіндіні енгізбеуді мақсат етіп қояды; сонымен бірге, 4π көбейтуші басқа, кем қолданылатын, оның қатынасуы геометриялық пікірлермен түсіндірілуі мүмкін болған формулаларға кіреді.

ГОСТ халықаралық жүйедегі электрлік және магниттік бірліктерін электромагниттік өріс теңдеулерінің рационализация етілген пішіні үшін белгіледі.

ГОСТ 8033 – 56 да, МКСА жүйесінен басқа, электрлік және магниттік өлшеулері үшін СГС жүйесі (1832 жылы неміс ғалымы *К.Гаусс* ұсынысы мен қабылданған. Сол үшін бұл жүйені *Гаусс жүйесі* деп атайды)нда қолдау мүмкіндігі көрсетілген. Сол үшін мәселе шартында берілген сан мәндер әрдайым МКСА жүйеде берілмейді. Бірақ, жалғыз жүйені қолдау мен байланысты болған артықшылықтарын есепке алып, мәселелер тек МКСА жүйесіндегі бірліктерде шешіледі. Бұл үшін мәселелер шартында берілген сан мәндерін МКСА жүйедегі бірліктерге айналдыру қажет.

Гаусс жүйесі СГСЭ және СГСМ жүйелерінен түзіледі. СГС жүйесіндегі негізгі бірліктер: сантиметр ($1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$), грамм ($1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$), секунд (с). Электрлік бірліктер үшін СГС жүйелерінде айырмашылық бар. Мұның себебі, СГСЭ жүйесінде төртінші негізгі бірлік ретінде $\epsilon_0 = 1$ электрлік тұрақты, ал СГСМ жүйесінде $\mu_0 = 1$ магниттік тұрақты алынған.

Гаусс жүйесінде (СГС) негізгі бірліктер грамм, сантиметр, секунд, $\epsilon_0 = 1$, $\mu_0 = 1$; СГС жүйесінде электрлік шамалар (заряд, электр өрісінің кернеулігі, кернеу, ток күші, полярланғыштық, электр сыйымдылық) СГСЭ жүйесіндегідей өрнектеледі, магниттік шамалар (магнит индукциясы, магнит индукциясының ағыны, магнит моменті, индуктивтік және тағы басқалар) СГСМ жүйесіндегідей өрнектеледі.

Ортаның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі $\varepsilon = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon_0}$ ды енгіземіз, мұнда ε' - ортаның абсолют диэлектрлік өтімділігі болып, оның сан мәні ортаның қасиетіне және бірліктер жүйесінің таңдалуына байланысты; ε_0 - вакуумның диэлектрлік өтімділігі. ε_0 шаманы электрлік тұрақтылық делініп, оның сан мәні тек өлшеу бірліктер жүйесінің таңдап алынуына байланысты. Ол күйде барлық теңдеулерде ε' орнына сан жағынан оған тең болған $\varepsilon_0 \varepsilon$ шаманы алуымыз мүмкін, мұнда ε_0 электрлік тұрақтысы және ε - ортаның вакуумға салыстырмалы диэлектрлік өтімділік мәні, яғни диэлектрлік өтімділіктің кестедегі әдеттегі мәні. СГС жүйесінде $\varepsilon_0 = 1$ және $\varepsilon' = \varepsilon$.

$$\text{МКСА жүйесінде } \varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi c^2} \cdot 10^7 \frac{\Phi}{\text{м}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\Phi}{\text{м}} \quad (c \approx 3 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{с}})$$

Дәл осыған ұқсаған ортаның абсолют магнит өтімділігі μ' орнына сан жағынан оған тең болған $\mu_0 \mu$ шаманы аламыз, мұнда μ_0 - магнит тұрақтысы және μ - ортаның вакуумға салыстырмалы магнит өтімділігінің мәні, яғни магнит өтімділіктің әдеттегі кестедегі мәні. СГС жүйесінде $\mu_0 = 1$ және $\mu' = \mu$

МКСА жүйесінде

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{\text{м}} = 12,57 \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_H}{\text{м}}$$

Акустикалық өлшеулер саласында ХБ ның МКС жүйесі қолданылады.

Төмендегі кестеде ГОСТ 7932 – 56 ге сай бірліктердің Халықаралық жүйесінде жарық өлшеулері үшін мөлшерленген негізгі бірліктері келтірілген.

Шама және оның белгіленуі	Өлшеу бірлігі	Бірліктің қысқаша белгіленуі	Өлшемділігі
Ұзындық l	метр	м	L
Уақыт t	секунд	сек	T

Жарық күші I	кандела	кандела	I
--------------	---------	---------	---

Бұл жүйеде жарық ағыны бірлігі үшін люмен (лм) – жарық күші 1 кандела болған нүктелік көздің 1 стерadian денелік бұрыш ішінде бір қалыпты сәулеленіп жатқан жарық ағыны қабылданған.

Сонымен $1\text{лм} = 1\text{кд} \cdot 1\text{ср}$

Жарықталыну люкс пен өлшенеді. 1 люкс – 1 квадрат метрге бір қалыпты бөлінген 1 люмен жарық ағыны түсіп тұрған беттің жарықталынғандығы.

Сонымен $I_{лк} = \frac{1\text{лм}}{\text{м}^2}$

Жарық көзінің сәулеленгіштігі люмен бөлінген квадрат метр мен өлшенеді. $\frac{1\text{лм}}{\text{м}^2}$ - ***1 м² ауданды сәулелентіріп жатқан 1 лм жарық ағынына сай келетін жарықталыну*** болып есептелінеді.

Жарықтылық бірлігі нит (нт) – бір қалыпты жарықтандырылып жатқан жазық беттің жарықтылығы болып, бір квадрат метр бетке тік бағыттағы түскен бір кандела жарық күшіне тура келеді.

Сонымен, $1\text{нт} = 1 \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$

II БӨЛІМ. МАТЕРИЯЛЫҚ НҮКТЕ КИНЕМАТИКАСЫ

КІРІСПЕ. ФИЗИКА ПӘНІ ЖӘНЕ ӘЛЕМДІ БІЛУ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: физика, физиканың мақсаты, материя, өріс, гравитациялық өріс, электромагниттік өріс, дене, физикалық дене, физикалық құбылыс, тәжірибе, өлшеу, гипотеза, физикалық заң, күзету, физикалық орта, өлшеу аспаптары.

Қазіргі кезде пән қоғамдағы өндіріс күштерінен біріне айналып қалды; физика пәнінің техника және технологияның өркендеуінде әсері үлкен; физика кейде заман өркендеуін белгілейді (электр, электромагниттік толқындар, атом және ядро физикасының қоғам өркендеуіне әсерін еске алу жетерлі).

Физика пәні жаңа техника және технологиялардың негізін құраса - да, физика табиғаттың әдемілігін, әсемділігін көруге ұмтылады. Табиғаттың әдемілігі адам ақылымен жаратылған, әр қандай әдеміліктен де әдемі.

Физика - қазіргі кезде осындай көркем сарай, оны құрған адамдардың біліміне, шығармашылығына таң қаласың.

Әлем өте түрлі - түсті, әдемі; біздің ойымызда ол өте үлкен және қыйын. Табиғаттағы құбылыстарды және оларды басқаратын күштерді үйрену, табиғат не үшін дәл осындай екендігін, басқаша еместігін білу пәннің, әсіресе физика пәнінің негізгі мақсаты болып есептелінеді.

Өмір - Әлемдегі ең күрделі, ғажайып құбылыс саналады. Адам организмінде 10^{16} ға тең болған жасушалар бар; оның әр біреуінде 10^{12} - 10^{14} тен атомдар бар. Адамдағы атомдар саны 10^{28} - 10^{30} дың айналасында. Әр қандай тірі организмнің (адам организмі, жануар немесе өсімдік дүниесі уәкілінің организмі) жасушасында ДНК молекулалар тізімі бар болып, ол бүтін организмдегі генетик информацияны құрайды. Әр бір ДНК молекула 10^8 - 10^{10} атомдардан тұрады. Бұл атомдардың және ДНК молекулаларының бір – біріне қатынасты өзара орналасулары әр түрлі организмде әр түрлі болады.

Сонымен, Әлем және ондағы кезеңдер күрделі болса-да, олардағы бір қанша негізгі және қажетті заңдар ғалымдар жағынан жаратылған. Бұл заңдарды табиғи пәндер, содан физиканың механика, электродинамика, оптика, салыстырмалылық теориясы, кванттық механика, молекулалық физика және термодинамика және басқа бөлімдерінде үйреніледі.

Дүниенің механикалық бейнесі. Ньютон механикасының негізінде құрылған дүниенің құдыретті және біртұтас көрінісі ғалымдардың көптеген буындарын таңдандырған және әлде де таңдандыруда. Ньютонның ойынша, барлық дүние «қатты, салмақты, өтімсіз, қозғалмалы бөлшектерден» құралады. Бұл «негіздік бөлшектер абсолют қатты: олар өздері құралатын денелерден анағұрлым қатты, тіпті қаттылығы сонша, олар еш уақытта тозбайды және быт-шыты шығып қирамайды», Ең бастысы, олар бірінен-бірі сан жағынан өзгеше, айырмашылығы массаларында болады. Барлық байлық, дүниенің барлық сапа жағынан алуан түрлілігі - бөлшектер қозғалысының әр түрлілігінің нәтижесі. Бөлшектердің ішкі мәнісі екінші кезекте қалады.

Физика, өзге табиғи пәндер сияқты, бізді орап алған материялық дүниенің объектив қасиеттерін, табиғат құбылыстарының жалпы заңдылықтарын, материяның түзілісі, қасиеттерін және қозғалысын, зат және өрістің қасиет және заңдылықтарын үйренеді.

Қозғалыстың физикада үйренілетін формалары қозғалыстың жоғары және біраз күрделі болған барлық формаларында (химиялық, биологиялық және басқа процесстерде) қатынасады және олардың ажыралмас бөлігі болып есептелінеді.

Мысалы, Жер және аспан денелерінің барлығы, химиялық жағынан қарапайым немесе күрделілігі, тірі немесе өлілігіне қарамастан физика ашқан бүкіләлемдік тартылыс заңына мойынсұнады. Барлық процесстер, олардың арнайы химиялық, биологиялық немесе басқа характерде болуына қарамастан, физика анықтаған заңға – энергияның сақталу заңына мойынсұнады. Қозғалыстың жоғары, біраз күрделі формаларын басқа пәндер (химия, биология және басқалар) үйренеді.

Физика пәні метафизика («metafizika» сөзінің мағынасы – «үлкен табиғат») пәнінен ажыралып шыққан. Физика сөзі грек тілінен («*φυσική*» (phuzis)) алынған болып, табиғат деген мағынаны білдіреді. Бұл сөзді пәнге бірінші рет ежелгі Юнон ғалымы Аристотель (Шығыс мемлекеттерінде Арасту) енгізген.

Дәлірек айтқанда, ол - табиғи дүниенің жалпы қасиеттері, болмыстағы барлық заттардың өмір сүру жолдары, түрлері және бүкіл заттардың құрылымы туралы ғылым. Болмыстағы барлық заттар, дүниедегі денелер, жанды жаратылымдар, аспан шырақтары (Күн мен Ай, сансыз көп жұлдыздар), біз өмір сүретін Жер шарының өзі, өзімізді қоршаған ауа, су, тау-тас, және т. с. с. бәрі - табиғаттың құрылым бөліктері. Әрі осы болмыстағы барлық заттар, денелер, жан-жануарлар, жәндіктер, өсімдіктер, су, ауа және тағы басқа болмыстағы нақты заттар болып есептеледі. Шынында да, кәдімгі топырақ, құм, су, темір, көмір және т. б. - бәрі дүниедегі нақты заттар ғой.

Табиғи пәндер арасында физика жетекші орынды иелеуге әрекет жасайды: ол әлемнің пайда болуынан соңына дейін білуді, үйренуді талап етеді.

Физиканың мақсаты - табиғаттың жалпы заңдарын іздеу және солардың негізінде нақтылы процестерді түсіндіру. Осы мақсатқа жету бағытында ғалымдардың алдында табиғаттың біртұтастығы жөнінде бірте-бірте сәулетті де күрделі көрініс пайда болды. Дүние жекеленген, біріне-бірі байланыссыз оқиғалардың жиынтығы емес, бір бүтіннің әр түрлі және сан қилы көрінісі.

Барлық ғылымдар физика нені зерттесе, соған сүйенеді. Осы ғылымдар бірлесе отырып, болашақты болжауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе қазір, алып техниканы игерген адамдардың іс-әрекеті бізді қоршаған ортаға орасан зор әсер ететін шақта, өте маңызды. Осы әсер адамдарға орны толмас зиян шектірмес үшін, оның зардабын алдын ала болжай білу керек. Ал бұл үшін табиғат заңдары туралы, соның ішінде физика қарастыратын заңдар туралы неғұрлым көбірек білу керек. Материялық дүние біртұтас, ондағының

бәрі бір-бірімен өзара байланыста және оны бөлшектеуге болмайды. Физикалық заңдар физикалық шамаларды бейнелейтін математикалық байланыс болып есептелінеді. Алайда табиғат туралы ғылымдарды, оның ішінде физика курсы, оқып-үйренгенде жеке бөлімдерге бөліп қарастырған ыңғайлы. Әр бөлімде жеке құбылыстар мен заңдар зерттеледі. Табиғат құбылыстары және заңдары физика пәнінде төмендегі бөлімдерге бөлініп үйреніледі:

- Механика
- Молекулалық физика және термодинамика
- Электрлік және магниттік құбылыстары
- Жарық құбылыстары – Оптика
- Атом және ядро физикасы

Жалпы алғанда, дүниедегі барлық зат атаулының түп негізі бір деп есептеледі. Сондықтан дүниедегі зат атаулының бәрін жалпы түрде бір ортақ атпен «материя» деп атау қабылданған. Сонымен, болмыстағы барлық нақты заттарды жалпы түрде «материя» деп атайтын болдық.

Олай болса, біздің бүкіл болмысымыздағы барлық заттар тегінде материя болып шықты. Қорыта айтқанда, материя деп біздің санамыздан тәуелсіз өмір сүретін барлық «нәрселерді» айтамыз.

Біздің санамызға байланысты болмаған және бізді орап алып сезгі органдарымызға әсер ететін затқа материя делінеді. Демек, бізді материя орап алған, өзіміз да материяның бір бөлігіміз.

Қазірде жансыз материяның екі көрінісі бар:

1. Зат

2. Өріс

Материяның бірінші көрінісіне – атом, молекула және дененің құраушылары кіреді. Материяның екінші көрінісін – электромагниттік, тартылыс (яғни, гравитациялық) және басқа өрістер құрайды.

Материяның түрлі көріністері бір – біріне алмасынуы мүмкін. Мысалы, электрон және позитрон (зат) фотонға айналуы (электромагниттік өріс) мүмкін және керісінше.

Материя - әрдайым қозғалыста болады.

Әрине, материя қолмен «ұстап», көзбен «көретін» шын мәнісіндегі кәдімгі заттардың ғана жинақталған жалпы ұғымы емес, ол біз бақылай алмайтын, болмыста бар, бірақ біздің санамыздан тыс (тәуелсіз) өмір сүретін заттардың да жиынтығы болады. Осы жиынтықтың өкілдері қатарына әр түрлі өрістер де жатады. Осындай өрістердің бір түрі - өзіміз күнде көретін, тұрмысымызға «сіңіп» кеткен, теледидардағы барлық кескін - кейіпті жеткізіп беретін электромагниттік өріс. Сол сияқты, аспандағы Айды Жердің маңында белгілі орбитада ұстап тұрған «керемет» те осындай өрістердің бір түрі - гравитациялық өріс болып табылады.

Сонымен, материя тек зат күйінде байқалатын, бақыланатын заттар күйінде ғана емес, ол «көзге көрінбейтін», «қолға ұсталмайтын» басқа күйде де болуы мүмкін екен. Осындай күйдегі материя түрін өріс деп атайды. Қысқасы, материя зат түрінде де және өріс түрінде де кездеседі. Әрине, нақты зат түрінде кездесетін материя көбірек танымал, өйткені олар кәдімгі заттар ғой (мысалы, жоғарыда айтылған су мен бу, темір мен көмір, тұз бен мұз және т. б.). Заттар молекулалардан құралған. Молекула бір неше атомнан түзіледі. Мысалы, екі сутегі атомы және бір оттегі атомдары бірігіп H₂O су молекуласын құрайды және тағы басқалар. Міне осы H сутегі газы және O оттегі газдары H₂O су заттары болады. Атом химиялық реакция жолымен бөлінбейтін ең кіші бөлшек болып есептелінеді.

Атом және молекулалар тәртіпсіз қозғалыста болып заттарды құрайды. Бұл заттар жиындысына ***дене*** деп айтылады.

Физикалық денелер деп, табиғатта ұшырайтын түрлі заттардан құралған барлық заттарға айтылады. ***Зат*** - өлшемге ие болған нәрселер. Мысалы, металл, тас, ас тұзы кристалы, Күн, жұлдыздар, үйдегі ауа.

Физикалық дене деп сырт пішіні, көлемі, салмағы және тағы басқа сипаттамалары бар затты айтады. Мысалы, темір - зат болса, темір балға – физикалық дене, мыс – зат болса, мыс өткізгіш – физикалық дене. Ал бұл заттардың жай ғана дене емес, физикалық дене деп айтылуының себебі олар физика зерттейтін объект бола алады.

Физикалық жүйе немесе **денелер жүйесі** деп, кейбір физикалық құбылыстар дәл бір денедегідей көрінетін денелер жинағына айтылады. Мысалы, автомобильдің қозғалысы. Мұнда автомобильдің барлық бөліктері уақыт барысында белгілі жолды өтеді.

Әр бір атом, молекула, зат және денелердің айналасындағы кеңістікте олардың әсері болады. Міне осы әсер болатын кеңістікке **өріс** делінеді. Бұл тартылыс өрісі, электрлік және магниттік өрісі, атом және ядро өрістері болуы мүмкін.

Әр қандай сапалық өзгерістер құбылыс болып есептелінеді. **Физикалық құбылыстар** деп, затты құрайтын бөлшектер тұрақты, өзгермей қалған күйде пайда болатын құбылыстарға айтылады. Мысалы, тастың түсуі, доңғалақтың айналуы, судың қайнауы және мұздауы, көмір жанғанда жылулық шығуы, шамнан жарық шығуы, радиодан дыбыс шығуы.

Физикалық орта деп, физикалық құбылыс және кезеңдер пайда болатын материялық кеңістік немесе ортаға айтылады.

Физикалық құбылыстарды **тікелей күзету** және **тәжірибеде тексеру** арқылы заңдар жаратылады.

Күзету деп, болып жатқан құбылысқа әсер көрсетпей, оның қасиетін және жағдай әсерін үйренуге айтылады. Мысалы, денелердің Жерге түсуін үйренуде бұл құбылысты көп рет күзеткеннен соң заңдылық табылады. Бұл үшін тәжірибелер өткізіледі. Тәжірибелер өткізуде өлшеу жұмыстары алып барылады.

Тәжірибе деп, тексеріліп жатқан құбылыстарды қайтадан жаратып, айнымалы физикалық шамалар арасындағы заңды байланыстарды өлшеу негізінде жаратуға айтылады.

Өлшеу деп, берілген шаманы тиісті өлшеу бірліктер мен салыстыруға айтылады.

Гипотеза – бұл ғылыми шама болып, құбылысты түсіндіруді талап етеді және тексеру және дәлелдеуден кейін ғылыми теорияға айналады.

Сонымен, физикалық білімдердің көзі күзетулер және тәжірибе өткізулерден тұрады екен.

Физикалық заң деп, құбылыстарды сипаттайтын шамалар арасындағы мөлшерлі байланыстан тұратын өрнекке айтылады.

Әр қандай физикалық заңдар тәжірибеде тексеріледі, сол үшін физика тәжірибелерге негізделген пән деп айтылуы себепсіз емес. Тәжірибелер өткізілгенде физикалық шамалар өлшеу аспаптары жәрдемінде белгілі бірліктерде (мысалы, м, кг, Па, А, В және басқалар) анықталады. Міне осы өлшеу аспаптарын жарату да физика пәнінің міндетіне кіреді, өйткені бірер құбылыс үйреніліп жатқанда қайсы аспаптар және қандай сезгірліктегі аспаптар қажеттігін тәжірибе өткізуші алдыннан білуі қажет.

МАТЕРИАЛЫҚ НҮКТЕ ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚОЗҒАЛЫСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: механика, қозғалыс, механикалық қозғалыс, түзу сызықты қозғалыс, қисық сызықты қозғалыс, бір қалыпты қозғалыс, бір қалыпсыз қозғалыс, материялық нүкте, санақ жүйесі, траектория, жол, орын ауыстыру, ұзындық.

Механика - физиканың негізгі бөлімі болып, материя қозғалысының ең қарапайым түрін - механикалық қозғалысты, яғни денелердің кеңістіктегі уақыт бойынша өтетін қозғалысын зерттейтін бөлімі. Механикалық қозғалыстың кеңістікте және уақыт бойынша өтетіндігін кез

келген механика заңынан байқауға болады. Айқын түрде ме, әлде көмескі түрде ме, әйтеуір олардың барлығының құрамына кеңістіктік – уақыттық қатынастар – қашықтықтар мен уақыт аралықтары кіреді.

Механика – физиканың механикалық қозғалыстың заңдылықтарын және осы қозғалысты тудыратын немесе оны өзгертетін себептерді зерттейтін бөлімі.

Механикада нүкте және денелердің механикалық қозғалыстары, бұл қозғалыстарды келтіріп шығару себептері және нәтижелері үйреніледі.

Механикалық қозғалыстың кеңістікте және уақыт бойынша өтетіндігін кез келген механика заңынан байқауға болады. Айқын түрде ме, әлде көмескі түрде ме, әйтеуір олардың барлығының құрамына кеңістіктік-уақыттық қатынастар - қашықтықтар мен уақыт аралықтары кіреді.

Мұндай қозғалыс денелердің немесе дене бөліктерінің бір – біріне салыстырмалы орын ауыстыруынан тұрады.

Механиканың алдына негізгі екі мәселе қойылады:

- Түрліше қозғалыстарды зерттеу және алынған нәтижелерді қозғалыс заңдары - әрбір нақты жағдайларда қозғалыстың сипатын алдын ала айтып бере алатындай заңдар түрінде тұжырымдау.
- Жүйені түзетін денелердің арасындағы өзара әрекеттесулердің нақты түріне тәуелсіз түрде кез келген жүйеге тән болатын жалпы қасиеттерді табу.

Бірінші мәселені шешудің арқасында Ньютон мен Эйнштейн динамикалық заңдарды ашса, екінші мәселені шешу - энергия, импульс және импульс моменті тәрізді іргелі шамаларды табуға әкеледі.

Динамикалық заңдар мен энергияның, импульстің және импульс моментінің сақталу заңдары механиканың негізгі заңдары болып табылады.

Механика да, барлық табиғи пәндер сияқты, өзінің заңдарын тәжірибелерден алынған мәліметтерді жалпыластыру жолымен анықтайды. Денелердің орын ауыстыруын күзету тәжірибелері ең қарапайым

тәжірибелерден. Адамдар, күнделік тұрмысында және әр қандай өндіріс кезеңінде денелердің орын ауыстыруын көреді. Механиканың басқа табиғи пәндерден ертерек кең дамуына да себеп осы. Механиканың негізгі заңдарын Галилей (1564 – 1642) біраз ашып берген еді. Ньютон (1642 – 1727) оларды үзіл – кесіл сипаттап берді. Петербург Пәндер академиясында көп жыл жұмыс атқарған Леонард Эйлер (1707 – 1783) бірінші болып механиканың заңдарына аналитик көрініс берді және механиканың дамуында үлкен роль ойнады.

Механика сөзі грек тіліндегі “*mexanike*” сөзінен алынған болып, машина немесе құрылғы мағынасын білдіреді. Машина немесе құрылғының қозғалысы нәтижесінде бірер дене немесе нүкте бір жерден екінші жерге орын ауыстырылады. Мұнда нүкте және дене түсініктерін жұмсадық.

Берілген мәселеде тексеріліп жатқан дененің өлшемдерін және пішінін есепке алмау мүмкін болса, мұндай дене механикада материялық нүкте деп аталады. Мысалы, ұшақ немесе ракетаның қозғалысы уақытында бұларды нүкте деп қарау мүмкін, өйткені ұшақ және ракетаның өлшемдері, күзетушіден бұл ракета және ұшаққа дейін болған қашықтыққа салыстырмалы өте кіші. Дәл осындай Жерді да Күн айналасында қозғалысы уақытында нүкте деп қарау мүмкін және басқалар.

Көбіне, белгілі бір нақты дене, мәселенің қойылуына қарап, немесе материялық нүкте ретінде, немесе өлшемдері шекті болған дене ретінде қаралады. Мысалы, артиллерия снарядының кеңістікте ұшып баруы жайындағы мәселені тексергенімізде біз алдын снарядтың пішіні және өлшемдерін есепке алмай, оны материялық нүкте деп қарауымыз мүмкін. Бірақ бұл мәселеде ауаның кедергісі және ұшып бара жатқан снарядтың айналуы снарядтың қозғалуына қандай әсер етуін тексеру қажет болса, снарядты біз материялық нүкте деп қарай алмаймыз: енді біз оның пішінінің, өлшемдерін және басқаларды есепке алуымыз қажет болады. Сол сияқты, астрономдар да Жер шарының Күн айналасында өз орбитасы бойымен жасайтын қозғалысын тексергендерінде Жер шарын материялық нүкте деп

есептеулері мүмкін. Бір ғана денені бір жағдайларда материялық нүкте деп, екінші жағдайларда өлшемі бар дене деп қарастыруға тура келетіндігі анық.

Абсолют қатты дене немесе жай ғана қатты дене деп қозғалыс барысында кез келген екі нүктесінің ара қашықтықтары өзгеріссіз қалатын материялық нүктелер жүйесін атайды. *Мысалы*, тас, шыны, металл бөліктері, ағаш, болат, сым және басқалар. Реал денені абсолют қатты дене деп санау үшін оның қозғалыс кезіндегі деформациясы ескерілмейтіндей аз болу керек.

Әр қандай қозғалыс алдын айтқанымыздай белгілі уақытта және кеңістіктің белгілі жерінде болып өтеді (уақиға). Сол үшін кеңістік, уақыт және қозғалыс бір – біріне байланысты, сол байланыстылықты есепке алып механика бөлімін үшке ажыратады:

- Классикалық механика
- Релятивистик механика
- Квант механикасы

1. Классикалық механиканы Галилей – Ньютон механикасы деп айтады, Мұнда Ньютонның “кеңістік өзінде және уақыт өзінде, және де кеңістік уақыт бір – біріне байланысты емес” деген идеясына негізделінеді. Денелердің өлшемдері салыстырмалы үлкен (атом және молекулаларға салыстырғанда) және денелер салыстырмалы жай қозғалыс жасайтын күйде (жарықтың болмыстағы жылдамдығына салыстырғанда, яғни $c = 300\,000$ км/с ке салыстырғанда кіші) тәжірибе нәтижелері мен классикалық механика нәтижелері дәл келеді. Сол үшін көп техникалық мәселелерді шешуде классикалық механикадан пайдалану мүмкін. *Классикалық механиканы кіші жылдамдықпен қозғалыс жасайтын макро денелер механикасы деп те айтады.*

Тәжірибе бір санақ жүйесінен екінші санақ жүйесіне өткенде денелердің жылдамдықтары жарық жылдамдығымен салыстырғанда аз болатын кезде, сызықтық мөлшерлер мен уақыт аралықтары өзгеріссіз

қалады, яғни олар санақ жүйесін таңдап алуға тәуелсіз болады. Бұл Ньютонның кеңістік пен уақыттың абсолюттігі концепциясының негізінде жатыр. Денелердің дәл осы жағдайлардағы қозғалысын зерттейтін механиканы **классикалық механика** деп атайды.

Бірақ, “**классикалық механика**” деп аталған Галилей – Ньютон механикасы белгілі типтегі қозғалыстарды, яғни жылдамдықтары онша үлкен болмаған және өлшемдері адам денесінің өлшемдеріне жақын болған денелер (мысалы, атылған тас)тың қозғалысы немесе өзі өте үлкен болған денелер (планеталар)дың қозғалысын күзету нәтижесінде пайда болған. Классикалық механиканың шамалы характерге ие болуына себеп осы. Пәннің кейінгі дамуы нәтижесінде белгілі болуынша, егер тексеріліп жатқан денелер өте көп атомдардан тұратын болса (**макраскопиялық денелер**) және олардың жылдамдығы жарық жылдамдығына салыстырғанда өте кіші болса, классикалық механика шындықты өте анық көрсете алады.

Жылдамдығы жарық жылдамдығына жақын болса макроскопиялық денелердің қозғалыс заңдары Эйнштейн жағынан жаратылған **салыстырмалылық теориясы**нда баяндалады.

2. Дене қозғалысы жарықтың жылдамдығына жақын болса, бұл күйде Эйнштейн көрсеткеніндей кеңістік және уақыт бір – біріне байланысты болып қалады, мұндай күйдегі механика **релятивистік механика** болып саналады.

Жарық жылдамдығына жуық жылдамдықтарға өткенде денелердің қозғалысында елеулі өзгерістер байқалады: осы кезде сызықтық мөлшерлер мен уақыт аралықтары санақ жүйесін таңдауға тәуелді болып, олар түрліше санақ жүйелерінде түрліше мәндер қабылдайды. Осындай көзқарастарға сүйенетін механиканы **релятивистік механика** деп атайды.

3. Денелердің жылдамдықтары c ға жақын болып денелердің өлшемдері атом, молекула өлшемдеріне тең және мұнан да кіші болса, бұл түсінікке **квант механикасы** делінеді.

Квант механикасы (кіші өлшемдегі) микроденелер механикасы болып, мұнда релятивистик нәтиже (кейіншелік өтіледі) бөлшектердің (микроденелердің) жылдамдықтары үлкен болғандығы нәтижесінде анық көрінеді. ***Сол үшін релятивистик күйіндегі микробөлшектер механикасын квант механикасы деп қарау мүмкін.***

Классикалық механиканың заңдары кейбір атомдар және элементар бөлшектердің (микроскопиялық (электрон, протон және басқа элементар бөлшектер) денелердің қозғалысын тексеру үшін да жараксыз екендігін көрсетеді. Микроскопиялық денелердің қозғалыс заңдары ***квант механикасы*** деп аталатын пәнде баяндалады.

Механикалық құбылыстардың өте көп кездесіп тұруы олардың көзге анық көрініп тұратын болуы және кейбір физикалық құбылыстарды (мысалы, дыбысты) механикалық елестер жәрдемінде түсіндірудің өте қолай болуы осыған алып келді, мұнда ХІХ ғасырда көптеген физиктер бірер құбылысты ***түсіндіру*** үшін оның қандай механикалық құбылыстардан тұратындығын көрсету жетерлі, деп ойлайтын еді. Физиканың кейінгі дамуы, жарық және электр туралы теорияның дамуы көп құбылыстардың өзіне сай заңдылықтары болып, міне осы өз заңдарына мойынсұнуын, барлық құбылыстарды да қозғалыстың ең қарапайым түрі, яғни механикалық қозғалыстан тұрады деп түсіну мүмкін бола бермеуін көрсетті.

Жалпы алғанда механикада алдын қозғалыс түрлері, соң қозғалыс және оның келіп шығу себептері және белгілі қозғалыс күйінде нүкте, дене немесе механикалық жүйенің тепе – теңдікте болу шарттары жеке – жеке ***кинематика, динамика*** және ***статика*** бөлімдеріне ажыратып оқытылады.

Кинематикада нүкте қозғалысының сыртқы көрінісі, қозғалыс көрінісі, оның геометриясы үйреніледі. Мұнда қозғалысты келтіріп шығаратын себептер тексерілмейді.

Динамикада болса дене (нүкте) лер қозғалысы және олардың басқа денелер мен өзара әсерлері мен байланысты болған мәселелер үйреніледі.

Басқаша айтқанда, динамикада қозғалысты келтіріп шығаратын себептер тексеріледі.

Статикада болса денелердің тепе – теңдік шарттары үйреніледі.

Механика заңдары дененің кезкелген уақыттағы жағдайын анықтау мүмкіншілігін береді.

Қозғалысты уақыт пен кеңістіктегі дененің салыстырмалы орны арқылы сипаттауға болады. Міне, осы қозғалыс заңдылықтарын қозғалысты туғызатын немесе өзгертетін себептеріне кеңіл бөлмей зерттейтін механика саласы **кинематика** деп аталады.

Кинематикада қозғалыс зерттеледі, бірақ осы қозғалысты тудырған себептер қарастырылмайды.

Кинематика грекше **kinematos** – қозғалыс деген сөзден шыққан. Кинематика қозғалысты геометриялық тұрғыдан қарастырады.

Бұл ерекше “қозғалыс геометриясы”. Ол дененің қалай қозғалатынын қарастырады да, дененің басқа түрде емес, неге дәл осылай қозғалатынын қарастырмайды.

Кинематика бөлімінде қозғалыстың математикалық сипаттамасы, басқаша айтқанда механикалық қозғалысты анықтайтын шамалар арасындағы байланыстар қарастырылады.

Кинематиканың қарастыратын негізгі мәселелері мыналар:

- дененің қозғалысын математикалық формулалар арқылы өрнектеп, графиктер немесе кестелер арқылы кескіндеу;
- осы қозғалысты сипаттайтын кинематикалық шамаларды анықтау.

Әр қандай дене немесе нүкте әрдайым қозғалыста (атом немесе молекулаларды нүкте деп қаралса, бұлар әрдайым қозғалыста болады) болады. Бұл қозғалыстардың ең қарапайымы **механикалық қозғалыс** болады.

Механикалық қозғалыс – денелердің немесе олардың бөліктерінің

Дененің өз орнынан қозғалмайтын басқа денелермен салыстырғандағы орнынан ығысуы, орын ауыстырулары механикалық қозғалыс деп аталады.

Нүкте немесе денені құрайтын кейбір бөліктерінің айналасындағы басқа нүктелер, денелер немесе басқа бөліктеріне қатынасты кеңістіктегі жағдайының өзгеруіне механикалық қозғалыс деп айтылады (механикалық қозғалыс барлық жерде пайда болады). Мысалы, адамның жерге қатынасты қозғалысы, велосипедшінің, поезддің, ұшқыштың, масаның, оқ және снарядтың қозғалыстары механикалық қозғалыс болып саналады (2.1 - сурет).



2.1 - сурет

Қозғалысты сипаттайтын шамаларға мыналар жатады:

1. Қозғалыс траекториясы;
2. Нүктенің орын ауыстыруы;
3. Нүктенің жүріп өткен жолы;
4. Қозғалыстағы нүктенің координаттары;
5. Дененің жылдамдығы;
6. Дененің үдеуі.

Адам немесе жанды организмдердің кейбір бөліктерін, жүректі, қанның, қол және аяқтардың денеге қатынасты қозғалысы, самал және судың қозғалысы, жаңбыр тамшыларының түсуі, бұлыттардың қозғалысы, Күннің көрінетін қозғалысы және басқа осыған ұқсас қозғалыстары да механикалық қозғалыс болып есептелінеді.

Біз күнделікті тұрмысымызда толып жатқан қозғалыс түрлерін кездестіреміз. Оқушының күнделікті мектеп пен үйінің арасында жүруінің өзінен бастап автомобильдердің, трамвайлардың, троллейбустардың және тағы басқа да қозғалыстарды көріп жүрміз.

Механикалық қозғалыс әртүрлі және біраз күрделі сипатта болуы мүмкін. Сол үшін да механика нақты қозғалыстарды жай, қарапайым

қозғалыстарға ажыратып тексереді. Қарапайым қозғалыстар үйренілгеннен кейін, күрделі қозғалыстарға өтіледі. Ең қарапайым механикалық қозғалыс – материялық нүктенің қозғалысы болып саналады.

Берілген сипаттамаға орай, механикалық қозғалыс жай орын ауыстырудан басқа нәрсе емес. Мұндай орын ауыстырулар болса, тек қандай да бір басқа материялық денелерге *салыстырмалы* жүзеге асуы мүмкін. Осы себепті бірер дененің қозғалысын сипаттау мүмкіншілігіне ие болу үшін, алдын бұл дененің орын ауыстыруын қай денеге (немесе бір – біріне салыстырмалы орнықты болған денелер тобына) салыстырмалы есептеу жайында шарттасып алуымыз қажет. Бұл дене (немесе денелер тобы) санақ жүйесін құрайды. Сонымен, әр бір қозғалыс бірер анық санақ жүйесіне қатынасты қаралуы қажет. Түрлі күйлерде санақ жүйесі түрлі таңдап алынуы мүмкін, бірақ санақ жүйесін тек анық таңдап алғандағана белгілі бір қозғалысты анық сипаттай аламыз. Мысалы, бірер денені лақтырып, оның үйге салыстырмалы қозғалысын күзетуіміз мүмкін; бұл күйде үйдің қабырғалары, едені және басқа бөліктері санақ жүйесін құрайды. Бірақ дәл осы дененің қозғалысын Күнге немесе белгілі бір жұлдызға қатынасты тексеруіміз да мүмкін. Тек, бұл дененің қозғалысын неге қатынасты тексеруіміз жайлы алдыннан анық келісіп алуымыз қажет.

Қозғалысты кескіндеу үшін практикада санақ жүйесімен бірер координаталар жүйесін (мысалы, әдеттегі түзу сызықты түзу бұрышты координаталар жүйесін) байланыстыруға туры келеді. Қозғалыс үйге салыстырмалы тексеріліп жатқанда координаталар басын, мысалы, үйдің бұрыштарынан біріне алу және осьтерін қабырғалар бойымен бағыттау мүмкін немесе координаталар басын Күнде алып, осьтерін белгілі жұлдыздарға қарай бағыттау мүмкін.

Осы қозғалыстарды қалай анықтай аламыз? Біріншіден, қозғалыстағы денелердің бәрі белгілі бір бағытта қозғалады (белгілі бір бағыт бойынша жылжиды). Екіншіден, олар қозғалыс нәтижесінде бір орыннан екінші орынға жылжып, орындарын ауыстырады. Сөйтіп, кез келген қозғалған дене міндетті

түрде белгілі бағытпен қозғалады екен. Бұл қандай да болмасын қозғалған дененің міндетті түрде қозғалу бағыты бар болады деген сөз. Сонымен, қозғалысқа түсу нәтижесінде дене бір орыннан екінші орынға қарай жылжиды. Ал жылжу тек белгілі бір бағытта ғана болады. Әрі дене бір орыннан екінші орынға жылжығанда қозғалыс үздіксіз жалғаса береді. Жалпы, жылжу - бағытталған шама деудің орнына жылжу-векторлық шама деп айтамыз.

Жылжу - физикалық шама. Жылжудың бағыты бар болғандықтан, қозғалыстың да бағыты бар болады. Дене қозғалысқа түсу нәтижесінде бір орыннан екінші орынға жылжиды делік. Ал осы дененің орнынан қозғалғанын қалай анықтауға болады? Біз пойыздың не автобустың ішінде отырып, оның қайда келгенін терезеден көрінген үйлерге, ағаштарға, мұржаларға және тағы басқа заттарға қарап анықтаймыз. Ұшақпен ұшқан оқушылар болса, олар ұшақ белгілі, бір биіктікке көтерілген соң ұшақтың ішінде отырған адамдарға оның не ұшып бара жатқаны, не бір орында тұрғаны белгісіз болатындай жағдайға ұшырайтынын біледі. Өйткені бірқалыпты жылдамдықпен ұшып келе жатқан ұшақтың ішінде отырып, оның терезесінен көрінетін, қалай қозғалып бара жатқанымызды анықтауға көмектесетіндей ағаш та, жаға да, үй де жоқ. Осы айтылғандардан шығатын қорытынды мынадай болуға тиіс: қозғалған дененің жылжып бара жатқанын қозғалысқа түспеген басқа денелермен салыстыру арқылы анықтауға болады.

Сонымен, біздің тұрмыс-тіршілігімізде кездестіретін қозғалыстардың басым көпшілігі механикалық қозғалыс болды. Мысалы, адамның жүруі, автомобильдің зымырауы, пойыздың жүйіткуі, кеменің жүзуі және тағы басқа қозғалыстардың бәрі де механикалық қозғалыс болып есептеледі.

Мысалы, қозғалыстағы автобуста отырған адам автобустың салыстырғанда тыныш күйде, жерде тұрған күзетушіге салыстырғанда қозғалыста болады. Денелердің қозғалысы да, тыныш күйі де салыстырмалы болып

есептеледі. Яғни, дене бір уақыттың өзінде қозғалыста да және тыныш күйде да болуы мүмкін.

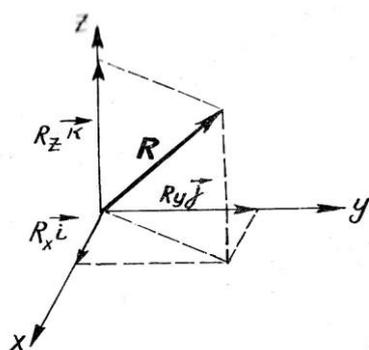
Қозғалыс барлық уақыт басқа бірер денеге немесе нүктеге қатынасты алынады. Міне сол үшін да қозғалыс *салыстырмалы. Абсолют тыныштық және абсолют қозғалыс болмайды.* Мысалы, біз тыныш күйде отырған болсақ, біз орындыққа қатынасты тыныш боламыз, бірақ орындық және біз Жердің осі айналасында және Жермен бірге Күн айналасында қозғалыс жасаймыз – ғой! Сол үшін әр қандай күй (тыныш немесе қозғалыс күйі) салыстырмалы есептеледі. Бұл әлем сондай тыныш немесе салыстырмалы қозғалыс күйінде. Табиғаттағы барлық құбылыстар және заңдар салыстырмалы екендігін Аристотель, Ибн Сино, Беруний, Галилео – Галилей, Эйнштейн және басқа көп ғалымдардың ғылыми жұмыстарында дәлелдермен келтірілген.

Қозғалыс деген ұғымның салыстырмалы ұғым екені жоғарыдағы анықтамадан-ақ көрініп тұр. Мысалы, спорт залындағы баскетбол ойынын қызықтаушылардың ойыншылардың қолындағы доптың торлы сақинаға дәл түсуін мұқият қадағалап отыратыны белгілі. Басқаша айтқанда, доптың баскетбол сақинасымен салыстырғандағы уақыт өткен сайын кеңістіктегі орнының өзгеруін қадағалап отырады. Яғни, доп сақинамен салыстырғанда қозғалып тұр. Міне, осы допты қозғалыстағы дене деп, ал сақинаны санақ жүйесі деп атайды, немесе керісінше допты санақ жүйесі деп қарастырсақ, онда сақина доппен салыстырғанда қозғалысқа түсіп тұр деген тұжырым да дұрыс. Бір дененің өзі әр түрлі санақ жүйесімен салыстырғанда түрлі қозғалыста болуы мүмкін екенін, тіпті санақ жүйесіне қарағанда қозғалып, ал екінші санақ жүйесіне қарағанда тыныштық қалыпта қалуы да мүмкін екенін дәлелдеп тұр. Қозғалыстың салыстырмалылығының да мағынасы осында. Кез келген уақытта дененің кеңістіктегі орнын радиус-вектор арқылы көрсетуге болады. Радиус-вектор деп санақ жүйесінен дененің тұрған орнына дейін тартылған векторды айтады. Радиус-вектор санақ жүйесін дененің кез келген уақыттағы кеңістіктегі орнымен байланыстырып тұр. Ал векторды

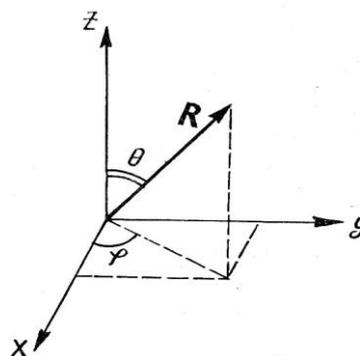
анықтау үшін оның бағытын және сан мәнін (ұзындығын) анықтаса жеткілікті екені айтылған. Радиус-вектор әр түрде берілуі мүмкін. Соның бірі — санақ жүйесінде қиылысатын өзара перпендикуляр координат осьтеріндегі радиус вектордың құраушылары арқылы берілген түрі. Бұл жағдайда дененің кеңістіктегі орны тік бұрышты координат жүйесі арқылы берілген дейді (2.2 (а) – сурет), яғни

$$\vec{R} = R_x \vec{i} + R_y \vec{j} + R_z \vec{k} \quad (2.1)$$

Дененің кеңістіктегі орнын басқа да координаттық жүйелер арқылы, мысалы — полярлық координаттар жүйесі арқылы беруге болады (2.2 (б) - сурет).



2.2 (а) – сурет



2.2 (б) - сурет

Дененің бір мезгілдегі кеңістіктегі орнын анықтауға қажетті радиус-вектор біреу ғана болу үшін, ол дененің көлемі өте кіші болуы керек, олай болмаған жағдайда дененің әр нүктесінің орнын әр түрлі радиус-вектор арқылы көрсетуге тура келер еді де, дененің кеңістіктегі орны деген ұғым бір ізді болмай қалар еді. Сондықтан дененің көлемі қаншалықты кіші болуы керек деген мәселені шешіп алу керек. Егер дененің өлшемдері (диаметрі, ұзындығы, ені, тағы басқа) радиус-вектордың ұзындығынан анағұрлым кіші болса, ол денені **материялық нүкте** деп қарастыруға болады, яғни оның кеңістіктегі орнын анықтауға қажетті радиус-вектордың саны біреу ғана болар еді. Міне, осы шарт дене көлемінің қаншалықты кіші болуын анықтап беретін шарт. Мысалы, Жердің диаметрі $12,8 \cdot 10^3$ км, ал оның Күннен қашықтығы $1,5 \cdot 10^8$ км. Санақ жүйесін Күн деп қарастырсақ, Жерді материялық нүкте деп санауға болады.

Дененің кеңістіктегі орны басқа бір денелерге қатысты ғана анықталады. Дененің қозғалысына, яғни оның кеңістіктегі орнының уақыт бойынша өзгеруіне қатысты да осыны айтуға болады. Қарастырылғалы отырған дененің орнын анықтауға мүмкіндік беретін денені (немесе бір-бірлеріне қатысты тыныштықтағы денелер жүйесін) *санақ денесі* деп атайды.

Анығына келетін болсақ, дененің қозғалысын сипаттау үшін санақ денесімен қайсы бір координата жүйесін, мәселен, декарт координата жүйесін байланыстырады. Дененің координаталары оның кеңістіктегі орнын анықтауға мүмкіндік береді. Дененің қозғалысы кеңістікте ғана емес, сонымен қатар уақыт бойынша да өтетін болғандықтан, қозғалысты сипаттау үшін уақытқа да санақ жүргізе білуіміз керек. Мұны сағаттың көмегімен іске асырады.

Санақ денелері жиынтығы немесе олармен байланысқан координаталар жүйесі және өзара синхронды сағаттар *санақ жүйесін* түзеді. Санақ жүйесі түсінігі физикада түпкілікті түсініктер қатарына жатады. Қашықтықтар мен уақыт аралықтарының көмегімен қозғалыстарды кеңістіктік-уақыттық сипаттау тек белгілі санақ жүйесі таңдалып алынғаннан кейін ғана мүмкін болады.

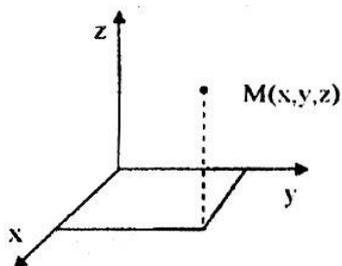
Кеңістік пен уақыттың өздері де басқа объектілер тәрізді физикалық объектілер болып табылады, бірақ басқа объектілерге қарағанда маңыздырақ және қажеттірек. Кеңістік пен уақыттың қасиеттерін зерттеу үшін, олардың өздерінде өтіп жатқан денелердің қозғалыстарын бақылау керек. Денелердің қозғалыс сипатын зерттей отырып, біз сол арқылы кеңістік пен уақыттың қасиеттерін де танитын боламыз.

Күнделікті өмірде кездесетін қозғалыстар соншалықты күрделі болады, сондықтан оларды қарастырғанда аса қажет емес-ау деген жерлеріне назар аудармай, жеңілдетуге тура келеді. Осы мақсатта кейбір мәселелерді шешкенде қарастырылып отырған мәселелерге сай келетін түсініктерді пайдаланады (абстракциялар, идеализациялар). Бұл қарастырылып отырған мәселенің нақты сипатына, алмақ болып отырған нәтиженің дәлдігіне және

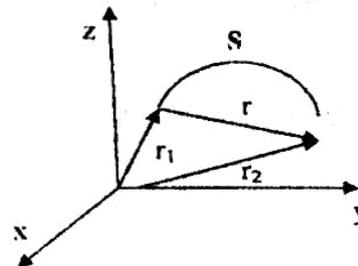
тағы басқаларға тәуелді болады. Осындай түсініктердің арасында материялық нүкте және абсолют қатты дене түсініктері үлкен рөл атқарады.

Материялық нүктенің жағдайы қандай да орнықты материялық денеге қатынасты анықталынады. Әдетте бұл дене *санақ басы* немесе *санақ денесі* делінеді.

Санақ денесі мен байланысқан координаталар жүйесі және уақытты өлшейтін аспап бірге санақ жүйесі делінеді. Санақ жүйесі: 1) санақ денесі; 2) координаталар жүйесі; 3) өлшеу масштабы; 4) координаталар басы (есеп алу үшін); 5) уақытты өлшеу әдісі (сағат); 6) уақытты өлшеу басы сияқты элементтер жиындысынан тұрады. Көбіне, санақ жүйесі ретінде Декарт координаталар жүйесі алынады. Материялық нүктенің жағдайы оның координаталары (X, Y, Z) пен анықталынады (2.3 (а) – сурет). Материялық нүктенің жағдайын r радиус вектор мен да анықтау мүмкін (2.3 (б) – сурет).



2.3 (а) – сурет



2.3 (б) – сурет

Механикалық қозғалысты анықтауда жол, траектория деген ұғымдар кездеседі. Бұл ұғымдарды міндетті түрде ашып, айыра білу қажет. Алдымен жол ұғымын алайық. Қазақша жол деген сөздің физикаға, оның ішінде механикаға қатысты екі мағынасы бар. Біз «жол» деп автомобильдің, арбаның, не басқа бір көлік түрінің жүруіне дайын даңғырап жатқан кәдімгі жолды айтамыз. Мысалы, Науайы мен Кенимех қалашығының арасында асфальт төселген екі айырықты жол бар. Оны Науайы - Арабсарай жолы дейміз. Дәл сол сияқты, екі ауылды қосатын арба жолы бар. Немесе екі үйді өзара қосатын, жаяу адам жүретін, «жалғызаяқ» жол бар. Міне, осы

мысалдардың бәрінде біз дайын тұрған, жасалынған, жүруге арналған жол туралы айтып отырмыз.

Енді жолдың екінші мағынасы бар. Жаңа жауған қар үстінде шанамен не шаңғымен сырғанап жол саламыз. Яғни жас қардың үстімен жүріп-шананың, шаңғының, топырақты жермен жүргенде арбаның, аттың, трактордың ізін түсіріп, жол саламыз. Бұл жағдайдағы жол - ол шананың, шаңғының, арбаның, трактордың және тағы басқа жүріп өткен жолы. Физикадағы жол үшін де осы екінші мағынадағы жол ұғымын қолданады. Яғни біз бір дененің жолы дегенде оның жүріп өткен жолын (ізін) айтамыз.

Қозғалыс траекториясының бойымен дененің (материялық нүктенің) жүріп өткен ара қашықтығын **жол** деп атайды.

Жол ұзын (ағылшын тілінде – **long**) немесе қысқа (ағылшын тілінде - **short**) болуы мүмкіндігінен ағылшын сөздерінің бас әріптері *l* немесе *S* әріптерімен белгіленеді.

Дененің бастапқы және соңғы орнын қосатын бағытталған кесіндіні **орын ауыстыру** деп атайды (жоғарыдағы 2.3,б – сурет). Ол дененің бастапқы қозғалыс нүктесінен соңғы нүктесіне бағытталады.

Жол және орын ауыстыру - әр түрлі екі ұғым. Жол - скаляр шама, ал орын ауыстыру - векторлық шама.

Әдетте, жол орын ауыстыру модулінен (ол жоғарыдағы б - суретте жақсы көрсетілген) үлкен, тек қана түзу сызықты қозғалыс жағдайында ғана жол орын ауыстыру модуліне тең болады.

Векторлардың $\vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \Delta\vec{r}$ айырымы **орын ауыстыру** деп аталады.

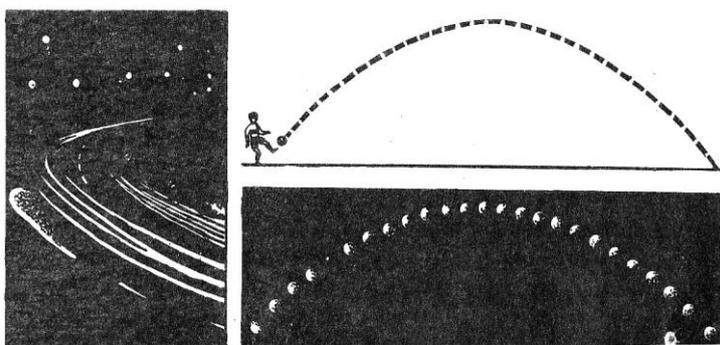
Бірақ кейде біз дененің жүріп өтуі тиіс жолын алдын ала біліп, оны қарастыруымызға тура келеді. Мысалы, біз снарядтың, ракетаның, ғарыш кемелерінің ұшу жолдарын алдын ала есептеп біліп, соның негізінде оларды ұшырамыз. Тіпті өзімізге таныс ұшақтардың да алдын ала белгілі «әуе жолдарымен» ұшатынын білеміз. Бұл ғарыш кемесінің, ұшақтың және т. б. жолы шын мәнісіндегі аспанға салынған асфальт немесе тас жолдар емес қой. Ол сол ұшақтың немесе ғарыш кемесінің жүріп өтуі тиіс немесе жүріп

өткен ізі- қисық сызық болады. Міне, қозғалған дененің осындай жүріп өтуі тиіс жолын **траектория** деп атайды.

Қозғалып бара жатқан дененің кеңістікте қалдырған ізіне **қозғалыс траекториясы** делінеді.

Материялық нүктенің кеңістіктегі жүріп өткен ізін көрсететін үзіліссіз сызықты **траектория** деп атайды.

Қозғалып бара жатқан дененің (ол денені материялық нүкте деп қарастырған жағдайда) таңдап алған санақ жүйесіне қатысты жасаған үздіксіз сызығын **траектория** деп атайды.

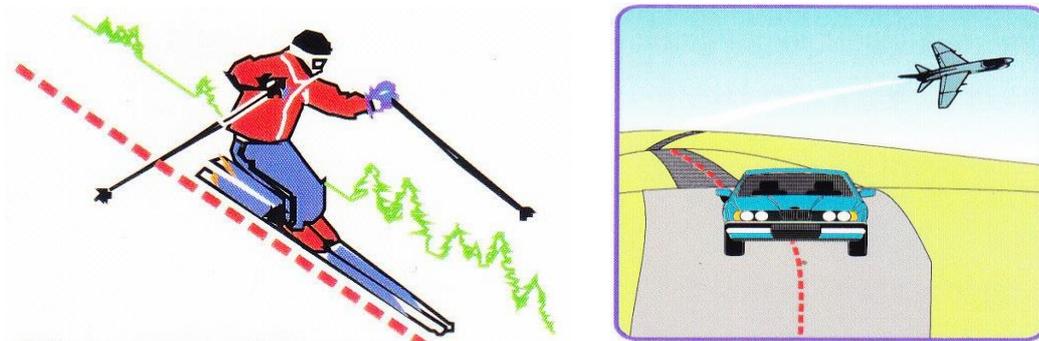


2.4 (а) – сурет



2.4 (б) – сурет

Жоғарыдағы 2.4 (а) - суретте лақтырылған доптың қозғалыс траекториясы үзік сызықтармен кескінделген. Лақтырылған доптың траекториясы туралы стробоскопиялық фототүсірімнен қарап білуге болады, ал түнда жүрген автомобильдің траекториясы туралы жарық түсіп тұрған ылғал асфальт жолдағы ізіне қарап айтуға болады. Төмендегі суреттерде шаңғышының, ұшақтың, автомобилдің қозғалыс траекториялары келтірілген (2.5 - сурет).



2.5 - сурет

Траектория дене қозғалысының басында – ақ белгілі болуы мүмкін. Мысалы, теміржол төсемі поездар қозғалысының қандай болатынын анықтап тұр. Кейде дене қозғалысының траекториясын басқа мәліметтерге сүйеніп те табуға болады. Мысалы, Жердің жасанды серігінің Күн жүйесінің планеталарына жіберілетін ғарыш станцияларының қозғалыс траекториясы алдын ала есептелінеді.

Траекториясына байланысты қозғалыстар түзу сызықты (мысалы, Галилей тәжірибесіндегі мұнарадан құлап түскен шарлар) және қисық сызықты (мысалы, лақтырылған доп) болып бөлінеді.

Траекториясы түзу сызықтан тұратын қозғалыс **түзу сызықты қозғалыс** деп аталады.

Траекториясы қисық сызықтан тұратын қозғалыс **қисық сызықты қозғалыс** деп аталады.

Енді траектория мен жолды өзара былай байланыстыруға болады. **Жол** - траекторияның дене жүріп өткен бөлігі. Сонымен, жүрілген жол-физикалық шама. Кез келген физикалық шаманың өзін сипаттайтын өлшем бірліктері болады. Жол - траекторияның, яғни сызықтың бөлігі болғандықтан, ол ұзындық бірліктерімен өлшенеді. Ал ұзындықтың өлшем бірліктері сантиметр, метр, километр екенін оқушылар біледі. Ендеше физикалық шама-жолдың өлшем бірліктері ретінде сантиметр, метр, километр алынады.

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м}; \quad 1 \text{ м} = 10 \text{ дм}; \quad 1 \text{ дм} = 10 \text{ см}; \quad 1 \text{ см} = 10 \text{ мм}.$$

Ұзындықтың төмендегі туынды бірліктері бар:

$$1 \text{ верста} = 1,0668 \text{ км}$$

$$1 \text{ ярд} = 91,5 \text{ см}$$

$$1 \text{ аршин} = 71,120 \text{ см}$$

$$1 \text{ фут} = 30,48 \text{ см}$$

$$1 \text{ дюйм} = 25,4 \text{ мм}$$

$$1 \text{ линия} = 2,54 \text{ мм}$$

$$1 \text{ теңіз милі} = 1852 \text{ м}$$

1 астрономик ұзындық бірлігі = $1,49598 \cdot 10^{11}$ м = 150 млн. км. (Күн және Жер арасындағы қашықтық)

1 жарық жылы = $9,4605 \cdot 10^{15}$ м (жарықтың 1 жылда басып өткен қашықтығы)

1 парсек = $3,0857 \cdot 10^{16}$ м = 3,26 жарық жылы

1 ангестрем = 10^{-10} м

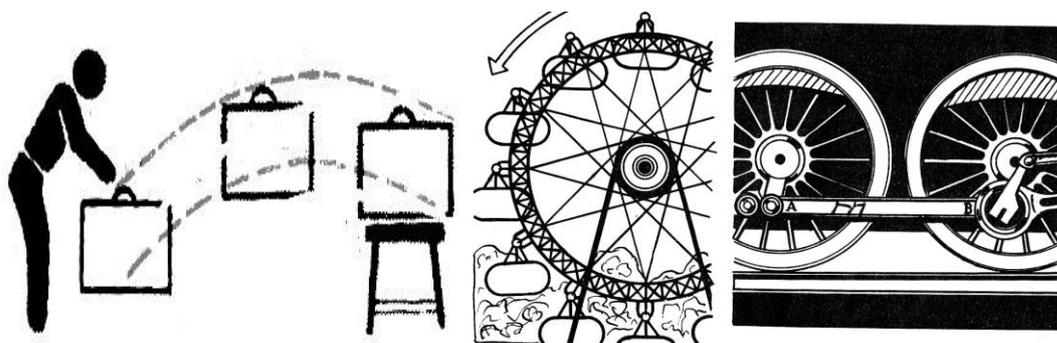
Дене кейбір денеге қатысты тыныштықта қозғалыссыз болғанмен, басқа бір денеге қатысты міндетті түрде орын ауыстырады. ***Абсолют қозғалмайтын дененің болуы мүмкін емес, ол болмайды да.***

Бір қалыпты қозғалыс деп, тең уақыттар аралығында тең қашықтықтар өтілетін қозғалысқа айтылады.

Бір қалыпсыз қозғалыс деп, тең уақыт аралығында әр түрлі қашықтықтар өтілетін қозғалысқа айтылады.

Дененің кез келген екі нүктесін қосатын түзу сызық орын ауыстыра келіп, өзінің бастапқы бағытына параллель болып қалатындай қозғалуы мүмкін. Қатты дененің осындай қозғалысын ***ілгерілемелі қозғалыс*** деп атайды.

Барлық нүктелері бірдей қозғалатын дененің қозғалысы ілгерілемелі қозғалыс деп аталады. Ілгерілемелі қозғалыс кезінде дененің өн бойымен ойша жүргізілген түзу өзіне - өзі параллель болып қала береді. Былай айтуға болады: егер дене бір мезгілде айналмаса және тіпті бұрылмаса, онда ол ілгерілемелі қозғалады. Төмендегі суреттер (2.6-сурет): тұтқасынан ұстап көтеріп, тұғырға қойылған чемоданның қозғалысы, аттракциондық шолу доңғалағы кабинасының қозғалысы, тепловоздың көршілес екі дөңгелегін қосатын АВ темір штанганың қозғалысы ілгерілемелі қозғалысқа жатады.



2.6- сурет

Ілгерілемелі қозғалыс кезінде дененің барлық нүктелері бірдей траектория сызады және бірдей уақыт ішінде бірдей орын ауыстырады. Сондықтан дененің ілгерілемелі қозғалысын материялық нүктенің қозғалысы деп қарастыруға болады.

ВЕКТОРЛАР. ВЕКТОРЛАРДЫҢ КООРДИНАТАЛАРДАҒЫ ПРОЕКЦИЯЛАРЫ

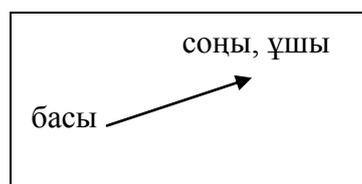
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: вектор, тең вектор, вектордың модулі, Үшбұрыш әдіс, параллелограмм әдіс, векторлар айырмасы, проекция.

Бағытқа ие болған кесінді **вектор** деп аталады. Векторлар бағытқа да сан мәнге де ие болады.

Векторлардың сан мәні, оның **модулі** деп айтылады.

Вектор модулі скаляр шама және барлық уақыт оң болады: $A = |A| = A$
вектор модулі.

Тең векторлар бағытымен сан мәні бойынша тең болады.



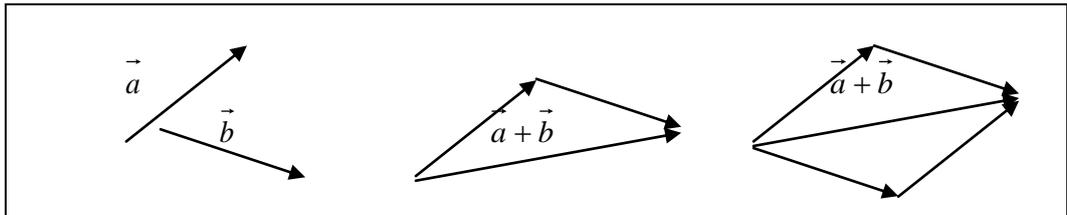
2.7-сурет

Үшбұрыш әдісі: Бір вектордың ұшына екінші вектордың басын көшіреміз. Сонда бірінші вектордың басынан екінші вектордың ұшына қарап бағытталған вектор осы екі векторлар жыйындысы болады.

$$|\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{|\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 + 2|\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cos \alpha} \quad (2.2)$$

Параллелограмм әдісі: векторларды параллел көшіріп, бастары бір нүктеге қойылады және соң бірінші вектордың ұшына екінші вектордың басы, екінші вектордың ұшына екінші вектордың басы параллел көшіріледі.

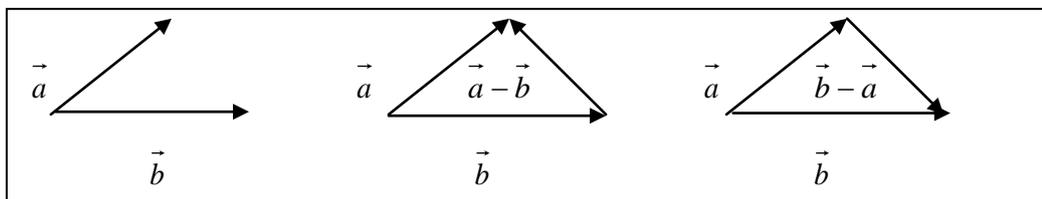
Екі вектор бастары тұрған нүктеден екі вектор ұштары тұрған нүктеге өткізілген вектор осы векторлар жыйындысы болады.



2.8-сурет

Векторлар айырмасын табу үшін екі векторлардың басы бір нүктеге көшіріледі, сонда екі вектор ұшын тұтастыратын вектор айырма вектор болады, оның ұшы кемеюшіге бағытталған болады.

$$|\vec{a} - \vec{b}| = \sqrt{|\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2|\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cos \alpha} \quad (2.3)$$



2.9-сурет

Біреу вектор k санға көбейгенде:

Егер $k > 0$ болса, оның модулі k ға көбейтіліп бағыты өзгермейді.

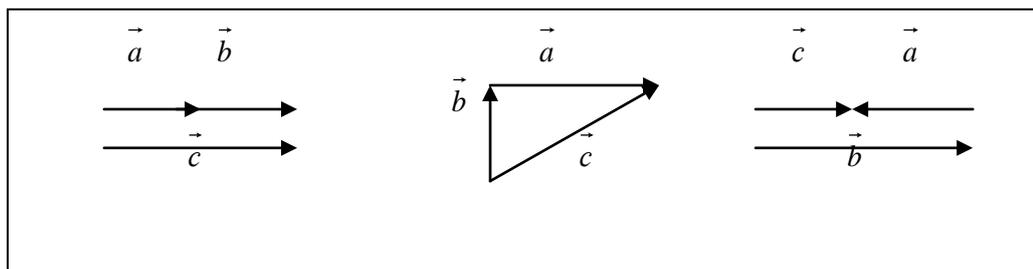
Егер $k < 0$ болса, оның модулі k ға көбейтіліп бағыты кері жаққа өзгереді.

3 та жеке жағдай бар:

1. $\alpha = 0^\circ$ (яғни, бір жаққа бағытталған болса), $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$

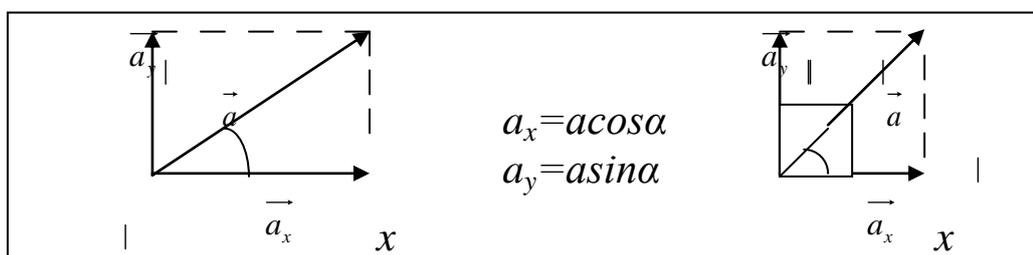
2. $\alpha = 90^\circ$ (яғни, тік (перпендикуляр) бағытталған болса), $c^2 = a^2 + b^2$

3. $\alpha = 180^\circ$ (яғни, қарама-қарсы бағытталған болса), $\vec{c} = \vec{b} - \vec{a}$



2.10-сурет

Әр қандай векторды құраушыларға ажырату мүмкін. Амалда векторларды бір-біріне тік (перпендикуляр) болған жағдайлары көбірек кездеседі.



2.11-сурет

Бұл жағдайдағы векторларды құраушылары векторлардың проекциялары деп да аталады. Егер проекция ось бағыты мен бірдей болса проекция оң, ось бағытына кері болса проекция теріс болады. Егер проекция оське тік (перпендикуляр) болса, проекциясы нөлге тең болады.

ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ БІР ҚАЛЫПТЫ ҚОЗҒАЛЫС

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: бірқалыпты қозғалыс, тұрақты жылдамдық, қозғалыс жылдамдығы, қозғалыс заңы, векторлық, координаталық, доғалық, қозғалыс графигі, жол графигі, жылдамдық графигі, сызықты функциясы.

Нүктенің ең қарапайым қозғалысы – оның түзу сызық бойымен қозғалысы болып есептелінеді. Нүкте уақыт өтуімен түзу сызық бойымен ығысады, берілген сызықтағы бірер анық нүктеден ұзақтасады немесе оған жақындасады. Бұл күйде түзу сызық санақ жүйесі ретінде қабылданып, нүктенің қозғалысы оған салыстырмалы қаралады.

Түзу сызықты қозғалыстың ең қарапайым түрлері *бірқалыпты, бірқалыпты үдемелі* және *бірқалыпты баяу қозғалыстар* болып табылады.

Біз көріп жүрген денелердің, көлік түрлерінің қозғалуы, жол жүруі әр түрлі болуы мүмкін. Бір денелер, мысалы атарба бірқалыпты қозғалып отыруы мүмкін. Ал автомобиль ауылдың ішінде ақырын жүріп келе жатып, одан шыққан соң бірте-бірте тезірек жүріп кетуі, яғни автомобиль бірқалыпты қозғалмауы мүмкін. Олай болса, қозғалыс *екі түрлі* болады.

Егер дене уақыттың бірдей аралықтарында бірдей жол жүрсе, онда мұндай қозғалысты *бірқалыпты қозғалыс* дейді. Мысалы, тегіс жердегі арықпен ағып жатқан су бірқалыпты қозғалыстың мысалы бола алады. Сағат тілінің айналуы да бірқалыпты қозғалыс. Пойыз ұзақ жолға шыққанда да бірқалыпты қозғалуы мүмкін. Ал ол қалаға жақындағанда қозғалысын бәсеңдетуі тиіс. Сөйтіп, пойыз бүкіл жолының бойында біраз бірқалыпты қозғалып келіп, аяғында қозғалысын баяулатып, бірқалыпсыз қозғалысқа түсуі мүмкін.

Қысқасы, қозғалған дене не бірқалыпты қозғалуы мүмкін немесе әрі бірқалыпты, әрі бірқалыпсыз қозғалуы да мүмкін. Бұл екі түрлі қозғалыстың бірқалыпты қозғалысы қарапайым болып есептеледі. Сондықтан да кез келген бірқалыпсыз қозғалысты өте тез арада өтетін әр түрлі шамадағы бірқалыпты қозғалыстардың жиыны түрінде қарастыруға болады. Сонымен бірқалыпты қозғалыс механикалық қозғалыстардың ішіндегі ең қарапайым түрі.

Бірқалыпты қозғалыстардың басты ерекшелігі - бұл қозғалыс түрінің бір қалыппен өтуі. Яғни мұндай дене қозғалысының не артып кетпей, не бәсеңдемей, бірқалыпты мөлшерде болып отыруы. Екінші сөзбен айтқанда, бірқалыпты қозғалыстың қозғалу шамасы үнемі тұрақты болады. Әр түрлі денелер бірқалыпты қозғала отырып, белгілі бір уақыт ішінде әр түрлі жол жүреді. Мысалы, жаяу адам бір сағат ішінде 6-км жол жүретін болса, атты кісі бір сағат ішінде 18 км, жүк машинасы 60 км, ал жеңіл машина 100 км жол жүреді. Мысалда келтірілген денелердің барлығы да бірқалыпты қозғалады. Бірақ олар бірдей уақыт бірлігінде, мысалы бір сағат ішінде, әр

түрлі жол жүреді. Оның себебі неде? Осы денелердің бәрі де бірқалыпты қозғалады, бірақ олардың қозғалу жылдамдықтары өзара бірдей емес.

Сонымен, әрбір бірқалыпты қозғалған денелердің өздерінің әрқайсысының өзіндік қозғалу жылдамдықтары бар. Мысалы, бір жерден бір кезде жаяу кісі, атты кісі және машинаға мінген адам бір бағытта жолға шықса, машинаға мінген кісі бәрінен озып кетеді. Атты кісі жаяу кісіден озады. Өйткені машинаның жылдамдығы бәрінен көп. Бірақ бұл қозғалған үш дененің (жаяу, атты және машинаға мінген кісілер) бәрі де бірқалыпты қозғалады. Яғни, бұл бірқалыпты қозғалған үш дененің қозғалу жылдамдықтары өзара салыстырғанда әр түрлі болғанымен, өздері үшін тұрақты болып қалады.

Бірқалыпты қозғалған дененің жылдамдығы әрқашанда тұрақты болады. Бірқалыпты қозғалған денелердің немесе жалпы бірқалыпты қозғалыс атаулының негізгі ерекшелігі - оның жылдамдығының тұрақты шама болуы. Бүкіл жүрілген жолының бойында жылдамдық өзгермей тұрақты болып қалатындықтан, мұндай қозғалыстағы дененің жылдамдығы **тұрақты жылдамдық** деп, ал қозғалыстың өзі **бірқалыпты қозғалыс** деп аталады.

Егер бірер дене қозғалысы барысында бірдей жылдамдықпен қозғалса немесе кез келген бірдей уақыт аралығында бірдей қашықтықты өтетін болса, ондай қозғалысты **бір қалыпты қозғалыс** делінеді.

Бір қалыпты түзусызықты қозғалыс кезінде жылдамдық тұрақты болады; кез келген уақыт мезетінде $\Delta \vec{r} \parallel \vec{v}, \vec{v}_{op} = \vec{v} = const, \vec{a} = 0$; орын ауыстыру модулі

$$|\Delta \vec{r}| = \vec{v} \Delta t = s, \text{ мұндағы } s - \Delta t \text{ уақытта жүріп өткен жол.}$$

Қозғалыс жылдамдығы деп – материялық нүктенің уақыт өтуімен кеңістіктегі қозғалыс шапшаңдығын (екпінділігін) сипаттайтын физикалық шамаға айтылады.

Жылдамдық деп – уақыт бірлігі ішінде өтілген жолға тең болған физикалық шамаға айтылады.

Жылдамдық басып өтілген жолға туры пропорционал, ал уақытқа кері пропорционал.

Жылдамдық-физикалық шама. Қозғалған дененің қозғалу бағыты болатыны сияқты, жылдамдықтың да бағыты бар. Қысқасы, жылдамдық — векторлық шама, оның бағыты қозғалыс бағыты мен дәл келеді. Физикалық шамалардың векторлық қасиетін көрсету үшін сол шама белгісінің үстіне сызықша қойылады.

Жылдамдық дененің белгілі уақыт аралығында қандай қашықтыққа орын ауыстырғанына байланысты.

Жылдамдық ағылшын тіліндегі аты *velocite* тың бас әріпі v мен белгіленеді.

Бірқалыпты қозғалыста материялық нүктенің жылдамдығы тұрақты болып, ол төмендегі өрнектен табылады:

$$\boxed{dv = \frac{dx}{dt}} \quad (2.4)$$

мұнда v – жылдамдық, $[v] = \frac{m}{c}$

x – басып өткен жол (қашықтық), $[x] = m$

t – уақыт, $[t] = c$

Жылдамдықтың өлшем бірліктері мынадай:

$$\frac{cm}{сек}; \frac{m}{сек}; \frac{m}{мин}; \frac{км}{сек}; \frac{км}{мин}; \frac{км}{сағ}.$$

Бірақ, негізінен, пайдалану ыңғайлылығы ескеріліп, бұлардың ішінен іс жүзінде кейбіреулері ғана қолданылады:



2.12-сурет

$$\frac{км}{сек}; \frac{м}{сек}; \frac{км}{сағ}$$

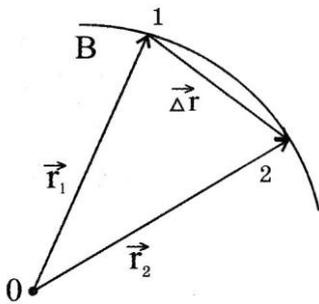
Материялық нүкте басып өткен жолдың уақытқа байланысы **қозғалыс заңы** делінеді. Жылдамдықты өлшеу үшін арнаулы аспаптар жасалынған. Солардың ішінде ең көп тарағаны - спидометр (2.12- сурет). Ол автомобильдер мен ұшақтарда – орналастырылған. Жол қауіпсіздігін бақылайтын арнаулы аспап (радар) бар, мемлекеттік автоинспекция қызметкерлері ол арқылы машиналардың жылдамдығын анықтайды.

Жылдамдықтың формуласынан бір қалыпты қозғалыстағы дененің орын ауыстыруы қозғалыс уақытына пропорционал екенін байқаймыз:

$$\vec{s} = \vec{v} \cdot t \quad (2.5)$$

Орын ауыстыру формуласын **қозғалыс теңдеуі** деп атайды.

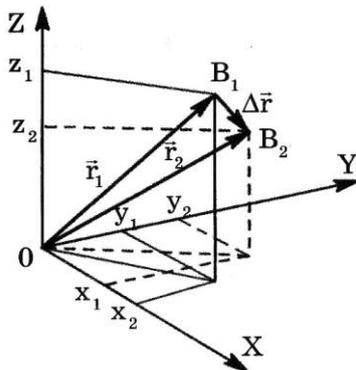
Материялық нүктенің қозғалысын сипаттау кезінде үш тәсіл пайдаланылады:



2.13-сурет

Бірінші тәсіл – **векторлық** (2.13-сурет): В нүктесінің орны таңдап алынған санақ жүйесінің

О нүктесінен жүргізілген \vec{r}_1 радиус – вектормен анықталынады, Δt уақыт аралығында В нүкте 1-орыннан 2- орынға орын ауыстырады, осыдан кейін В нүктесінің орны \vec{r}_2 радиус – вектормен анықталынатын болады.



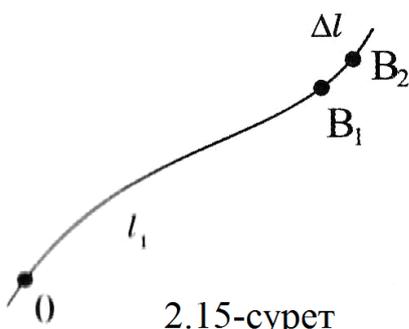
2.14-сурет

Векторлардың айырымы нүктенің орнының қозғалыс кезіндегі өзгерісін анықтайды.

Екінші тәсіл – **координаталық** (2.14-сурет): B_1 нүктесінің орны r_1 радиус вектордың координата осьтеріндегі проекцияларымен анықталынады. B_1 нүктесінен B_2 нүктесіне орын ауыстырғанда материялық нүктенің орнының өзгерісі осы проекция-

лардың өзгерістерімен анықталынады, олар уақытқа тәуелді.

$$\Delta x = x_2 - x_1, \Delta y = y_2 - y_1, \Delta z = z_2 - z_1 \quad (2.6)$$



2.15-сурет

Үшінші тәсіл бойынша B_1 нүктенің орны l_1 **доғалық координатамен** (2.15-сурет) анықталынады, оның ұзындығы нүктенің траекторияның бойымен О нүктедегі санақ басынан бастап өтетін OB_1 қашықтығына тең болады. B_1 нүктесінен B_2 нүктесіне орын ауыстырған кезде материялық нүк-

тенің орнының өзгерісі доғалық координатаның уақытқа тәуелді болатын $\Delta l = l_2 - l_1$ өзгерісімен анықталады; l_2 - нүктенің доғалық координаты.

Дене қозғалысы белгілі бір уақыт барысында болады. Уақыт түсінігі өте күрделі болғандығынан оған жай сипаттама беріп болмайды. Мысалы, автобус Кенимехтан Науайыға 1 сағатта жетіп келді. Уақытты ағылшын тілінде *time* сөзінің бас әріпі *t* мен белгілейміз. Демек, $t = 1$ сағат.

$$1 \text{ сағат} = 60 \text{ минут} = 3600 \text{ секунд}$$

$$1 \text{ минут} = 60 \text{ секунд}$$

$$1 \text{ сутка} = 24 \text{ сағат} = 1440 \text{ минут} = 86400 \text{ секунд}$$

$$k \frac{\text{км}}{\text{сағат}} = \frac{k \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \quad \text{немесе} \quad k \frac{\text{км}}{\text{сағат}} = \frac{k}{3,6} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$k \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{k \cdot 3600 \text{ км}}{1000 \text{ сағат}} \quad \text{немесе} \quad k \frac{\text{м}}{\text{с}} = k \cdot 3,6 \frac{\text{км}}{\text{сағат}}$$

$1 \text{ м/с} > 1 \text{ км / сағат}$, өйткені $3,6 \text{ км/сағат} > 1 \text{ км/сағат}$, яғни 1 м/с ты 1 км/сағат қа айналтырдық.

Уақыттың негізгі қасиеттері:

- Объективті бар болуы
- Үздіксіздігі
- Бір қалыптылығы
- Бір ырғақтылығы (уақыт тек алға қарай, өткеннен болашаққа қарай жылжиды).

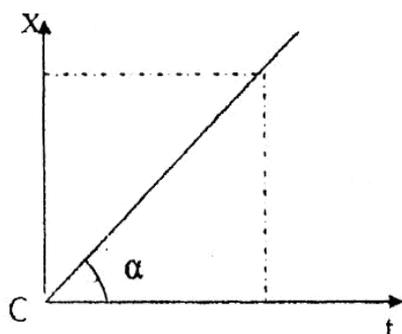
Уақыт материямен, қозғалыспен және кеңістікпен тығыз байланысты.

Уақыт арнаулы аспап – сағаттың көмегімен өлшенеді. Құрылысы жағынан сағаттың түрі өте көп.

1983 жылы елімізде секундтың он төрт таңбасына дейінгі дәлдікпен (0, 000 000 000 000 05 с) көрсететін *уақыт эталоны* жасалды. Бұның дәлдік

шамасын елестету үшін бұл құрылғыда 1 000 000 жыл өткенде 1 с – қа тең қателік болатынын айтсақ жеткілікті.

Көптеген жағдайда дененің қозғалысын, мысалы теміржол поездарын график түрінде

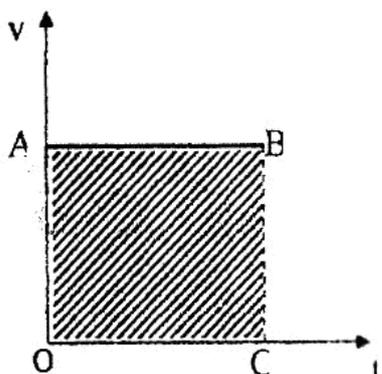


2.16-сурет

бейнелеген қолайлы. Қозғалысты осылай сипаттау көрнекі болады.

Қозғалысты график жәрдемінде төмендегіше кескіндейміз (2.16-сурет). Егер абсцисса осімен белгілі масштабда уақытты ордината осімен тиісті масштабда дене координатасының мәндері қойылса, пайда болған график дене координатасыуақыт арасындағы байланысты бейнелейді.

Бұл байланысқа *қозғалыс графигі* немесе *жол графигі* делінеді. Дене

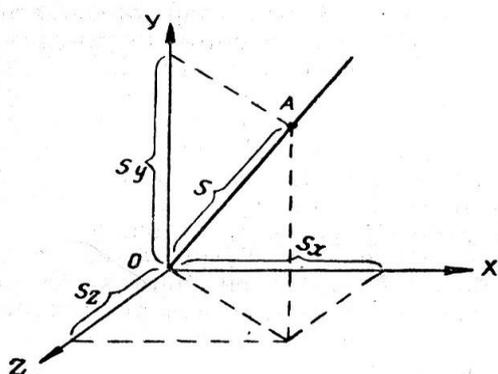


2.17-сурет

жылдамдығын $v = \frac{x}{t} = \operatorname{tg} \alpha$ дан табу мүмкін.

Қозғалысты үйренуде жол графигімен бір қатарда *жылдамдық графигтері* (2.17-сурет) нен да пайдаланылады. Жылдамдық графигінде ордината осіне дене жылдамдығы, абсцисса осіне уақыт қойылады. Мұндай графигтер уақыт өтуімен нүкте жылдамдығының қандай өзгеруін көрсетеді. $s = v \cdot t = S_{OABC}$ төртбұрыш ауданынан басып өтілген жолды анықтау мүмкін. Жылдамдық векторлық шама, өйткені ол бағытқа ие.

Көбіне, $s = f(t)$ - байланысты бейнелейтін график қозғалыстың *жол графигі* (жоғарыдағы сурет) және $v = f(t)$ байланысты бейнелейтін график болса *жылдамдық графигі* делінеді (2.17 - сурет).



2.18-сурет

Материялық нүкте деп есептелініп жатқан дененің OD түзу сызық (2.18-суретке қараң) бойымен бір қалыпты орын ауыстыруынан тұратын қозғалысын көріп шығамыз.

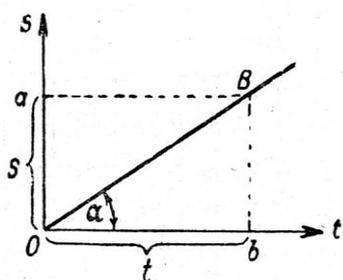
Қозғалыстағы дене біреп t уақытта біреп А нүктеде болса, оның орнын шартты түрде санақ басы деп алынған О нүктеден бастап өлшенген s кесінді мен анықтауымыз мүмкін. Бізге көрінуінше, s кесінді уақыт өтуімен өзгеріп барады. Егер дене бастапқы уақыт ($t=0$) де О нүктеде болса, s кесінді дененің басып өткен жолына тең болады.

OXYZ координата жүйесін сызып, дененің әр бір мезетіндегі орнын, оның x, y және z координаталары арқылы да сипаттау мүмкін. Координаталар жүйесі 2.18 - суретте көрсетілгендей таңдап алынса, дененің x, y және z координаталары жолының координаталар осьтеріндегі s_x, s_y және s_z проекцияларына тең болады. Сонымен қозғалыстағы нүктенің орнын t уақыттың бірер функциясы болған s кесінді мен:

$$s = f(t)$$

немесе нүктенің координаталары x, y және z пен сипаттау мүмкін; нүктенің координаталары да уақыттың функциялары болады:

$$x = f_1(t); \quad y = f_2(t); \quad z = f_3(t)$$



2.19-сурет

Біз тексеріп жатқан қозғалыс түзу сызық бойымен болып жатқандығы үшін **түзу сызықты қозғалыс** делінеді.

Жылдамдықтың формуласынан $s = v \cdot t$ ны анықтап $s = f(t)$ ны салыстырып, бір қалыпты қозғалыстағы дене басып өткен жол уақыттың **сызықты функциясы** екенін көреміз.

Жол мен уақыт арасындағы бұл сызықты қатынасты график әдісте кескіндеу мүмкін. Абсциссалар осіне t уақыттың мәндерін, ординаталар осіне s жолдың мәндерін қоямыз (2.19 - сурет), ол күйде $s = v \cdot t$ формулаға орай, s жол мен t уақыт арасындағы қатынас координаталар басынан өтетін OB түзу сызық пен кескінделеді. Абсциссалар осінде Ob кесіндімен кескінделетін бірер t уақыт ішінде дене басып өткен s жол Oa кесінді немесе оған тең болған bB кесіндімен кескінделеді. Суретке негізделіп

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{bB}{Ob} = \frac{s}{t} = v \quad (2.7)$$

Сонымен, біздің графигімізде v жылдамдық α бұрыштың тангенсімен бейнеленеді; v жылдамдық қанша үлкен болса, OB түзу сызық пен уақыттар осі t арасындағы α бұрыш сонша үлкен болады.

Орын ауыстыру мен жылдамдықты есептеу кезінде формулалар құрамына векторлар емес, олардың координат осьтеріне (осіне) түсірілген проекциялары енген формуланы пайдаланған ыңғайлы. Векторлардың проекциялары – скаляр шамалар, сондықтан оларға алгебралық амалдар қолдануға болады. \vec{s} және $\vec{v}t$ векторлары тең болғандықтан, олардың X осіне түсірілген проекциялары да тең. Сондықтан $x = x_0 + s_x$ формула скаляр түрде былай жазылады

$$S_x = v_x t \quad (2.8)$$

Енді $s_x = x - x_0$ және $\vec{s} = \vec{v}t$ формуланы пайдаланып дененің кез келген t уақыт мезетіндегі x координатын есептеуге болады:

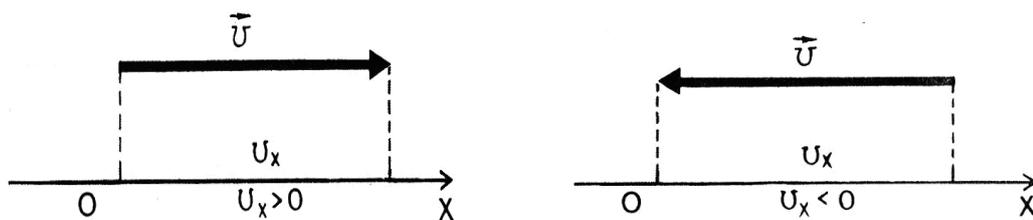
$$x - x_0 = v_x t \text{ немесе } x = x_0 + v_x t$$

Сонымен, біз дененің координаты уақытқа тәуелді екенін көрдік. Міне, механиканың негізгі есебінің шешімі дегеніміз осы.

Егер орын ауыстырудың s_x проекциясы белгілі болса, дененің v_x жылдамдығының проекциясын есептеп табу үшін де $x = x_0 + v_x t$ формуланы пайдалануға болады:

$$v_x = \frac{x - x_0}{t} \quad (2.9)$$

Бұл формула “жылдамдық” деген шаманың қандай екенін түсінуге мүмкіндік береді. Бұдан **жылдамдықтың координат осіне проекциясы координаттың уақыт бірлігіндегі өзгерісіне тең** екені көрініп тұр, яғни жылдамдық қозғалыстығы дене координатының қалай тез өзгертіндігін көрсетеді. Бірақ сонымен қатар жылдамдық проекциясы v_x оң да, теріс те бола алатынын еске ұстаған жөн.



2.20 - сурет

Механиканың негізгі есебін шығару үшін жылдамдық векторының өзін (не оның проекциясын) білу керек (2.20 - сурет).

Автомобильдерге қойылатын спидометрлер жылдамдықтың модулін ғана көрсетеді. Автомобиль қайда барса да, оған “бәрібір”. Сондықтан олардың көрсетуі бойынша автомобильдің қозғалыс бағытын да, кез келген уақыт мезетіндегі орнын да анықтауға болмайды.

ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ БІР ҚАЛЫПСЫЗ ҚОЗҒАЛЫС

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: бір қалыпсыз қозғалыс, орташа жылдамдық, бір қалыпсыз қозғалыс жылдамдығы, лездік жылдамдық.

Айталық, автомобиль түзу сызықты жолмен қозғала отырып, 1 сағатта 60 км қашықтықты жүріп өтті делік. Мәнісіне бара берместен біз автомобиль 60 км/сағ жылдамдықпен жүрді дейміз. Бұл қандай жылдамдық?

Біз күнделікті тұрмысымызда, негізінен, бірқалыпты емес қозғалысты көбірек кездестіреміз. Күнделікті көлік түрлерін пайдаланғанда да біз қозғалыстың осы түрімен жиі ұшырасамыз. Шынында да, біз пайдаланатын троллейбус, трамвай, автобустың қайсысының болмасын қозғалысы бірқалыпты емес. Олар әрбір аялдамаға тоқтап, қайтадан қозғалып, қозғалысын біраз шапшаңдатып барып, тағы да қозғалысын бәсендетеді. Көріп тұрғанымыздай, олар бір аялдамадан екінші аялдамаға дейінгі жолының өзінде де бірқалыпты емес қозғалыспен жылжиды. Бұл көлік түрлері өзінің бүкіл жолының бойында бірқалыпты емес қозғалыста болады. Тіпті қалааралық көліктердің өзі де қаладан шыққанша баяу қозғалып, сыртқы жолдарға шыққанда тез қозғалып, елді мекенді аралап өткенде тағы да баяу қозғалып, олардан өткенде тағы да тез қозғалады. Сөйтіп, бұл қалааралық көлік түрі де бірқалыпты емес қозғалыспен сапар шегеді.

Керек болса, қатаң түрде бірқалыпты қозғалысты сақтап жылжу қиын. Мысалы, мектептен қайтқан оқушы үйіне дейін үнемі (бастан аяқ) қатаң түрде тек бірқалыпты қозғалады деп айту қиын. Ол бүкіл жолының бойында аздап болса да бір кезде тезірек, ал бір кезде баяуырақ қозғалуы ғажап емес. Бірақ оны өзі байқамауы да мүмкін.

Таудан домалаған тас та, белгілі бір биіктіктен еңіске қарай аққан су да бірте-бірте жылдамдықтарын арттырады. Жерге қарай жоғарыдан құлап түскен денелер де бірте-бірте шапшаңырақ қозғалады. Бұларға қарағанда, жалпы алғанда, бірқалыпты қозғалыс түрінен гөрі бірқалыпты емес қозғалыс түрлерін көбірек кездестіреді екенбіз. Жазық бетте домалаған шардың, сырғанаған шананың бірте-бірте тоқтауы да бірқалыпты емес қозғалыс болады. Сонымен бірқалыпты емес қозғалыстағы дене өзінің бүкіл жолында әр түрлі жылдамдықпен қозғалады.

Түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс, яғни жылдамдығы (модулі және бағыты бойынша) тұрақты болатын қозғалыс тұрмыста жиі кездесе бермейді. Керісінше, біз уақыт өтуіне қарай жылдамдығы өзгеріп отыратын қозғалысты әлдеқайда жиі кездестіреміз. Мұндай қозғалысты **бір қалыпсыз** деп атайды.

Бірқалыпты емес қозғалыстың ерекшелігі - оның жылдамдығының өзгермелі, тұрақты емес болуы. Бірқалыпты емес қозғалыстағы дененің жүріп өткен жолын шартты түрде жеке бөліктерге бөліп, осы бөліктердегі сол дененің жылдамдықтарын анықтауға болады. Ол үшін әлгі әр бөліктегі жылдамдықтарды өзара қосып, бұл шыққан қосындыны осы өзара қосылған жылдамдықтардың санына бөлсек, жылдамдықтың орташа мәні шығады. Шынында да, жолдың бірінші бөлігіндегі, яғни s_1 бөлігіндегі қозғалыс жылдамдығын v_1 , екінші s_2 бөлігіндегі жылдамдығын v_2 , үшінші s_3 бөлігіндегі жылдамдығын v_3 деп белгілесек, онда біз осы үш бөлікті қамтитын дененің тұтас жүріп өткен жолының орташа жылдамдығын былай табамыз:

$$v_{op} = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3} \quad (2.10)$$

Сонымен, бірқалыпты емес қозғалыстағы дененің орташа жылдамдығын анықтауға болады екен. Олай болса, басқаша айтқанда, бірқалыпты емес қозғалысты орташа жылдамдық арқылы сипаттауға болады.

Қозғалыстың орташа жылдамдығы — векторлық шама. Оның бағыты қозғалыстың осы бөлігіндегі орын ауыстыру бағытымен дәлме-дәл келеді.

Қаланың бір шетінен шыққан автобустың, троллейбустың, трамвайдың екінші шетіне келу немесе өзіміз отырған аялдамаға қайтып келу уақытын білеміз. Оны білу себебіміз — бізге бұл көліктердің орташа жылдамдығы белгілі. Науайы мен Ташкентке қатынас жасайтын «Бухара - Ташкент» жолаушылар пойызының осы екі қаланың арасын жүріп өту орташа жылдамдығын да білеміз. Оны біз Науайы мен Ташкенттің ара қашықтығын пойыздың жүріп өту уақытына бөлу арқылы табамыз. Сонда бұл қандай жылдамдық? Әрине, орташа жылдамдық.

Сонымен біз бірқалыпты емес қозғалысты оның орташа жылдамдығы арқылы толық сипаттай алады екенбіз.

Айнымалы қозғалыстың *орташа жылдамдығы* деп, белгілі уақытта өтілген жолдың осы уақытқа қатынасымен өлшенетін шамаға айтылады.

$$\boxed{v_{op} = \frac{S_{жалты}}{t_{жалты}}} \quad (2.11)$$

v_{op} – орташа жылдамдық, $[v_{op}] = \frac{M}{c}$;

Материялық нүкте жолдың жармын v_1 жылдамдықпен, қалған жармын v_2 жылдамдықпен өтсе, оның толық жол барысындағы орташа жылдамдығы төмендегі формуламен анықталынады:

$$\boxed{v_{op} = \frac{2v_1 \cdot v_2}{v_1 + v_2}} \quad (2.12)$$

Бұл формула төмендегідей келтіріп шығарылады:

Есептің шартындағы жолдың жармын деген сөзді есепке аламызда

$s_1 = s_2 = \frac{s}{2}$ деп жазып аламыз. $\boxed{v = \frac{S}{t}}$ формуласынан t ты тауып аламыз,

$t_1 = \frac{s_1}{v_1}; t_2 = \frac{s_2}{v_2}$; Бұл формулаларға $s_1 = s_2 = \frac{s}{2}$ ны қойып шығамыз.

$t_1 = \frac{\frac{s}{2}}{v_1} = \frac{s}{2v_1}; t_2 = \frac{\frac{s}{2}}{v_2} = \frac{s}{2v_2}$; мәндерін $t = t_1 + t_2$ формуласына қойып шығып,

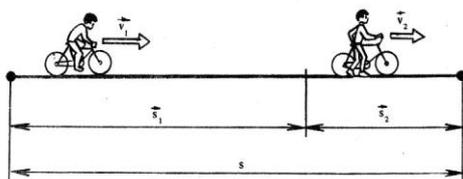
$t = \frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) = \frac{s}{2} \left(\frac{v_2 + v_1}{v_1 v_2} \right)$ деп жазамыз. $v_{op} = \frac{S_{жалпы}}{t_{жалпы}}$ формуласына

соңғы мәнді қойсақ, $v_{op} = \frac{s}{\frac{s}{2} \left(\frac{v_2 + v_1}{v_1 v_2} \right)} = \frac{s}{1} \frac{2v_1 v_2}{s(v_2 + v_1)} = \frac{2v_1 v_2}{v_2 + v_1}$ келіп шығады.

Материялық нүкте қозғалыс уақытының жармын v_1 жылдамдықпен, қалған жармын v_2 жылдамдықпен өтсе, оның толық қозғалыс уақытындағы орташа жылдамдығы төмендегі формуламен анықталынады:

$$v_{op} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (2.13)$$

Бұл формула төмендегідей келтіріп шығарылады (2.21-сурет):



2.21-сурет

Санақ жүйесін жолмен байланыстырылады. Велосипедшінің қозғалысы жалпы алғанда бір қалыпсыз болады. Жолдың бірінші және екінші жартысында ол бір қалыпты қозғалғанмен қозғалыс жылдамдығы әр түрлі болады.

$s_1 = v_1 \frac{t}{2}; s_2 = v_2 \frac{t}{2}$; Сонымен қоса есептің шартынан $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$ екенің білеміз,

мұндағы t – қозғалысқа кеткен жалпы уақыт. $v_{op} = \frac{S}{t}$ формуласынан s ты

белгілі шамалар арқылы өрнектеуге болады: $s_1 = v_1 t_1; s_2 = v_2 t_2$; Бұл формула-

ларға $t_1 = t_2 = \frac{t}{2}$ ны қойып шығамыз. $s_1 = v_1 \frac{t}{2}; s_2 = v_2 \frac{t}{2}$; мәндерін $s = s_1 + s_2$

формуласына қойып шығып, $s = v_1 \frac{t}{2} + v_2 \frac{t}{2} = \frac{t}{2} (v_1 + v_2)$ деп жазамыз. $v_{op} = \frac{S}{t}$

формуласына соңғы мәнді қойсақ, $v_{op} = \frac{t(v_1 + v_2)}{2t} = \frac{v_1 + v_2}{2}$ келіп шығады.

Бір қалыпты айнымалы қозғалыста орташа жылдамдық

$$v_{op} = \frac{v + v_0}{2}$$

формуламен өрнектеледі.

Орташа жылдамдық векторлық шама болып есептелмейді.

$$v_{op} = \frac{S}{t_1 + t_2}$$

Орташа жылдамдық $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ есептелетін Δt уақыт аралықтарын қанша

қысқа алсақ, қозғалысты сонша анық сипаттау мүмкін болады. Уақыт аралығы Δt соншалық кіші етіп алынуы мүмкін, бұл уақыт аралығындағы қозғалысты қолдауда бір қалыпты қозғалыс деп есептеу мүмкін. Ол күйде осы кіші уақыт аралығы үшін алынған \bar{v} орташа жылдамдық қозғалысты уақыттың берілген кезеңінде сипаттау үшін жетерлі болады; басқаша айтқанда, бұл орташа жылдамдық жолдың берілген нүктесіндегі v жылдамдық болады.

Сонымен, *бірер Δt уақыт аралығы үшін алынған орташа жылдамдықтың осы уақыт аралығы шексіз кемейіп барғандағы лимиті жолдың берілген нүктесіндегі (немесе сол кезеңіндегі) бір қалыпсыз қозғалыс жылдамдығы болады.*

Мұның математикалық өрнегі төмендегіше:

$$v = \Delta t \xrightarrow{\lim(\bar{v})} 0 = \Delta t \xrightarrow{\lim} 0 \left(\frac{\Delta s}{\Delta t} \right)$$

Дифференциал есептен белгілі, $\Delta t \xrightarrow{\lim} 0 \left(\frac{\Delta s}{\Delta t} \right)$ жолдан уақыт бойынша алынған туынды болып есептелінеді; сонымен жылдамдықтың сан мәні жолдан уақыт бойынша алынған туындыға тең:

$$v = \frac{ds}{dt}$$

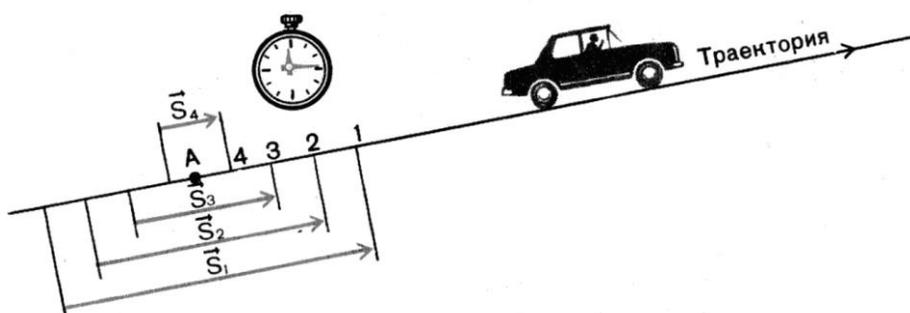
Орташа жылдамдық траекторияның белгілі бөлігіндегі дене қозғалысын сипаттайды, бірақ траекторияның белгілі бір нүктесіндегі (белгілі бір уақыт мезетіндегі) қозғалыс туралы ешқандай мәлімет бермейді. Алайда жылдамдық үнемі өзгеріп отыруы мүмкін, ал қозғалысты зерттеу үшін уақыттың дәл осы мезетіндегі траекторияның бізді қызықтыратын нүкте-

сіндегі жылдамдықты, басқаша айтқанда, *дененің лездік жылдамдығын* білу қажет.

Қозғалыстағы кез келген дене жылдамдық алады. Былайша айтқанда, дене өзінің қозғалысы кезінде, қозғалыс траекториясының барлық нүктелері арқылы жүріп өтеді. Ал мұндай нүктелер шексіз көп. Олардың әрқайсысын дене белгілі бір уақыт мезетінде басып өтеді. Мұндай уақыт мезеттері де шексіз көп. Олай болса, уақыттың әр мезетінде және траекторияның әр нүктесінде дене қандай да бір жылдамдық алуы керек. Міне, осы жылдамдық *лездік жылдамдық* деп аталады.

Бір қалыпты түзу сызықты қозғалыста дененің жылдамдығы оның орын ауыстыруының сол орын ауыстыруға жұмсалған уақыт аралығының қатынасына тең. Бір қалыпсыз қозғалыстағы орташа жылдамдық та осы қатынасқа тең. Міне, осы қатынас бізге лездік жылдамдықтың мағынасын ұғуымызға көмектеседі.

Қайсыбір дене (қашанда, біз сол дененің белгілі бір нүктесін аламыз) түзу сызықты, бірақ бір қалыпсыз қозғалады делік. Бізге керегі, оның траекториясының қайсыбір A нүктесіндегі лездік жылдамдығы. Осы траекториядан A нүктесі енетін кішкене 1 бөлігін алайық (2.21 - сурет). Дененің осы бөліктегі азғантай орын ауыстыруын \vec{s}_1 , ал сол орын ауыстыруға кеткен шағын уақыт аралығын t_1 арқылы белгілейік. Ал \vec{s}_1 -ді t_1 -ге бөліп, біз осы бөліктегі орташа жылдамдықты табамыз. Міне, бұл - нақ орташа жылдамдық, өйткені жылдамдық үздіксіз өзгереді және ол бөліктің әр жерінде әр түрлі.



2.22 - сурет

Енді бөліктің ұзындығын кішірейтейік. Содан соң A нүктесі енетін 2 бөлікті таңдап алайық (2.22-суретті қара). Бұл кішкене бөліктегі орын ауыстыру \bar{s}_2 -ге тең ($s_2 < s_1$) және оны дене t_2 уақыт аралығында жүріп өтеді. Бұл бөлікте дененің жылдамдығы аз шамаға өзгеріп үлгеретіні анық. Бірақ $\frac{\bar{s}_2}{t_2}$ қатынасы бізге осы кішкене бөлік үшін де орташа жылдамдықты береді. 1 мен 2 бөліктерден де кіші 3 бөліктегі (бұған да A нүктесі енеді) жылдамдықтың өзгерісі аз болады. \bar{s}_3 орын ауыстыруды t_3 уақыт аралығына бөліп, біз тағы да траекторияның осы шағын бөлігіндегі орташа жылдамдықты табамыз.

Дененің орын ауыстыруы қарастырылып отырған уақыт аралығын біртіндеп кішірейте береміз. Онымен бірге дененің орын ауыстыруы да азая береді. Ақырында уақыт аралығы соншалықты азаяды да, осы уақыттағы жылдамдықтың өзгеруі ескерілмейтіндей дәрежеге жетеді (қозғалыс бір қалыпты қозғалысқа айналғандай болады). Тым аз уақыт аралығында жүріп өткен траектория бөлігі сол A нүктесінің өзіне ұмтылады, ал уақыт аралығы уақыт мезетіне айналады. Сонда орташа жылдамдық дененің A нүктесіндегі лездік жылдамдығына айналады.

Дененің анық бір уақыт мезетіндегі немесе траекторияның анық бір нүктесіндегі жылдамдығы *лездік жылдамдық* делінеді.

Лездік жылдамдық немесе берілген нүктедегі жылдамдық траекторияның сол нүктеге таяу бөлігіндегі мейлінше аз ғана орын ауыстыруының соған кеткен аз ғана уақыт аралығына қатынасына тең.

$$\vec{v} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Δt – өте кіші уақыт аралығы

ΔS – осы өте кіші уақыт аралығындағы орын ауыстыру

Түзу сызықты бір қалыпты қозғалыстың жылдамдығы бір уақытта әрі лездік, әрі орташа жылдамдық болып есептелінеді.

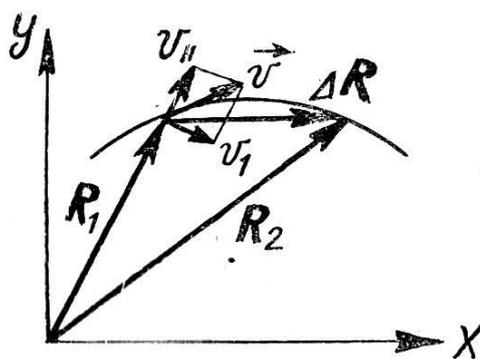
Лездік жылдамдық — бұл векторлық шама. Лездік жылдамдық векторының бағыты берілген нүктедегі қозғалыс бағытымен сәйкес келеді.

Лездік жылдамдықты төмендегідей де табу мүмкін: $\vec{v}_{op} = \frac{\Delta \vec{R}}{\Delta t}$
 өрнектің оң жағының Δt нольге ұмтылған кездегі шегін табу керек:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{R}}{\Delta t} = \frac{d\vec{R}}{dt}$$

Бұл теңдіктен радиус вектордың уақыт бойынша туындысы лездік жылдамдыққа тең екенін көреміз. Кезкелген вектордың уақыт бойынша туындысы жалпы жағдайда екі мүшеге жіктеледі. Бірі вектордың сан мәнінің өзгерісінен пайда болып онымен бағыттас болады да, екіншісі вектордың өзгерісінен пайда болып векторға перпендикуляр бағытталады.

А нүктесіндегі лездік жылдамдық және оның құраушылары көрсетілген. Лездік жылдамдық \vec{v} қозғалыс траекториясына А нүктесінде жүргізілген жанаманың бойында жатыр. Ал жанаманың жанасу нүктесіне жүргізілген қисықтық радиусына перпендикуляр болатыны белгілі. Жалпы жағдайда қисықтың қисықтық радиусының модулі де бағыты да оның әр нүктесінде түрліше болады.



2.23 – сурет

ТҮЗУ СЫЗЫҚТЫ БІР ҚАЛЫПТЫ АЙНЫМАЛЫ ҚОЗҒАЛЫС. ҮДЕУ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: бір қалыпты айнымалы қозғалыс, бір қалыпты үдемелі қозғалыс, бір қалыпты кемімелі қозғалыс, үдеу, акселерометр, үдеу бірлігі, бір қалыпты айнымалы қозғалыстағы жол формуласы, координата формуласы.

Бір қалыпсыз қозғалыстың кең тараған түрі — бір қалыпты айнымалы қозғалыс.

Егер қозғалыстың жылдамдығы v кезкелген таңдап алынған тең Δt уақыт аралықтарында бірдей Δv мөлшерге өзгеріп барса, мысалы,

$$\text{Әрбір секундта } 16 \frac{\text{см}}{\text{с}} \text{ қа,}$$

$$\text{Әрбір } \frac{1}{8} \text{ секундта } 2 \frac{\text{см}}{\text{с}} \text{ қа,}$$

$$\text{Әрбір } \frac{1}{2} \text{ секундта } 8 \frac{\text{см}}{\text{с}} \text{ қа,}$$

$$\text{Әрбір } \frac{1}{16} \text{ секундта } 1 \frac{\text{см}}{\text{с}} \text{ қа,}$$

$$\text{Әрбір } \frac{1}{4} \text{ секундта } 4 \frac{\text{см}}{\text{с}} \text{ қа,}$$

$$\text{Әрбір } \frac{1}{32} \text{ секундта } 0,5 \frac{\text{см}}{\text{с}} \text{ қа}$$

және тағы сондай болса, мұндай қозғалыс бір қалыпты айнымалы қозғалыс делінеді.

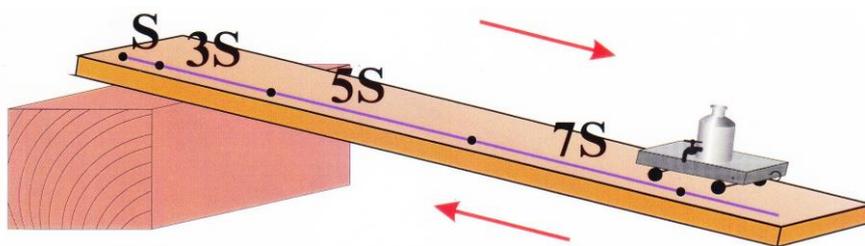
Қарастырылған қозғалысты **бір қалыпты айнымалы** қозғалыс деп атайды. Бұл қозғалысқа былайша анықтама беруге болады:

Кез келген бірдей уақыт аралығында қозғалыс жылдамдығы сәйкес бірдей шамаға өзгеріп отыратын қозғалысты **бір қалыпты айнымалы қозғалыс** деп атайды.

Бір қалыпты айнымалы қозғалыс деп, траекториясы түзу сызықтан тұратын және лездік жылдамдығы бір қалыпты өзгеретін қозғалысқа айтылады.

Бір қалыпты айнымалы қозғалысқа көлбеу жазықтықпен жеңіл қозғалатын арбашаның қозғалысын мысалға келтіруге болады. Бұған көз жеткізу үшін тегіс тақтайша алып, оның бойына қағаз жолақтар жапсырамыз. Тақтайшаның үстіне тамшылатқышы бар жеңіл арбашаны

қоямыз; әрбір тең уақыт аралығында тамшылатқыштан қағазға сия тамып отырсын. Арбашаны қоя береміз (2.24-сурет).



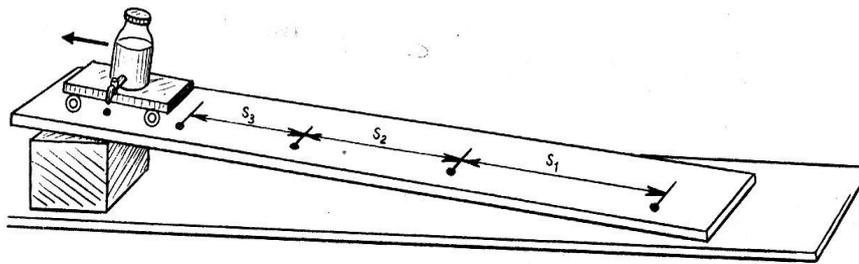
2.24-сурет

Тамшының қағаздағы орналасуын зерттей отырып, олардың бір қалыпты орналаспағанын байқаймыз: алғашқыда олар біріне-бірі жақын орналасып, біртіндеп аралары алшақтай береді. Бұл арбаша қозғалысының бір қалыпты болмағанын көрсетеді, яғни әрбір екі тамшының арасындағы уақыт аралығында арба әр түрлі қашықтықты жүріп өтетінін көрсетеді.

Арбашаның қозғалмай тұрған кезде тамған тамшы мен қозғалыстағы тамшылатқыштан үзіліп түскен бірінші тамшының s ара қашықтығын шартты түрде ұзындықтың бірлігі деп алып, осы қатысты жазамыз. Ол мынадай екен: s ; $3s$; $5s$; $7s$; $9s$; Бұл берілгендерден бірдей Δt уақыт аралығында арбашаның жүріп өткен ара қашықтығы бірдей шамаға $2s$ өсіп отырғандығын көреміз. Демек, арбашаның жылдамдығының да бірдей $\frac{2s}{t}$ шамаға артатындығын байқаймыз, мұндағы t - екі тамшының аралығындағы уақыт. Осындай қозғалысты **бір қалыпты үдемелі** қозғалыс деп атайды.

Егер Δv ның таңбасы жылдамдықтың таңбасымен бірдей болса, яғни **уақыт өтуімен жылдамдық сан мәні жағынан артып барса, қозғалыс бір қалыпты үдемелі қозғалыс делінеді.**

Тәжірибенің түрін өзгертейік. Арбашаны көлбеу тақтайдың бетімен жоғары қарай итеріп жіберіп, тамшылардың қағазға орналасуын қайта зерттейік (2.25-сурет).



2.25-сурет

Сонда тамшылардың әркелкі орналасқаны байқалады: арбаша қозғалысының бас кезінде тамшы сиректеу, соңына қарай жиірек орналасады. Бұл бірдей уақыт аралығында арбашаның жүріп өткен ара қашықтықтары азайғанын дәлелдейді.

Арбашаның жүріп өткен ара қашықтықтарына мұқият өлшеулер жүргізгенде арбаша қозғалған сайын, ара қашықтықтардың бірдей шамаға азайып отырғанын көрсетеді. Демек, бұл арбаша қозғалысының жылдамдығы бір қалыпты кемиді деген сөз. Осындай қозғалысты **бір қалыпты кемімелі қозғалыс** деп атайды.

Егер Δv ның таңбасы жылдамдықтың таңбасына кері болса, яғни **уақыт өтуімен жылдамдық сан мәні жағынан кеміп барса, қозғалыс бір қалыпты кемімелі немесе баяуламалы қозғалыс делінеді.**

Уақыт өтуімен жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттау үшін **үдеу** деп аталатын физикалық шаманы енгіземіз. Түзу сызықты бір қалыпты айнымалы қозғалыстың a үдеуі жылдамдықтың арттырмасына туры пропорционал және осы арттырманың пайда болуы үшін кеткен уақыт аралығына кері пропорционал болған физикалық шама болып саналады.

Жылдамдықтың t_0 уақытындағы мәні v_0 , t уақытындағы мән болса v болсын. Ол күйде $t - t_0$ уақыт барысында жылдамдық $v - v_0$ ге өзгереді және a үдеудің математикалық өрнегі

$$a = k \frac{\Delta v}{\Delta t} = k \frac{v - v_0}{t - t_0}$$

болады, мұнда k -пропорционалдық коэффициенті болып, оның мәні v жылдамдық және t уақыт өлшеу бірліктерінің таңдалуына байланысты. Бір

қалыпты айнымалы қозғалыстың үдеуі тұрақты шама болып есептелінеді. Егер пропорционалдық коэффициентін $k = 1$ деп алсақ, ол күйде үдеу

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \text{ болады.}$$

Үдеу деп, дененің лездік жылдамдығының өзгеру жылдамдығына мөлшер жағынан тең физикалық шамаға немесе дененің бірлік уақыт ішіндегі жылдамдығының өзгеруіне айтылады.

Үдеу деп жылдамдықтың өзгеру шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шаманы айтады.

Үдеу векторлық шама. Үдеуді өлшеу үшін арнаулы құрылғылар акселерометрлер жасалды (латынның **акселерация** — үдеу және «метрео» өлшеу деген сөзінен шыққан).

Сонымен бірге СГС жүйесінде үдеу бірлігі етіп жылдамдығы әр бір секундта $1 \frac{см}{сек}$ ге өзгертін қозғалыстың үдеуі алынуы керек; үдеудің бұл

бірлігі қысқаша $1 \frac{см}{сек^2}$ арқылы белгіленеді. Бірліктердің МКС жүйесінде

үдеу бірлігі етіп жылдамдығы әр бір секундта $1 \frac{м}{сек}$ қа өзгертін қозғалыстың

үдеуі алынады (қысқаша $1 \frac{м}{сек^2}$).

$k = 1$ болғанда $a = k \frac{\Delta v}{\Delta t} = k \frac{v - v_0}{t - t_0}$ формулаға негізделіп:

$$v = v_0 + a(t - t_0)$$

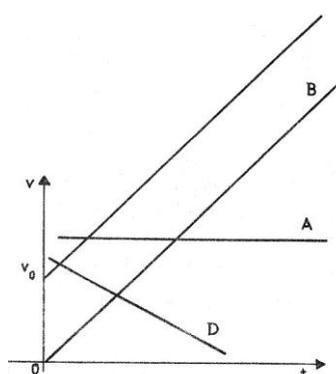
Демек, бір қалыпты айнымалы қозғалыстың жылдамдығы уақыттың сызықты функциясы екен. Егер $t_0 = 0$ болса, $v = v_0 + a(t - t_0)$ формуладан:

$$v = v_0 + at \tag{2.14}$$

егер бастапқы жылдамдық $v_0 = 0$ болса, $v = at$ болады.

a үдеу жылдамдықтың Δv өзгеруі мен бірдей таңбаға ие болады, сол үшін да үдеу бір қалыпты үдемелі қозғалыста оң және бір қалыпты кемімелі қозғалыста теріс болады.

(2.14) формуласынан бір қалыпты айнымалы қозғалыстың лездік жылдамдығы қозғалыс уақытына сызықты тәуелді болатынын көреміз. Бұл тәуелділік график түрінде жылдамдық осін координат осінің басынан бастапқы жылдамдыққа тең ара қашықтықтағы нүктеде кесіп өтетін түзу



2.26-сурет

сызықпен кескіндейді.

2.26-суретте жылдамдықтың 4 графигі келтірілген. А графигі бір қалыпты қозғалысқа, В графигі бастапқы жылдамдығы жоқ бір қалыпты үдемелі қозғалысқа, С графигі бастапқы жылдамдығы v_0 -ге тең бір қалыпты үдемелі қозғалысқа және D графигі бір қалыпты кемімелі қозғалысқа сәйкес келеді.

Бір қалыпты айнымалы қозғалыстағы лездік жылдамдығын есептеу үшін үдеу, қозғалыс уақыты және бастапқы жылдамдықты білу керек.

$\vec{a} > 0$ үдемелі қозғалыс

$\vec{a} < 0$ кемімелі қозғалыс

$\vec{a} = 0$ түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс, яғни $\vec{v} = const$

$\vec{a} = const > 0$ бір қалыпты үдемелі қозғалыс

$\vec{a} = const < 0$ бір қалыпты кемімелі қозғалыс

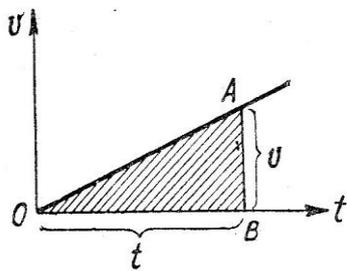
Жоғарыдағы теңдіктерден көрінуінше, дене үдеуге ие болуы үшін ол түзу сызықты бір қалыпсыз қозғалуы керек, яғни **дене түзу сызықты бір қалыпты қозғалыста үдеуге ие болмайды.**

Әдетте үдеуді радиус – вектордан уақыт бойынша алынған екінші тәртіпті және жылдамдықтан уақыт бойынша алынған бірінші тәртіпті

туынды деп те жазу мүмкін, яғни $a = x'' = \frac{d^2x}{dt^2}$ $a = v' = \frac{dv}{dt}$

- Түзу сызықты бір қалыпты үдемелі қозғалыста жылдамдық векторының модулі бір қалыпты артып, бағыты тұрақты қалады.
- Түзу сызықты бір қалыпты кемімелі қозғалыста жылдамдық векторының модулі бір қалыпты кеміп, бағыты тұрақты қалады.

- Түзу сызықты бір қалыпты қозғалыста еш қандай үдеуге ие болмайды.
- Бір қалыпсыз қозғалыста жылдамдық және үдеу векторының модулі және бағыты өзгеріп тұрады.
- Жылдамдық және үдеу бағыты дәл келсе, бір қалыпты үдемелі қозғалыста болады.
- Жылдамдық және үдеу бағыты қарама – қарсы болса, бір қалыпты кемімелі қозғалыста болады.



2.27-сурет

ліп жылдамдықпен уақыт арасындағы қатынас ($\vec{a} > 0$ деп есептейміз) график түрде ОА түзу сызық арқылы кескінделеді (2.27 – сурет) демек, t уақыт барысында өтілген s жол ОАВ пішіннің ауданымен кескінделеді. Бұл пішін тексеріліп жатқан күйде үшбұрыш болғаны үшін оның ауданы

$$\frac{AB \cdot OB}{2} = \frac{v \cdot t}{2} \text{ болады.}$$

Сол үшін t уақытта өтілген s жол төмендегідей бейнеленеді:

$$s = \frac{v \cdot t}{2} \quad (2.15)$$

Бұл формулаға v жылдамдықтың a үдеу мен t уақыт арқылы бейнеленген $v = at$ мәнін қойып, төмендегіні аламыз:

$$s = \frac{at^2}{2} \quad (2.16)$$

Егер жылдамдық уақыттың бастапқы кезінде нольге тең болмай v_0 ге тең болса, ол күйде $s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ болады немесе

$$s = g_{\text{opt}} \cdot t = \frac{g + g_0}{2} \cdot t = \frac{g_0 + at + g_0}{2} \cdot t = \frac{2g_0 + at}{2} \cdot t = \frac{2g_0 t + at^2}{2} = g_0 t + \frac{at^2}{2};$$

$$S = v_0 t \pm \frac{|a|t^2}{2}$$

$$S = \frac{v^2 - v_0^2}{\pm |a|t^2}$$

$$S = \frac{v + v_0}{2} t$$

S – бір қалыпты айнымалы қозғалыстағы жол формулалары

(+) бір қалыпты үдемелі қозғалыста,

(-) бір қалыпты кемімелі қозғалыста

$$v = (x)' = (S)'$$

жылдамдық формуласы

$$a = (x)'' = (S)'' = v'$$

үдеудің формуласы

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

координата формуласы (қозғалыс теңдеуі)

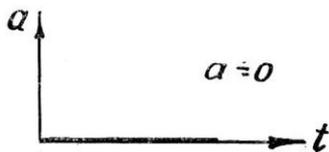
$$S = |x - x_0|$$

жол формуласы

Соны білу керек, денелер ұшрасқанда олардың координаталары тең болады. Демек, қозғалыс теңдеулері берілген болса, ұшрасу уақытын есептеу үшін координаталар теңестіріліп, уақыт есептеледі.

Төмендегі суреттерден қозғалыстардың график түрде кескінделуін салыстырып үйрену мүмкін:

Бір қалыпты түзу сызықты қозғалыс. Лездік жылдамдығы тұрақты уақыт интервалындағы қозғалыс бірқалыпты түзу сызықты қозғалыс деп аталады $\vec{g} = const, a = \frac{d\vec{g}}{dt} = 0$ (2.28-сурет).



2.28 (а)-сурет

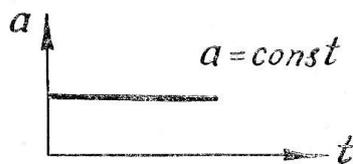


2.28 (б)-сурет

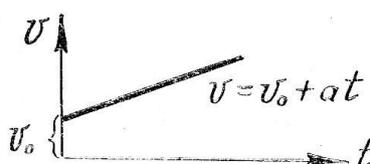


2.28 (в)-сурет

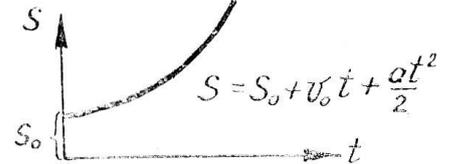
Түзу сызықты үдемелі қозғалыс ($a_t > 0; a_n = 0; a = a_t$) (2.29-сурет).



(2.29) (а)-сурет

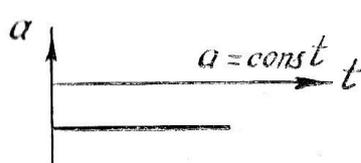


(2.29) (б)-сурет

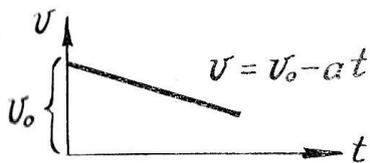


(2.29) (в)-сурет

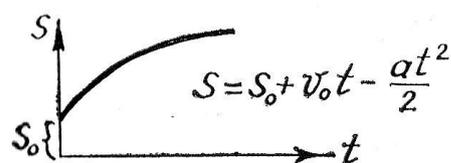
Түзу сызықты кемімелі қозғалыс ($a_t < 0; a_n = 0; a = a_t$) (2.30-сурет).



2.30 (а)-сурет



2.30 (б)-сурет



2.30 (в)-сурет

ДЕНЕНІҢ ІЛГЕРІЛЕМЕЛІ ҚОЗҒАЛЫСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: ілгерілемелі қозғалыс, қатты дене, параллель орын ауыстыру

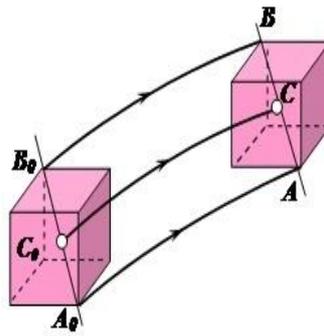
Дененің қозғалысын анықтау үшін ең алдымен, дененің кеңістіктегі жағдайы өзгеруін анықтау керек. Себебі, әр бір дененің өз пішіні және өлшемдері болып, оны құрайтын әр түрлі нүктелер кеңістіктің түрлі орындарында болады. Демек, дененің барлық нүктелері жағдайын анықтау оңай емес. Бұл мәселені шешу үшін дененің барлық нүктелері бірдей қозғалыс жасауын көз алдымызға келтірсек жетерлі. Мысалы, ыдыстағы суды бір жерден екінші жерге алып қойылғанда немесе бір қаладан екінші қалаға бара жатқан автобус қозғалысында қозғалыстағы денелердің барлық нүктелері бірдей қашықтыққа ығысқан болады. Яғни дененің кезкелген екі нүктесін қосатын түзу сызық өз-өзіне параллел болып қалады.

Дененің барлық нүктелері бірдей қозғалыс жасайтын жағдайдағы қозғалысы **ілгерілемелі қозғалыс** деп аталады.

Дененің өлшемдері осы дене басып өтетін қашықтыққа қатысты өте кіші болған жағдайларда дененің әр бір нүктесінің қозғалысының сипаттамасы да болады.

Мысалы, футбол өрісіндегі футбол добының қозғалысын күзетсек, өріс өлшеміне қарағанда доптың өлшемі өте кіші, сол үшін допты нүкте деп есептеу мүмкін.

Қатты дененің ілгерілемелі қозғалысы.



2.31-сурет

Көлемді денедегі кезкелген екі нүктені қосатын түзу сызық денемен бірге орын ауыстырғанда өзінің бастапқы жағдайындағы бағытына параллель қалатын ең қарапайым механикалық қозғалыс қатты дененің **ілгерілемелі қозғалысы** болып саналады. Жер (лаборатория) санақ жүйесіне қатысты, мысалы, серіппеге асып қойылған және вертикал түзу сызық бойымен тербеліс тудырып жатқан шар, двигатель цилиндріндегі поршен, шахта көтермесінің кабинасы, токарлік станогының кескіші және тағы басқалар ілгерілемелі қозғалады. 2.31-суретте ілгерілемелі қозғалыстағы кубтың екі А және В ұштары, сондай-ақ, АВ диагональдағы С нүктесінің траекториялары көрсетілген. A_0 , B_0 , және C_0 нүктелер уақыттың бастапқы уақытындағы кубтың жағдайына тура келеді. B_0B және C_0C траекториялары A_0A мен бірдей және A_0B_0 түзу сызық бойымен A_0B_0 және A_0C_0 қашықтықтарға параллель орын ауыстыру жәрдемінде онымен толық ізбе-із түсірулері мүмкін. Сондай-ақ, ілгерілемелі қозғалыс жасап жатқан дененің барлық нүктелерін радиус векторлары dt уақытта сол бір шама $d\vec{r}'_{\text{ен}}$ ге өзгереді: $d\vec{r}'_A = d\vec{r}'_B = d\vec{r}'_C = d\vec{r}'$, бұл жерде \vec{r}'_A , \vec{r}'_B , \vec{r}'_C , \vec{r}' - А, В, С нүктелер және дене кезкелген М нүктесінің радиус векторлары.

Дәл ретте дененің барлық нүктелерінің жылдамдықтары, сондай-ақ, олардың үдеулері уақыттың әрбір кезеңінде бірдей болуы керек.

$$\vec{V}_A = \vec{V}_B = \vec{V}_C = \vec{V} \quad \text{және} \quad \vec{a}_A = \vec{a}_B = \vec{a}_C = \vec{a}.$$

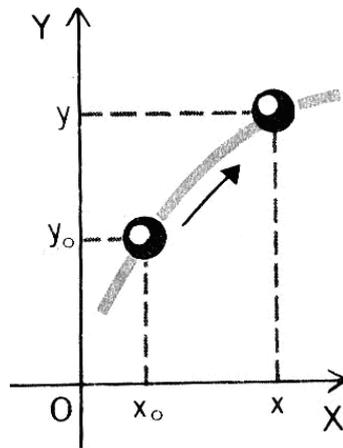
Бұл қатынастардан көрінеді, қатты дененің ілгерілемелі қозғалысын кинематикалық сипаттау үшін оның **қандайда бір нүктесінің қозғалысын көріп шығу жетерлі**.

МАТЕРИАЛЫҚ НҮКТЕНІҢ ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН ҚОЗҒАЛЫСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: траектория, қисық сызық, шеңбер, доға, материалдық нүкте, бұрыштық ығысу, радиан, айналу жиілігі, айналу периоды, радиус-вектор, бұрыштық жылдамдық, бұрғы.

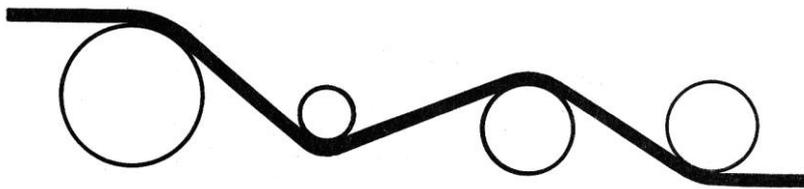
Табиғатта да, техникада да траекториялары түзу сызық емес, қисық сызық болып келетін қозғалыстар өте жиі кездеседі. Бұл қисық сызықты қозғалыстар. Бұған дейін біз түзу сызықты қозғалыстарды зерттедік, олардың траекториялары - түзу сызықтар. Алайда көп жағдайларда қозғалыс қисық сызық бойымен өтеді. Мысалы, жазып отырған қаламсабыңның ұшы да қисық сызықпен қозғалады, көкжиекке бұрыш жасай лақтырылған дене де қисық сызықты траекториямен қозғалады. Автомобиль бір жолдан екінші жолға өткенде де қисық сызықты қозғалады, барлық ғарыштық денелер де қисық сызықты қозғалады. Планеталар мен Жердің жасанды серіктері - ғарыш кеңістігінде, ал Жер бетінде - барлық транспорттар, машиналар мен механизмдердің бөлшектері, өзен сулары, атмосферадағы ауа және с. с. қисық сызықты траекториямен қозғалады.

Қисықсызықты қозғалыс түзу сызықты қозғалыстан гөрі күрделірек. Мұндай қозғалыста дененің тек бір ғана координаты өзгереді деуге болмайды. Мысалы, егер қозғалыс жазықтықта болса, онда төмендегі 2.32-суреттен көріп отырғанымыздай, қозғалыс кезінде екі координат: x пен y өзгереді. Қозғалыс бағыты, яғни жылдамдық векторының, демек, үдеу векторының бағыты үнемі өзгеріп отырады. Жылдамдық пен үдеудің модульдері өзгере алады. Осының барлығы қисық сызықты қозғалыстың түзу сызықты қозғалыстан гөрі күрделі екендігін көрсетеді.



2.32 - сурет

Қисық сызықты қозғалыстардың барлық түрін зерттеп білу мүмкін емес, оның қажеті де жоқ, өйткені кез келген қисық сызықты қозғалысты шеңбер доғалары бойымен өткен қозғалыстардың тізбегі деп қарастыруға болады (2.33-сурет).



2.33-сурет

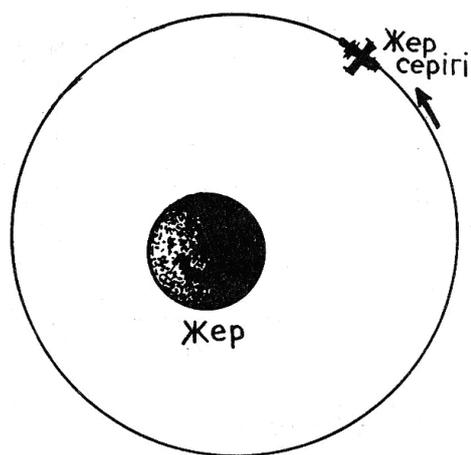
Сондықтан біз алдымен, материялық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысын зерттейміз де, шыққан заңдылықтарды, егер бұл мүмкін болса, қисық сызықты қозғалыстардың басқа түрлеріне пайдаланамыз.

Материялық нүктенің шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалысы. ***Траекториясы шеңберден немесе шеңбер доғасынан тұратын қозғалыс шеңбер бойымен қозғалыс делінеді.***

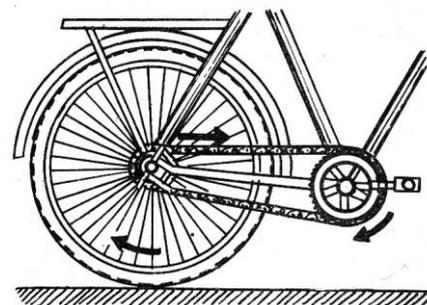
Дененің шеңбер бойымен қозғалысына мыналар мысал бола алады:

а) Дөңгелек орбитамен Жерді айнала қозғалған жасанды серіктің қозғалысы (2.34а-сурет).

б) айналып тұрған дененің қайсыбір нүктесінің қозғалысы (2.34 б-сурет).

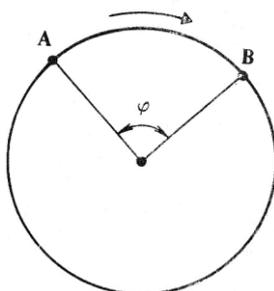


2.34 а-сурет



2.34 б-сурет

Бұрыштық ығысу. Материялық нүкте шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалсын және бұл нүкте t_1 мезетіндегі A қалпынан t_2 мезетіндегі B қалпына орын ауыстырсын (2.35-сурет). Шеңбердің центрінен материялық нүктеге жүргізілген радиус осы уақыт ішінде φ бұрыш сызады, оны **бұрыштық ығысу** деп атайды.



2.35-сурет

Халықаралық бірліктер жүйесінде бұрыштық ығысу *радианмен* өлшенеді.

Р а д и а н дегеніміз шеңбердің екі радиусының арасындағы центрлік бұрыш. Бұл екі радиустың арасындағы доғаның ұзындығы шеңбердің радиусына тең. Оны қысқаша 1 рад деп белгілейді.

Айналу жиілігі және айналу периоды. Нүктенің шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалысын сипаттау үшін арнаулы екі шама: айналу жиілігі мен периодын енгізу қабылданған.

Айналу жиілігі деп материялық нүктенің айналу центрінің маңында бір секунд ішінде жасайтын айналым санын айтады.

Айналу жиілігі гректің ν (ню) әрпімен белгіленеді:

$$V = \frac{N}{t} \quad (2.17)$$

мұнда t – айналу уақыты, N – айналулар саны.

Халықаралық Бірліктер жүйесінде жиілік бірлігіне *1 секунд ішінде жасаған 1 айналым* алу қабылданған. Оны қысқаша 1 с^{-1} деп белгілейді.

Айналу периоды деп нүктенің шеңбер бойымен бір айналым жасауға кеткен уақытын айтады. Айналу периоды T әрпімен белгіленеді.

$$T = \frac{t}{N} \quad (2.18)$$

Халықаралық бірліктер жүйесінде периодтың бірлігі үшін **1 с е к у н д** қабылданған.

Период пен жиілік бір-біріне кері шама екенін байқау қиын емес:

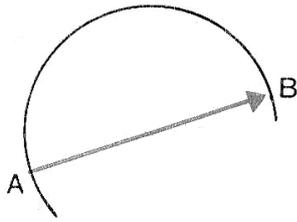
$$v = \frac{1}{T} \quad \text{және} \quad T = \frac{1}{v};$$

Бұрыштық жылдамдық. Дененің шеңбер бойымен қозғалысын бұрыштық жылдамдықпен сипаттайды.

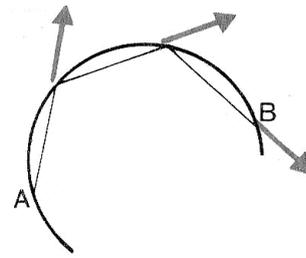
Көз алдымызға келтірейік, материялық нүкте R радиусты шеңбер бойымен қозғалыс жасасын. Бұл қозғалыста нүкте кіші Δt уақыт аралығында $\Delta \varphi$ бұрышқа(доғаға) бұрылсын. Егер күзету уақыты өте кіші болса, бұл доға осы нүктелерді бірлестіріп тұратын хордаға тең болады. Бұл доғада материялық нүкте түзу сызықты қозғалыс жасағандай болады, нәтижеде жылдамдық бағыты хорда бағытында болады.

Түзу сызықты қозғалыс кезінде жылдамдық векторының бағыты әрқашан да орын ауыстыру векторымен бағыттас болады. Қисық сызықты қозғалыс кезіндегі жылдамдық пен орын ауыстырудың бағыттары туралы не айтуға болады?

Хорда бойымен орын ауыстыру. 2.36-суретте қайсыбір қисық сызықты траектория берілген. Дене осы траекторияның A нүктесінен B нүктесіне қарай қозғалады дейік. Сонда дененің жүріп өткен жолы — \vec{AB} доғасының ұзындығы, ал оның орын ауыстыруы — \vec{AB} хордасы бойымен бағытталған вектор.



2.36 – сурет



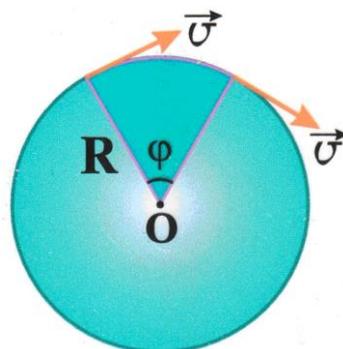
2.37 - сурет

Енді біз жылдамдық әрдайым орын ауыстыру векторы бойымен бағытталады деп айта алмаймыз. A мен B нүктелерінің арасынан бірнеше хордалар жүргізейік және дене осы хордалар бойымен қозғалады деп есептейміз. Олардың әрқайсысында дене түзу сызықты қозғалады және жылдамдық векторы хорданың, яғни орын ауыстыру векторының бойымен бағытталады (2.37-сурет).

Егер дене шеңбер бойымен тең уақыттар арасында тең доғаларды басып өтсе, мұндай қозғалыс **шеңбер бойымен бір қалыпты** қозғалыс делінеді.

Түзу сызықты шеңбер бойымен қозғалыс деп, тең уақыттар аралығында радиустың бұрылыс бұрышы тұрақты болып қалатын қозғалысқа айтылады.

Бұл қозғалысты бейнелеуде координата ретінде φ бұрышты, яғни радиустың ығысу бұрышын аламыз, әдетте φ бұрышты **айналу фазасы** деп айту да мүмкін. Дене Δt уақыт аралығында бір күйден екінші бір күйге өтсе, радиус вектор да бір нүктеден екінші нүктеге өтіп φ бұрышқа ығысады. Бұрыштық координатаның $\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta\varphi$ өзгерісі \vec{r} **радиус-векторының бұрылу бұрышы** (немесе **бұрыштық орын ауыстыру**) деп аталады (2.38 – сурет).



2.38 – сурет

Шеңбер бойымен қозғалатын материялық нүктенің лездік жылдамдығы **бұрыштық жылдамдық** деп аталады. Ол бұрыштық орын ауыстырудың осы орын ауыстыруға кеткен уақытқа қатынасына тең.

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (2.19)$$

Бұл жерде ω - бұрыштық жылдамдық, $[\omega] = \frac{rad}{c}$

φ - бұрылу бұрышы, $[\varphi] = rad$

$\omega_{op} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ қатынасы орташа бұрыштық жылдамдық деп аталады; бұл

қатынастағы $\Delta\varphi - \Delta t$ уақыты ішіндегі бұрыштық орын ауыстыру.

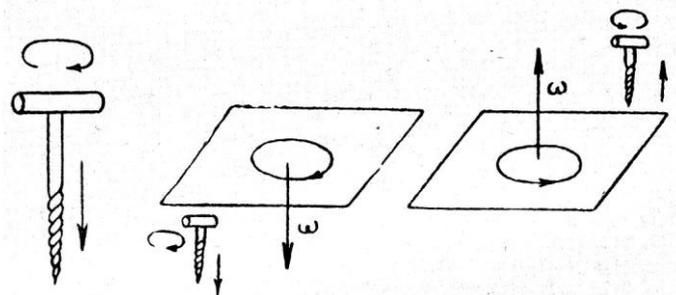
Егер қозғалыс айнымалы болса, бұрыштық жылдамдықты төмендегіше лимит арқылы бейнелеу мүмкін.

$$\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} \quad (2.20)$$

Төмендегі үш нәрсе: 1) бұрыштық жылдамдық ω (немесе сызықты жылдамдық v); 2) шеңбер жатқан жазық және 3) айнарудың бағыты белгілі болса, белгілі R радиусты шеңбер бойымен болып жатқан қозғалыс толық сипатталған болады.

Бұрыштық жылдамдық векторының бағыты бұрғы ережесіне негізделіп анықталынады.

Егер бұрғы тұтқасының айналу бағыты шеңбер бойымен қозғалыс бағытына дәл, сәйкес келсе, бұрғының ілгерілемелі қозғалысы бұрыштық жылдамдық бағытын көрсетеді (2.39-сурет).



2.39 - сурет

Әр қандай бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыстың негізгі шарты: бұрыштық жылдамдық векторының мөлшер және бағыт жағынан тұрақты қалуы, яғни: $\vec{\omega} = const$

Бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыстың бұрыштық жылдамдығын период және жиілік арқылы бейнелеу мүмкін. $\omega = \frac{\varphi}{t}$ формулада t уақыт T периодқа тең, яғни $t = T$ болса, φ бұрылу бұрышы 2π ге, яғни $\varphi = 2\pi$ болып (уақыт аралығында дене бір рет толық айналады, φ бұрыш болса 2π ге артады), $\omega = \frac{\varphi}{t}$ формула төмендегі көрініске келеді.

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Бұл формулада T период жиіліктің кері өрнегі $\left(\frac{1}{\nu}\right)$ мен алмастырылса:

$$\omega = 2\pi\nu$$

Сонымен, бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыстың периоды және жиілігі арқылы бұрыштық жылдамдығын оңай анықтау мүмкін.

Нүктенің қозғалысы бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыс болмаса, бұрыштық жылдамдығының өзгеру шапшандығын сипаттайтын физикалық шама-*бұрыштық үдеу* түсінігі енгізіледі. Бұрыштық үдеу β әрпімен белгіленеді және төмендегіге тең болады:

$$\beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (2.21)$$

Айнымалы шеңбер бойымен лездік бұрыштық үдеуден пайдаланылады.

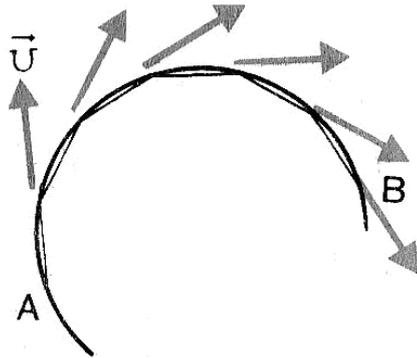
Оның математикалық өрнегі $\beta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$ дан алынған лимиттен тұрады.

$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt} \quad (2.22)$$

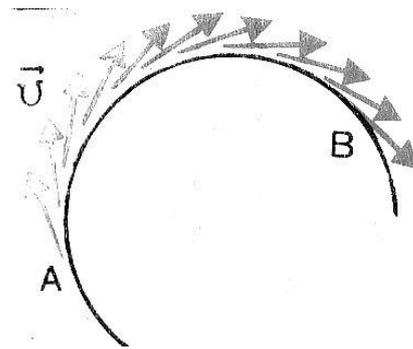
Бұл жерде $\Delta\omega$ -бұрыштық жылдамдықтың Δt уақыты ішіндегі өзгерісі. Бұрыштық үдеуда векторлық шама болып, бұрыштық жылдамдықтың өзгеру бағыты бойымен бағытталған болады.

$$\vec{\beta} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (2.23)$$

Лездік жылдамдық жанама бойымен бағытталады. Енді түзу сызықты бөліктерді әлдеқайда қысқарақ (2.40-сурет) етіп алайық. Олардың әрқайсысында жылдамдық векторы бұрынғысынша хорданы бойлай бағытталады. Бірақ бұл сынық сызық біркелкі жатық қисыққа көбірек ұқсас екені көрініп тұр.



2.40 – сурет



2.41 - сурет

Сондықтан түзу сызықты бөліктердің ұзындығын одан әрі кішірейте отырып (әрине, олардың санын көбейтіп), біз оларды нүктеге жақындатып жиырамыз, сонда сынық сызық біркелкі жатық қисыққа айналады. Бұл қисық сызықтың әрбір нүктесінде жылдамдық сол нүкте арқылы қисық сызыққа жүргізілген жанама бойымен бағытталады (2.41-сурет).

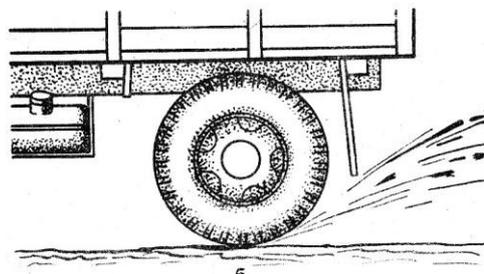
Дененің қисық сызықты траекториясының кез келген нүктесіндегі лездік жылдамдығы траекторияның осы нүктесіне жүргізілген жанама бойымен бағытталады.

Қисық сызықты қозғалыста нүктенің жылдамдығы шынында да жанама бойымен бағытталғандығына, мысалы, қайрақтың жұмысын бақылап (2.42-сурет)



2.42 - сурет

көз жеткізуге болады. Егер айналып тұрған қайрақ тасқа болат шыбықтың ұшын баса қойсақ, тастан шығып шашыраған қызған бөлшектер ұшқын тәрізденіп көрінеді. Бөлшектер тастан бөлініп шыққан кезде қандай жылдамдық алса, сондай жылдамдықпен ұшады. Ұшқындардың шығу бағыты, болат шыбықтың тасқа тиіп тұрған нүктесінде, шеңберге жүргізілген жанамамен дәл келетіні суреттен айқын көрінеді. Сазға батқан автомобильдің доңғалағы астынан ұшатын саз балшық та шеңберге жанама бойымен ұшады (2.43-сурет).



2.43- сурет

Сонымен, дененің лездік жылдамдығы қисық сызықты траекторияның әрбір нүктелерінде, 2.44-суретте көрсетілгендей, түрлі бағыт алады. Жылдамдық модулі траекторияның барлық жерінде бірдей болуы (2.43-суретті қара) немесе нүктеден нүктеге (2.44-сурет) өзгеруі мүмкін.



2.44 – сурет

Тіпті жылдамдық модулі өзгермесе де, бәрібір тұрақты деуге болмайды. Өйткені жылдамдық - векторлық шама. Ал векторлық шамалар үшін модуль мен бағыт екеуі де бірдей маңызды шамалар. Сондықтан жылдамдық модулі тұрақты болған жағдайдың өзінде **қисық сызықты қозғалыс әрқашан да үдемелі болады.**

Сызықты жылдамдық деп, уақыт бірлігі ішінде басып өтілген жол ұзындығына айтылады. Сызықты жылдамдық қозғалыс бағытына өткізілген жанама бойымен бағытталады.

Бұрыш $\Delta\varphi$ ға өзгергенде В нүкте шеңбер бойымен $\Delta\tilde{S}$ доғаны басып өтсін деп ойлайық, ол күйде нүктенің сызықты жылдамдығы $v = \frac{\Delta\tilde{S}}{\Delta t}$, екінші жақтан $\Delta\varphi = \frac{\Delta\tilde{S}}{R}$; мұннан $v = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \cdot R$ немесе $v = \omega \cdot R$ центрден В нүктеге дейін болған қашықтық.

ω бұрыштық жылдамдық белгілі мәнге ие болсын, ол күйде В нүкте центрден қанша ұзақта болса, оның сызықты жылдамдығы сонша үлкен болады.

Егер бұрыштық жылдамдық өзгеріп отыратын, ал бұрыштық үдеу тұрақты болатын болса, онда шеңбер бойымен қозғалыс бір қалыпты айнымалы деп аталады; бір қалыпты айнымалы қозғалыс кезінде t уақыттағы ω_τ бұрыштық жылдамдық және φ_τ бұрыштық координата мына қатынастармен анықталады:

$$\text{Бұрыштық жылдамдық: } \omega_\tau = \omega_0 \pm \beta t$$

$$\text{Бұрыштық координата: } \varphi_\tau = \varphi_0 \pm \omega_0 t \pm \frac{\beta t^2}{2}$$

Жылдамдық пен үдеу бағыттары бірдей болса, онда материялық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысы бір қалыпты үдемелі болады, керісінше болса баяуламалы болады.

Жылдамдық векторы бағытының өзгеруі нәтижесінде центрге тартқыш үдеу деп аталатын үдеу пайда болады. Центрге тартқыш үдеуді көбінесе **нормаль үдеу** деп (яғни жылдамдыққа перпендикуляр деп) атайды.

Үдеудің нормаль құраушысы жылдамдықтың бағыты бойынша өзгерісін сипаттайды (траекторияның қисықтық центріне қарай бағытталған).

Шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалған дененің (материялық нүктенің) траекторияның кез келген нүктесіндегі үдеуі қозғалыс жылдамдығына перпендикуляр және шеңбердің центріне бағытталады. Оның модулі сызықтық жылдамдықтың квадратын айналу радиусына бөлгендегі бөліндіге тең болады.

Оның модулі төмендегі өрнектен анықталады:

$$a_{ц} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = 4\pi^2 v^2 R, \quad (2.24)$$

бұнда ϑ -сызықты жылдамдық, ω -бұрыштық жылдамдық.

Материялық нүкте шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалғанда центрге тартқыш үдеу траекторияның кезкелген нүктесінде қозғалыс жылдамдығына перпендикуляр және шеңбер радиусы бойымен оның центріне қарай бағытталған болады.

Тангенциал (центрден тепкіш) үдеу болса жылдамдықтың сан мәні өзгеруі нәтижесінде пайда болады және $a_{\tau} = \frac{\Delta \vartheta}{\Delta t}$ формуладан табылады.

Үдеудің тангенциал құраушысы жылдамдықтың модулі бойынша өзгерісін сипаттайды (траекторияға жанама бойымен бағытталған).

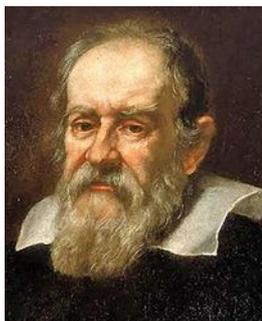
Қисық сызықты қозғалыста толық үдеудің модулі төмендегі өрнектен табылады:

$$a = \sqrt{a_r^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{\Delta \vartheta}{\Delta t}\right)^2 + \left(\frac{\vartheta^2}{R}\right)^2} \quad (2.25)$$

ДЕНЕНІҢ ЕРКІН ТҮСУІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Г.Галилей, Жердің тартылыс күші, еркін түсу,

Дененің еркін түсуі мен жоғарыға тік лақтырылған дененің қозғалысы түзу сызықты бір қалыпты өзгертін қозғалысқа мысал болады. Денелердің бұндай қозғалысын Италия ғалымы *Галилео Галилей* (1564-1642) XVI ғасырдың соңында зерттеген (2.45-сурет).



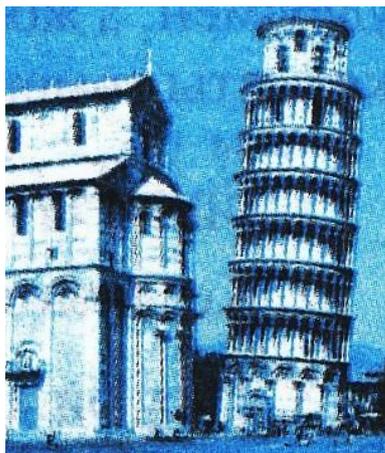
2.45-сурет

Галилео Галилей (1564-1642) - италияның атақты физигі әрі астрономы. Ол бірінші болып табиғатты зерттеудің тәжірибелік әдісін қолданды. Дененің еркін түсу заңын ашты және инерция заңын тағайындады. Көру түтігін ойлап тауып, оны астрономиялық бақылаулар үшін қолданды және бірқатар, маңызды жаңалықтар ашты. Жердің айналуы туралы Коперник теориясының белсенді жақтаушысы ретінде Галилей екі рет инквизицияның сотына тартылды. Сот оны бұл теориядан жұртшылық алдында бас тартуға мәжбүр етті. Аңыз бойынша, Галилей өзінің еріксіз «бас тартқанынан» кейін де: «Бәрібір айналады» деп жар салған көрінеді.

Егер болат шар, футбол добы, бір бөлек қағаз, құс мамығын белгілі бір биіктіктен бір уақытта тастап жіберсек, олар әр түрлі уақытта Жерге түседі және үдеулері әр түрлі болады. Аристотель бұл денелер алған үдеу олардағы зат мөлшеріне байланысты, егер көлемі бірдей болып, қайсы денеден зат мөлшері көп болса, ол тез түседі және үлкен үдеуді алады, деп қорытынды шығарды. Аристотель (384-372 жылдар э. а.) қорытындысы екі мың жылға дейін тура деп қабылданды. (XVI ғасырдың соңына дейін) 1583 жылда

Г.Галилей (1564-1642 ж) денелердің түсу заңдарын үйренгеннен кейін Аристотель пікірлері қате деген қорытындыға келді.

Галилей еркін түсіп жатқан дененің қозғалысы бір қалыпты үдемелі қозғалыс екенін анықтаған. Ол Пиза мұнарасынан денені тастап, оның жерге түскен уақытын және мұнараның биіктігін өлшеу арқылы түсудің үдеуін есептеп тапқан (2.46-сурет). Оның есептеуінше, биіктіктен тасталған дене $9,81 \text{ м/с}^2$ үдеумен жерге түседі.



2.46-сурет

Қолымыздағы тасты қойып жіберсек, ол жерге еркін түседі. Бірақ қағаз қиындысы мен құстың мамығын қойып жіберсек, олар жерге тез түспейді, яғни біраз ұшып жүріп, жайлап жерге түседі. Қағаз қиындысы мен құстың мамығының жерге еркін түсуіне ауа кедергі жасайды.

Кейіншелік денелердің еркін түсулерін үйреніп, денелер алатын үдеу олардың үлкен-кішілігіне байланысты емес. Барлық денелер ауасыз жерде бірдей үдеумен түседі, деп айтты.

Сонымен, Г. Галилей денелердің Жердің тартылыс күші әсеріндегі қозғалысын үйреніп шығып, еркін түсуді төмендегіше сипаттады:

Еркін түсу деп, тыныш күйдегі дененің ауырлық күші әсерінде ауасыз жерде (вакуумде) жерге түсуіне немесе дененің тек ауырлық күші әсері астындағы қозғалысқа айтылады.

*Дененің ауасыз жерде тек Жердің тартуы әсеріндегі қозғалысы **еркін түсу** деп аталады.*

Еркін түсу – денелердің Жердің тартылыс күші әсеріндегі (ауасыз ортадағы) қозғалысы болып, түзу сызықты айнымалы қозғалыс болып есептеледі.

Жердің полюсінде $g = 9,83 \frac{M}{c^2}$, экваторда $g = 9,78 \frac{M}{c^2}$ ке тең. (Полюста және экваторда орналасқан нүкте Жер центрінен бірдей қашықтықта емес. Полюстегі нүкте экватордағы нүктеге салыстырғанда Жер центріне жақынырақ, сол үшін полюстегі g ның мәні экватордағы мәнінен үлкен).

Еркін түсу үдеуінің орташа мәні $g = 9,807 \frac{M}{c^2}$ Жер сыртындағы 45° географик кеңдікке тура келеді.

Демек, дененің тек қана ауырлық әсеріндегі қозғалысы еркін қозғалыстан тұратын болады. Тәжірибелер, еркін түсіп жатқан дененің қозғалыс заңдары бір қалыпты үдемелі қозғалыс заңдары сияқты болуын дәлелдейді.

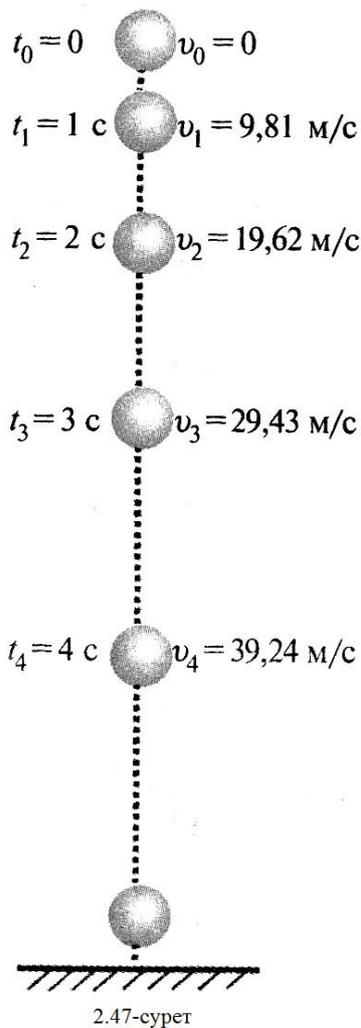
Дененің еркін түсуін үйреніп төмендегі қорытындыға келінген:

1. Денелердің еркін түсуі бастапқы жылдамдықсыз бір қалыпты үдемелі қозғалыстан тұрады. Мұнда дене еркін түсіп жатқанда оның үдеуі тұрақты болады.

2. Жердің берілген жерінде ауаның кедергісі болмағанда, барлық денелер еркін түсу үдеуі деп аталатын бірдей үдеумен қозғалады.

Тығыздығы үлкен тас, металл шар сияқты денелердің түсуінде дененің кедергісін есепке алмаса да болады. Олардың түсуін еркін түсу деп есептеуге болады.

Еркін түсетін дененің жылдамдығы бірдей уақыт аралығында бірдей артады. 80 м биіктіктен металл шарды қойып жібердік деп ойлайық. Мұнда шар бір қалыпты үдемелі қозғалыс жасап, оның жылдамдығы әр секундта 9,81м/с-ке артады (2.47-сурет).



Еркін түсетін дененің үдеуі тұрақты шама, бұл шама еркін түсу үдеуі деп аталады және g әрпімен белгіленеді:

$$g_{Жер} = 9,81 \frac{M}{c^2}, \quad g_{Аи} = 1,6 \frac{M}{c^2}$$

Еркін түсу үдеуін шамамен $9,8 \text{ м/с}^2$, кейбір жағдайларда дөңгелектеп 10 м/с^2 -қа тең деп алуға болады.

Еркін түсу үдеуі векторлық шама, ол әрқашан төмен қарай тік бағытталған болады.

Түзу сызықты бір қалыпты айнымалы қозғалысқа қатысты барлық формулаларды еркін түсуге қолдану мүмкін. Тек мұнда a үдеуін g еркін түсу үдеуімен, S жолды h биіктікпен алмастырсаң жеткілікті. Сонымен, еркін түсуге қатысты төмендегі формулаларды жазу мүмкін:

$$\text{Еркін түсу үдеуі: } g = \frac{g - g_0}{t}; \quad g_0 = 0 \text{ болғанда: } g = \frac{g}{t}.$$

$$\text{Кез келген } t \text{ уақыттағы жылдамдық: } g = g_0 + gt; \quad g_0 = 0 \text{ болғанда: } g = gt.$$

$$\text{Түсу биіктігі: } h = g_0 t + \frac{gt^2}{2}; \quad g_0 = 0 \text{ болғанда: } h = \frac{gt^2}{2}.$$

$$\text{Орташа жылдамдық: } g_0 = 0 \text{ болғанда: } g_{opt} = \frac{g}{2}$$

Дене жоғарыға тік лақтырылғанда, ол бір қалыпты баяу қозғалыс жасайды. Бұнда дененің үдеуі $a = -g$ деп алынады. Олай болса жоғарыға тік лақтырылған дененің жылдамдығы мен көтерілу биіктігі төмендегідей болады:

$$g = g_0 - gt; \quad h = g_0 t - \frac{gt^2}{2}$$

Жоғарыға тік лақтырылған дене қанша уақыт жоғарыға көтерілсе, соншама уақытта лақтырылған нүктеге қайтып түседі. Дене қандай

жылдамдықпен лақтырылған болса, қайтып түсуде сол нүктеде сондай жылдамдықта болады.

Жер бетінің берілген нүктесі үшін, ауаның кедергісін ескермеген кезде Жер бетіне жуық жердегі барлық денелер бірдей еркін түсу үдеуімен түседі. Енді осындай өрістегі қозғалысты нақты бір мысал арқылы қарастырайық.

Дене бастапқы жылдамдықпен тік жоғары лақтырылады. Ауаның кедергісін ескермеу керек.

а) Дене қандай h биіктікке көтеріледі?

б) Қанша t_1 уақытта көтеріледі?

в) Көтерілген h биіктігінен қандай t_2 уақыт ішінде қайта түседі?

г) Дененің жерге келіп түскен кездегі \mathcal{V} жылдамдығы қандай болады?

Қозғалыс жоғары тік бағытталған y өсінің бойымен өтетін болсын, осы кезде денеге түсірілетін еркін түсу үдеуі g қозғалысқа қарсы бағытталған болады. Демек, жоғары тік лақтырылған дененің қозғалысы үдемелі баяу болады да, дене ақыры келіп тоқтайды. Сонымен, жоғары тік лақтырылған дененің қозғалысы бастапқы жылдамдықпен өтетін, бірақ ақырғы жылдамдығы нөлге тең болатын қозғалыс екен. Бұл жағдайда қозғалысты сипаттайтын теңдеулерден мыналарды пайдаланамыз:

$$y - y_0 = \mathcal{V}_0 t - \frac{gt^2}{2}; \quad \mathcal{V} = \mathcal{V}_0 + gt; \quad \mathcal{V}^2 - \mathcal{V}_0^2 = 2g(y - y_0).$$

Біздің жағдайымызда $\mathcal{V} = 0$, $y_0 = 0$. Сондықтан үшінші теңдеуден $-\mathcal{V}_0^2 = 2(-g)y$; $y = h$, осыдан

$$\text{а) } h = \frac{\mathcal{V}_0^2}{2g}$$

Дененің h биіктікке көтерілуге кеткен уақытын табу үшін екінші теңдікті пайдаланамыз, мұнда $\mathcal{V} = 0$. Сонда $0 = \mathcal{V}_0 - gt_1$; осыдан

$$\text{б) } t_1 = \frac{\mathcal{V}_0}{g}$$

h биіктікке көтерілген дене енді Жердің тартылу күшінің арқасында еркін түседі. Бастапқы жылдамдық нөлге тең $g_0 = 0$ және $y_0 = h$ деп аламыз. Сонда бірінші тендеуден

$$y = y_0 - h = -\frac{gt_2^2}{2} \quad \text{в) } t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Енді үшінші тендеуден $y = 0$ деп алатын болсақ, онда $g = g_0$. Осыдан ауаның кедергісін ескермеген кезде, денені қандай бастапқы жылдамдықпен жоғары тік лақтырсақ, оның жерге дәл сондай жылдамдықпен қайтып келетіндігін көреміз

$$\text{г) } g = g_0.$$

h биіктіктен еркін түсіп келе жатқан жағдай үшін $2h = \frac{g_0^2}{g}$ деп алып, дененің осы биіктіктен t_2 түсу уақытын түрлендірейік:

$$t_2 = \sqrt{\frac{1}{g} \frac{g_0^2}{g}} = \frac{g_0}{g}$$

Яғни дененің көтерілу уақыты түсу уақытына тең болады, олай болса, толық қозғалыс уақыты

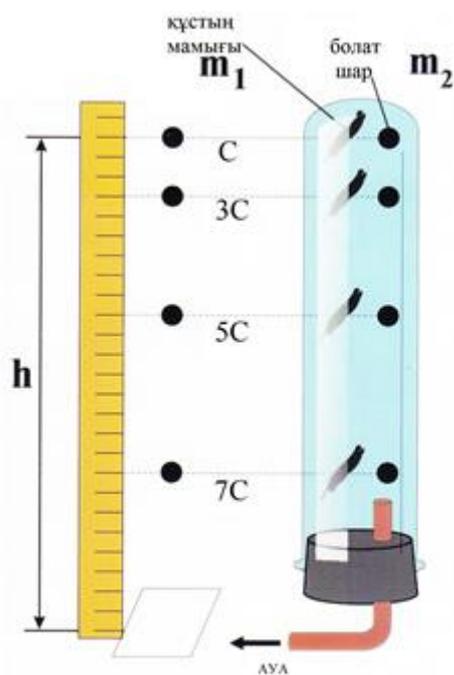
$$t = t_1 + t_2 = \frac{2g_0}{g} \text{ болады екен.}$$

Егер болат шарды, футбол добын, жайылған газетті, құс қауырсынын алып, осы әр текті заттарды бірнеше метр биіктіктен тастап, олардың түсуін бақыласақ, ол денелердің үдеулері түрліше екенін көреміз. Бірақ мұны түсіндіргенде жерге түсіп келе жатқан денелердің қозғалысына денелердің бөгет жасайтынын айтпауға болмайды. Егер ауаның денелерге кедергі жасайтынын болдырмасақ, онда барлық денелердің еркін түсу үдеуі бірдей болар еді. Мұндай тәжірибені ұзындығы бір метр шамасында, бір ұшы тұйық, ал екінші ұшында шүмегі бар қалың шыны түтікпен жасауға болады.

Түтікке үш түрлі зат, мысалы: қорғасын бытыра, тығын және қауырсын салайық. Содан соң ол түтікті тез төңкерелік.

Сонда бұл денелер түтіктің түбіне әр қилы уақытта жетеді: ең алдымен бытыра, содан соң - тығын, ең соңында қауырсын. Түтікте ауа

болған жағдайда ол денелердің түсуі осылай болады. Ал түтіктен ауаны сорып алып, сонан соң кранды жауып, түтікті қайтадан төңкерсе, сонда барлық, үш дененің сол түтік түбіне бір мезгілде жеткенін кереміз. Бұл вакуумда барлық денелердің бірдей үдеумен түсетінін көрсетеді. Вакуумдағы мұндай түсуді **еркін түсу** деп атайды(2.48-сурет)



2.48-сурет

Басқа үдемелі қозғалыстардың барлығының үдеуіндегі a әрпінің орнына еркін түсу үдеуін g (лат. «же») әрпімен белгілеу келісілген. Сонымен g векторы әрдайым төменге бағытталады: дене төмен қарай үдемелі жылдамдықпен құлайды, сонда жылдамдық секундына $9,8$ м/с артады. Жоғары лақтырылған дене кемімелі жылдамдықпен қозғалады. Егер координат осін тік (жоғары не төмен) бағыттасақ, көбіне осылай жасайды да, және оны y арқылы белгілесек, сонда g_y проекциясының

модулі g векторының модуліне тең болады. Егер y осі төмен бағытталса, проекция - оң, ал y осі жоғары бағытталғанда теріс болады.

$$h = \frac{v^2 - v_0^2}{2g}$$

ІІІ БӨЛІМ. МАТЕРИЯЛЫҚ НҮКТЕ ДИНАМИКАСЫ

ДИНАМИКА. НЬЮТОННЫҢ БІРІНШІ ЗАҢЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: динамика, әсер, күш, бір қалыпты қозғалыс, түзу сызықты қозғалыс, түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс, инерция, инерция заңы, инерциялық санақ жүйесі, Ньютонның I заңы.

Кинематикада нүкте және дене қозғалыстарының түрлері үйренілетін болса – да, қозғалыстың келіп шығу себептері, қай уақытта қандай пайда болуы анықталмады. Қозғалыс түрлерінің келіп шығу себептері физиканың динамика бөлімінде үйреніледі.

Динамика қандай жағдайда денелер қалай қозғалатынын, қашан бірқалыпты, қашан үдемелі қозғалатынын және қашан түзу сызықты, қандай жағдайда қисық сызықты қозғалатынын түсіндіріп береді.

Динамиканың негізіне ағылшынның ұлы физигі И с а а к Ньютон 1687 жылы, осыдан 300 ден артық жылдай бұрын жарық көрген «Натурал философияның математикалық бастамалары» деген еңбегінде тұжырымдаған денелер қозғалысының заңдары жатады. Бұл еңбек негізгі ұғымдарды (масса, күш, қозғалыс мөлшері, үдеу), механиканың үш заңын, бүкіләлемдік тартылыс заңын қамтиды.

И. Ньютон өзіне дейінгі ғалымдардың механика саласындағы еңбектерін терең зерттей келе және өзінің зерттеулеріне сүйене отырып, механиканың негізгі ұғымдарын (масса, күш, импульс, және басқаларын) енгізді және солардың көмегімен қозғалыстың үш заңын тұжырымдады. Ол Ньютон заңдары деп аталды.

Тарих курсынан өздерің білетіндей, XVII ғасыр бұл Англиядағы буржуазиялық төңкеріс ғасыры. Азамат соғысы, корольді жазаға тарту, республиканы орнату, корольдің билігін қайта орнату, Англиядағы буржуазиялық төңкерістің соңы болған 1688 жылғы көтеріліс, міне Ньютон осындай басты-басты саяси оқиғалардың куәсі болды.

Ньютона өмір сүрген кезеңі феодалдық құрылыстың капиталистік құрылысқа өту кезеңі еді. Бұл кезеңде өнеркәсіптің әр түрлі саласында күрделі механизмдер мен құрылғылар (насостар, жүк көтергіштер, кен ұнтағыштар, ұста балғалары) пайда бола бастады. Техниканың күрт дамуы көптеген ғылыми мәселелерді шешуді, әсіресе, оның ішінде механикадағы мәселелерді шешуді талап етті. Осы жұмыстың негізгі салмағы Ньютонға тиесілі болды.

И. Ньютон өндірісті жетілдірудің басты әдісі ғылымда екенін көре білді. Ол былай деп жазды: «Егер балалар тәжірибелі мұғалімдерден жеткілікті білім алып, тәрбиеленсе, онда келешекте іскер теңізшілер, кеме жасаушылар, сәулетшілер және теңіз бен құрлықта жұмыс істейтін әр түрлі математикалық мамандық иелері - халыққа қызмет етер еді».

Динамика (*dinamis* күш деген грек сөзі) механиканың денелердің басқа денелермен әсерлесуі нәтижесінен пайда болған қозғалысты қарастыратын бөлімі.

Динамика сөзі латын тілінген алынған болып, дина – күш, мика – үйрену демек, күштерді үйренетін механиканың бір бөлігі болып есептелінеді.

Динамика – денелердің өзара әсерін және сол әсерлердің нәтижесінде пайда болатын қозғалыс заңдылықтарын зерттейтін механиканың бір саласы.

Динамика – нүкте немесе денелер қозғалысын күшпен байланыстырып үйренетін механиканың бір бөлімі.

Динамика - дене қозғалысын үйреніп, дене қозғалғанда оған әсер ететін күштерді есепке алады. Динамиканың негізін Ньютон заңдары құрайды.

Динамика екіге бөлінеді:

- Нүкте динамикасы
- Қатты дене динамикасы

Денелер нүктелерден құралғандығы үшін нүкте динамикасы үйренілгеннен кейін қатты дене динамикасы үйреніледі.

Нүкте динамикасында нүктеге әсер ететін күштер жәрдемінде қандай түрдегі қозғалыстар пайда болуы үйреніледі. Бұл қозғалыстар күшпен байланыстырып үйреніледі.

Осы уақытқа дейін біз денелердің орын ауыстыруын уақытқағана байланыстырып тексеріп келдік. Денелердің қозғалыс күйлері өзгеруін пайда ететін өзара әсерлеріне байланысты мәселелерге толық мән бермей келдік.

НЬЮТОННЫҢ БІРІНШІ ЗАҢЫ

Галилейге дейін ғалымдар дене түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс жасауы үшін оған күш әсер етуі қажет деп есептейтін еді. Галилейдің көрсетуінше, бұл қате түсінік болып, түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс болуы үшін еш қандай күштің керегі жоқ, яғни $R = 0$ болғанда түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс бола береді.

Денелерді өзінің тыныш немесе түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс күйін, яғни жылдамдық векторын сақтау құбылысына **инерция** деп айтылады. Галилей барлық денелерде сондай болуын тәжірибелерде анықтап, теориялық жалпыластырды. Исаак Ньютон (1643 -1727) бұл Галилей қорытындыларын жалпыластырып инерция заңын ашты. Инерция заңына **Ньютонның бірінші заңы** деп айтылады.

Инерция құбылысы барлық денелерде пайда болады, инерциясы болмаған дене жоқ.

Г.Галилей денелердің қозғалыстан тоқтауының негізгі себебі – қозғалысқа қарсылық ететін қандай – да әсер болып, қозғалысты, яғни жылдамдықты өзгертеді, деген пікірді айтып өткен. Бұл пікірді Ньютон дамытып, өзінің заңын жаратты.

Ньютонның бірінші заңын төмендегіше сипаттау мүмкін: *әр қандай дене өзінің тыныштық күйін немесе түзу сызықты бір қалыпты күйін оған басқа денелер әсер етіп, оны осы күйден шығарғанша сақтайды.*

Ньютонның бірінші заңын төмендегіше сипаттау мүмкін: *Сондай санақ жүйелері бар, мұнда денеге күш әсер етпесе немесе әсер етіп тұрған күштер өзара компенсацияланса (тең әсер етушісі нольге тең*

болса), бұл дене тыныш тұрады немесе түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс жасайды.

Бұл сипаттаудың бірінші жарымын, яғни дененің “тыныш күйінде” болуын түсіну оңай. Денеге сыртқы әсер болмаса, ол қозғалысқа келмейді. Сипаттаудың екінші жарымы неге “түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс” немесе “бір қалыпты қозғалыс” деп айтылмаған?

Өйткені, түзу сызықты қозғалыс екі түрлі - бір қалыпты және айнымалы болуын кинематикада көрдік, айнымалы қозғалыста жылдамдық өзгеріп, үдеу пайда болады. Сол үшін “бір қалыпты қозғалыс” деп айтылған. “Түзу сызықты” сөзінің қосып жазылуына себеп осы, мұндай қозғалыстар да екі түрлі - түзу сызықты және қисық сызықты қозғалыс болады. Қисық сызықты бір қалыпты қозғалыста көргеніміздей, қалыпты үдеу пайда болады. Сол үшін Ньютонның бірінші заңының екінші жарымы “түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс” деп сипатталады.

Дене қозғалысы санақ жүйелерінде бейнеленеді. Бірақ Ньютонның I заңы қаралып жатқан санақ жүйелерінде ғана түзу бейнеленеді. Алынған санақ жүйесі кезкелген санақ денесімен байланысқан болады. Сондай-ақ, инерция, дененің өз симметриялық жағдайын сақтап қалу қасиетін сипаттайды.

Мысалы, Жермен, Күнмен. Алынған жүйеге қатынасты дене түзу сызықты бір қалыпты болса, бұл жүйе үшін Ньютонның I заңы орынды болады.

Ньютонның I заңы инерция заңы және ол орындалып тұрған санақ жүйесіне *инерциялық санақ жүйесі* деп аталады.

Автобус орнынан қозғалған уақытта автобус ішіндегі жолаушылар арқаға ығысады. Бұл инерцияға мысал болады. Мұнда автобус санақ жүйесі болып есептелінеді.

Ньютонның бірінші заңы бойынша дене материялық нүкте деп қаралады, яғни оның шеңбер бойымен қозғалысына мән берілмейді. Денеге

басқа денелер әсер етпесе, ол түзу шеңбер бойымен қозғалыс күйінде болуы да мүмкін.

Ньютонның бірінші заңынан бойынша, дене өзінің тыныш күйін немесе түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс күйін оған *басқа материялық денелер әсер еткендегіне* өзгертуі мүмкін.

Ньютонның бірінші заңын тәжірибелерде тікелей тексеріп көру мүмкін емес, өйткені біз жасап тұрған нақты жағдайда басқа денелер толығынша әсер етпейтін дене жоқ. Бырақ бір қатар дәлелдерді жалпыластыру арқылы Ньютонның бірінші заңының турылығына сенім арттыруымыз мүмкін. Айналамыздағы денелердің әдетте күзетілетін тыныш күйінде болуына бір неше дененің белгілі бір денеге көрсетіп жатқан әсерлері бір – бірін компенсациялап тұруы себеп болады. Мысалы, ауыр дене тыныш күйінде тұрғанында жердің тартылысы және тіреуіштің реакциясы бір – бірімен теңдесін тұрады. Қозғалыстағы денеге басқа денелер қанша кем әсер етсе, ол күйде дене өзінің жылдамдығын сонша ұзақ уақыт сақтайды. Бірер бастапқы жылдамдықпен атылған және жер сыртында сырғанап бара жатқан тас, бұл бет қанша бір қалыпты болса, яғни осы тасқа басқа денелердің әсері қанша кем болса, сонша ұзақ барады. Ньютонның бірінші заңынан келіп шығатын қорытындылардың тәжірибе мәліметтеріне дәл келуі бұл заңның туры екендігіне біздің сенімімізді арттырады.

Ньютонның бірінші заңының үстінде кеңінен тоқталу үшін төмендегі сұраққа жауап беру қажет болады; Ньютонның бірінші заңында айтылып жатқан тыныштық күйі немесе түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс қандай санақ жүйесіне (қандай координаталар жүйесіне) қатынасы анықталады? Ньютонның өзі қозғалысты қандай – да бір абсолют кеңістіктегі абсолют қозғалыс деп ойлаған. Ол мынадай деп жазады: “Абсолют кеңістіктің өзінің толық маңызымен, еш қандай сыртқы предметке байланысты болмаған күйде, барлық уақыт бірдей және тұрақты болып қала береді Дене өзінің бір абсолют орнынан екіншісіне өтсе, абсолют қозғалыс жасаған болады”. Бұл – метафизикалық көзқарас болып, шындыққа туры келмейді. Объектив

бар болған нақты кеңістіктің қасиеттері материяның өзі арқылы анықталады. Біз жоғарыда, денелердің орны және олардың қозғалысы тек басқа материялық денелерге қатынасты түрдеғана анықталынуы мүмкін, деп айтып өткен едік; бірғана дененің өзі әр түрлі денелерге қатынасты әр түрлі қозғалыс жасауы мүмкін.

Күзетулер Ньютонның бірінші заңы әр қандай координаталар жүйесіне қатынасты туры бола бермеуі мүмкін екендігін көрсетті. Бір қанша мысалдар көрейік. Түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс жасап жатқан вагон санақ жүйесі болсын, деп ойлайық. Ол күйде, егер сілкіністертерді есепке алмасақ, Ньютонның бірінші заңы орынды болады: вагонға қатынасты тыныш тұрған денелер, оларға сырттан басқа денелер әсер етпесе, қозғалысқа келмейді және тағы басқалар. Бірақ вагон туры жолдан бұрыла бастаса, қозғалысын баяулата бастаса немесе жылдамдата бастаса, Ньютонның бірінші заңы турыдан – туры бұзыла бастайды; осы уақытқа дейін тыныш тұрған денелердің, оларға айналасындағы денелер көзге көрінерлі әсер етпесе – да, шетке ығысып кетуін немесе жығылып түсуін көру мүмкін. Санақ жүйесі ретінде жер шарын қабылдайық; бұл күйде Ньютонның бірінші заңы қозғалыстағы вагон мысалына қарағанда анығырақ орындалады, өйткені вагон бір қалыпты қозғалыста болса да, сілкіністердің әсері сезіліп тұрады. Бірақ, Жер шарына қатынасты қаралып жатқан кейбір процесстер (маятниктің тербелісі, ауа немесе океан ағындарының тарқалуы және басқалар) үстінде өткізілген анық күзетулер Ньютонның бірінші заңынан, анығырағы, одан келіп шығатын қорытындылардан шеттесулер барлығын көрсетеді. Енді біз санақ жүйесі ретінде координаталар басы Күнде және осьтері белгілі жұлдыздарға қарап бағытталған гелиоцентрик жүйені алсақ, бұл жүйеде Ньютонның бірінші заңы практикада толығынша туры орындалады. Бірер санақ жүйесіне қатынасты Ньютонның бірінші заңы атқарылса, бұл жүйе инерциал жүйе делінеді. Ньютонның бірінші заңы кейде инерция принципі деп айтылады.

Гелиоцентрик жүйенің практикада анық инерциал жүйе бола алуы жоғарыда айтып өтілді; оған қатынасты түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс жасап жатқан әр қандай жүйе да инерциялық жүйе болады. Инерциялық жүйелерден кей біреулеріне қатынасты үдеуге ие болған әр қандай жүйе инерциялық жүйе болмайды.

ӘСЕР, ҚАРСЫ ӘСЕР ЖӘНЕ КҮШ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: күш, қарсы әсер, тартылыс, гравитациялық, өзара әсер, ядролық, серпімділік, күш атасы.

Барлық физикалық денелер белгілі бір қозғалыста немесе тыныштық күйінде болады. Мысалы, барлық заттардың молекулалары, үздіксіз қозғалып жүреді. Біздің тұрмысымызда кездесетін барлық денелер де үнемі қозғалыста болады. Міне осындай қозғалыстағы бір дененің қозғалысын өзгерту үшін, атап айтқанда оның қозғалысын тоқтату, немесе бәсеңдету, немесе күшейту үшін екінші дененің оған әсер етуі қажет. Бір дененің қозғалысын немесе тыныштығын өзгерту үшін оған міндетті түрде екінші дене әсер етуі керек. Бір дене екінші денеге әсер еткенде екінші дене де өз кезегінде бірінші денеге қарсы әсер етеді.

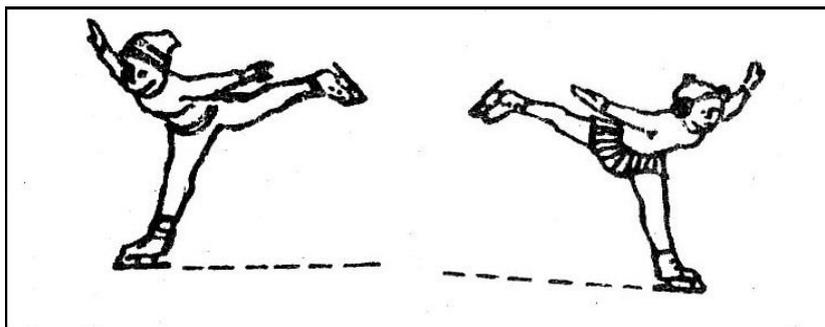
Міне осындай бір дененің екінші денеге тигізетін әсерін сипаттайтын шаманы *күш* деп атайды.

Күш ($\vec{F}, 1H = 1kg \cdot 1m / c^2$) дегеніміз денелердің (өрістердің) өзара әсерін сипаттайтын векторлық шама, ол қозғалыс жылдамдығын өзгертеді, яғни үдеу туғызады немесе дене деформацияланады. Күш шамасымен бағытына қоса, түсу нүктесімен де сипатталады.

Мысалы, бірқалыпты домалап бара жатқан кәдімгі резеңке допты ағаш доппен соғып жіберсек, онда резеңке доп өзінің бірқалыпты қозғалысын өзгертуімен қатар, өз кезегінде өзін келіп «соққан» ағаш допқа да әсер етіп, ағаш доптың өзінің қозғалысын да өзгертеді. Сонымен, бір денеге екінші дене әсер еткенде, бұл әсер біржақты болып қалмайды. Екінші дене өзіне әсер

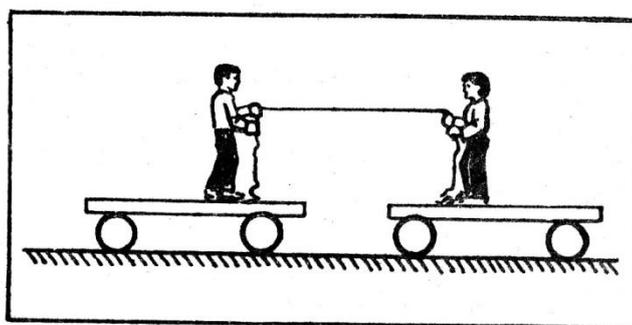
еткен дененің әсеріне қарсы әсер жасайды. Қысқасы, әсер - әсерлесуге айналады.

Бұл айтылғандарды күш тұрғысынан қарасақ, белгілі бір күшпен әсер еткен денеге екінші дене сондай күшпен қарсы әсер жасайды. Мысалы, мұз айдынындағы екі конькишінің бірі жолдасын қозғамақ болып итерсе, жолдасын қозғаумен қатар, өзінің де итеру бағытына қарсы бағытта сырғанап кеткенін бірақ білер еді (3.1-сурет).



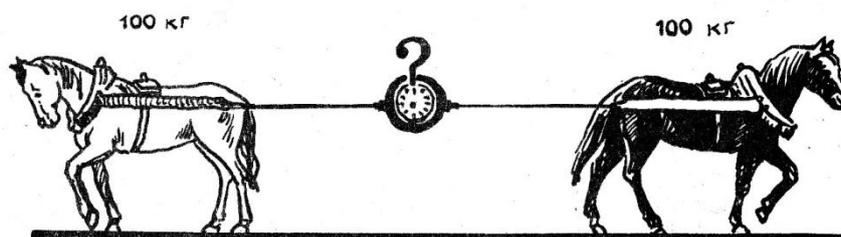
3.1-сурет

Мұндай тәжірибені сыныпта жасауға да болады. Сырғымалы арбаға мінген екі оқушы арқан арқылы бірін-бірі тартсын. Бұл балалардың қайсысы жіпті шумақтап өзіне тартқанымен, бәрібір екеуі бір-біріне тартылады (3.2-сурет).



3.2-сурет

Бұны айқындай түсу үшін тағы бір мысал келтірелік. Екі ат әрқайсысы 100 кг күшпен серіппелі күш өлшегіш таразыны екі жаққа керіп тартып тұр делік (3.3-сурет).



3.3-сурет

Таразы қанша күшті көрсетер еді? Оқушылардың көпшілігі 200 кг деуі мүмкін. Жоқ, арқанның керілу күші 100 кг. Өйткені, бір ат қандай күшпен арқанды кере тартса, екінші ат та сондай күшпен арқанды керіп тартады.

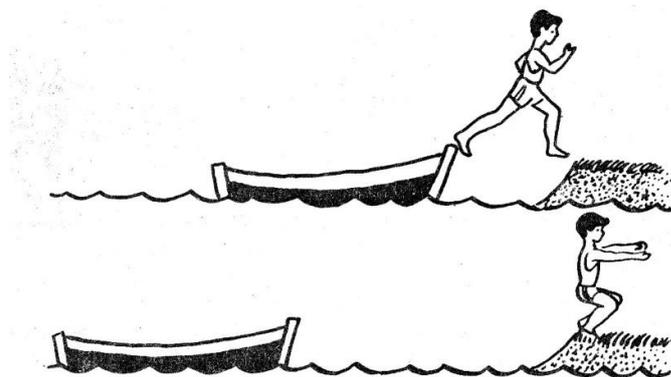
Бір дене әсер еткен дене өз кезегінде міндетті түрде бірінші денеге қарсы әсер етуі - ағылшынның ұлы ғалымы Исаак Ньютон ашқан механиканың негізгі заңдарының бірі болып есептеледі. Әсердің әсерлесуші екі денеге де бірдей қатысты екенін тереңірек түсіну үшін Ньютонның өзі жасаған қарапайым тәжірибелерді қайталап көрейік. Екі ойыншық арба алып, оның біреуіне магнит, екіншісіне темір кесегін берік етіп орналастырайық. Магнит орналасқан ойыншық арбаны қозғалтпай ұстап тұрып, темір кесегі орнатылған екінші арбаны үстел үстіне бос қойсақ, бұл арба магниті бар арбаға қарай тартылып жылжи жөнеледі. Әрине, оқушылар магниттің темірді тартатынын жақсы біледі. Енді оған керісінше, темір кесегі бар арбаны қозғалтпай ұстап тұрып, магниті бар арбаны еркінше бос қойсақ, онда бұл жолы магниті бар арба темір кесегі бар арбаға қарай тартылып жылжи жөнеледі. Көріп тұрғанымыздай, магнит қана темірді тартып қоймайды, темір де магнитті тартады екен. Енді бұл екі ойыншық арбаның екеуін де еріктеріне жіберсек, олар бір-біріне қарсы қозғалып, бірдей жол жүріп, дәл жол ортасында кездеседі. Бұдан шығатын қорытынды: магниті бар арба темір кесегі бар арбаны қандай күшпен өзіне тартса, темір кесегі бар арба да магниті бар арбаны сондай күшпен өзіне тартады.

Әсерлесу екі жақты екен және ол күш түрінде білінеді.

Ұлы палуан атамыз Қажымұқан «күш атасы» ғана емес, әрі физиканың осы заңын да тамаша пайдалана білген білгір екен. Ол кісі екі қолына екі арқанның ұшын ұстап тұрып, арқанның екінші ұштарын екі түйемен екі жаққа қарай керіп тартқызған. Сонда екі түйе Қажымұқанның екі қолын жаза алмапты. Халық Қажымұқан екі түйенің күшіне тең күшпен арқанды керіп ұстап тұр деп есептеген. Ал шынында палуан бір түйенің күшіне тең күшпен арқанды керіп ұстап тұрған. Сонымен, бұл заңдылықты дұрыс пайдалана білген.

Ағаштарды және металдарды кескенде, аралағанда әсер және қарсы әсер күштері бірден пайда болатынын, мысалы, ағашты аралағанда екі күш туатынын, олардың біреуі араның тісі арқылы ағашқа әсер етсе, ал екіншісі ағаштан араның тісіне әсер ететінін, бұлардың біріншісі ара тісінің күші болса, екіншісі ағаштың қарсылық (серпімділік) күші екенін; бұл екі күштің екеуі де шама жағынан тең, бағыты жағынан қарама-қарсы күштер болатынын, яғни араның күші (қысымы) төмен қарай бағытталса, ағаштың қарсылық күші (серпімділігі) жоғары бағытталатынын көруге болады. Сондай-ақ, бұл құбылыс темірді соққанда балғаның кері тебілуінде де байқалады. Төс темір неғұрлым шомбал болса және балғаның соққылау әсері күшті болса, онда оның кері тебілуі де соғұрлым күштірек болады.

Енді әсерлесу күшінің сандық мөлшері неге байланысты екенін қарастыралық. Ол үшін тағы бір мысал келтірейік. Көлде қайықпен жүзіп жүрген ағайынды екі оқушы қайықтарынан жағаға қарай секірді (3.4-сурет).



3.4-сурет

Інісі ағасының қайығының өз қайығына қарағанда көлдің ортасына қарай кебірек ығысып кеткенін байқады. Бұл заңды да. Өйткені інісінің массасы 40 кг болса, ағасының массасы 60 кг. Оқушылар қайықтан жағаға секіргенде, әрқайсысының қайығы әр баланың массаларына сәйкес көлдің ортасына қарай кері «тебіліп» кетті. Өйткені қайықтан жағаға секіру үшін балалар қайықты белгілі бір күшпен «тебініп» кері итерді. Массасы көп баланың қайығы кебірек итеріледі. Массасы азырақ баланың қайығы азырақ итеріледі. Көріп тұрғанымыздай, массасы көп бала өзінің секіруі үшін көбірек күш, массасы аз бала-аз күш шығындауына тура келді. Екі денені бірдей етіп

қозғап жіберу үшін массасы көп денеге көбірек, ал массасы азырақ денеге азырақ күшпен әсер ету керек.

Ал күш қозғалып бара жатқан денелерге әсер ететін болса, мынаны байқаймыз: қозғалып бара жатқан дененің массасы үлкен болса, бұл күш әсерінен оның жылдамдығы азырақ өзгереді; қозғалып бара жатқан дененің массасы кіші болса, дәл сол күштің әсерінен оның жылдамдығы көбірек өзгереді.

Күш - масса арқылы анықталатын шама. Күш әсер етпесе дене тыныштық күйін сақтайды, немесе бірқалыпты қозғалыста болады. Күш әсері нәтижесінде тыныштықта тұрған денелер қозғалысқа түседі, қозғалған денелер қозғалысын (яғни қозғалыс жылдамдығын) өзгертеді.

Шынында да, үстел үстімен болат немесе шойын шарды домалатып жіберейік. Сонда бұл шар бірқалыпты қозғала бастайды. Егер шардың жолына кесе көлденең дене қойсақ, онда шар тоқтап қалады. Егер қозғалыстағы шардың жолына басқа бір шарды қойсақ, олардың соқтығысуы нәтижесінде бірінші бірқалыпты қозғалып келе жатқан шар қозғалысын баяулатады да қозғалу бағытын өзгертеді.

Ал егер бірқалыпты қозғалып бара жатқан темір шардың жолына жақын жерге күшті тұрақты магнит қойсақ, онда жаңағы түзу бағытта бірқалыпты қозғалып бара жатқан кішкене шар магниттің тұсына келгенде қисық сызықты қозғалысқа түседі. Сонымен, күш бірқалыпты қозғалған дененің қозғалысын өзгертеді де тыныштықта тұрған денені қозғалысқа түсіреді екен.

ӨЗАРА ӘСЕР ЖӘНЕ КҮШ ТҮСІНІГІ

Өзара әсер түсінігі физика курсының негізгі түсініктерінен бірі болып, барлық үйренілетін құбылыс, процесстердің негізінде жатады. Өзара әсерді жақсы түсінбеу табиғатта пайда болатын құбылыстардың орындалуын білмеу, мұнан заңға кері қорытындылар шығаруға алып келуі мүмкін. Кейбір методикалық әдебиеттерде өзара әсер түсінігі құбылыстарды талдауда туры айқындалмайды. Көп жағдайларда табиғатта өзара әсер түсінігі орнына

табиғатта күш пен алмастырып отырылады. Табиғатта болатын барлық құбылыстар физикалық өрістер көмегінде орындалады. Оқыту процессінде өзара әсерлердің маңызы физикалық өріске байланыстылығы ашылмай қалады. Тартылыс, ядролық, электр процесстеріндегі бар өрістің рөлі, өріс арқылы өзара әсер орындалуы ашылмай қалады. Өзара әсер түсінігін тура қалыптастыру бүкіл физика курсының ғылыми негізде үйренуге мүмкіндік туғызылады. Сондықтан, барлық физикалық құбылыстар және өзгерістердің негізінде өзара әсер жатады. Физикалық құбылыстар табиғатта әр – қилы көріністе кездесуін ғылыми көзқарастан түсіндіру үшін өзара әсер түсінігін жақсы білу керек болады.

Әр қандай материялық объект күрделі түзіліске ие болуы мен бірге түрлі ішкі және сыртқы өзара әсерді қатынасады. Себебі, барлық дене және объекттер табиғатта жеке, ажыралған күйде болмай барлығы бір-бірімен байланысты, өзара байланысты болады. Өзара әсерлесуден сыртта бір-бірімен өзара әсерлеспейтін бірер денені таба алмаймыз. Айту мүмкін материялық денелер басқа объекттер мен өзара әсерлесуде өзін көрсетеді, яғни бар екендігін білдіреді. Демек, табиғатта материядан бөлек, өзара әсерлеспейтін еш бір зат болмайды. Материя түрлерінің өзара әсері барлық қозғалыстардың көзі екендігі айрықша көңіл бөлу керек. Атом ядросының түзілісі нуклондар аралық пион өзара әсерге, атомның түзілісі электрон қабық пен ядро арасындағы электромагниттік өзара әсерге, кристаллдың түзілісі зат атомдары арасындағы өзара әсерге, Күн жүйесінің түзілісі Күн мен ғаламшарлар аралық гравитациялық өзара әсерге негізделген.

Материяның барлық түр түзілістеріне тиісті болған элементар бөлшектерді, атом молекулама немесе денелер, ғарыштық денелер немесе жұлдыздар жиынтығы ма, галактика немесе метагалактикама, бұлардың барлығында өзара әсер пайда болады. Бұлардың барлығын өзара әсерсіз елестетіп болмайды. Сол үшін өзара әсерді біз материяның мәңгі жасау көрінісі дей аламыз. Өзара әсерлеспейтін бірер –бір денені (материяның түрін) білмейміз. Физиканың барлық заңдары, түсініктері көзқарастары өзара

әсер түсінігі мен байланысты. Мысалы, арықтағы судың қозғалысын гравитациялық өзара әсерсіз, электр линиясында электр тогын, радиотелевидение байланысын электромагниттік өзара әсерсіз елестетіп болмайды. Табиғатдағы материялық заттардың өзара әсерлесуінің көрінуі, қасиеттеріне қарай қозғалыстағы материя сияқты шексіз. Әрқилы өзара әсерлер сапа жағынан бір – бірінен айырмашылық етеді, мұның себебі бұл өзара әсерлер әрқилы түзілістегі материя көріністері арасында өзіне сай қасиеттеріне, қозғалыс түрлеріне, заңдылықтарға ие болуы.

Бізге белгілі болған гравитациялық, электромагниттік, әлсіз ядролық өзара әсерлер бір – бірінен сапа жағынан орындалу орны, белгілері мен айырмашылық етеді. Бұл өзара әсерлерді толық үйреніп шығамыз:

1. Гравитациялық (тартылыс) өзара әсерді денелердің Жерге тартылуы, Күн және жұлдыздар жүйесінің бар болуы тартылыс күші барлығы мен көрінеді. Бұл өзара әсер универсал болып, ол кезкелген микро, макро және мега объектерге қолданылуы мүмкін. Бірақ бұл өзара әсер өте үлкен астрономиялық массадағы денелерде сезілерлі болып, ғарыштың түзілісінде, қалыптасуында және жеке күйде оның дамуында өз көрінісін береді. Гравитациялық өзара әсер массасы кіші денелерде сезілерлі азайып барып, амалда қатар ядро және атом жүйелерінде негізгі роль ойнамайды. Гравитациялық өзара әсердің көрінуі алғаш үйренілген болып, тартылыстың көзі, дененің массасы есептеледі және гравитациялық өзара әсердің шегі жоқ.

2. Электромагниттік өзара әсерді біз кезкелген макроденелер, молекула және атомдағы бөлшектер байланысында көреміз. Бұл атомның иондалуы, басқаша айтқанда, ядродан электронды ажырату үшін қажет болған энергия электромагниттік өзара әсердің бар болған шамасын білдіреді. Бу пайда болу жылуы, яғни (атмосфералық қысым астында) сұйықтың буға айналу энергиясы молекулалар арасындағы байланыс өзара әсерінің бар екендігін көрсетеді. Демек, макроденелердегі бөлшектерді өзара байланыстыратын фактор электромагниттік өзара әсер есептеледі.

3. Күшті (ядролық) өзара әсер-ядроға бірдей зарядталған протондар және нейтрондардың бар екендігі электромагниттік өзара әсерден өте күшті интенсив өзара әсер болмағанда, ядро бар болмайтын еді. Бұдан ядро шекарасында бар болған өзара әсерді күшті немесе ядролық өзара әсер делінеді. Күшті өзара әсер ядроға протон мен протон, протон мен нейтрон, нейтронмен нейтрон арасында болып өтеді. Күшті өзара әсер тек ядро бөлшектері арасында дәл сондай, барлық бариондар және мезондар арасында да пайда болады.

4. Әлсіз өзара әсер көптеген элементар бөлшектер тізіміндегі: p , e , γ , ν_e және ν_τ бөлшектер тұрақты есептеледі. “Ішкі себептер” әсеріне орай, тұрақты болмаған еркін бөлшектер уақыттың ол немесе бұл характерлі секундтан кіші үлестерінде басқа бөлшектерге айналып қалады. Резонанстар деп аталатын бөлшектер $\sim 10^{-23}$ с барысында күшті өзара әсер процесінде шашылуы, дәл сондай нейтрал π^0 мезон электромагниттік өзара әсер астында $\sim 10^{-16}$ с да шашылуы анықталған. 10^{-10} - 10^{-6} с уақыт барысында әлсіз өзара әсер деп аталатын өзара әсерде ыдырау болуы анықталған.

Элементар бөлшектердің әлсіз шашылуы нейтриноның сәулелену процесінде болуы алынған. Бұл бөлшек (нейтрино) зат пен өте әлсіз өзара әсерлеседі. Бұл бөлшек әдеттегі затпен өзара әсерлескенде оның еркін жүгіру жолы (екі тізбектей соқтығысуы аралығы) астрономиялық сан пайда еткен (10^{17} км аралығында) болады. Радиусы $6,4 \cdot 10^3$ км болған Жеріміз нейтрино ағымы үшін мүлдем мөлдір болады екен. Егер біз төрт өзара әсерді бір-біріне интенсивтігі жағынан салыстыратын болсақ, күшке қатысты сондай тәртіпте орналастыру мүмкін:

- Күшті өзара әсер 1 десек,
- Электромагниттік өзара әсер 10^{-3}
- Әлсіз өзара әсер 10^{-14}
- Гравитациялық өзара әсер 10^{-40} тәртібінде болады.

Әлемнің түзілісі және оның өркендеуі көзқарастардан қарайтын болсақ, толығынша гравитациялық өзара әсер негізгі, шешуші рольді атқарады. Бірақ

материя түзілісін барлық басқыштарда көретін болсақ, әр бір өзара әсердің өз орны және көлемі бар екендігін көреміз. Бір материялық құбылыстың екіншісіне айналуы өзара әсер процесінде болуын, мұнда материя және қозғалыс орын ауыстыруы болуын ұқтырады. Өзара әсер қозғалыс, кеңістік, уақыт түсініктерімен тығыз байланысқан. Сол үшін да өзара әсер түсінігін ғылыми білуде маңызды роль ойнайды. Өзара әсер түсінігін қалыптастыруда төмендегілерге мән беру керек болады:

1. Өзара әсер шекарасынан сыртта әр қандай кезкелген материялық дене (материя) бар емес.

2. Денелер арасындағы өзара әсер барлық түр қозғалыстардың көзі болып саналады. Табиғаттағы барлық табиғи құбылыстар, процестердің негізінде материя түрлерінің өзара әсері жатады.

3. Өзара әсер кеңістікте материяның орын ауыстыруымен байланысқан. Өзара әсер бір сәтте қашықтықта болмай, шекті жылдамдық ($v \leq c$) мен ұзатылады.

4. Физикалық өрістің өзара әсерін адам сезгісі ылғамауы мүмкіндігі себепті өрістер арасындағы өзара әсер алмасу сипатына ие. Бірақ нәтиженің сезуі-индикаторлар жәрдемінде болады.

5. Түрлі өзара әсерлер негізінде қазіргі заман физикасында анық болған негізгі 4 түрге бөлінеді (ядролық, гравитациялық, электромагниттік және әлсізөзара әсерлер) және әр бірінің физикалық өрісі болады.

6. Өзара әсер түсінігі табиғаттағы құбылыстардың өзара байланысқан, өзара шарттылық себеп және нәтижемен байланысқан. Өзара әсерді білмей тұрып, табиғат заңдарын біліп болмайтындығы жайлы пікірдің маңызы ашылуы керек.

Өзара әсер денелер және құбылыстар арасындағы жалпы байланыс пішіні болып, олардың өзара өзгеруін пайда етеді. Сол үшін да өзара әсер толық физика курсына үйренілетін құбылыстарды үйренуде негіз болуы керек. Физикалық білімдердің пішіндеуінде өзара әсер түсінігі күш

түсінігімен тікелей байланысқан. Күш түсінігімен масса, үдеу түсініктері да байланысты.

Күш түсінігін өзара әсер түсінігімен алмастырмау керек. Күш денелер өзара әсерінің мөлшерлі өлшеуі болып, денелер өзара әсерлесуінде көрінетін шама болып саналады. Күш механикада денелердің өзара механикалық әсерінің өлшеуі пішінінде дене алған үдеуі a мен (немесе деформация шамасымен) көрінеді. Басқаша айтқанда “күш- механикалық” қозғалыс орын ауыстыруының өлшеуі болып, өзара әсер процессінде бір денеден екіншісіне орын ауыстыратын қозғалыс мөлшерінен уақыт бойынша алынған $d(m\vartheta)/dt$ туындымен анықталады. Сонымен, “күш - өзара әсер түсінігінің жалпы сипаттамаларынан бірі есептеледі”. Денелердің өзара әсері мөлшер жағынан тек қана күшпен сипатталмай, бәлкім материялық объекттер арасындағы өзара әсерді жәнede терең және толық сипаттайтын энергия, импульс сияқты басқа бір бірқатар физикалық шамалармен бейнеленеді. Осы уақытта күш механикада тек анық мөлшерлі сипаттама болып келеді. Бірақ күш түсінігін жылулық құбылыстарына, химиялық реакциясына, органикалық табиғаттағы процесстерге, элементар бөлшектер өзара әсеріне қолдап болмайды. Мұндай жағдайда энергия түсінігінің шекарасы кең болады.

Күш бұл өзара әсер емес, бәлкім өзара әсердің өлшеуі болып саналады. Анық мысалда бірер дене қозғалысы өзгеруінің себепшісі F күш емес, бәлкім басқа бір қозғалыстағы денемен (“тыныш” тұрған немесе басқа бір қозғалыстағы денемен) өзара әсері. Мысалы, оқтың мылтық стволынан атылып шығуынан оны қозғалысқа келтіретін себеп күш емес, бәлкім оқпен өзара әсерлесетін порох жануынан пайда болған газдағы қозғалыстың оққа атылуы. Ауада оқ қозғалыс жылдамдығының азайуына себеп, оқтың ауамен өзара әсерлесуі. Бір денеге күш әсер етті делінсе, мұнда күш материалдасады. Негізінде күш түсінік болып, күш делінгенде екі (бірнеше) денелердің өзара әсері түсініледі. Күш импульсі дегенде – бір денеден екінші денеге өзара әсерлесуге қозғалыс мөлшерінің орын ауыстыруын түсінеміз.

АУЫРЛЫҚ КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: ауыр дене, күш, ауырлық, тартылыс күші, ауырлық күші, Бүкіләлемдік тартылыс, жер шары, Юрий Гагарин, ғарыш.

Күнделікті тұрмыстан біз бір денелердің оңай көтеріп алып кететіндей «жеңіл», ал екінші денелердің көтермек түгіл, орнынан қозғалта алмайтындай «ауыр» екенін білеміз. Шойын жылу батареясы, не қазандай қара тас оқушы да, үлкен кісі де көтере алмайтындай «ауыр» екені белгілі. Біріншіден, осы «ауыр» денелер неліктен ауыр, ал жеңіл денелер неліктен жеңіл? Жеңіл денелерді жоғары көтеріп кете аламыз. Ауыр денелерді тік жоғары көтере алмаймыз. Қысқасы, «ауыр», «жеңіл» деген ұғым денені қаншалықты жоғары көтеруге болатынын түсіндіріп тұр.

Сонымен, қалай болғанда да, дененің ауырлығын да, жеңілдігін де оны орнынан «жоғары» көтеріп көру арқылы білеміз. Бұл Жер бетіндегі барлық денелерге қатысты. Қысқасы, қай жерге бармасаң да, қай жерде тұрған қандай дене болмасын оның ауырлығын біз тек «жоғары көтеріп» барып білеміз. Сонда «жоғары көтеру» дегенде не түсінеміз?

Дене ауыр болсын, мейлі жеңіл болсын біз белгілі бір күш жұмсап, жоғары көтеру арқылы оны жерден, тұрған орнынан алыстатамыз (ең болмағанда орнынан қозғаймыз). Сонымен, ауыр дененің де, жеңіл дененің де ауыр-жеңілдігі жоғары көтеру, яғни оларды жерден алыстату кезінде білінеді. Бұл денелерді Жердің бетінен қашықтатамыз. Ал қашықтату (жоғары көтеру) үшін күш жұмсаймыз. Оның себебі, Жер өзінің бетіндегі барлық денелерді (яғни, Жер бетінде тұрған машинаны, ағашты, үйді, адамды, өзенді, мұхитты тағы басқа бәрін де) өзіне қарай тартып тұрады.

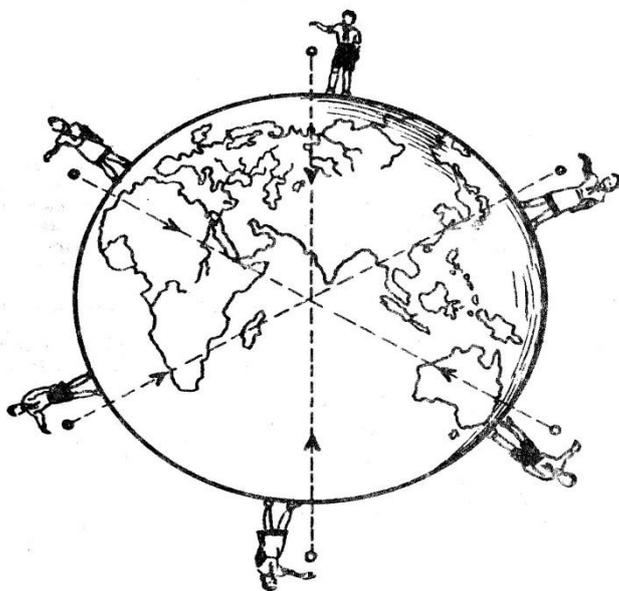
Сонымен, Жердің өзінің бетіндегі барлық денелерді өзіне тартып тұруы себебінен «ауырлық» түсінігі пайда болады. Жердің үстіндегі және маңындағы барлық денелерді өзіне тартып тұруы - тартылыс күшінің салдары. Жер бетіндегі барлық денелерді Жердің өзіне тарту күші сол дененің «ауырлығы»

түрінде байқалатын болғандықтан, бұл тартылыс күші *ауырлық күші* деп аталады.

$$\vec{F} = mg$$

Бұл күш дененің массалар орталығына қойылған және Жердің масса центріне радиус бойымен бағытталған.

Сонымен, ауырлық күші - Бүкіләлемдік тартылыс күшінің тек Жерге қатысты аталып кеткен атауы болды. Қазір Жер шар тәрізді екені белгілі. Бұл тұжырымнан оның тұрғындары Жер шарының бір жағында аяқтарын жерге тіреп, бастарын «жоғары» қаратып, дұрыс тұрып өмір сүріп жүре алатын болса, ал Жер шарының «төменгі» жағындағы тұрғандар (3.5-сурет) бастары «төмен» қарай салбыраған күйі түгел «құлап» кетпей ме? - деген күдікті сұрақ туады. Егер, Жер шар тәрізді болса, мұхиттар мен теңіз сулары Жер айналуын кезінде, оның астына келіп төгіліп кетуі керек еді, кемелер мен қайықтар, үйіліп жатқан тастар, кірпіштер, ағаштар бәрі де - «құлап» кетуі керек еді деген пайымдылар айтылыпты. Шынында да, қарапайым адамдардың өз өмір тәжірибесінен жинақтаған бұл болжамдар дұрыс еді.



3.5-сурет

Жердің шар тәрізді екені де рас. Жердің айналатыны да рас. Өйткені, күн артынан түн, түн, артынан күн ылғи алмасып, өмір созыла береді. Жоғарыда айтылғандай, Жер айналғанда тас та, тау да құламайды, мұхит

пен теңіз де төгілмейді. Бәрі қаз қалпында тұрады. Өйткені, оның бәрін Жер өзіне қарай тартып тұрады.

Жердің тартылыс күшін тікелей тек Жердің бетінде тұрған денелерді жоғары көтеру арқылы ғана көріп жүрген жоқпыз. Оған дәлел ретінде бәріміз білетін нақты мысал келтірелік. Ғарышқа ұшқан қазақтың тұңғыш ғарышкері Тоқтар Әубәкіров те, дүниедегі алғашқы ғарышкер Юрий Гагарин де ғарыштан қайтып Жерге оралды. Сонымен, ауырлық күші - тек қана Жер шарына қатысты тартылыс күші. Ендеше неліктен бір денелер ауыр, екіншілері жеңіл болып көрінеді? Тағы да масса ұғымын пайдаланамыз. Массасы көп денелер «ауыр» болады да, массасы аз денелер «жеңіл» болады екен. Қысқасы, дененің «ауырлығы» оның массасына тікелей байланысты.

Кез келген денені тіке жоғары лақтырсақ та, горизонталь бағытта лақтырсақ та, ол денелер бәрібір жерге түседі. Тіпті өте алыс аралыққа ұшатын ракеталар да, Жер төңірегінде ұшып жүрген аспан тастары да Жерге келіп түседі. Осының бәрі - Жер өзінің бетіндегі және төңірегіндегі барлық денелерді өзіне тартуы салдары.

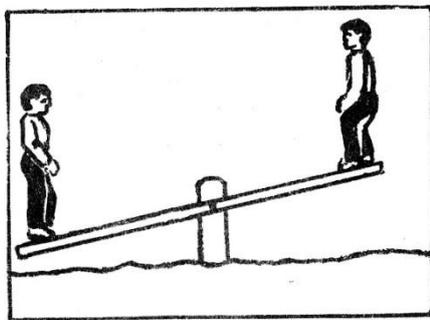
САЛМАҚ НЕМЕСЕ САЛМАҚ КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: салмақ, салмақ күші, асқын салмақ, ауырлық күші, тартылу.

Денелерді жоғары көтеру үшін оның «ауырлығын» білу қажет. Ал бір үлкен дене үстімізге құлап кетсе, ол «салмағымен» мыжып, не жаншып кетеді дейміз. Қазақ тіліндегі осы сөздерге қарап «ауырлық» белгілі бір денені «жоғары» қарай көтергенде, ал салмақ сол дене төмен құлап немесе түсіп бара жатқанда айтылуы тиіс екені көрініп тұр. Бұл сөздерді өз орнында дұрыс қолдану физикалық құбылыстың мәнін нақты ашып беруге де көмегін тигізеді. Мысалы, жоғарыдан құлап түскен ағаш кесіндісі, кітап, сауыт, доп Жерге жүйіткіп, құлап келе жатып, үстел үстіне түсіп, оның үстінде қалып қояды. Үстел ол денелерді өз бетінде қалдырса да, олар бәрі бір Жерге

тартылып тұрады. Сондықтан олардың бәрі де өз ауырлықтарына байланысты үстел бетіне әр түрлі салмақ түсіреді.

Бөрененің екі басына мінген (3.6-сурет) балалардың салмақтарына байланысты бір басы жоғары көтеріліп, екінші басы жерге тиеді: салмағы ауыр бала төмен басып кетеді, салмағы жеңіл бала жоғары көтеріледі.



3.6-сурет

«Бар салмағыңмен басып көрші», «бар салмағыңды түсірме» деп айтамыз. Жоғарыда айтқанымыздай осы сөздерді қолданудың өзі бұл сөздерде физикалық өтілімнің мәнін ашатын сияқты. Мысалы, орындықта отырған адам бар салмағымен Жерге құлап түсті дейміз. Немесе шкафтың үстіндегі қобдиша үстелдің үстіне бар салмағымен құлап түсті дейміз. Егер үстел болмаса, бұл құлап түскен қобдиша Жердің өз бетіне түсер еді. Үстел оның салмағына төтеп берді. Бірақ үстелге алғашында қосымша салмақ түсіп, оның беткі жылтыр қабатын ойып жіберуі де мүмкін. Бар салмағыңды салып, басып жіберші дегенде осы салмақты белгілі бір денеге, не белгілі бір нәрсеге түсіру керек деп ұғамыз. Үстел үстінде тұрған денелердің бәрін де үстел «ұстап» тұрғандықтан сол үстелге салмағын түсіріп тұр дейміз.

Салмақ - бір дененің ауырлық күші әсерінен жолында кездесіп, жібермей ұстап қалған екінші бір денеге түсіретін күші. Сонымен, салмақ күшін ауырлық күші туғызады. Ауырлық күші де, салмақ күші де - физикалық шамалар. Бірақ бұл екі күш екі басқа денеге түседі. Мысалы, дененің салмақ күші оны ұстап тұратын екінші денеге түссе (кітаптың үстелге түсіретін салмағы), ал ауырлық күші жоғарыдан құлаушы дененің өзіне (кітапқа) түседі. Сондықтан да бұл күштер бірін-бірі теңестіріп жойылып кетпейді.

Дененің салмағы (G, H) деп дене Жерге тартылуы салдарынан тірекке немесе аспаға әсер ететін күшті айтады. Дене мен тіреуіш (ілме) Жерге қатысты қозғалмай тұрған жағдайда ғана $\vec{G} = \vec{P}$. \vec{a} үдеумен қозғалған дененің салмағы мынаған тең: $\vec{G} = m(\vec{g} - \vec{a})$

Егер \vec{g} мен \vec{a} бағыттас болса, онда $\vec{G} = m(\vec{g} - \vec{a})$, ал \vec{g} мен \vec{a} бағытттары қарама-қарсы болған жағдайда $\vec{G} = m(\vec{g} + \vec{a})$ (асқын салмақ күйі). Егер $\vec{a} = \vec{g}$ болса, онда $G=0$ (салмақсыздық жағдай).

Радиусы Жер радиусымен шамалас дөңгелек орбита бойымен айнала қозғалу үшін дене белгілі бір v_1 жылдамдыққа ие болуға тиіс. Ньютонның екінші заңы бойынша

$$mv_1^2 / R_{ж} = mg, \quad v_1 = \sqrt{gR_{ж}} = 8 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

Көп жылғы тәжірибелер мен бақылаулар оқушылардың салмағы олардың жасына сәйкес келетінін көрсетеді.

КҮШТІ ӨЛШЕУ. КҮШ БІРЛІКТЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: күш бірлігі, ауырлық күші, гир, шкала, таразы, рычаг, серинге, Ньютон.

Біз күшті анықтағанда күш қозғалыстағы денелердің қозғалысын өзгертетін немесе тыныштықта тұрған денені қозғалысқа түсіретін екінші бір дененің әсері деп қорытындылағанбыз. Сонымен, күш әсерінен қандай өзгеріс болатынын тағы да жеке-жеке талдап өтелік. Күш әсерінен тыныш тұрған дене қозғалысқа түседі, яки тыныш тұрған дене бастапқы нөлге тең жылдамдығын біз қарастырған кездегі жылдамдық шамасына дейін арттырып үлгереді. Бірқалыпты қозғалған денеге күш әсер еткенде ол дене бірқалыпты қозғалысын не бәсеңдетеді, не үдетеді, яғни бұл бірқалыпты қозғалыстағы дене «үдемелі» қозғалысқа түседі. Сөйтіп, қарастырылған екі жағдайда да дене «үдемелі» қозғалысқа түседі.

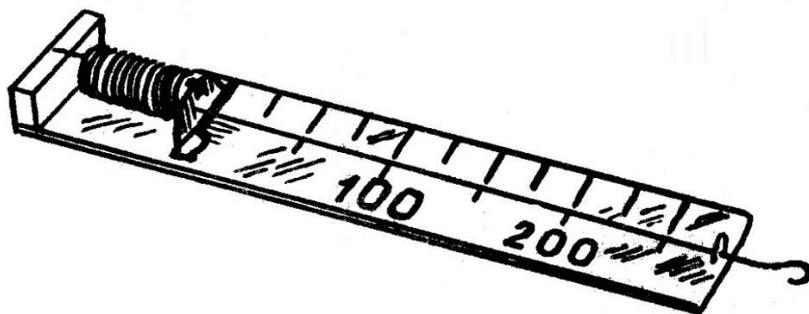
Осы айтылғандардың негізінде күш анықтамасын жетілдіре түсуге болады. Күш әсерінен әрқашанда бірқалыпты қозғалған (тыныштықтағы)

дене жылдамдығын өзгертеді. Күштің бірлігіне арнайы өлшем бірлігі ньютон (Н) алынған.

Ньютон деп массасы 1 кг дененің жылдамдығын 1 сек ішінде $1 \frac{м}{сек}$ шамаға өзгертетін күшті айтады.

Күштің бұл өлшем бірлігі ағылшынның асқан данышпан ғалымы Исаак Ньютонның құрметіне аталған және ол қысқаша 1 Н деп жазылады. Сол сияқты күшті өлшеу үшін күштің одан үлкенірек бірліктері - меганьютон, килоньютон да қолданылады: $1 МН = 1000\ 000\ Н$, $1\ кН = 1000\ Н$. Күштерді тікелей өлшегенде олардың әрқайсысын жіктеп, жеке-жеке өлшеу керек.

Ауырлық күшін тікелей өлшеу. Оқушылар пайдаланатын жалпақтау ағаш сызғыштың бетіне шағын серіппе орнатып (3.7-сурет), серіппенің төменгі ұшына ілгекше бекітеміз. Серіппенің төменгі ұшын белгілеп аламыз (оның осы бастапқы орны сызғыштан айқын көрініп тұр). Содан соң серіппенің ілгішіне қалауымызша шағын гир ілейік. Гир Жердің тарту күші әсерінен серіппені төмен қарай созады. Серіппенің қаншалықты созылғаны оған ілінген гирдің Жерге тартылу күшін, яғни гирдің ауырлық күшін көрсетеді. Осы себепті де серіппелі таразылар ауырлық күшін (салмақ күшін) өлшейді.

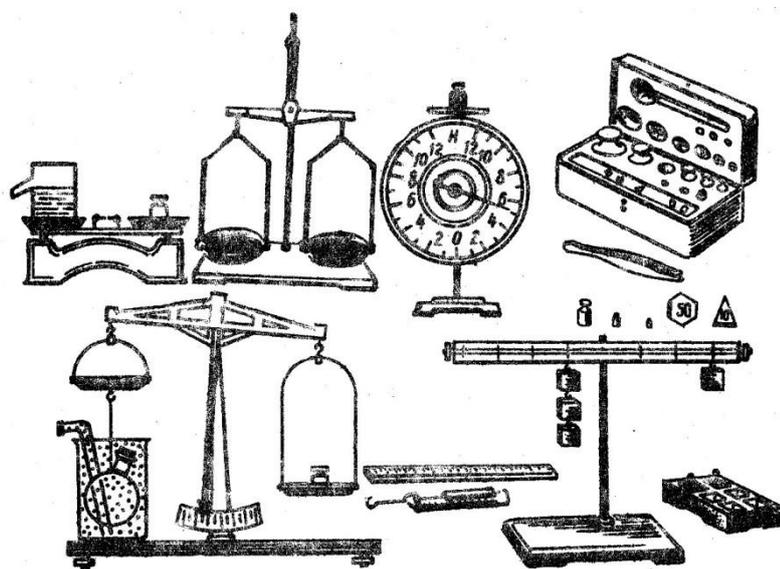


3.7-сурет

Бір зат сатып алғанда салмақты емес, заттың керекті массасын өлшеп алуға тырысамыз. Оның заңды себебі бар. Бір дененің салмағы Жер шарының полюсінде бір басқа, экваторында бір басқа болады. Қысқасы салмақ (сол сияқты ауырлық) күші осы заттың өзінің тұрақты сипаттамасы бола алмайды.

Заттың өзіндік сипаттамасын тек оның массасы ғана бере алады. Сондықтан біз қажетті заттың, мысалы азық-түліктің керекті массасын алуымыз керек. Қажетті мөлшердегі массаны алу үшін оны өлшей білу керек. Массаны рычагты таразылар арқылы өлшейді (3.8-сурет; таразылар, гирлер. Таразылар түрі, гирлер, олардың түрлері). Таразылар құрылысы мен қолданылуы жағынан сан алуан. Таразылардың ішінде ең көп тарағаны да, ертеден келе жатқаны да осы рычагты таразылар. Мұндай рычагты таразылардың иіндері өзара тең болады. Бұл иіндердің ұштарына таразы табақшалары бекітіледі. Ал иіндердің өздері теңестіріліп, дәл ортасынан тіреуішке бекітіледі. Мұндай таразылардың дәлдігі иіндердің дәл теңестірілуіне, иіндердің әрі үшкір, әрі жіңішке тіреуішке бекітілуіне; табақшалардың иіндердің қай жеріне орналасқанына байланысты (мұндай таразылардың қарапайым түрлері 3.8-суретте көрсетілген).

Жүгі жоқ таразының тілшесі шкаланың дәл ортасына келіп тұрады. Бұл айтылғанды жүктерді жылжыта отырып орындауға болады. Егер таразының табақшаларына салмақтары бірдей денелер салынса, онда тілше шкаланың дәл ортасына тоқтайды. Бұл жағдайда таразы тепе-тең қалыпта болады. Денені таразының бір табақшасына салады, екінші табақшасына ұсақ гирлер салып, таразыны теңгереді. Осындай тепе-тең қалыпта дененің салмағы таразының екінші табақшасына салынған барлық ұсақ гирлердің жалпы салмағына тең болады.



3.8-сурет

Сөйтіп, денені рычагты (күйентелі) таразыға тарту - оны теңгеруші гирлсрдің салмағымен тепе-тең өтумен пара-пар. Дененің салмағын өлшеген кезде таразыны селкілдетуден және оны бір нәрсеге соғып алудан сақ болу керек.

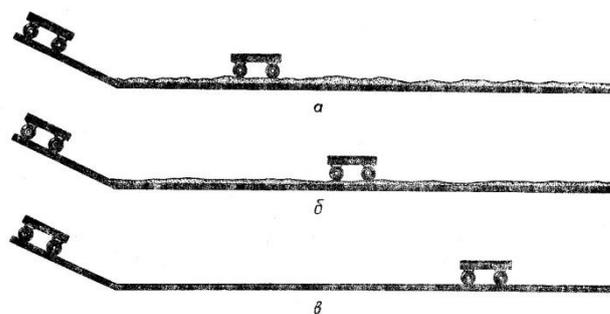
Таразының түрлері. Таразылар үлкенді-кішілігіне және құрылысына қарай әр түрлі болады. Жоғары жағында қатар тұрған екі немесе жалғыз табақшалы, жазық бетке қойылатын таразылар. Бұлар таразының ең кіші және көп қолданатын түріне жатады. Тауар өлшейтін таразылар - үстіне өлшенетін нәрселер салынатын жайпақ беті бар үлкен таразылар. Жүк таразылары - автомашинаға, арбаға, шанаға тиелген жүктерді тиеулі қалпында өлшейтін таразылар. Вагон және алып денелерді өлшейтін таразылар - вагондарды және сол сияқты өте ауыр нәрселерді өлшейді. Аспалы таразылар - аспалы бел темірдің екі басында салбырап тұратын табақтары бар таразылар.

Заттың массасы салмақ түрінде білінеді, анықталады. Массаны өлшеу - салмақты өлшеу. Ал денелердің салмағын өлшеу осы сипатталған таразылар арқылы іске асады.

ҮЙКЕЛІС. ҮЙКЕЛІС ТҮРЛЕРІ. ҮЙКЕЛІС КҮШІ МЕН КЕДЕРГІ КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: үйкеліс, үйкеліс түрлері, үйкеліс күші, кедергі күші, сыртқы үйкеліс, ішкі үйкеліс, құрғақ үйкеліс, домалау үйкеліс, сырғанау үйкеліс, тыныштық үйкеліс, коэффициент, көлбеу жазық.

Домалатып жіберген доп, сырғанатып жіберген шана, итеріп жіберген арба бәрі де біраздан соң тоқтайды (3.9-сурет).



3.9-сурет

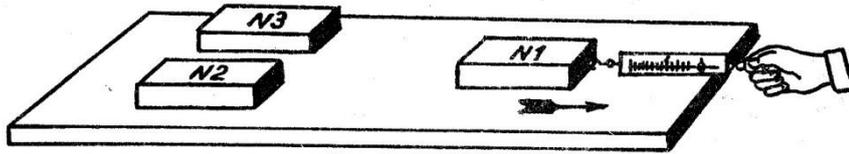
Олардың бәрінің тоқтайтын себебі, олардың қозғалысына қарсы *үйкеліс күші* әсер етеді. Жалпы, үйкеліс - табиғатта өте кең тараған құбылыс. Оның әсерінің шамасы бір жағдайда өте көп, бір жағдайда аз болады. Оны біз өмір тәжірибемізде дұрыс пайдаланып та жүрміз. Мысалы, жазда арба мен жүк тасысақ, қыста шанамен жүк тасимыз. Жаздың күні асфальт немесе тас жолмен ешкім шана сүйретіп жүрмейді. Өйткені асфальт не тас жолмен сүйретілген шанының табандары мен тас жол беті арасында туатын үйкеліс күші өте көп болады.

Ағаш бөренелерді, тақтайларды жермен сүйреткеннен гөрі көлікке тиеп тасу тиімді екені белгілі. Сыныптағы ағаш керек-жарақтарды, үйдегі тұрмыстық жиһаздарды еденде сүйреу тиімсіз екені тағы мәлім. Тіпті сыныпта ағаш кеспелтегін серіппе арқылы (3.10-сурет) сүйретіп тартып көріп, кедергінің мол екендігіне көз жеткізуге болады.



3.10-сурет

Ағашқа қағылған шегені шығару қиын. Шегені шығару өте үлкен күшке түседі. Осы шегені шығарудың қиын болуы да үйкелістің салдары. Шеге ағаштың арасында қысылып ұсталып тұр ғой. Шеге неғұрлым қатты қысылған болса, оны шығаруға қарсылық жасаушы үйкеліс күші де соғұрлым көп болады.



3.11-сурет

Сонымен, үйкеліс күші өзара үйкеліске түсетін денелердің арасында туады.

Үйкеліс күші - бір дененің екінші дене бетімен қозғалғанда, сырғанағанда, домалағанда туатын күш.

Үйкеліс күші - беттердің кедір-бұдырлығы немесе молекулалардың өзара әсері нәтижесінде пайда болады.

Үйкеліс күші - бір дене бетіне екінші дене қозғалғанда және қозғалыс бағытына кері түрде пайда болады.

Дененің беті тегістелсе, үйкеліс күші алдын азаяды, кейін артады.

Күнделікті көріп жүргеніміздей бір дене екінші дене бетімен қозғалғанда сол дененің қозғалысы әр түрлі жолмен іске асады. Шаңғы, шана, коньки, және тағы сондай сырғанауларының нәтижесінде үйкеліс күші пайда болады. Ал автомобильдер, пойыздар, трамвайлар, троллейбустар, комбайндар, тракторлар доңғалақтары доңғалау нәтижесінде үйкеліс күші пайда болады. Футбол немесе волейбол добын, шойын шарды, бөренені, бешкені домалатып жіберсек те үйкеліс күші туады. Сөйтіп, бір дене екінші дененің бетімен қозғалуы үшін не сырғанауы керек, не домалауы керек (өзі домаламаса да доңғалақтары домалайды).

Үйкеліс екі түрде болады:

- Сыртқы
- Ішкі.

Үйкеліс күші тікелей түйісіп тұрған денелер немесе оның жеке бөліктері бір-біріне қатысты орын ауыстырғанда байқалады. Түйіскен екі дененің бір-біріне қатысты орын ауыстыруынан пайда болатын үйкелісі *сыртқы үйкеліс* деп, ал белгілі бір тұтас дененің (мысалы сұйық немесе газ) жеке бөліктерінің арасындағы үйкелісі *ішкі үйкеліс* деп аталады.

Сыртқы үйкеліс – денелер беті арасында пайда болады.

Ішкі үйкеліс – денені құрайтын атом немесе молекулалар арасында күзетіледі.

Қатты дененің сұйық немесе газ тәрізді ортаға қатысты қозғалған кезінде пайда болған үйкеліс күшін ішкі үйкеліс күшінің категорияларына жатқызуға болады, өйткені бұл жағдайда денемен жанасатын ортаның қабаты дене қандай жылдамдықпен қозғалатын болса, сондай жылдамдықпен ілесе қозғалады да дене қозғалысына осылардың арасындағы және сыртқы орта қабаттарының арасындағы үйкеліс әсерін тигізеді.

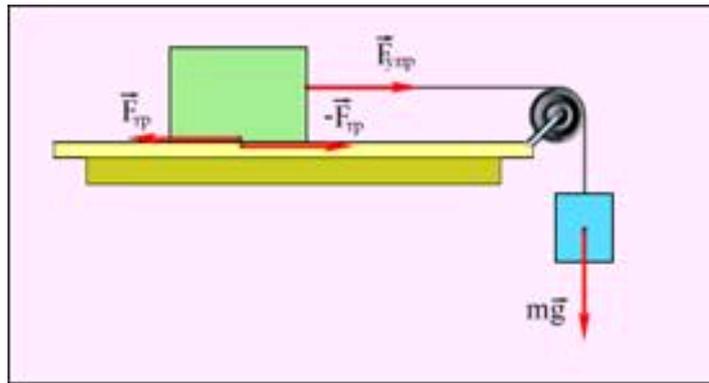
Екі қатты дененің беттерінің арасында қандай да болсын аралық, мысалы, олардың арасында майлау қабаты болған кездегі болатын үйкеліс *қ ұ р ғ а қ ү й к е л і с* деп аталады. Қатты дене мен сұйық немесе газ тәрізді ортаның арасындағы, сондай-ақ, осындай ортаның араларындағы үйкелісті тұтқыр (немесе сұйық) деп атайды.

Құрғақ үйкеліске қолданылымына қарай үйкелістерді: *с ы р ғ а н а у ү й к е л і с і* және *д о м а л а у ү й к е л і с і* деп атайды.

Үйкеліс күші үйкелетін бетке (немесе қабатқа) жүргізілген жанама бойымен бағытталадыда, олар осы беттердің (немесе қабаттардың) бір-біріне салыстырмалы ауысуына қарама-қарсы әсер етеді. Егер, мысалы, сұйықтың екі қабаты әр түрлі жылдамдықпен бірінің үстімен бірі сырғыса, онда анағұрлым тезірек қозғалатын қабатқа түсірілген күш қозғалысқа қарама-қарсы жакқа бағытталады, ал баяу қозғалған қабатқа әсер ететін күш қабаттың қозғалған жағына қарай бағытталған болады.

Құрғақ үйкеліс. Құрғақ үйкеліс жағдайында үйкеліс күші бір бет екінші беттің үстімен сырғанағанда пайда болып қана қоймайды, сондай-ақ осындай сырғанауды туғызу үстінде де болады. Соңғы жағдайда бұл *т ы н ы ш т ы қ ү й к е л і с і н і ң к ү ш і* деп аталады.

Дененің тыныштық кезінде пайда болған құрғақ үйкелісін *тыныштық үйкелісі* деп атайды. Тыныштық үйкеліс күші шамасы жағынан қарама-қарсы бағытталған (3.12- сурет)

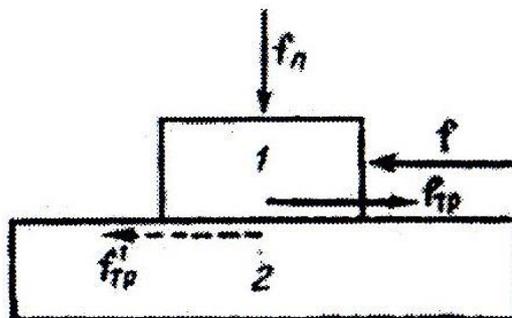


3.12- сурет. Тыныштық үйкеліс күші ($U=0$).

Тыныштық үйкеліс күші қандай да бір максималды ($F_{тр})_{max}$ мәннен аспайды. Егер сыртқы күш ($F_{тр})_{max}$ -ден үлкен болса, онда қатыстық сырғанау пайда болады. Бұл жағдайда үйкеліс күшін сырғанау үйкеліс күші деп атайды.

Тікелей тиісіп тұрған екі 1 және 2 денені қарастыралық, бұлардың соңғысы қозғалмайтындай етіп бекітілген болсын (3.13-сурет). 1 дене 2 денеге f_n күшпен қысылады, бұл күш денелердің тиіскен беттеріне жүргізілген нормаль бойымен бағытталады.

Бұл нормаль қысымының күші деп аталады да, дененің салмағы немесе басқадай себептерден болады. Сыртқы f күшпен әсер етіп, 1 дененің орнын ауыстырып көрелік. Бұл жағдайда әрбір нақты алынған қос дене үшін және әрбір нормаль қысым күшінің мәні үшін f күшінің белгілі бір жорымал f_0 мәні болады, бұл кезде 1 денені орнынан қозғауға мүмкіндік туады.



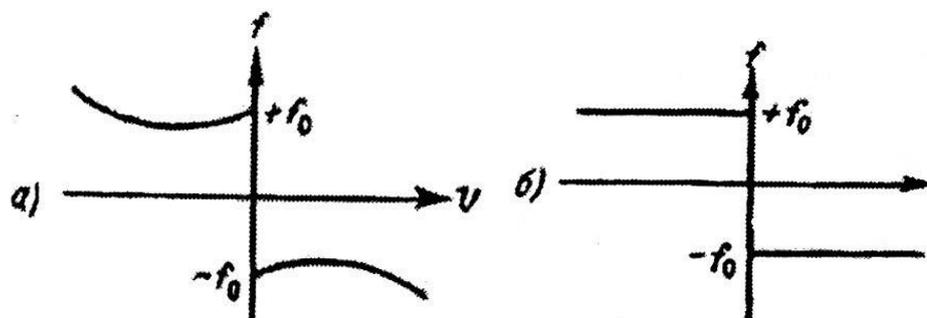
3.13-сурет

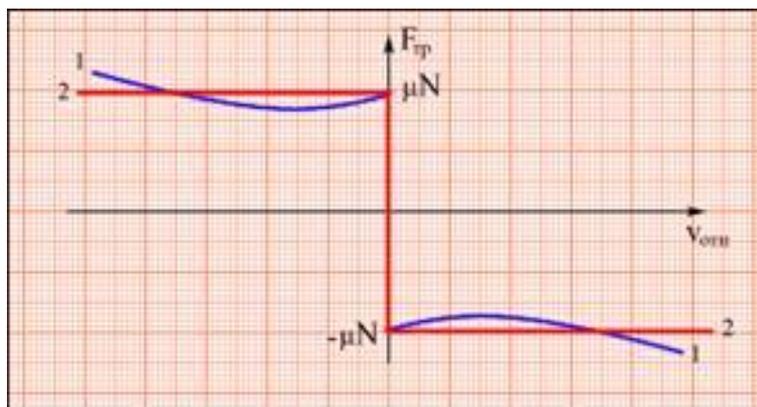
Сыртқы күштердің $0 < f < f_0$ шектерінде тұрған мәндерінде дене тыныштықта қалады. Ньютонның екінші заңы бойынша бұл егер f күші өзінің шамасы жағынан тең, бағыты жағынан қарама-қарсы күшке, яғни

тыныштық үйкеліс f_{yi} күші деп аталатын күшке теңелген жағдайда ғана мүмкін болады, (3.11- суретке қараңыз). Ол өздігінен (бұл пружинаның созатын күштің әерінен серпімді күш сыртқы күшке дәл теңелген «өздігінен» ұзарғаны сияқты) f сыртқы күштің шамасына тең мәнді қабылдайды (соңғысы f_0 ден аспайтындай жағдайда). Бұл жерде f_0 тыныштық үйкеліс күшінің ең үлкен мәнін көрсететінін байқау қиын емес.

Ньютонның үшінші заңына сәйкес 2 денеге де шамасы жағынан f_{yi} күшіне тең, бірақ оған қарама-қарсы бағытта болатын f_{yi} тыныштық үйкеліс күші (3.11-суретте пунктирмен көрсетілген) әсер ететінін ескерткеніміз жөн.

Егер f сыртқы күші шамасы жағынан f_0 -тен артық болса, дене сырғанау бастайды, сонымен қатар оның үдеуі қорытқы екі күшпен: сыртқы f және шамасы қандай жағдайда болсын сырғанау жылдамдығына тәуелді болатын сырғанау үйкелісінің күші f_{yi} -пен анықталады. Бұл тәуелділіктің сипаты үйкелетін беттердің табиғатымен және күйімен анықталады. Үйкеліс күшінің жылдамдыққа тәуелділігінің жиі кездесетін түрі 3.14-суретте көрсетілген (ось бойымен үйкеліс күшінің проекциялары мен бойымен сырғанау өтетін бағыт жылдамдықтары салынған; бұл екі проекцияның да таңбаларының қарама-қарсы болатыны айқын).





3.14-сурет

График тыныштық жағдайын да, сырғанау жағдайын да қамтиды. Жоғарыда ескерткендегідей, тыныштық үйкеліс күштерінің нольден f_0 -ге дейінгі шектік мәндері болады; бұл графикте вертикаль кесіндімен бейнеленген. Сырғанау үйкеліс күші жылдамдықтың артуымен, алғашында кемиді, сонымен қатар \mathcal{Q} нольге ұмтылған кезде онын шамасы f_0 -ге ұмтылады. Жылдамдықтың одан арғы артуында ол өсе бастайды.

Үйкеліс беттерінің күйі мен табиғаты өзгермеген (беттерді өзгерту сырғанау кезінде беттердің бедерін тегістеу, қыздыру салдарынан беттердің тотығуы тағы басқа себептерге байланысты) жағдайда, сырғанау үйкеліс күші іс жүзінде жылдамдыққа тәуелді болмай, f_0 тыныштық үйкеліс күшінің максимум мәніне тең болады екен (3.14, б-сурет).

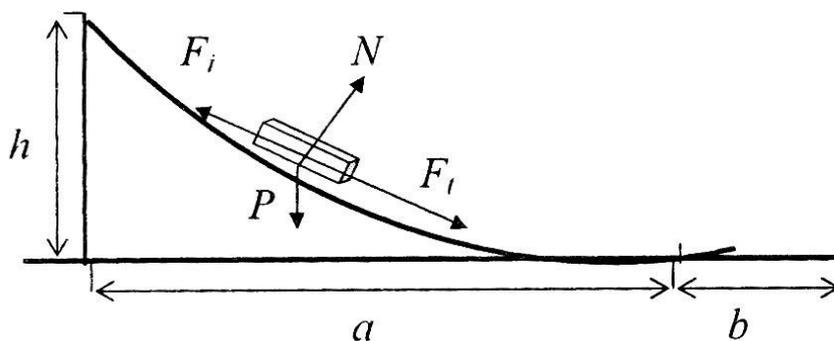
Дене тыныш тұрғанда үйкеліс күшінің әсері кіші болады және ол N (қалыпты қысым күші)не байланысты болмайды.

Тыныш күйдегі үйкеліс күшінің мәні, денелердің сырғанайтын бетіне параллел түрде әсер етіп, денені сырғанауға мүмкіншілік жасайтын күш мөлшерімен анықтайды (яғни сол күшке тең болады). Оның максимум мәні, дене тіреуішінің бетімен сырғанау бастаған кезде көрінеді.

Бұл жағдайдағы үйкеліс күшінің бағыты, әсер етіп жатқан күшке қарсы бағытталады. Мысалы, горизонтал бетте жатқан дененің қалыпты қысым күші артса да, азайса да, үйкеліс күші өзгермейді және нольге тең болады.

$$\vec{F}_{\text{үйк}} = \mu N = \mu P_n \text{ үйкеліс күші (сырғанағанда)}$$

Бұл Амонтон - Кулон заңы деп да жүргізіледі.



3.15-сурет

$\vec{F}_{\text{үйкеліс}}$ - үйкеліс күші, $[F_{\text{үйкеліс}}] = H$

μ - үйкеліс коэффициенті, ол жанасатын беттердің күйіне, денелердің қасиеттеріне тәуелді.

N немесе P_n – қалыпты қысым күші (реакция күші) $[N] = [P_n] = H$

Үйкеліс күші әрдайым қалыпты үйкеліс күшінен кіші болады және ол үйкеліп жатқан беттердің аудандарына байланысты болмайды.

$N = mg$ - горизонтал жазықта қалыпты қысым күші

$S = \frac{v_0^2}{2\mu g}$ - тормыздалу жолы

$t = \frac{v_0}{\mu g}$ - тормыздалу уақыты

$a = \mu g$ - тормоздалуда үдеу

Тормыздалу жолын және уақытын азайту үшін бастапқы жылдамдық v_0 ны азайту және үйкеліс коэффициенті μ ды арттыру керек.

Үйкеліс күші электромагниттік күштер қатарына жатады. Тыныштық үйкеліс күші бір дененің екінші бір денемен жанасу бетіне түсірілген күшке перпендикуляр бағытталады, ал сырғанау үйкеліс күшінің бағыты жанасатын денеге қатысты қозғалыс жылдамдығы бағытына қарама – қарсы болады. Үйкеліс күшінің әсерінен дене жылдамдығының модулы кемиді.

Құрғақ үйкеліс заңы мынаны тұжырымдайды; тыныштық максимум үйкеліс күші, сондай-ақ сырғанау үйкеліс күші үйкелетін денелердің

жанасу беттерінің шамасына тәуелді болмайды және үйкелісетін беттерді бір-біріне қысатын, қалыпты қысым күші f_n -нің шамасына шамалы пропорционал болады екен.

$$f_{y\ddot{i}} = k \cdot f_n$$

Үйкеліс күшінің жанасу беттерінің шамасына тәуелсіздігі мына мысалдан көрнекі байқалады. Егер тік бұрышты параллелепипед формасындағы (кірпіштің формасындағы) дене басқа бір денені салмақ әсерімен қысса, онда максимал үйкеліс күшінің шамасы (немесе белгілі бір жылдамдықпен алынған сырғанау үйкеліс күші) осы дененің басқа бір денені қай қырымен үйкейтiнiне байланысты болмайды.

$f_{y\ddot{i}} = k \cdot f_n$ теңдеудегі өлшемсіз пропорционалдық коэффициент үйкеліс коэффициенті деп аталады (тыныштыққа немесе сырғанауға сәйкес). Ол үйкелетін беттердің табиғаты мен күйіне, дербес жағдайда олардың кедір-бұдырлығына тәуелді болады. Сырғанау жағдайында үйкеліс коэффициенті жылдамдық функциясы болып табылады.

Қандай қозғалыс болмасын сол қозғалысқа қарсы үйкеліс күші туады. Үйкелісті тудырушы себептер - үйкелуші денерлердің беттерінің кедір-бұдыр болуы және сол беттердің өзара үйкелісу ерекшелігі. Мысалы, теп-тегіс жазық бетпен ағаш, темір, әйнек кеспелтектерін динамометр арқылы сүйреп, олардың бәрінің салмағы да, пішіні де, көлемі де өзара бірдей бола тұрса да, үйкеліс күші әр түрлі екенін көреміз. Біз мұз айдынында сырғанағанда табаны ағаш шанадан гөрі табаны темір шананың өте тез және қатты сырғанайтынын білеміз. Өйткені темір мұзда ағаштан гөрі жақсы сырғанайды.

Үйкеліс күші үйкелісетін денелердің өзіндік ерекшеліктеріне байланысты. Мысалы, бір ағаш кесегін теп-тегіс тақтай үстімен сырғытсақ, екінші мөлшердегі үйкеліс күші, әйнектің бетімен сырғытсақ үшінші мөлшердегі үйкеліс күші байқалады. Міне, осы үйкеліске түсетін екі заттың өзіндік ерекшеліктерін көрсететін сандық мөлшерін *үйкеліс коэффициенті*

деп атайды. Үйкелу беттері теп-тегіс денелердің үйкелу коэффициенті сол үйкеліске түсетін денелердің тек өз қасиеттеріне ғана байланысты. Мысалы, темірді темірдің бетімен сырғытқанда пайда болатын үйкеліс коэффициенті 0,14 болса, темірді тегіс тақтайдың бетімен сырғытқанда туатын үйкеліс коэффициенті 0,49 болады. Үйкеліс коэффициенті атаусыз шама, яғни оның өлшеу бірлігі жоқ. Үйкеліс коэффициенті былай анықталады:

$$\text{үйкеліс.коэффициенті} = \frac{\text{үйкеліс.күші}}{\text{дененің.салмағы}}$$

Үйкеліс коэффициенті төмендегілерге байланысты болады:

Бірдей затты болған денелер арасындағы үйкеліс коэффициенті, әртүрлі заттар арасындағы үйкеліс коэффициентінен әрдайым үлкен.

Үйкеліс күші үйкелісетін беттің күйіне да байланысты болады.

Сұйық және газдарда механикалық қозғалысқа кедергі күші $F_{кед}$ ол немесе бұл дәрежеде сырғанап бара жатқан дененің қозғалыс жылдамдығы v ға байланысты болады.

Үйкелетін беттер майланса, үйкеліс күші өте азайып кетеді.

Үйкеліс коэффициентінің шамасы үйкелетін беттердің тегістігіне қарап өзгереді.

Тыныштықтағы үйкелісте үйкеліс коэффициенті ең үлкен, домалау үйкелісте ең кіші болады.

Горизонтал қозғалыстағы денеге қойылған тартылыс күші үйкеліс күшінен кіші болып қалса, ол бір қалыпты баяуламалы қозғалыста болады.

Өз инерциясы мен қозғалыстағы денеге үйкеліс күші әсер ете бастаса, ол бір қалыпты баяуламалы қозғалыс жасай бастайды.

Түзу сызықты бір қалыпты үдемелі қозғалыстағы поезд вагонының еденінде жатқан қорап және еден арасындағы үйкеліс күші қозғалыс бағыты мен бірдей болады.

Бір дененің екінші дененің бетімен үйкелісу кезінде туатын үйкеліс коэффициенті әрқашан да тұрақты болады. Шынында да, үйкеліске түсетін дененің массасы қаншалықты артса, үйкеліс күші де сонша артады. Ал

олардың қатынасы әрқашан тұрақты болады. Мысалы, тақтай кеспелтегін тақтай бетімен сырғытқанда үйкеліс коэффициентін есептелік. Салмағы 2 кг тақтай кеспелтегін тақтай бетімен сырғытқанда туған үйкеліс күші 0,68 кг болады, ал үйкеліс коэффициенті

$$y.к. = \frac{0,68кг}{2кг} = 0,34$$

Егер кеспелтектің салмағын 5 есе арттырсақ, үйкеліс күші де 5 есе артады. Бірақ үйкеліс коэффициенті сол қалпында қалады:

$$y.к. = \frac{3,4кг}{10кг} = 0,34$$

Яғни үйкеліс коэффициенті әрқашан да тұрақты болады. Үйкеліс коэффициентінің шамасы жөнінде түсінік беру үшін кейбір материалдардың тыныштық үйкеліс коэффициенттерінің мәнін келтірелік (1-кесте).

Үйкелісетін денелер	Үйкеліс коэффициенті
Металл мен металдың (майлаусыз)	0,15-0,25
Металл мен ағаштың	0,5
Ағаш пен ағаштың	0,65
Тері мен металдың	0,6
темір-темір	0,14
темір-ағаш	0,49
ағаш-ағаш	0,34
тері-ағаш	0,33
темір-мұз	0,014
ағаш-мұз	0,035
темірмен қапталған ағаш шана	0,2

Үйкеліс күші табиғатта өте үлкен роль атқарады. Біздің күнделікті тіршілігімізде оның пайдасын жиі байқаймыз. Жердің көк тайғақ кезінде,

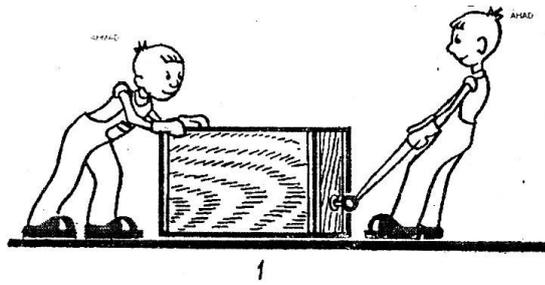
жол мен жаяу адам табанының немесе транспорт дөңгелектерінің арасындағы үйкелістің едәуір кемитін кезіндегі жаяу мен транспорттың басынан өткеретін қиыншылықтарын еске алайықшы. Үйкеліс күші болмаса, мебельді еденге шегелеп қоюға тура келер еді, әйтпесе ол теңіздегі шайқалған кемедей, еден болар-болмас тегіс болмаған кезде, көлбеулік бағытпен сырғанап жөнелер еді. Осыған ұқсас мысалдар оқушының өзі-ақ келтіре алады.

Көп жағдайларда үйкеліс зиянды да, оны мүмкіндігінше әлсірету үшін шаралар қолдануға тура келеді. Мәселен, подшипниктердегі үйкеліс немесе дөңгелек втулкасы мен ось арасындары үйкеліс жөнінде осыны айтуға болады.

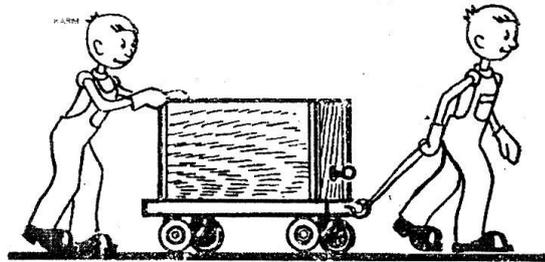
Үйкеліс күшін азайтудағы анағұрлым радикалды тәсіл-сырғанау үйкелісін домалау үйкелісімен ауыстыру (3.16-сурет).

Бұл, атап айтқанда, жазық немесе иілген беттердің бойымен цилиндрлі немесе иілген шар тәрізді денелер арасында пайда болады. Домалау үйкелісі формальды түрде сырғанау үйкелісінің заңына бағынады, бірақ бұл жағдайда үйкеліс коэффициенті едәуір аз болады. Егер бір дене екінші дененің үстінде сырғанамастан домаласа, онда пайда болатын үйкеліс *домалау үйкелісі* деп аталады.

Домалау үйкеліс күші сырғанау үйкеліс күшінен көп есе кіші, сондықтан ертеде адамдар ауыр жүктерді бір жерден екінші жерге көшіргенде бөренелерді пайдаланған.



1



2

3.16-сурет

Түзу сызықты қозғалыстағы автомобильдің тартатын доңғалақтарына Жер жағынан әсер ететін үйкеліс күші қозғалыс бағытында болады.

$$F_T = F_{\text{үйк}} + ma \quad \text{тартылыс күші (әсер күші)}$$

Айда атмосфера болмағаны үшін “Ұшар жұлдыздар” (болидтар) күзетілмейді, өйткені Айда атмосфера қабаты жоқ.

$F_{\text{үйк}} = mg \sin \alpha$ көлбеу жазықта тұрған дененің үйкеліс күші (ауырлық күшінің проекциясы, ауырлық күшінің төменге сырғанайтын құраушысы).

Көлбеу жазықта қозғалыссыз жатқан дене жазыққа тік ретте басылса, дене және жазықтық арасындағы үйкеліс күші тұрақты қалады.

$$N = mg \cos \alpha \quad \text{көлбеу жазықта қалыпты қысым күші}$$

$F_{\text{үйк}} = \mu mg \cos \alpha$ көлбеу жазықта дененің қозғалыс жасағандағы үйкеліс күші

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha) \quad \text{көлбеу жазықтан түсіп жатқан дененің үдеуі}$$

$F = mg(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$ көлбеу жазықта денені ұстап тұру үшін қажет болатын күш

$F = mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ көлбеу жазықта денені бір қалыпты көтеру үшін қажет болатын күш

$F = mg(\sin\alpha + \mu\cos\alpha) + ma$ көлбеу жазықта денені үдеу мен көтеру үшін

қажет болатын күш

$\eta = \frac{\sin\alpha}{\sin\alpha + \mu\cos\alpha} = \frac{tg\alpha}{tg\alpha + \mu} = \frac{1}{1 + \mu tg\alpha}$ көлбеу жазықтың ПӘК

Көлбеу жазықтың көлбеулік бұрышы артуы мен оның пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) артады.

Көлбеу жазықтан тұрақты күш әсерінде жоғарыға көтеріліп жатқан дененің үдеуі көлбеулік бұрышы азайуы мен артады.

$\mu > tg\alpha$ болса, көлбеу жазықта тыныш тұрған дене тыныш тұра береді, қозғалыстағы дене болса, бір қалыпты баяуламалы қозғалыс жасап тоқтайды.

$\mu = tg\alpha$ болса, дене көлбеу жазықта тыныш тұрған болса, дене тыныш тұра береді, қозғалыста болса, жылдамдығын өзгертпей қозғалысын жалғастырады.

$\mu < tg\alpha$ болса, дене үдемелі қозғалыс жасап, төменге түседі.

Тұтқырлық үйкелісі және ортаның кедергісі. Тұтқырлық үйкелістің құрғақ үйкелістен айырмашылығы тұтқырлық үйкелісінің күші нольге жылдамдықпен бір уақытта айналатынына қарай байқалады. Сондықтан сыртқы күш қашалықты аз болғанымен де ол тұтқырлы ортаның қабаттарына салыстырмалы жылдамдық береді. Ортаның қабаттары арасындағы үйкеліс күші бағынатын заңдар сұйықтар механикасына арналған тарауда қарастырылады.

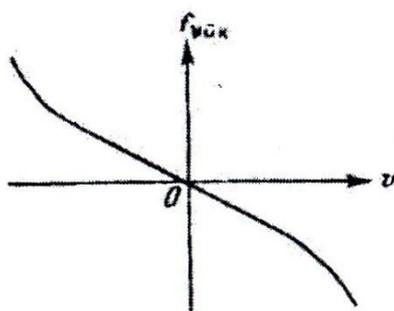
Мынаны ескерте кеткен жөн: дененің сұйық немесе газ тәріздес ортадағы қозғалысы кезінде меншікті үйкеліс күшінен басқа *ортаның кедергі күші* деп аталатын күш пайда болады, бұл үйкеліс күшіне қарағанда әлдеқайда мәндірек болуы мүмкін. Осы күштердің туу себептерін толық қарастырып жатуға мүмкіндіктің жоқтығынан да үйкеліс күші мен ортаның кедергісі бірдей бағынатын, шартты түрде оны үйкеліс күшінің қосынды күші деп атаймыз. Қысқаша айтқанда, бұл заңдылықтар төмендегі жағдайға келтіреді.

Үйкеліс күшінің шамасы дененің формасы мен өлшеміне, дененің бетінің күйіне, ортаға қатысты жылдамдыққа, тұтқырлық деп аталатын ортаның қасиетіне байланысты болады. Дененің үйкеліс күшінің ортаға қатысты жылдамдығына типтік тәуелділігінің графиктік түрі 3.17-суретте көрсетілген.

Шамалы жылдамдықта үйкеліс күші

$$f_{y\ddot{u}} = -k_1 v$$

жылдамдығымен сызықтық өседі, мұндағы « — » таңбасы үйкеліс күшінің жылдамдыққа қарама-қарсы жаққа бағытталғандығын білдіреді.



3.17-сурет

Ал үлкен жылдамдықта сызықтық заң квадраттыққа ауысады, яғни үйкеліс күші жылдамдық квадратына пропорционал өседі.

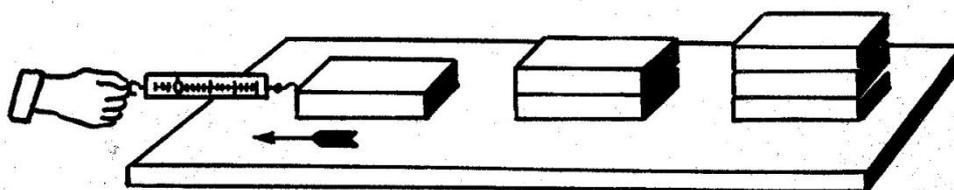
$$f_{y\ddot{u}} = -k_2 g^2 \frac{v}{g}$$

k_1 және k_2 коэффициенттерінің шамасы (бұларды үйкеліс коэффициенттері деп атаса да болады) жоғары дәрежеде дененің формасы мен өлшеміне, оның бетінің күйіне және тұтқыр ортаның қасиетіне байланысты болады. Мысалы, глицерин үшін суға қарағанда аса үлкен болады. $f_{y\ddot{u}} = -k_1 v$ теңдеуінің $f_{y\ddot{u}} = -k_2 g^2 \frac{v}{g}$ не көшетін заңындағы жылдамдық мәні осы себептерге байланысты болады екен.

Солтүстік жақтың тұрғындары-сахалар (якуттар), ителмендер, эскимостар тағы басқа - шаңғыларының табанын терімен қаптайды. Оның себебі терінің түктері шаңғышы сырғанаған кезде үйкелісті мейлінше азайтады да тебінген кезде үйкелісті мейлінше арттырады. Ал шаңғышылар

шаңғы майын не үшін пайдаланады? Шаңғышыға сырғанау кезіндегі үйкеліс мүмкіндігінше аз, ал тебінуі кезінде үйкеліс күші мүмкіндігінше көп болуы керек. Міне, шаңғы майы, шаңғыға осындай «қасиет» береді. Яғни шаңғы майы сырғанау үйкелісін азайтады да тыныштық үйкелісін арттырады. Терімен қапталған шаңғыны пайдаланған шаңғышы тоқтап тұра қалғанда терінің түктері үрпиіп, өте үлкен мөлшерде үйкеліс күшін тудырады да, ал сырғанау кезінде теріге жабыса жатып сырғанау үйкелісін азайтады.

Үйкеліс күшінің шамасын тікелей өлшеуге болады. Ол үшін өзара бірдей бірнеше тақтайшалар алу керек. Ол тақтайшалардың біреуін динамометрге іліп үстел бетімен сүйреу керек. Динамометрдің көрсетуін жазып қоямыз. Енді екі тақтайшаны бірінің үстіне бірін қойып сүйреп көреміз. Динамометрдің көрсетуін тағы да жазу қажет (3.18-сурет). Сонымен, кедергі күшін тікелей өлшеуге болады.



3.18-сурет

Жалпы алғанда кедергі күшін күнде кездестірудеміз. Соның дәлелі ретінде кәдімгі авомобильді алайық. Теп-тегіс асфальт жолмен сағатына 70-80 км жылдамдықпен бірқалыпты қозғалып келе жатқан авомобиль өзінің бүкіл тудырған қуатын тек кедергі күшін жеңуге ғана шығындайды. Бірқалыпты қозғалып бара жатқан авомобиль өзінің жанар майын жүк көтеруге де емес, жылдамдығын арттыруға да емес, тек дөңгелектердің асфальт жолмен үйкелісу күшін және ауа ағынының кедергісін жеңуге жұмсайды. Бұл мысал тек автокөліктерге ғана қатысты емес, дәл осындай жағдайда пойыздарға да, трамвай-троллейбустарға да, кемелерге де, аэропландарға да қатысты. Яғни, қазір біз пайдаланатын көлік түрлерінің барлығы тұрақты жылдамдық алғанынан кейін өз жанар майын кедергі күшін жеңуге жұмсайды. Подшипникті механизмдерде де, тісті берілістерде де кедергі күшіне көп энергия шығындалады.

Дүние жүзі елдерінде 500 миллионға жуық автомашиналар қолданылады. Сонда олар бір сағат ішінде 1 миллион тоннадай бензин жағады. Соның бәрі кедергі күшін жеңуге шығындалады. Ал енді осы осыншама энергия қорын шығынға ұшыратып жатқан кедергі күші тек зиянды ғана ма? Оның еш пайдасы жоқ па? Кедергі күші осыншалықты орасан зиян келтіре тұра өте қажетті. Жаңағы автомашина үшін оның жанар майы, яғни оны жүргізетін отын қуаты қаншалықты қажет болса, кедергі күші де соншалықты қажет. Автомашина айдын көк мұз үстінде тұрып, жүріп кетпек болды делік. Егер мұздың кедергісі бүтіндей жоқ болса, ол орнынан ешқашан қозғала алмас еді (біз білетін көк мұздың өзінің белгілі мөлшерде кедергісі бар). Бірақ соның өзінде де бұл мұзда тұрған машина орнынан қозғалып кете алмайды. Ендеше бұл машинаның бүкіл жанар майы, қуаты оның дөңгелектерін бостан-босқа айналдыруға шығындалар еді.

Бірінші жағдайда машина кедергі күшіне қарсы орасан шығын шығарса да, әйтеуір белгілі бір жол жүреді, керекті жеріне барады. Ел екінші жағдайда машина бір орнында (көк мұзда) тұрып алып, дөңгелектерін тектен-текке шыр айналдырып, бүкіл жанар майын босқа сарып етеді. Бірінші жағдайда кедергі бар. Ол шағын шығындатқанмен пайда келтірді. Екінші жағдайда кедергі жоқ, бірақ оның есесіне машина орнынан да қозғала алмайды. Олай болса, кедергі болмаса, қозғалыс та болмайды. Кедергі табиғат үшін де, техника үшін де керекті құбылыс.

Біз тұрмыста кедергі күшінің қажетті мөлшерін тудыруға, соны пайдалануға тырысамыз. Бірақ кедергі неғұрлым көп болса, шығын да соғұрлым көп болады. Сондықтан іс жүзінде кедергіні азайтуға тырысады. Оны да біз күнделікті тұрмыстан көріп жүрміз. Мысалы тығынды қозғау үшін оны сулау керек. Тісті берілістерді, тағы басқа механизмдерді майлау керек. Бірінің бетімен екіншісі қозғалатын денелерді майлағанда сол денелердің өзара үйкелісі майдың (не сұйықтың) ішкі үйкелісіне ауысады. Сонда біз құрғақ үйкелісті сұйық (майлы) үйкеліске айналдырғанымызда үйкеліс 10 еседей азаяды. Сұйық неғұрлым тұтқыр болса, оның кедергісі

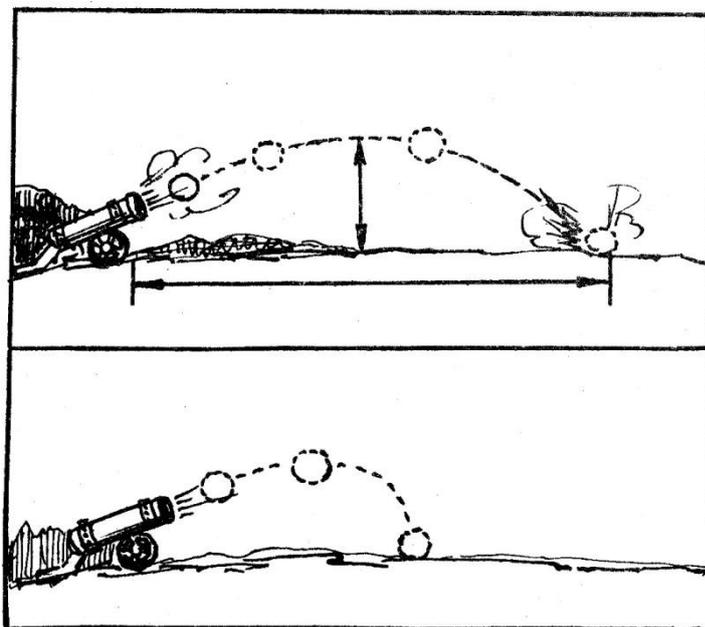
соғұрлым аз болады. Сондықтан біз кедергіні азайту үшін суды немесе бензинді емес, әр түрлі майларды пайдаланамыз. Өйткені өзара үйкеліске түсетін екі бетке май жағылады да үйкеліс майдың өз бөлшектерінің арасында болады. Бір-бірімен өзара үйкелісетін денелер неғұрлым қатты қысыммен жанасатын болса, оларды соғұрлым қою тұтқыр майлармен майлайды. Ал еш сығымдаудың қажеті жоқ сағат механизмдерін сүйек маймен майлайды.

Біз үйкеліс күші тікелей үйкелісетін денелер арасында болатынын көрсеттік. Ал тікелей үйкеліспей іске асырылатын кедергі күшін күнде көріп жүрміз. Мысалы ауа осындай кедергі күшін туғызады. Баяу қозғалыс кезінде (мысалы, баяу аяндап жүргенде) біз ауаның кедергісін сезінбейміз, оның кедергісіне мән бермейміз. Жел соғып тұрғанда немесе жүгірген кезде біздің қозғалысымызға ауаның жасайтын бөгетін әрқашан сезінеміз. Әсіресе жел қарама-қарсы соғып тұрғанда жүгіру өте қиын. Біздің қозғалысымызбен бағыттас жел біздің қозғалысымыздың жылдамдығын арттырады. Ауа кедергісінің күші ең алдымен дене қозғалысының жылдамдығына байланысты.

Жылдамдықты екі есе арттырғанда, ауа кедергісі сол артқан жылдамдықтың квадратына тура пропорционал болатыны анықталған. Велосипедшінің жылдамдығы 10 м/сек немесе 36 км/сағ болғанда, ауаның кедергісі 2 кг десек, жылдамдық 40 м/сек немесе 144 км/сағ болғанда, ауаның кедергісі 32 кг болады, яғни жылдамдық 4 есе артқанда, кедергі 16 есе артады.

Әншейінде онша еленбейтін ауа кедергісінің үлкен ықпал жасайтынын тағы да мынандай бір мысалмен нақтылайық. Суретте траекториясы көрсетілгендей, Жер бетімен 45° бұрыш жасап, 620 м/сек жылдамдықпен атылған оқ 40 км жерге баруы, әрі ол 10 км биіктікке көтеріліп түсуі керек еді. Бірақ оқ тым қарқынды ауа кедергісіне төтеп бере алмай, бар болғаны 4 км қашықтыққа ұшып жетеді (3.19-сурет).

Сонымен біз күнделікті көріп жүрген үйкеліс күшімен кедергі күшінің негізі бір екен. Қатты денелердің бірінің бетімен екіншісінің қозғалуы нәтижесінде бұл денелердің жанасу беттері үйкеліске түсетіндіктен, олардың арасындағы туған күшті *үйкеліс күші* деп атайды. Түптеп келгенде, үйкеліс күшінің негізгі «міндеті» қозғалысқа кедергі жасау. Олай болса, үйкеліс күші де өзінің «атқаратын міндетіне» сәйкес кедергі күшіне жатады. Екінші жағынан кедергі күшінің өзі де үйкеліс арқылы іске асады. Шынында да, ауада қозғалған денеге ауа кедергі жасағанда, сол өзінде қозғалған денемен үйкелісу арқылы кедергі күшін тудырады. Ауада қозғалған дененің жылдамдығы өте үлкен болса, ауаның кедергісін тудыратын үйкеліс соншалықты көп болып кетуі, бұл дене ауа атмосферасында жанып кетуі мүмкін. Сондықтан да біз метеориттердің, кометалардың атмосфераға енгенде ақ жолақ із болып жанып кетуін байқаймыз, «жұлдыздың ағуы» да сондықтан.

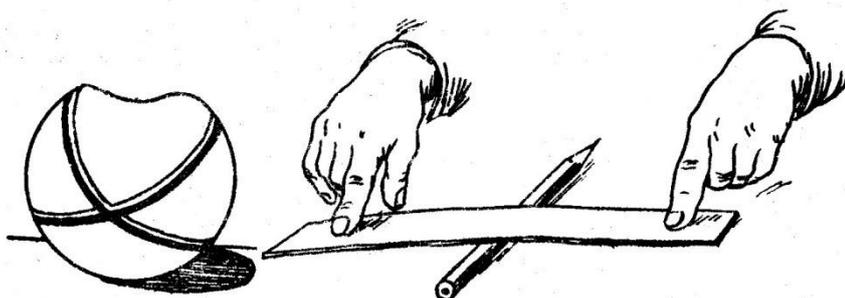


3.19-сурет

СЕРПІМДІЛІК КҮШІ

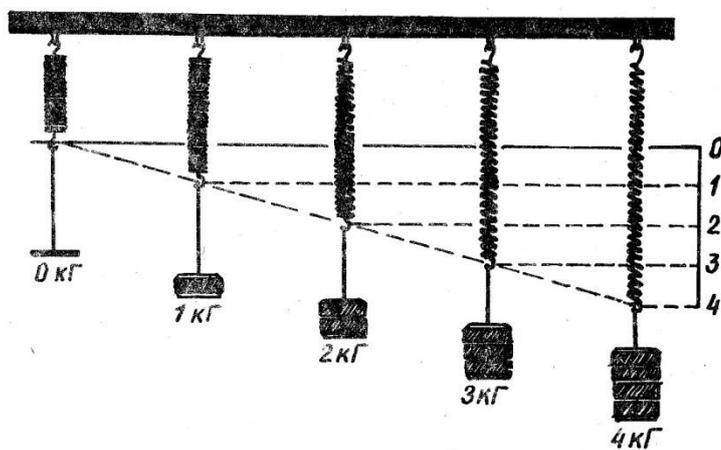
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: серпімді денелер, жалпақтау, кергілеу, модуль, серпінділік күші, қатаңдық, серіппе, Гук заңы, шар, деформация, реакция күші.

Кәдімгі футбол, волейбол добын, тіпті кез келген резеңке допты алып, қысқасқ, оның күш түскен жағы біраз сығылып, доптың біраз бөлігі ішке қарай майысады (3.20-сурет).



3.20-сурет

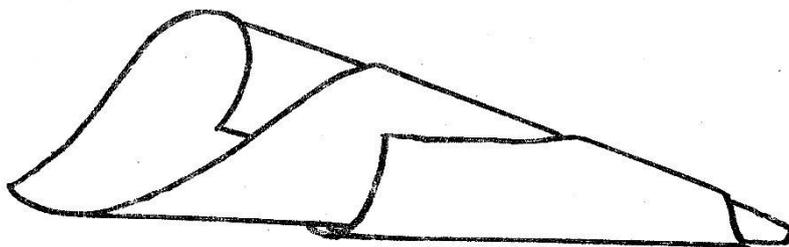
Бірақ қалай сығымдауды тоқтатсақ, солай бұл доптардың қайсысы болса да алғашқы қалпына келеді. Бірақ бұл доптарды алғашқы қалпына келтіру үшін біз өз тарапымыздан ешқандай күш жұмсамаймыз. Барлық доптар алғашқы қалыптарына өз беттерімен келеді. Оларды бұл бұрынғы күйіне келтіретін өз іштерінде күштер пайда болады. Оқушылар қолданатын кәдімгі болат сызғышты майыстырып ұстап әр түрлі пішінге келтіруге болады. Бірақ сызғышты қалай босатып жіберсек, ол дереу сол сәтте қайтадан өзінің бастапқы түзу қалпына келеді. Серіппені біраз мөлшерде созып тұруға болады. Дерек босатып жіберсек, ол да қалпына келеді (3.21-сурет).



3.21-сурет

Әсерден кейін денелердің барлығында да оларды бастапқы күйінде түсіретіндей олардың әрқайсысына тән күштер бар. Міне денелерді бастапқы күйіне қайта келтіретін осы күшті *серпімділік күші* деп, өздерінің алғашқы күйлеріне қайтып келе алатын денелерді *серпімді денелер* деп атайды. Серпімділік күші де үйкеліс күші тәрізді табиғатта, техникада өте кеңінен тараған күш түрі. Серпімділік күші әр түрлі денелерде әр түрлі дәрежеде болуы мүмкін. Аса үлкен серпімділік болаттан жасалған денелерде байқалады. Яғни болаттың серпімділігі көп денелерден әлдеқайда жоғары болады.

Оқушылар өздері күнде пайдаланатын кәдімгі ақ қағаз, дәптер, картон, газет және тағы басқа едәуір серпімділік қасиеті бар денелер. Олардың бұл қасиетін оқушылар күнде бақылап та жүр, тек зер салмауы мүмкін. Мысалы, мәмпәзи, печенье және тағы басқа тағамдарды орап сататын қағаздардың серпімділік қасиетін - олардың орауының өздігінен жазылып кететінін көріп жүреміз. Оны тікелей көру қажет болса, оқушылар өздері қағаздан жалпақ серіппе тәрізді орам орап бақылауларына болады. Бұл күйдегі қағазды ұстап тұрмаса, ол өздігінен ширатылып кетеді (3.22-сурет).



3.22-сурет

Ал жас шілік ағашының өте иілгіштік қасиетін қазақ халқы тұрмыс қажетіне кеңінен пайдаланған, одан себет тоқыған, садақ иген, кереге, уық жасаған. Терек, үйеңкі және тағы басқа ағаштар да әжептеуір серпімділік қасиет көрсете алады. Негізінен жас ағаштар серпімді болады. Ал іс жүзінде кейде кепкен қу ағаштарды пайдалануға да тура келеді. Мұндай жағдайда бұл қу ағаштарды суға салып қайнатады. Не буға булайды. Бұл халық арасына кең тараған қарапайым әдіс. Оқушылар батпырауық жасағанда осы әдісті қолдануы тиіс. Әрине, серпімділік қасиеті толып жатқан заттардың

бойына тараған. Бірақ бұл қасиет әр түрлі заттарда - әр түрлі. Мысалы, өте аморфты, морт сынғыш болып есептелетін әйнектің де серпімділік қасиеті бар екен. Әйнектің серпімділік қасиетін оның тілдей тілігін алып, қаламның үстіне салып, екі жағын басып та көру керек. Әйнектің сәл болса да майысып барып, қайтып қалпына келгенін байқауға болады. Жалпы алғанда серпімділік күші серпімді денелерге сырттан күш әсер еткенде пайда болады. Шынында серіппенің қаншалықты серпімді екенін білу үшін оны созып көру керек, яғни күш түсіру қажет.

Ал егер дене серпімді емес болса ше? Мұндай серпімді емес денелер *деформацияға* (деформация - латынның *deformatio* - бүліну, бұзылу деген сөзінен алынған) ұшырайды, яғни олар сыртқы күш әсерінен сыртқы пішінін өзгертеді. Шын мәнісінде сыртқы күш әсерінен серпімді денелер де деформацияланады. Бірақ олар күш әсері тоқтасымен бастапқы күйіне, яғни бастапқы пішініне қайта келеді. Ал серпімді емес денелер бастапқы күйіне қайта келе алмайды, яғни олардың пішіні сыртқы күш әсерінен өзгерген күйінде қалады. Деформацияны қабылдағыш денелер оқушыларға өте танымал пластилин, иленген қамыр, балшық, кәдімгі аяз-ата жасалатын сәл дымқыл қар, мыс сым (сондықтан да бір нәрсені орап қоюға болады), үймек мақта, гипс тағы басқалар. Кең мағынада алғанда барлық денелер деформацияға ұшырайды. Олардың біреулері (серпімді денелер) сыртқы күш әсері тоқтасымен бұрынғы қалпына келеді, екіншілері - пішіні өзгерген қалпында қалады. Деформацияланатын денелер деформациялану түрлеріне қарай төмендегіше қолданылады.

Кергілеу-бұл деформация түрі кәдімгі иленген қамырдан, әйнек ерітінділерінен, металл қорытпаларынан жеке талшықтар жасау үшін қолданылады. Созу үшін керу күші түсіріледі. Мысалы, кәдімгі арканды созу нәтижесінде жіңішкертуге болады. Кейбір металдарды созғылау нәтижесінде жіңішке сымдар жасалады.

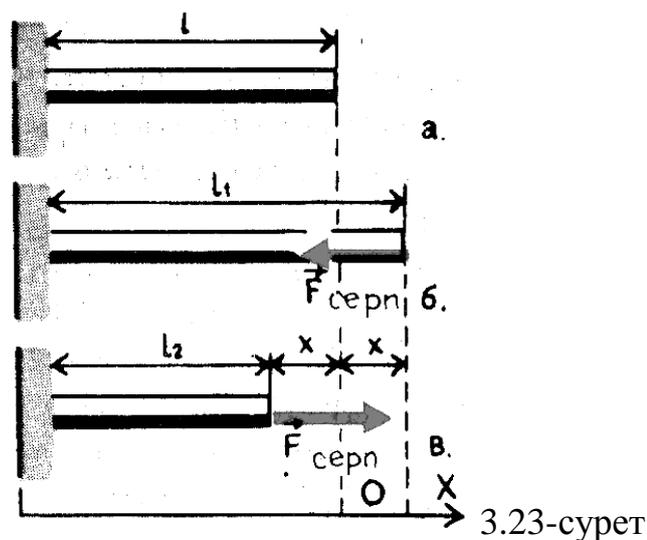
Жалпақтау (сығымдау). Біз қазіргі жеңіл машиналардың темір «қыртыс қабығы» соншалықты жұқа екенін білеміз. Мысалы, қазір «Жигули»

автомашинасының қыртысының қаңылтырын кез келген оқушы қолмен басып майыстыра алады. Сәл майысқанымен ол қайтып қалпына келеді. Оны балқыған қорытпаны жалпақтау арқылы осынша жұқа етіп жасайды.

Деформацияның бұдан басқа сырғу, ию, бұрау сияқты түрлері бар. Олардың әрқайсысы тұрмыста, техникада ерекше орын алған.

Серпінділік күшінің серіппе созылғанда немесе сығылғанда пайда болатынын біз білеміз. Егер серіппе созылып тұрса, онда серпінділік күші серіппе қайыра жиырылатындай бағытқа бағытталады. Егер серіппе сығылып тұрса, онда серпінділік күші серіппені созуға тырысады. Жалпы, серпінділік күші - бұл сығылғанға немесе созылғанға дейінгі күйге келтіруші күш. Мұның бәрі тек серіппеге ғана емес, кез келген денеге де қатысты. Әрбір дене серіппенің қызметін атқара алады:

Мысалы, бір ұшы бекітілген шыбықты созғанда да (3.23, а-сурет),

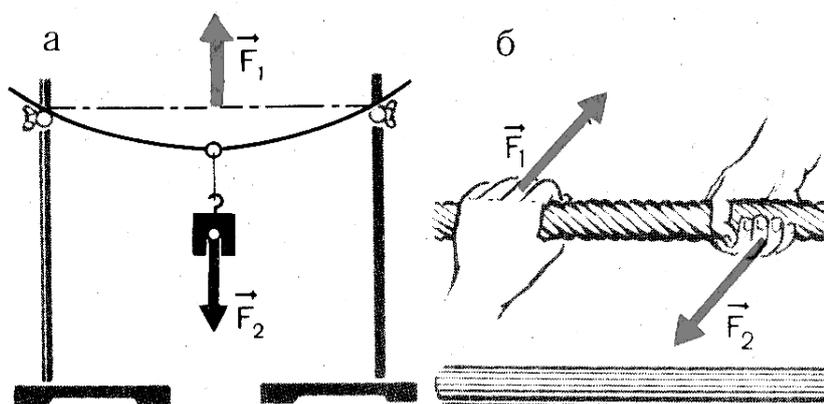


шыбық ұшының ығысу бағытына қарама-қарсы жаққа бағытталған серпінділік күші пайда болады (3.23, б-сурет). Егер шыбық ұшы солға қарай ығысатындай етіліп, сығулы тұрса, онда серпінділік күші оңға бағытталады (3.23, в-сурет).

Мұндай қалпына келтіретін күштер тек денелерді созғанда немесе сыққанда ғана пайда болып қоймайды. Сондай-ақ, олар денені игенде (3.24, а-сурет) немесе бұрағанда да (3.24, б-сурет) пайда болады.

Созылу, сығылу, иілу, бұралу денелердің деформациясы деп аталады. Деформацияның кез келген түрінде, егер ол дененің өлшемдерімен салыстырғанда онша зор болмаса, онда дене деформацияға дейін қандай күйде болса, дәл сондай күйге қайта әкелетін серпінділік күш пайда болады.

Бұдан былай біз созылу және сығылу деформациялары кезінде пайда болатын серпінділік күшін ғана қарастыратын боламыз.



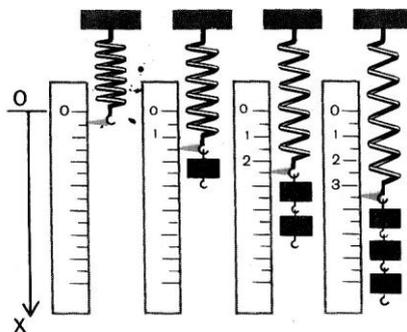
3.24-сурет

Серпінділік күші неліктен пайда болады? Жалпы айтқанда, механикада күштердің пайда болу себептері зерттелмейді. Механика - күштің әсерінен дененің қалай қозғалатынын қарастыратын ғылым. Алайда серпінділік күші туралы және серпінділік күшінің пайда болуы неге байланысты екенін айта кетейік.

Барлық денелердің атомдар мен молекулалардан тұратыны белгілі. Олардың ара қашықтығы, бөлшектердің өздері сияқты, соншалықты аз. Бұл бөлшектер бірімен-бірі өзара әсерлеседі. Дене бөлшектері арасындағы өзара әсерлесу күштерінің мынадай бір таңқаларлық ерекшелігі бар. Егер бөлшектердің ара қашықтығын аздап арттырсақ, онда өзара әсерлесу күштері олардың арасындағы тартылыс күші болып шығады. Егер бөлшектердің ара қашықтығын аздап азайтсақ, онда олар бірден тебілу күштеріне айналады. Шыбықты созғанда біз сол бөлшектердің ара қашықтығын арттырамыз да, ал сыққанда оларды азайтамыз. Сондықтан деформация кезінде серпінділік күшінің неліктен пайда болатыны түсінікті де.

Гук заңы. Баяндағанымыздай тәжірибелер (3.25, а-суретті қараңдар) тек серіппелермен ғана емес, қатты шыбықтармен де жасалды. Олар серпінділік

күші мен оны тудыратын деформация күшінің байланысын анықтауға мүмкіндік берді. Ұзару мейлінше аз болғанда (шыбықтың өз ұзындығымен салыстырғанда аз) серпінділік күші векторының модулі шыбықтың бос ұшының орын ауыстыру векторының модуліне пропорционал екен.



3.25-сурет

Бірақ біздің бұрын айтқанымыздай, ол векторлардың X осіндегі проекциялары таңбалары жағынан қарама-қарсы. Сондықтан серпінділік күшінің ұзаруға тәуелділігін (деформацияны) математикада мынадай теңдікпен өрнектейді:

$$(F_{серп})_x = -kx \quad (3.1)$$

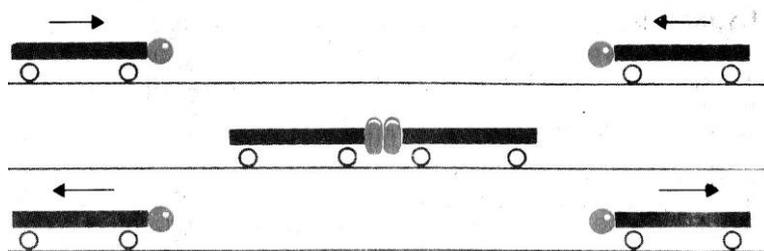
Мұндағы x - дененің (серіппенің) ұзаруы, k - дененің (серіппенің) қатаңдығы деп аталатын пропорционалдық коэффициент. Қатаңдық дененің өлшемдеріне және оның жасалған материалына байланысты. $k = \frac{(F_{серп})_x}{x}$ болғандықтан, қатаңдық ньютон бөлінген метр (Н/м) есебімен өрнектеледі.

Дене (серіппе) созылғанда x ұзаруы - оң, ал сығылғанда теріс болады. Егер координатты шыбықтың деформацияланбай тұрғандағы ұшының орнынан есептесек, онда x - шыбықтың деформацияланған ұшының координаты екенін ескереміз.

$$(F_{серп})_x = -kx - \text{формула Гук заңын өрнектейді:}$$

Дене деформацияланғанда пайда болатын серпінділік күші дененің ұзаруына пропорционал және дене бөлшектерінің деформация кезінде орын ауыстыру бағытына қарама-қарсы бағытталады.

Деформация қалай пайда болады? Серпінділік күші дене деформацияланғанда пайда болады. Ал деформацияның өзі қалай пайда болады? Алдына жұмсақ резенке шар бекітілген екі кішкене арба алайық (3.26-сурет). Арбаларды соқтығысатындай етіп, қозғалысқа келтіреміз.

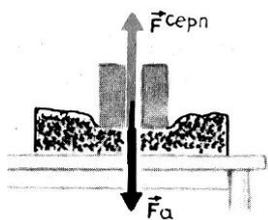


3.26-сурет

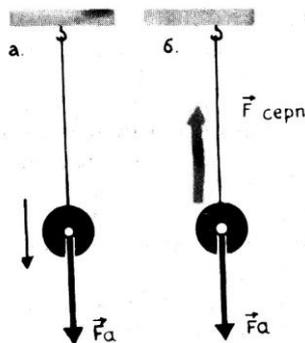
Шарлар бір-біріне тиген кезде екі шардың да тиіскен жерлеріндегі бөлшектеріне күш әсер етеді. Ол бөлшектер үдеу алады да, олар басқа күш түсе қоймаған бөлшектерге қатысты орын ауыстырып, ығысады. Сонда шарлар деформацияланып, арбалар мен шарлардың қозғалысына қарсы бағытталған серпінділік күші пайда болады. Бұл күштер арбаларды қас қағым тоқтатады да, содан соң оларды кері бағытта жүруге мәжбүр етеді. Бұл тәжірибеден шарлардың деформациялану себепкері - бөлшектердің бір-біріне қатысты қозғалысы, ал деформацияның салдары серпінділік күші екені көрінеді. Егер шарлар резенке болмай, болат болса да, нәтижесі дәл осындай болар еді, бірақ онда деформация байқалмас еді, өйткені болат шардың қатаңдығы резенкеге қарағанда анағұрлым көп. Мұнда деформацияның себепкері, басқа жағдайлардағы сияқты, дененің бір бөлігінің екінші бөлігіне қатысты қозғалысы болып табылады. Біз жүкті үстелдің үстіне қойғанда, ол ауырлық күші әсерінен, құлаған дене сияқты, төмен қарай қозғала бастайды. Сонда ол үстелдің жүкпен жанасатын бөлшектері ығысады. Үстел деформацияланады да, жүкке әсер етуші ауырлық күшіне тең, жоғары қарай бағытталған, серпінділік күші пайда болады. Сондықтан үстелдегі жүк тыныштықта болады, әрине, жүк те деформацияланады.

Егер жүкті жұмсақ резенке тұғырға қойсақ, оның орын ауыстыруын, яғни резенкенің ақтық деформациясын көруімізге болады (3.27-сурет).

Аспаның әсері туралы да осыны айтуға болады (3.28, а,б-суреттер). Сондай-ақ серіппенің, резеңке таспаның деформациялары жақсы байқалады. Тіреу немесе аспа тарапынан денеге әсер ететін серпінділік күшін тіреудің реакция күші деп атайды.



3.27-сурет

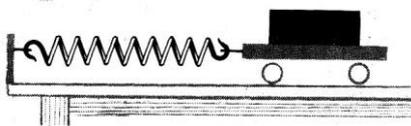


3.28-сурет

Серпінділік күшінің аса маңызды ерекшелігі мынада: ол өзара әсерлесетін денелердің жанасу бетіне перпендикуляр бағытталады, ал егер әңгіме деформацияланған шыбықтар, резеңке таспалар, жіптер, сығылған не созылған серіппелер сияқты денелер туралы болса, онда серпінділік күші олардың осі бойымен бағытталады.

ДЕНЕНІҢ СЕРПІНДІЛІК КҮШІ ӘСЕРІНЕН ҚОЗҒАЛУЫ

Қайсыбір денеге серпінділік күшінің әсерінен басқа оған ешбір күш түсірілмеген жағдайды қарастырайық. Бұған серіппеге бекітілген үстінде жүгі бар арбаның қозғалысы (3.29-сурет) мысал бола алады.



3.29-сурет

Арбаға ауырлық күші әсер етеді, бірақ ол тіреудің реакция күшімен теңгеріліп тұрады. Егер арбаны тартып, сол арқылы серіппені деформациялап, содан соң оны босатып жіберсек, сонда біз арбаның біресе оңға, біресе солға үнемі өзінің қозғалысын қайталап қозғала бастағанын көреміз. Мұндай қозғалыс тербелмелі қозғалыс деп аталады. Оны денені тік орналасқан серіппеге асып қойып та байқауға болады.

Егер X координат осін жүктің тербелмелі қозғалысы бойымен бағыттасақ, онда Ньютонның екінші заңының теңдеуі мына түрде жазылады:

$$ma_x = -kx$$

Бұл теңдеуді шешіп, кез келген уақыт мезетіндегі x координатын табуға болады. Бірақ бұл есеп қиын, өйткені қозғалыс кезінде серпінділік күші үздіксіз өзгереді, ал онымен бірге үдеу де өзгереді.

Күш және орын ауыстыру тек бір түзу бойымен бағытталғанда ғана дене серпінділік күшінің әсерінен тербелмелі қозғалыс жасайды (3.29-суретті қараңдар).

Серпінділік күші дененің қозғалыс бағытына перпендикуляр әсер еткенде, дене тіпті де басқаша қозғалады. Демек, егер күш жылдамдыққа перпендикуляр болса (жылдамдық векторының бағыты - бұл қозғалыс бағыты екенін ескертейік), онда үдеу жылдамдыққа перпендикуляр болады. Жылдамдыққа перпендикуляр үдеу - бұл центрге тартқыш үдеу. Мұндай үдеу дене шеңбер бойымен қозғалғанда ғана пайда болады. Олай болса, дененің қозғалу бағытына перпендикуляр түсірілген серпінділік күшінің әсерінен дене шеңбер бойымен қозғалады. Бұған өзімізге белгілі жіпке байланған жүктің шеңбер бойымен қозғалуы мысал бола алады. Мұнда серпінділік күші - керілген жіптің серпінділік күші.

НЬЮТОННЫҢ ЕКІНШІ ЖӘНЕ ҮШІНШІ ЗАҢЫ

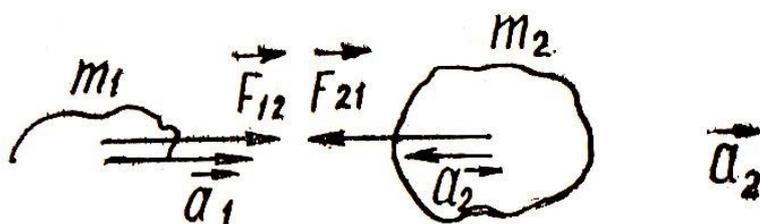
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Ньютонның екінші заңы, Ньютонның үшінші заңы, гравитациялық тұрақты, ауырлық күші, еркін түсу, салмақсыздық жағдай, асқын салмақ, орбита, Жер радиусы.

Ньютонның екінші заңы. Инерциялық санақ жүйелерінде дененің үдеуі оларға әсер ететін күшке тура пропорционал және бағыты күштің бағытымен бағыттас, ал дененің массасына кері пропорционал:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (3.2)$$

Ньютонның үшінші заңы: Инерциялық санақ жүйесінде екі дене бір-біріне түзу бойымен, модулы бойынша тең және бағыты жөнінен қарама-қарсы бағыттталған, табиғаттары бірдей күштермен әсер етеді (3.30-сурет):

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}. \quad (3.3)$$



3.30 - сурет

$\vec{F}_{12}, \vec{F}_{21}$ – массасы m_2 дененің массасы m_1 денеге және массасы m_1 дененің массасы m_2 денеге әсер ететін күштер. Бұл күштер әр түрлі денелерге түсірілген, сондықтан тең әсерлі күш бола алмайды.

Өзара әсерлесудің гравитациялық, электромагниттік, күшті және әлсіз өзара әсерлесу деп аталатын түрлері бар.

Гравитациялық (тартылу) күш бүкіл әлемдік тартылыс заңы бойынша, тартылатын екі дененің массаларына тура пропорционал, олардың ара қашықтығының квадратына кері пропорционал және осы денелер арқылы өтетін түзідің бойымен бағыттталған:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} = -\gamma m_1 m_2 \vec{r}_{12} / r^3_{12},$$

$$F_{21} = F_{12} = \gamma m_1 m_2 / r_{12}^2$$

Мұндағы γ – гравитациялық тұрақты. Әрқайсысының массалары $m_1 = m_2 = 1$ кг центрлерінің бір-бірімен қашықтығы $r_{12} = 1$ м болатын екі дене өзара $F = \gamma = 6.67 \times 10^{-11}$ Н ға тең күшпен тартылады. Тартылыс күші өзара әсерлесуші денелердің орналасуына, яғни олардың координаттарына тәуелді. Масса әр түрлі екі заңда: Ньютонның екінші заңында және бүкіл әлемдік тартылыс заңында қатысады. Бірінші жағдайда ол дененің инерттілік қасиетін, ал екіншісінде гравитациялық қасиетін, яғни денелердің бірін-бірі тарту қасиетін сипаттайды. Тәжірибелер денелердің инерттілік массасы мен гравитациялық массасы бір-біріне пропорционал екендігін көрсетті.

Жер бетінен h биіктікке көтерілген массасы m дене мен Жер үшін бүкіл әлемдік тартылыс заңы былайша жазылады.

$$F = \gamma \frac{mM}{(h + R_{\text{ж}})^2} \quad (3.4)$$

мұндағы M мен $R_{\text{ж}}$ – Жердің массасы мен радиусы, $h \ll R_{\text{ж}}$ болса, онда $F = \gamma \frac{mM}{R_{\text{ж}}^2} = ma$ немесе $a = \gamma M / R_{\text{ж}}^2 = g$, $\vec{F} = \vec{P} = m\vec{g}$. Мұндағы P – ауырлық күші, яғни жер мен байланыста санақ жүйесінде массасы m дененің Жерге тартылу күші. Егер денеге тек тартылу күші әсер етсе, онда ол дененің қозғалысы **еркін түсу** деп аталады, еркін тусу үдеуі $g = \gamma M / R_{\text{ж}}^2 \approx 9,83 \text{ м/с}^2$ дененің массасына тәуелді емес, демек, ол барлық денелер үшін бірдей (\vec{g} орынның географиялық ендігіне, ара қашықтық h -қа тәуелді). \vec{P} ауырлық күшінің бағыты тіктеуіш деп аталатын жүкпен көтерілген жіптің бағытымен дәл келеді, ал тартылу күші \vec{F} Жер центріне бағытталған. Сөйтіп ауырлық күшінің әсерінен дене вертикаль бойымен (жоғары, төмен) бірқалыпты үдемелі қозғалады. Горизонталь немесе горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған дененің бастапқы жылдамдығы \vec{v}_0 ауырлық күшіне параллель болмай бұрыш жасаса, онда дене парабола бойымен қозғалады. Демек, дененің қозғалыс траекториясы оған түскен

күштермен ғана анықталмай, дененің бастапқы жылдамдығының модулімен және бағытымен анықталады.

Егер де $t=0$ болғанда дененің жылдамдығы $v_0=0$ болса, онда еркін түскен дененің кез-келген мезеттегі жылдамдығы, жүрген жолы, түсу уақыты былайша анықталады:

$$v = gt\sqrt{2gh}, \quad h = gt^2 / 2, \quad t = \sqrt{2h/g}$$

Дененің салмағы (G,H) деп дене Жерге тартылуы салдарынан тірекке немесе аспаға әсер ететін күшті айтады. Дене мен тіреуіш (ілме) Жерге қатысты қозғалмай тұрған жағдайда ғана $\vec{G} = \vec{P}$. \vec{a} үдеумен қозғалған дененің салмағы мынаған тең:

$$\vec{G} = m(\vec{g} - \vec{a}) \quad (3.5)$$

Егер \vec{g} мен \vec{a} бағыттас болса, онда $\vec{G} = m(\vec{g} - \vec{a})$, ал \vec{g} мен \vec{a} бағыттары қарама-қарсы болған жағдайда $\vec{G} = m(\vec{g} + \vec{a})$ (асқын салмақ күйі). Егер $\vec{a} = \vec{g}$ болса, онда $G=0$ (салмақсыздық жағдай).

Радиусы Жер радиусымен шамалас дөңгелек орбита бойымен айнала қозғалу үшін дене белгілі бір v_1 жылдамдыққа ие болуға тиіс. Ньютонның екінші заңы бойынша

$$mv_1^2 / R_{ж} = mg, \quad v_1 = \sqrt{gR_{ж}} = 8 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

КЛАССИКАЛЫҚ МЕХАНИКАНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУ ШЕКАРАСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Галилей-Ньютон механикасы, классикалық механика, координата, жылдамдық векторы, кванттық механика, Гейзенбергінің белгісіздік принципі, Планк тұрақтысы, атомның өлшемі, электронның массасы.

Біз үйренген заңдар, өткізілген тәжірибелер молекула және бөлшектер жинағынан құралған микроскопиялық денелердің жарық жылдамдығына салыстырғанда өте кіші жылдамдық пен қозғалуына негізделген. Бұндай қасиетке ие болған денелердің қозғалыс заңдарын Галилей-Ньютон механикасына мойынсұнады, сол үшін ол ***классикалық механика*** деп аталады. Классикалық механикада дене массасы қозғалыс барасында тұрақты сақталады. Пән және техниканың дамуы нәтижесінде жаратылған атом және бөлшектердің қозғалысын үйрену үшін классикалық механика заңдарын қолдауға болмайды. Бұндай бөлшектерді микроскопиялық денелер деп атаймыз және олардың қозғалыс заңдарын кванттық механикасы негізінде үйреніп шығамыз. Бұнымен бір қатарда жарық жылдамдығына жақын жылдамдық пен қозғалатын денелердің қозғалыс заңдары арнаулы салыстырмалылық теориясы негізінде, яғни релятивистік механикада үйреніледі. Классикалық механика заңдары бұл шарттар мен шектеліп қалмастан, денелердің өлшемдері өте кіші болғанда да оны қолданып болмайды.

Классикалық механикада кезкелген уақытта қозғалыстағы бөлшектердің күйі (координаталары – X, Y, Z) және жылдамдық векторы v берілген болады, жылдамдық пен бір қатарда дене импульсі $p=mv$ дан пайдалану мүмкін. Бірақ кванттық механикасында қозғалыстағы бөлшекті бақыланып жатқан уақыттағы анық координаталары және жылдамдықтары арқылы сипаттау мүмкін емес. Кезкелген бір уақытта күй координатасы қанша кіші қателік Δx пен анықталса, оның импульсін анықтаудағы қателік Δp соншалық үлкен болады. Демек, бір уақытта бұл екі шаманың өте үлкен

анықтықта бағалау мүмкін емес. Кванттық механикасы бұл қателіктер арасында

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h \quad (3.6)$$

Қатынас бар екендігін көрсетеді, мұнда $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ – **Планк тұрақтысы**.

(1) қатынасқа **Гейзенбергтің белгісіздік принципі** деп айтылады.

Бұл қатынас бір уақыттың өзінде координата және жылдамдықтың өте анық өлшеу шекарасын, құралдарын және өлшеу әдістерін дамыту арқылы бұл белгісіздікті өзгерту мүмкін еместігін көрсетеді. Бұдан бөлшектің лездік жағдайын өрнектейтін координата және жылдамдықты абсолют анықтықта өлшеу мүмкін еместігі келіп шығады. Бұл шамалардың белгісіздігі үшін төмендегі шарт орындалады:

$$\Delta x \cdot m \Delta v \geq h \quad (3.7)$$

Элементар бөлшектердің қасиеттері классикалық механикадағы материалдық нүкте қасиеттерінен мүлдем айырмашылық етеді. Сол үшін классикалық механика елестерінен пайдалану шекараларын белгісіздік принципі белгілейді.

Макроскопиялық денелер үшін қозғалысты классикалық механика әдісінде өрнектеу мүмкін.

Мысалы, 10^{-3} кг массалы шардың қозғалысын қарап шығамыз. Шардың сызықты өлшемін атом өлшемінде $\Delta x = 10^{-10} \text{ м}$ анықтықта өлшей аламыз, дейік. Ол уақытта (2) формулаға сәйкес, жылдамдықтың өзгеруі төмендегідей болады:

$$\Delta v \geq \frac{h}{m \cdot \Delta x} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}}{10^{-3} \cdot 10^{-10} \text{ кг} \cdot \text{м}} \approx 10^{-20} \text{ м/с}$$

Бұдан, бір уақытта Δx және Δv лардың өте кіші мәнге ие болғанда, классикалық механика заңдарын макроскопиялық денелердің қозғалысын өрнектеу үшін практикада қолдау мүмкін екендігі байқалады.

Екінші мысал ретінде атом ішінде қозғалып жатқан электронды тексереміз. Жоғарыда көргеніміздей, электрон координатасы атом өлшемі

$\Delta x = 10^{-10}$ м анықтығында өлшенсін. Электронның массасы $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Ол уақытта (2) ге негізделіп, жылдамдық өзгеруі төмендегідей болады:

$$\Delta v \geq \frac{h}{m \cdot \Delta x} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Ж} \cdot \text{с}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-10} \text{ кг} \cdot \text{м}} \approx 7 \cdot 10^6 \text{ м/с} = 7000 \text{ км/с}$$

Бұл жылдамдық атом ішіндегі электрон жылдамдығынан да үлкен, яғни жылдамдық анық емес. Сол үшін оның атом ішіндегі орнын классикалық механика заңдары негізінде анықтап болмайды екен.

Жоғарыда көріп өтілгендерден төмендегі қорытындыға келеміз. Классикалық Ньютон механикасын:

1. Жарық жылдамдығы және оған жақын жылдамдық пен қозғалатын денелерге;
2. Элементар бөлшектерге, микроскопиялық денелерге да;
3. Өлшемдері және массалары өте кіші болған денелерге қолдап болмайды екен.

Демек, Ньютон классикалық механикасын тек қана микроскопиялық денелер қозғалыс заңдарын үйренуге қолдау мүмкін.

ДЕНЕ ИМПУЛЬСІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: импульс, қозғалыс мөлшері, дене импульсі, импульс бірлігі, дене импульсінің өзгеруі, күш импульсі, күш импульсының бірлігі, тұйық система.

Инерция құбылысын толық сипаттайтын физикалық шама ***импульс*** (қозғалыс мөлшері) деп аталады.

Импульс деп, дене массасы мен оның жылдамдығының көбейтіндісіне айтылады.

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v} \tag{3.8}$$

p – дене импульсі

$$[p] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$$

Дене импульсі векторлық шама болып, оның бағыты жылдамдық бағытында болады.

Тұрақты массалы дене импульсінің өзгеруі, жылдамдық өзгеруі нәтижесінде жүзеге келеді және бұл болса күш әсерінде жүзеге келеді.

Дене импульсінің өзгеруі **күш импульсі** деп аталады. Күш импульсі векторлық шама болып, оның бағыты күш бағытында болады.

$$\vec{K} = \vec{I} = \Delta p = m \cdot \Delta \vec{v} = \vec{F} \cdot t \quad (3.9)$$

K немесе I – күш импульсі $[K]=[I]=N \cdot c$

Күштері және уақыттары бірдей болса, дененің импульсі да бірдей болады.

Тұйық системада барлық денелер импульстарының жиындысы тұрақты болады.

ТҰЙЫҚ СИСТЕМА. СИСТЕМА ИМПУЛЬСІНІҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: тұйық (берк) система, тұйық системаның толық импульсі, ішкі күштер, сыртқы күштер, тұйық системада импульстың сақталу заңы, макроскопиялық дене, фундаментал заң, элементар импульс, реактив қозғалыс, аудан, серпімсіз соқтығысудағы импульстың сақталу заңы.

Өткен тақырыптарда екі дененің өзара әсер етуі және одан пайдаланып импульстың сақталу заңын көріп өткен едік. Бұл заңды n денеден құралған система үшін жалпыластырсақ, яғни системадағы барлық n та дене өзара әсерлеседі. Бірақ, системаға еш қандай сыртқы күш әсер етпейді. Бұндай система – **тұйық система** деп аталады.

Тұйық системадағы материалдық нүктелердің массалары $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ болсын. Бұл материалдық нүктелердің өзара әсер етуші күші – **ішкі күш** деп аталады. m_1 массалы бірінші денеге әсер ететін ішкі күштер $F_1, F_2, F_3, \dots, F_n$ нан m_2 массалы екінші денеге әсер ететін ішкі күштер $F_{n1}, F_{n2}, F_{n3}, \dots, F_{n(n-1)}$

ден құралған болады. Бұл күштердегі индекстердің біріншісі әсерлесетін, екіншісі болса әсер ететін материалдық нүктенің тәртіп номерін көрсетеді.

Мысалы, F_4 бірінші материалдық нүктеге төртінші материалдық нүктенің әсер күші. Бұл күштер әсерінде әр бір материалдық нүкте импульсінің өзгеруі төмендегіден құралған болады:

$$d(m \cdot v)_1; d(m \cdot v)_2; d(m \cdot v)_3; \dots; d(m \cdot v)_n \quad (3.10)$$

Ньютонның екінші заңынан пайдаланып, системаны құрайтын барлық материалдық нүктелердің қозғалыс теңдеулерін жазамыз:

$$\begin{aligned} d(m \cdot v)_1 &= (F_1 + F_2 + \dots + F_n) dt \\ d(m \cdot v)_2 &= (F_{2,1} + F_{2,2} + \dots + F_{2,n}) dt \\ d(m \cdot v)_n &= (F_{n,1} + F_{n,2} + \dots + F_{n,(n-1)}) dt \end{aligned} \quad (3.11)$$

Система n нүктеден құралған болғандығы үшін n теңдеу жаздық. Теңдіктің сол жағында элементар импульс, оң жағында болса ішкі күштер жыйындысы жазылған. Системаны мүше-мүше жинақтаймыз:

$$\sum_i d(m \cdot v)_i = d \sum_{i,k} (m \cdot v)_i = \sum_{i,k} (F_i) dt \quad (3.12)$$

Теңдіктің оң жағындағы ішкі күштер жиындысы Ньютонның үшінші заңына сәйкес,

$$F_{i,k} = -F_{k,i} \quad (3.13)$$

болғандығы үшін

$$\sum_{i,k} (f)_{i,k} dt = 0 \quad (3.14)$$

ге тең. Сол жағындағы жиынды болса тұйық система импульсінің өзгеруі болып, нольге тең. Тұрақты санның дифференциалы нольге тең екендігінен

$$d \sum (m \cdot v)_i = 0 \quad (3.15)$$

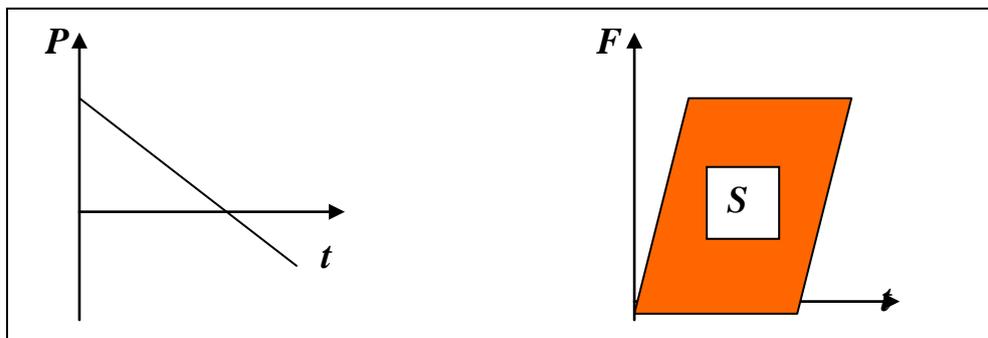
система импульсі да тұрақты болады:

$$\sum (m \cdot v)_i = const \quad (3.16)$$

Тұйық системаның толық импульсі – векторлық шама болып, системаны құрайтын барлық нүктелер импульстерінің векторлық

жиындысына тең болған қозғалыс барасында тұрақты физикалық шама болып есептелінеді. Бұл система *импульстың сақталу заңы* деп аталады.

Мысалдарда!!! Егер векторлық белгісін тастап жіберілген болса, бағыттары бірдей болса “+” таңбасы, бағыттары қарама-қарсы болса, “-” таңбасы қойылады.



3.31-сурет

Бұл графиктегі аудан импульсының өзгеруін береді.

$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u}$ серпімсіз соқтығысудағы импульстың сақталу заңы.

Бірдей массалы денелер серпімсіз соқтығысқанда жылдамдықтар өзара алмасады.

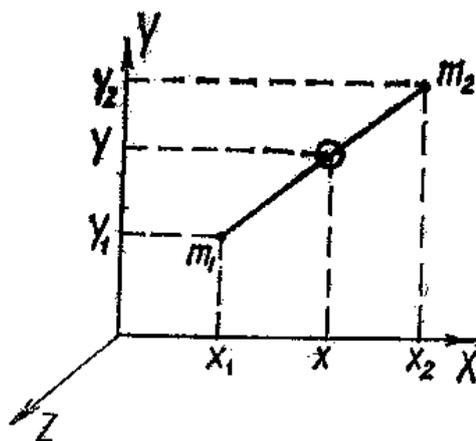
Импульстың сақталу заңы практикада реактив қозғалыста қолданылады.

Импульстың сақталу заңы макроскопиялық денелерден құралған системалар үшін да, микроскопиялық денелерден құралған системалар үшін да орынды болған физиканың фундаментал заңдарынан бірі болып есептелінеді, кеңістіктің бір тектілігінен келіп шығады.

МАССАЛАР ЦЕНТРИ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: массалар центрі, қозғалыс заңдары, координата, массалар центрінің координата системалары, шеңбер, дөңгелек, сфера, шар, тік төртбұрыш, ромб, квадрат, призма, цилиндр, үшбұрыш, стержень, пирамида, конус, жарты шар.

Кейбір заңдарды үйренуде екі дененің өзара әсері қаралады. Енді қозғалыс заңдарын үйренуде денелер көп материалдық нүктеден құралған системадан тұратын болса, өзара әсер өте тез жүзеге келіп, пайда болған күштің өзгеру заңдылығын өрнектеп болмаған жағдайларда да бұндай қыйыншылықтарды жеңіп, олардың қозғалыс заңдарын үйрену мүмкіндігіне ие боламыз. Бұл үшін *масса центрі* түсінігі енгізіп, онымен танысамыз.



3.32-сурет

Массалары m_1 және m_2 , координаталары сай түрде x_1, y_1, z_1 және x_2, y_2, z_2 болған денелер системасының массалар центрін анықтайық. Бұл үшін $m_1 < m_2$ шарт орындалсын. Массалар центрі екі массаны қосатын түзу сызық үстінде жатады және бұл аралықты массалар қатынасына кері пропорционал болған кесінділерге ажыратады.

Бұған негізделіп төмендегі қатынасты жаза аламыз:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x}$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y} \quad (3.17)$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z}$$

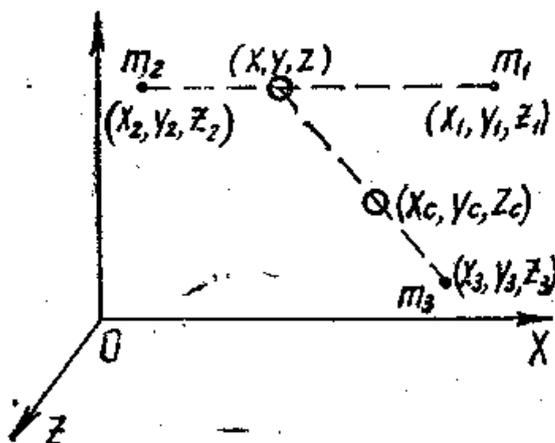
Бұл өрнекті x, y, z ке салыстырып шешсек, массалар центрінің координаталарын анықтау өрнегін жүзеге келтіреміз:

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2}{m_1 + m_2}$$

$$x = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2}{m_1 + m_2} \quad (3.18)$$

$$x = \frac{m_1 \cdot z_1 + m_2 \cdot z_2}{m_1 + m_2}$$

Бақыланып жатқан система үш материалдық нүктеден құралған болса, оның массалар центрі кез келген екі материалдық нүктелер масса центрі мен үшінші материалдық нүктеге дейін болған аралықты сондай екі бөлікке бөледі, олар екі нүкте массалар жиындысы мен үшінші материалдық нүкте массасына қатынасына кері пропорционал кесінділерге бөлінеді (3.33-сурет).



3.33-сурет

Екі массалар центрінің координаталары (x, y, z) , (3.18) мен өрнектелген m_3 массаның координаталары (x_3, y_3, z_3) және үш массалар центрінің координаталары (x_c, y_c, z_c) болса, олар арасындағы қатынасты төмендегідей жаза аламыз:

$$\begin{aligned} \frac{m_3}{m_1 + m_2} &= \frac{x - x_c}{x_c - x_3} \\ \frac{m_3}{m_1 + m_2} &= \frac{y - y_c}{y_c - y_3} \\ \frac{m_3}{m_1 + m_2} &= \frac{z - z_c}{z_c - z_3} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Бұл өрнектен x_c, y_c және z_c ларды тапсақ,

$$\begin{aligned} x_c &= \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + m_3 \cdot x_3}{m_1 + m_2 + m_3} \\ y_c &= \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + m_3 \cdot y_3}{m_1 + m_2 + m_3} \\ z_c &= \frac{m_1 \cdot z_1 + m_2 \cdot z_2 + m_3 \cdot z_3}{m_1 + m_2 + m_3} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Кезектегі нүктелерді қосып барып, n та нүктеден құралған система жүзеге келтіріп, (3.20) ті жалпыластырсақ, төмендегі өрнектерді пайда етеміз:

$$x_c = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \dots + m_n \cdot x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_i (mx)}{\sum_i m_i}$$

$$y_c = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + \dots + m_n \cdot y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_i (my)}{\sum_i m_i} \quad (3.21)$$

$$z_c = \frac{m_1 \cdot z_1 + m_2 \cdot z_2 + \dots + m_n \cdot z_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_i (mz)}{\sum_i m_i}$$

Системаға кезек пен нүктелердің тізбектей қосылып баруы нәтижесінде система масса центрін анықтаудан көрінеді, системаға уақыт өтуі мен өсіп баратын тартылыс күші әсер етіп барғанда, барлық материалдық нүктелер массасы тығыз орналасқан сферик дене пішінінде жинақталған нүкте система масса центрін өрнектейтін, яғни ***системаның барлық массасы осы массалар центрінде орналасқан деп қаралады.***

Түрлі пішіндерге ие денелердің ауырлығы жинақталған деп елестетілетін нүкте, яғни ***ауырлық центрі*** (масса центрі) қайсы нүктелерде жинақталуын қарап шығамыз.

Шеңбер, дөңгелек, сфера және шардың ауырлық центрі геометриялық центрінде болады.

Тік төртбұрыш, ромб, квадраттың ауырлық центрі диагоналдары қиылысқан нүктесінде болады.

Призма және цилиндрдің ауырлық центрі негіздері центрлерін қосатын кесіндінің ортасында болады.

Үшбұрыштың ауырлық центрі медиалары қиылысқан нүктесінде болады.

Бір текті стерженнің ауырлық центрі оның ортасында болады.

Пирамида және конустың ауырлық центрі негіздері центрі мен ұшын қосатын кесіндіні негізінен бастап есептегенде $\frac{1}{4}$ бөлігінде болады.

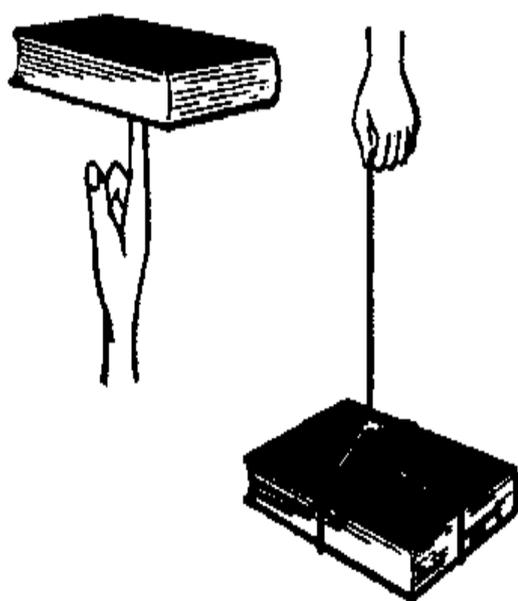
Жарты шардың ауырлық центрі негізінің центрінен $\frac{3}{8}$ радиус биіктікте болады.

Дене ілгерілемелі қозғалыс жасауы үшін әсер ететін күш немесе оның жалғасы ауырлық центрінен өтуі керек.

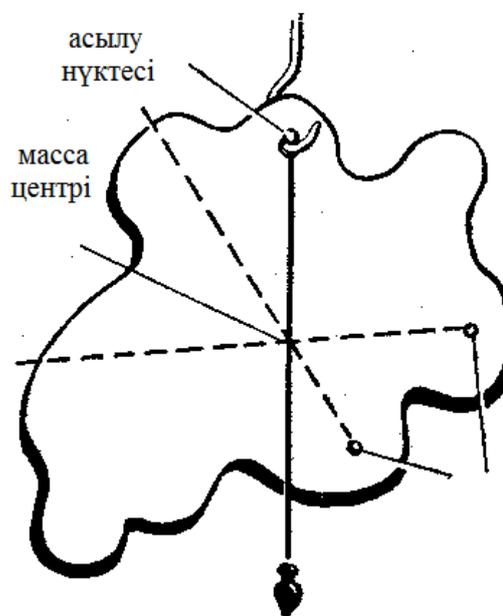
Еркін асылған арқанның (екі ұшы бекітілген болса) ортасынан тартылғанда, ауырлық центрі жоғарыға ығысады.

Тұйық механикалық системаның масса центрі тыныш жағдайда немесе түзу сызықты бір қалыпты қозғалыста болады.

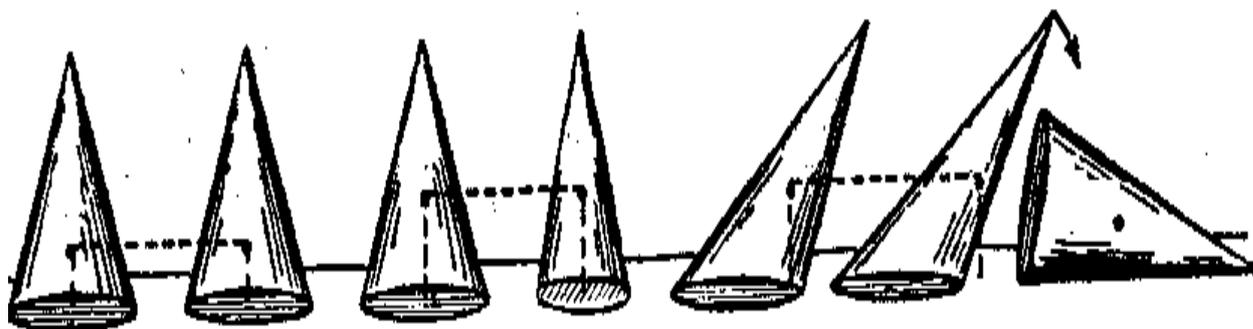
Төмендегі суреттерде әр түрлі пішінге ие болған денелердің массалар центрі келтірілген (3.33-сурет):



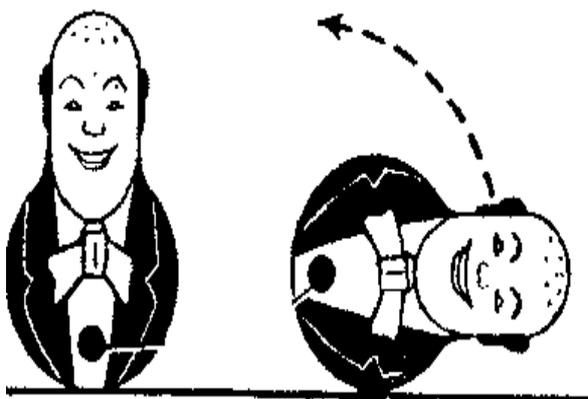
3.33 а-сурет



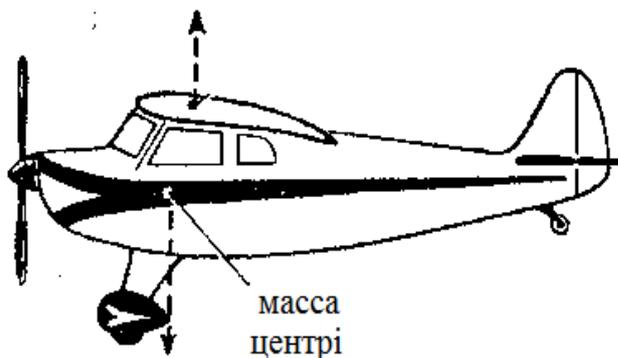
3.33 б-сурет



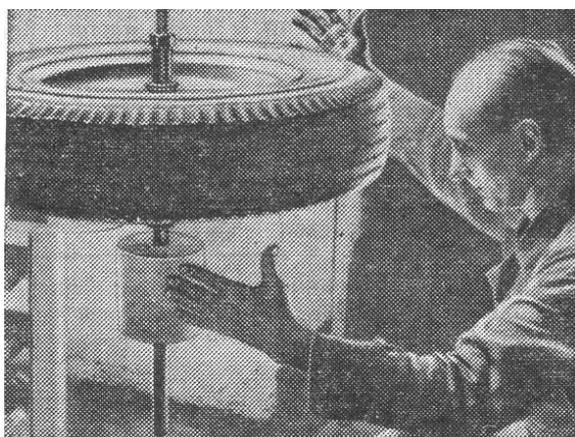
3.33 в-сурет



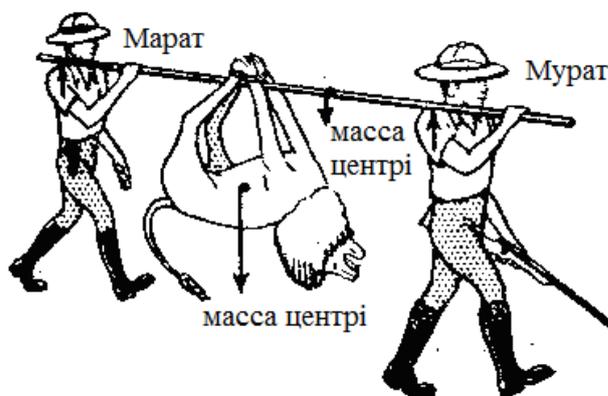
3.33 в-сурет



3.33 г-сурет



3.33 д-сурет



3.33 ж-сурет

АЙНЫМАЛЫ МАССАЛЫ ДЕНЕ ҚОЗҒАЛЫСЫ. МЕЩЕРСКИЙ ЖӘНЕ ЦИАЛКОВСКИЙ ТЕҢДЕУЛЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: айнымалы массалы дене, айнымалы массалы дене қозғалысы, Мещерский және Циалковский теңдеуі, ракета, ракета қозғалысы, импульс өзгеруі, сыртқы күш, ауырлық күші, ортаның кедергі күші, салыстырмалы жылдамдық, қарама-қарсы қозғалыс, Циалковский формуласы, релятивистік механика, классикалық механика, бастапқы масса.

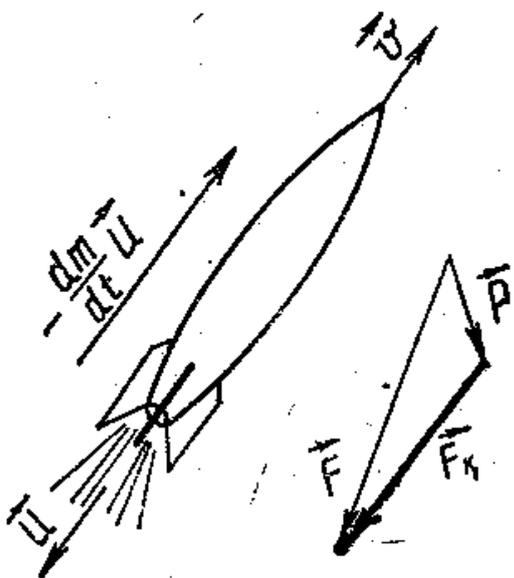
Айнымалы массалы дене дегенімізде классикалық механика заңдарына мойынсұнып, өзінің қозғалысы барысында массасы өзгереді. Яғни массасы кемеюі немесе артуы мүмкін.

Мысалы, жаз күндері көшеге машиналарда су себілгенде, ракеталар және реактив ұшақтарда жанылғы жануы нәтижесінде массасы кемейеді. Жерге әр түрлі метеороидтардың түсуі нәтижесінде Жердің массасы артады және т.с.с. Бырақ жылдамдық артуы мен массасы өзгермейді. Бұл жағдай үшін Ньютонның үшінші заңын жалпы көріністе өрнектесек,

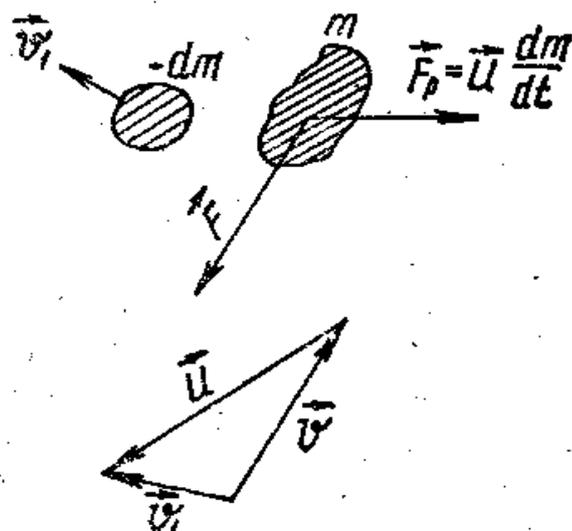
$$\vec{F} = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = v \frac{dm}{dt} + m \frac{dv}{dt} = v \frac{dm}{dt} + ma \quad (3.22)$$

болады. Жоғарыдағы формуладан көрінеді, массаның өзгеруі мен жылдамдық шамасы да өзгереді. Жалпы жағдайда күш бағыты мен сай түспейді және үдеудің күшіне тура пропорционалдығы сақталмайды. Егер күш бағыты жылдамдық бағыты мен бір бағытта немесе күш жылдамдыққа тік күйде бағытталса, үдеу мен күш бір бағытта болады.

Біз жоғарыда Ньютонның екінші заңынан пайдаланып, айнымалы массалы денеге әсер ететін күш өрнегін келтірдік. Енді импульстің өзгеруінен пайдаланып, айнымалы массалы дене қозғалысын қарап шығамыз. Бұл үшін уақыт өтуі мен массасы өзгеретін ракета қозғалысы мен танысып шығамыз. Қозғалыс барысында ракетаның центрі өзгермейді.



3.34-сурет



3.35-сурет

Ракета жанған жанылғыдан пайда болған газ массасы ракетадан шығу уақытында ғана онымен әсерлеседі. Газ үздіксіз түрде кемейіп тұрады (3.34-сурет). Ракетаға әсер ететін сыртқы F күш ракета ауырлығы P мен ортаның

кедергі F_q жиындысына тең. Ракетаның t уақыттағы массасы m оның осы уақыттағы жылдамдығы v болсын. Бұл уақытта ракетаның импульсы $p_1 = mv$ болады. dt ракетадан газ массасы v_1 жылдамдық пен ажыралып шықсын (3.35-сурет). $t+dt$ уақытта қозғалыс барысында система (ракета+газ) дің импульсы $p_2 = [m - (-dm)](v + dv) + (-dm)v_1$ ға тең болады.

Импульстің өзгеруі нәтижесінде системаға сыртқы күштер (ауырлық және ортаның кедергі күші) импульсы әсер етеді, яғни $\Delta p = p_2 - p_1 = [(m + dm)(v + dv) - v_1 dm - mv] = F dt$. Жақшаны ашып шығып, $dv dm$ ны өте кіші болғаны үшін тастап жібереміз пайда болған өрнекті dt ға бөліп, жібергенімізде төмендегі теңдік пайда болады:

$$\vec{F} = m \frac{dv}{dt} - v_1 \frac{dm}{dt} + v \frac{dm}{dt}$$

немесе

$$\vec{F} = m \frac{dv}{dt} - (v_1 - v) \frac{dm}{dt}$$

Бұдан,

$$m \frac{dv}{dt} = ma = F + (v_1 - v) \frac{dm}{dt} = F + u \frac{dm}{dt} \quad (3.23)$$

Бұл айнымалы массалы нүктенің қозғалыс теңдеуін өрнектейді. Бұл **Мещерский теңдеуі** деп аталады. $v_1 - v = u$ ракета мен қозғалатын санақ системасына қатынасты шығатын газдың жылдамдығы болып, ол **салыстырмалы жылдамдық** деп аталады.

(3.23) да $\frac{dm}{dt} = 0$ болса, бұл теңдік тұрақты массалы дене үшін

Ньютонның екінші заңы өрнегіне өтеді.

(3.23) теңдіктің оң жағындағы екінші қосылған мүше $u \frac{dm}{dt} = F_p$

ажыралып шығатын газ массасы dm жағынан m массаға әсер ететін реактив күш. Оны есепке алсақ, (3.23) төмендегі көрініске келеді:

$$m \frac{dv}{dt} = F + F_p \quad (3.24)$$

Бұл теңдеуді жалпы жағдайда шешу өте күрделі, себебі реактив күшті есептеу қыйын. Сол үшін ауасыз ортада, яғни сыртқы күштер болмағанда дене қозғалысын үйренуге Мещерский теңдеуін қолданамыз. Сыртқы күш (F) ноль болғаны үшін (3.23) төмендегі көрініске келеді.

$$m \frac{dv}{dt} = -u \frac{dm}{dt}$$

немесе

(3.25)

$$dv = -u \frac{dm}{m}$$

“-” таңбасы қозғалыстар қарама-қарсы бағытта екендігін көрсетеді және бұнда $u = \left| \vec{u} \right|$ десек, (3.25) төмендегі көрініске келеді:

$$dv = -u \frac{dm}{m} \quad (3.25a)$$

Бұл өрнекті интегралдасақ,

$$v = -u \ln m + C \quad (3.26)$$

Интегралдау тұрақтысын анықтау үшін төмендегідей бастапқы шарт қоямыз, яғни $t=0$ де $m=m_0$ және $v=0$ болсын. Ол уақытта $C=ulnm_0$ болады. Бұны (3.26) ке қойсақ,

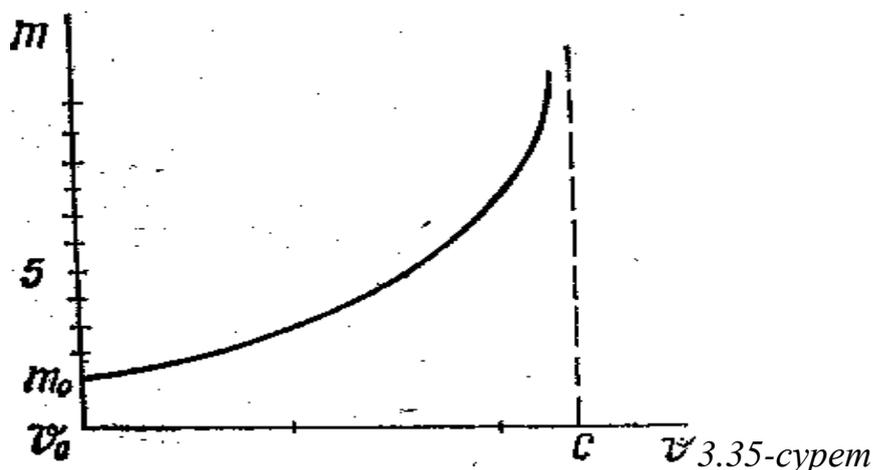
$$v = -u \ln m + u \ln m_0 = \ln \frac{m_0}{m}$$

немесе

$$\frac{m_0}{m} = -e^{\frac{v}{u}} \quad (3.27)$$

Бұл қатынасты *Циалковский формуласы* делінеді.

Бұл қатынасты классикалық механика заңдары негізінде келтіріп шығардық және қолданылуын көрдік, бырақ оны релятивистік механикаға да қолдануға болады. (3.27) дан көрінеді, ракета массасы белгілі жылдамдықтарда бастапқы масса экспоненциал түрде арта бастайды. Ол 3.35-суретте график түрде келтірілген.



Циалковский формуласы ракетаға белгілі v жылдамдық беруі үшін қажет болған жанылғы запасын есептеуге мүмкіндік береді. Жылдамдықтар қатынасының түрлі мәндері үшін бастапқы масса m_0 ді соңғы масса (m) ге қатынасын (6) арқылы есептелген мәні төмендегі кестеде келтірілген:

$\frac{v}{u}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\frac{m_0}{m}$		2,72	7,39	20,1	148	403	1100	2980	8100	22000

(3.27) және кестеден көрінеді, ракеталар үлкен жылдамдыққа ие болуы үшін ракета мен жанбай (запаста) тұрған жанылғының m массасын кемейту керек. Сол үшін да өз дәуірінде Циалковский ұсынған басқышты ракеталардан бүгінгі күнде ғарыштық кемелерді ұшыруда кең қолданылып келеді.

IV БӨЛІМ. ЖҰМЫС, ЭНЕРГИЯ ЖӘНЕ ҚУАТ

ЖҰМЫС, ЭНЕРГИЯ ЖӘНЕ ҚУАТ ТУРАЛЫ ТҮСІНІК

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: энергия, механикалық энергия, кинетикалық энергия, потенциалдық энергия, серпімді деформацияланған дененің потенциалдық энергиясы, энергияның сақталу және айналу заңы, жұмыс, центрге тартқыш күш, жұмыс және энергия бірлігі, Джоуль, эрг, эВ, калория, қуат, қуат бірлігі, Ватт, ат күші, пайдалы әсер коэффициенті.

Біз жоғарыда дененің импульсі түсінігін қарап өттік. Импульс (қозғалыс мөлшері)ті дене механикалық қозғалысының белгілі бір өлшемі деп қарау мүмкін. Бірақ дененің бұндай динамикалық сипатталуы барлық қозғалыс мөлшерлері үшін универсал бола алмайды. Бұны төмендегі мысалдар арқылы қарастырамыз.

Егер бір-біріне қарама-қарсы қозғалып келе жатқан екі бірдей, пластилиннен жасалған шарлардың серпімсіз соқтығысуын күзетсек, шарлар ұрылғанға дейін қозғалыс жасап, соқтығысудан соң шарлар тыныш күйде, олар қозғалысқа ие емес. Бұл жағдайда импульстің сақталу заңы орындалады: соқтығысуға дейін шарлар импульсінің жиындысы нольге тең, соқтығысудан кейін да нольге тең. Бірақ шарлар соқтығысуға дейін қозғалыста болып, соқтығысудан кейін тыныш күйде болады. Егер біз импульсті қозғалыстың универсал өлшеуі ретінде қарасақ, онда қозғалысқа ие болған шарлардың қозғалысы жоғалуы туралы қате қорытындыға келеміз. Егер шарлардың температурасын соқтығысқанға дейін және соқтығысқаннан кейін өлшесек, температура көтерілгенін көреміз. Бұнда шарлардың механикалық қозғалысы жоғалғаны жоқ, ол заттың молекулалы қозғалысына айналады. Демек, ***импульс механикалық қозғалыстың барлық жағдайларында универсал өлшем бола алмайды.***

Денелердің үйкелісі нәтижесінде механикалық қозғалыс жоғалып, жылулыққа айналады.

Түзу сызықты бір қалыпты қозғалыстағы денені күзетеміз. Денелер арасындағы үйкеліс барлығы үшін да денелер қызып кетеді, яғни бұнда денелердің механикалық қозғалысы осы денелерді құрайтын молекулалардың хаостық жылулық қозғалысына айналады. Бірақ дененің импульсі түзу сызықты бір қалыпты қозғалыста тұрақты қалады, бірақ ол ажыралып шыққан жылулықты сипаттамайды.

Сонымен, механикалық қозғалыс жоғалмайды, материя қозғалысының басқа пішіндеріне өтеді.

Демек, қозғалыс пішіндерінің жалпы өлшемі ретінде физикалық шама болуы тиіс. Бұндай физикалық шама энергия болып табылады. ***Энергия әр қандай көріністеги материя қозғалысының универсал мөлшерлі өлшемі болып саналады.*** Денелер жүйесінің механикалық қозғалыс күйін анықтау үшін олардың өзара орналасуын және жылдамдығын білу жетерлі болады, газ күйін сипаттау үшін оның көлемі, температурасы және қысымын білу қажет. Энергия жүйе күйінің функциясы болып табылады.

Денелер арасында механикалық қозғалыстың алмасуы немесе механикалық қозғалысты басқа қозғалыс түріне өтуі денелердің өзара әсері нәтижесінде амалға асырылады.

Тәжірибелер соны көрсетеді, бұндай процесстерде болып жатқан қозғалыстың шамасы, күштің орын ауыстыруы шамасына көбейтіндісіне тең. Бұл пайда болған физикалық шама ***жұмыс*** деп аталады.

Басқаша айтқанда, энергияның өзгерісі ***жұмыс*** деп аталады. Жұмыс скаляр шама.

$$A = W_2 - W_1 = \Delta W \quad (4.1)$$

$$A = F \cdot S \cos \alpha \quad (4.2)$$

S – орын ауыстыру немесе қашықтық, F – күш, $\cos \alpha$ – күштің бағыты және қашықтық арасындағы бұрыш.

Халықаралық бірліктер жүйесінде (СИ) жұмыс бірлігі етіп, күш бағытында денелер бір метр қашықтыққа бір Ньютон күш әсерінде орын

ауыстыруында орындалған жұмыс қабылданған. Бұл жұмыстың бірлігі Джоул (Дж) $1\text{Дж}=1\text{ Н}\cdot\text{м}$.

Жұмыстың төмендегі туынды бірліктері бар:

$$1\text{кДж} = 10^3 \text{ Дж}$$

$$1\text{МДж} = 10^6 \text{ Дж}$$

$$1\text{эрг} = 10^{-7} \text{ Дж}$$

$$1\text{эВ} = 1,6\cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

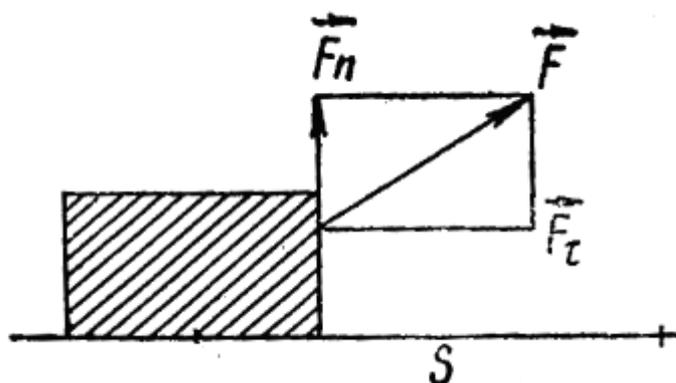
$$1\text{эВ} = 1,6\cdot 10^{-12} \text{ эрг}$$

$$1\text{кВт}\cdot\text{сағат} = 3,6\cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}$$

$$1 \text{ калория} = 4,19 \text{ Дж}$$

$$1\text{Дж} = 0,24 \text{ калория}$$

Демек, жұмыс бір денеден басқа денеге қозғалысты ұзату өлшемі болып саналады немесе энергияның бір денеден басқа денеге өту өлшемі болып саналады.



4.1-сурет

Егер материялық нүкте тұрақты күш F (4.1-сурет) әсерінде S қашықтыққа орын ауыстырса, онда күштің жұмысы:

$$A = F_{\tau} \cdot S \quad (4.3)$$

бұнда F_{τ} күш F күштің орын ауыстыру бағытына проекциясы болып,

$$F_{\tau} = F \cdot \cos \alpha \quad (4.4)$$

бұнда α – дененің қозғалыс бағыты мен F күш арасындағы бұрыш (4.4) ті есепке алсақ, жоғарыдағы (4.1) келіп шығады екен:

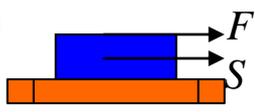
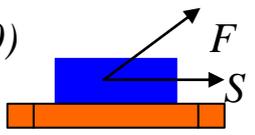
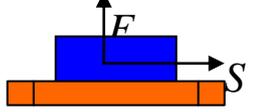
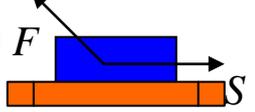
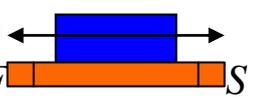
$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha \quad (4.1)$$

1. Егер күш бағыты мен орын ауыстыру бағыты арасындағы бұрыш $\alpha < 90^\circ$ болса, онда $\cos \alpha > 0$. Демек, күш оң жұмыс орындайды ($A > 0$). Дене ілгерімелі қозғалыста болады;

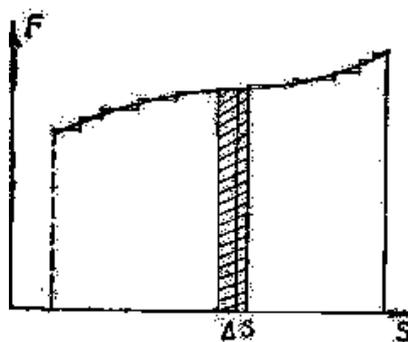
2. Егер $\alpha > 90^\circ$ болса, онда $\cos \alpha < 0$. Бұнда күш теріс жұмыс орындайды. Мысалы, үйкеліс күші және тормоздалу күші;

3. Егер күш бағыты орын ауыстыруға тік бағытталған болса, $\alpha = 90^\circ$, онда $\cos \alpha = 0$. Демек, күштің орындаған жұмысы нольге тең, яғни энергия ұзатылмайды.

Төмендегі кестеде орындалған жұмыс шамасының бұрышқа байланыстылық мәндері келтірілген:

$\alpha = 0$	болса,	$A = F \cdot S$	$(A > 0)$	
$0 < \alpha < 90$	болса,	$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$	$(A > 0)$	
$\alpha = 90$	болса,	$A = 0$		
$90 < \alpha < 180$	болса,	$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$	$(A < 0)$	
$\alpha = 180$	болса,	$A = -F \cdot S$	$(A < 0)$	

Егер белгілі бір қашықтықта күш айнымалы болса, онда орындалған жұмысты есептеу үшін қашықтықты элементар орын ауыстыруларға бөліп шығамыз және бұл элементар орын ауыстыруларда, күшті тұрақты шама деп есептесек болады (4.2 - сурет).



4.2 - сурет

Әр бір элементар орын ауыстыруда орындалған элементар жұмысты $\Delta A_i = F_i \cdot S_i \cdot \cos \alpha_i$ есептеп, кейін бұл элементар жұмыстардың алгебралық жиындысын алсақ, онда айнымалы F күштің S қашықтықта орындаған жұмысы төмендегідей болады:

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \sum_{i=1}^n F_i \Delta S_i \cos \alpha_i \quad (4.5)$$

ΔS нольге ұмтылғанда (4) дан лимит алсақ,

$$A = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \left(\sum_{i=1}^n F_i \Delta S \right) = \int_S F_{\tau} dS \quad (4.6)$$

(5) интегралды есептеу үшін F_{τ} күштің S қашықтыққа байланыстылығын білу қажет.

Амалда тек қана күштің орындаған жұмысын білу маңызды емес, бәлкі қандай уақыт аралығында, осы жұмыс орындалуы да маңызға ие. Сол үшін күштің қандай жылдамдық пен орындаған жұмысын сипаттау үшін **қуат** түсінігі енгізілген.

Уақыт бірлігі ішінде, F күш орындаған жұмысқа сан жағынан тең болған физикалық шама **қуат** (N) деп аталады.

Дененің жұмыс орындау шапшаңдығын (жылдамдығын) сипаттайтын физикалық шама **қуат** деп аталады. Қуат скаляр шама.

$$N = P = \frac{A}{t} = F \cdot v$$

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (4.7)$$

Егер күш айнымалы болса, құрылғының қуатын анықтау үшін (4.7) дан лимит аламыз:

$$N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \quad (4.8)$$

Бұған **лездік қуат** деп аталады. (4.3) ді есепке алсақ, (4.8) төмендегі көрініске ие болады:

$$N = F_{\tau} \frac{dS}{dt} = F_{\tau} v \quad (4.9)$$

Демек, лездік қуат сан жағынан, жылдамдық тұрақты болғанда күштің тангенциал құраушысының жылдамдыққа көбейтіндісіне тең болады екен.

1 с барысында 1 Дж жұмыс орындағандағы қуат 1 Вт қа тең

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}$$

N – қуат және Ватт (Вт) тарда өлшенеді, $[N] = \text{Вт}$

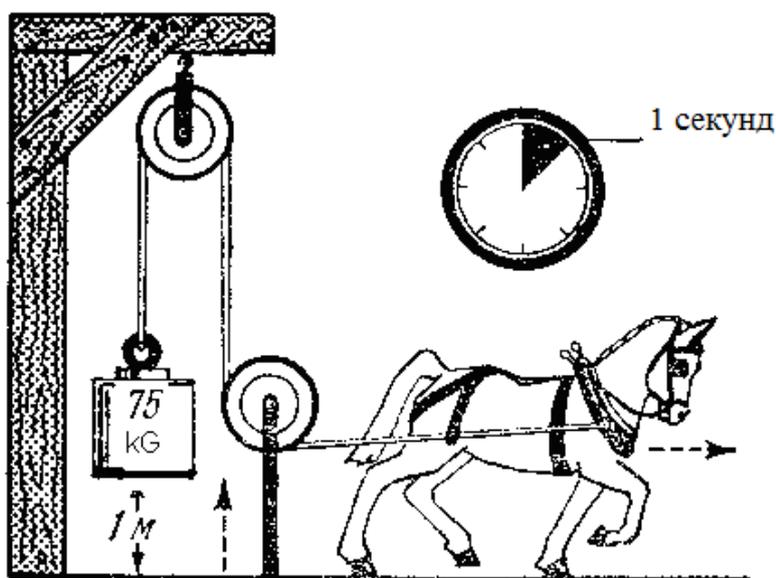
Қуаттың төмендегі туынды бірліктері бар:

1 Ат күші (а.к.) = 735 Вт (негізінде есептерде) = 736 Вт

1 кВт = 10^3 Вт

1 МВт = 10^6 Вт

1 ат күшінен тең қуатты төмендегідей кескіндеу мүмкін:



4.3-сурет

Орындалатын жұмыстың барлығы да пайдалы болмайды, жұмыстың бір бөлігі пайдасыз кетеді (мысалы, үйкеліс күшін жеңуге). Сол үшін оның пайдалы әсер коэффициенті (ПӘК) деген түсінік енгізілген.

Орындалған жұмыстың қанша бөлігі немесе неше пайызы пайдалы екендігін көрсететін физикалық шама **пайдалы әсер коэффициенті** деп аталады.

$$\eta = \frac{A_n}{A_{жс}} = \frac{N_n}{N_{жс}} \quad (4.10)$$

$$\eta = \frac{A_n}{A_{жс}} \cdot 100\% = \frac{N_n}{N_{жс}} \cdot 100\%$$

A_n – орындалған жұмыстың пайдалы бөлігі (яғни, пайдалы жұмыс)

$$[A_n] = Дж$$

$A_{жс}$ – жалпы орындалған жұмыс (жалпы жұмсалған энергия) $[A_{жс}] = Дж$

N_n – құрылғының пайдалы қуаты (пайдалы қуат) $[N_n] = Вт$

$N_{жс}$ – құрылғының алатын жалпы қуаты (жалпы қуат) $[N_{жс}] = Вт$

Соны есте сақтау керек, әр қашан $\eta < 1$ немесе $\eta < 100\%$ болады, себебі A_n пайдалы жұмыс $A_{жс}$ жалпы жұмыстың бір бөлігі болады. Сол үшін $A_n < A_{жс}$.

ДЕНЕНІҢ КИНЕТИКАЛЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: жұмыс, энергия, қозғалыс күйі, потенциалдық энергия, кинетикалық энергия.

Механикада механикалық энергияның екі түрі белгілі. Бұлар:

1. Кинетикалық энергия;

2. Потенциалдық энергия;

Дененің қозғалысы нәтижесінде пайда болатын энергия **кинетикалық энергия** деп аталады.

Әдетте, дененің жұмыс орындай ала білу қабілетін сипаттайтын физикалық шама **энергия** деп аталады.

Біреу m массалы дене тұрақты F күш әсерінде өзінің қозғалыс жылдамдығын v_1 ден v_2 мәнге дейін өзгертірсін. Ол уақытта m массалы дененің қозғалыс теңдеуі төмендегідей өрнектеледі:

$$F = m \frac{dv}{dt} \quad (4.11)$$

(4.11) теңдіктің екі жағын $g \cdot dt = dS$ қа скаляр көбейтеміз:

$$F \cdot dS = m \frac{dv}{dt} v \cdot dt = mv \cdot dv \quad (4.12)$$

Белгілі бір $S_2 - S_1$ қашықтықта дененің орындаған жұмысын есептеу үшін (4.12) дың сол және оң жақтарын S_1 мен S_2 қашықтықтар және де v_1 мен v_2 жылдамдық интервалы арасында интегралдаймыз:

$$\int_{S_1}^{S_2} dA = \int_{S_1}^{S_2} F dS = \int_{v_1}^{v_2} m v dv \quad (4.13)$$

(4.13) теңдіктің сол жағы F күш орындаған жұмыс толық жұмысқа тең, $m = \text{const}$ болса, оң жағы төмендегі көрініске ие болады:

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (4.14)$$

(4.14) теңдіктің $\frac{mv^2}{2} = W_k$ дененің кинетикалық энергиясының өрнегі.

Бұл жағдайда (4.14) төмендегі көріністе жазылады:

$$A = \Delta W_{kk} = W_{k2} - W_{k1} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (4.15)$$

Демек, дененің кинетикалық энергиясының өзгеруі денеге әсер ететін күштің орындаған жұмысына тең. Егер $v_1 = 0$ болса,

$$\frac{mv^2}{2} = W_k \quad (4.16)$$

Сонымен, m массалы дене v жылдамдықпен қозғалғанда, $\frac{mv^2}{2}$ кинетикалық энергияға ие болады.

(4.16) формула жеке жағдайда, материялық нүктенің **кинетикалық энергиясы** деп аталады. Әр қандай механикалық жүйені материялық нүктелер жүйесі деп қарауымыз мүмкін болғаны үшін механикалық жүйенің кинетикалық энергиясы осы жүйені құрайтын материялық нүктелер кинетикалық энергияларының жиындысына тең, яғни,

$$W_k = \sum W_{ki} = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2} \quad (4.17)$$

бұнда m_i және v_i – i материялық нүктенің массасы және жылдамдығы.

Демек, әр қандай механикалық жүйенің кинетикалық энергиясы осы жүйеге кірген материялық нүктелердің массасы және қозғалыс жылдамдығы мен анықталады екен.

Бұл маңызды қорытындыны төмендегідей сипаттау мүмкін: **жүйенің кинетикалық энергиясы-оның қозғалыс күйі функциясы (міндеті) болып саналады.**

ДЕНЕНІҢ ПОТЕНЦИАЛДЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: энергия, потенциалдық энергия, әсер күштері, центрге тартқыш күш, ауырлық центрі,

Дененің кеңістіктегі иелеген орны немесе өзара әсеріне байланысты болған энергия **потенциалдық энергия** деп айтылады.

Денелердің немесе дене бөліктерінің бір-біріне қатынасты орналасуына (координаталарына) байланысты болған энергия **потенциалдық энергия** деп аталады.

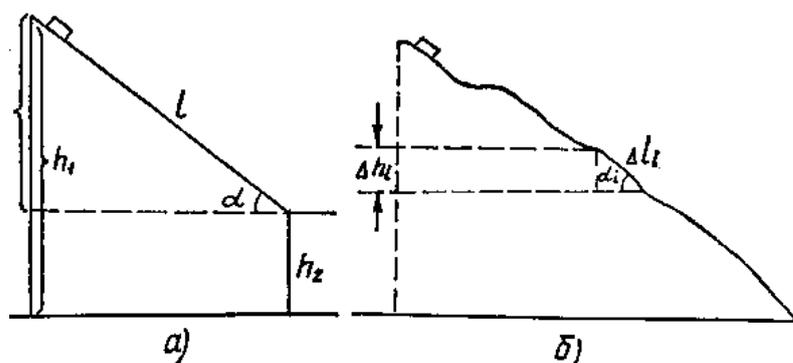
Жүйенің потенциалдық энергиясын анықтау үшін жүйедегі денелердің өзара орналасуы және олар арасындағы әсер күштерін білу керек.

Мысалы, денеге әсер ететін ауырлық күші себепті дененің потенциалдық энергиясының өзгеруін көріп шығамыз.

Дененің Жер бетіне қатынасты көтерілу биіктігі h , Жердің радиусына қатынасты өте кіші болса,

$$P=mg=const$$

деп есептеу мүмкін, бұнда m – дененің массасы.



4.4-сурет.

Егер дене l ұзындықтағы көлбеу жазықтық бойымен үйкеліссіз түсетін болса (4.4, а -сурет), ауырлық күші орындаған жұмыс төмендегі шамаға тең болады:

$$A = Pl \cos\alpha = mg(h_1 - h_2) = W_1 - W_2 \quad (4.18)$$

бұл жерде,

$$h = l \cos\alpha = (h_1 - h_2) \quad (4.19)$$

h – көлбеу жазықтықтың биіктігі, α – көлбеу жазықтықтың горизонтқа қатынасты көлбеулік бұрышы, $W_p = mgh$ дененің потенциалдық энергиясы, (4.18) ден жүйе потенциалдық энергиясының өзгеруі сан жағынан сыртқы күштер жүйесінің жылдамдығын өзгертпей бір күйден екінші күйге өткенде орындаған жұмысына тең болады екен.

Енді дене қозғалыс траекториясы кезкелген қисық сызықтан тұратын болсын (4.4, б - сурет). Онда бұл қисық сызықты n кіші Δl_i түзу сызықты бөліктерге бөлеміз. Міне осы әр бір элементар бөлікте ауырлық күшінің элементар орындаған жұмысы

$$\Delta A_i = P \Delta l_i \cos\alpha_i = P \Delta h_i \quad (4.20)$$

болады. Бұл жерде Δh_i вертикал түзу сызыққа Δl_i бөліктің проекциясы. Элементар бөліктерде орындалған жұмыстардың жиындысы, қисық сызықты жолда ауырлық күші орындаған жұмысын өрнектейді:

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \sum_{i=1}^n P \Delta h_i = Ph = mgh \quad (4.21)$$

Центрге тартқыш күш жұмыс орындамайды.

$$A = mg\Delta h$$

$$A = m(g \pm a)h$$

A – ауырлық күшінің орындаған жұмысы, жоғарыға (+), төменге (-) болады.

Дене төменге қозғалғанда, ауырлық күшінің жұмысы оң болады, яғни ауырлық күші жұмыс орындайды.

Дене жоғарыға қозғалғанда, ауырлық күшінің жұмысы теріс болады, яғни сыртқы күштер жұмыс орындайды.

Сол үшін, жабық траектория бойымен орын ауыстырғанда, ауырлық күшінің орындаған жұмысы нольге тең болады.

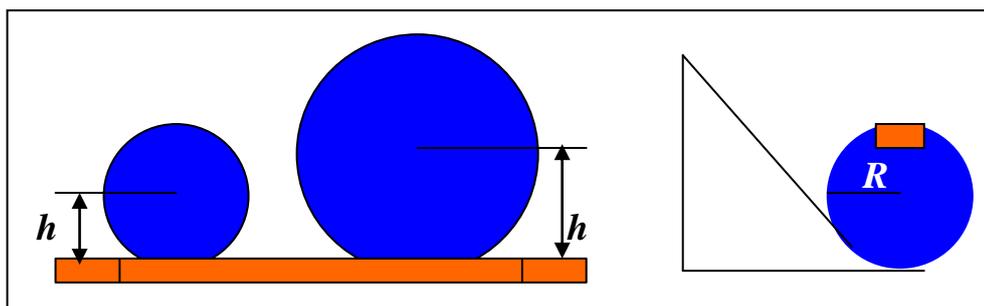
Горизонтал қозғалыста ауырлық күшінің орындаған жұмысы нольге тең. Ауырлық күші және серпімділік күштерінің орындаған жұмысы траектория пішініне байланысты емес.

Сонымен, ауырлық күшінің жұмысы жолдың бастапқы және соңғы нүктелерінің координаталарына байланысты екен.

$$E_{p_1} = E_{p_2} \text{ болса, } \frac{m_1}{m_2} = \frac{h_2}{h_1} \text{ немесе } \frac{m_2}{m_1} = \frac{h_1}{h_2} \text{ болады.}$$

Демек, массалары әр түрлі болған екі дене массаларының қатынасы, биіктіктерінің кері қатынасына тең болғанда, бірдей потенциалдық энергияға ие болады екен.

$$h = \frac{5}{2} R$$



4.5 - сурет

Жазықтықта тұрған дене жылытылғанда, оның потенциалдық энергиясы артады, суытылғанда кемиді. Себебі, **жылытылғанда ауырлық центрі көтеріледі, суытылғанда төмендейді** (4.5 - сурет).

Жіпке асылған шарды жылытуда тіректе тұрған дәл осындай шарды жылытуға кететін энергиядан кем энергия кетеді. Себебі, тіректе тұрған денені жылытылғанда энергия тек жылытуға емес, бәлкі потенциалдық энергияны арттыруға да кетеді.

Еркін түсіп жатқан немесе жоғарыға атылған денені көтеру биіктігінің жартысында кинетикалық энергия және потенциалдық энергиялары тең.

Жіпке асылған дене жылытылса, потенциалдық энергиясы кемейеді, суытылғанда болса артады.

Адам түрлі жұмыс орындағанда энергия жоғалтуы

Кестеде массасы 70 кг болған адамның 1 сағатта орындаған жұмысына қарап энергия жоғалтуы келтірілген:

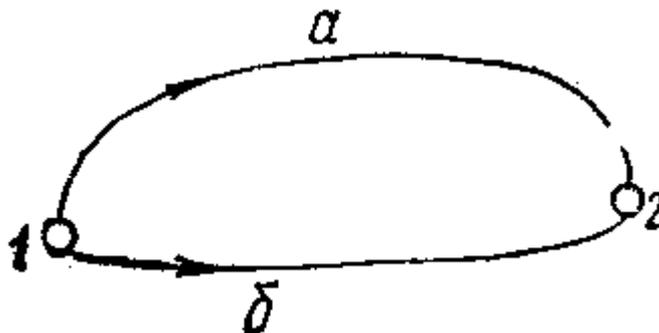
<i>Орындайтын жұмыс түрі</i>	<i>Энергия жоғалтуы, кДж.да</i>
Жүк автомашинасын басқарғанда	590-1090
Мотоциклді басқарғанда	630
Слесарлық және токарлық жұмыстарында	670-1550
Штукатурка және бояу жұмыстарын орындағанда	920-1260
Локомотивті басқарғанда	670-800
Тракторды басқарғанда	540-1050
Велосипед басқарғанда (жылдамдық 13-21 км/сағат)	2260
Бір қалыпты жерде жаяу жүргенде (жылдамдық 5 км/сағат)	960-1130
Ұйықтағанда	270
Отырғанда	420
Дене шынығуын орындағанда	1000-1420
Машинкада жазғанда	590
Ыдыс-табақ жуғанда	590
Лекция оқығанда	920
Сабаққа дайындалғанда	380-460
Практикалық (лаборатория) сабақ өткенде	420-460

ПОТЕНЦИАЛДЫҚ (КОНСЕРВАТИВТІК) ЖӘНЕ ДИССИПАТИВТІК (КОНСЕРВАТИВСІЗ) КҮШТЕР

Макроскопиялық механикада кездесетін күштер екі *потенциалдық (консервативтік)* және *диссипативтік (консервативсіз)* күштерге ажыратылады.

Егер тұйық жол (контур) бойынша күштің орындаған жұмысы нольге тең болса, бұл күштер *потенциалдық (немесе консервативтік) күштер* деп аталады.

Елестейік, жүйе бірер бір күштің әсерінде 1 және 2 жол бойынша (4.6-сурет) бір жағдайдан екінші жағдайға өткен болсын. Бұнда A_{1a2} тең жұмыс орындалады. Егер жүйе екінші жағдайға 1б-2 жол бойынша өтсе, онда орындалған жұмыс A_{1a2} ға тең болады. Консерватив күштердің анықтамасына орай $A_{1a2}=A_{1b2}$ болады. Күштер жүйесінің конфигурациясына (координаталарына) байланысты болмағандығы үшін $A_{1b2}=-A_{2b1}$ болады. Сондықтан, $A_{1a2}+A_{2b1}=0$.



4.6-сурет.

Демек, жүйе немесе денеге әсер ететін күш *консервативтік (немесе потенциалдық) күш* деп аталады, егер осы күш әсерінде жүйені немесе денені бір жағдайдан екінші жағдайға орын ауыстыруда орындалған жұмыс A_{1a2} орын ауыстыру траекториясына байланысты болмаса,

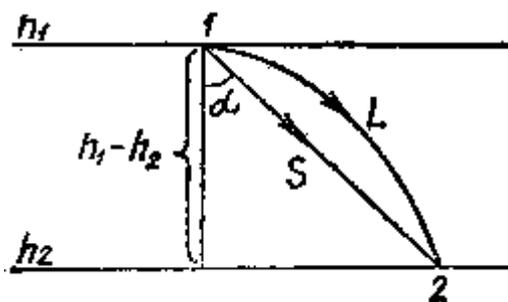
$$A_{1a2}=A_{1b2}=A_{12}$$

Жоғарыда айтылған қорытындыны төмендегі мысалда қарастырамыз. Дене үйкеліссіз ауырлық күші әсерінде бірінші жағдайдан екінші жағдайға S

жол арқылы өтсін (4.7-сурет). Бұл күштің орындаған жұмысы төмендегіге тең:

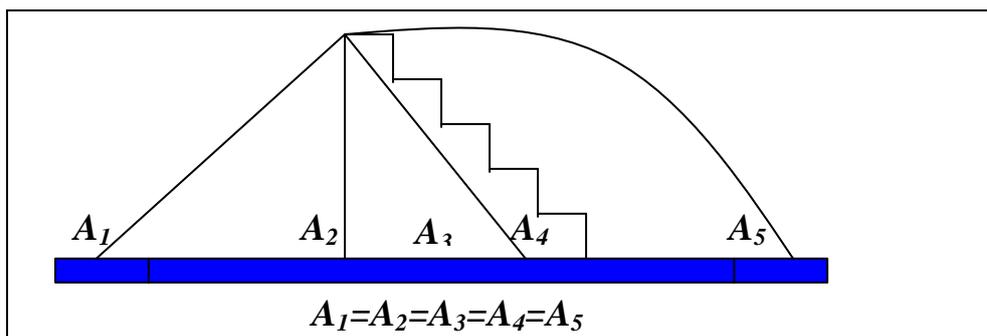
$$A_{12} = mgS \cos \alpha = mg(h_1 - h_2) \quad (4.22)$$

Егер дене осы күш әсерінде L жол бойынша өтсе да, дәл осындай жұмысты орындайды, себебі ауырлық күшінің жұмысы, жол пішініне байланысты болмай, тек биіктіктер айырмашылығына ғана байланысты.



4.7-сурет

Сонымен, егер күштердің өзара әсері жүйедегі материялық нүктелер конфигурациясына (яғни, олардың координаталарына) байланысты болса және бұл күштер жүйені кезкелген бір жағдайдан екінші жағдайға орын ауыстыруда орындаған жұмысы өту жолына байланысты болмай, жүйені бастапқы және соңғы конфигурациялары мен анықталса, ол уақытта бұндай күштер **консервативтік (яғни, потенциалдық) күштер** деп аталады. Демек, ауырлық күштері консервативтік (немесе потенциалдық) күштер болып саналады. Консервативтік күштерге **серпінділік күштері** және зарядталған бөлшектердің өзара **электростатикалық әсер күштері** да мысал бола алады. Орындалған жұмысы жолға байланысты болмайтын күштерді де **консервативтік күштер** деп атау мүмкін.



4.8 -сурет

Консервативтік болмаған барлық күштер *консервативсіз (немесе диссипативтік) күштер* деп аталады. Диссипативтік күштерге пайда болатын *үйкеліс күштері* және сұйықтарда немесе газда қозғалыс жасайтын денеге әсер ететін *кедергі күштері* кіреді.

Консервативсіз күштер, тек денелер конфигурациясына байланысты болмай, олардың салыстырмалы жылдамдықтарына да байланысты.

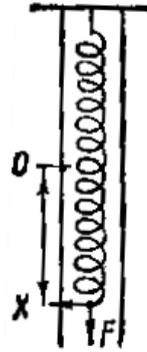
Үйкеліс күштері барлық уақыт қозғалыс бағытына қарама-қарсы бағытта болғандығы үшін $\cos\alpha = -1$. Сол үшін материялық нүктені немесе жүйені тұйық траектория бойынша орын ауыстыруда үйкеліс күштерінің жұмысы барлық уақытта теріс немесе нольге тең болмайды.

Жабық жүйеде әр түрлі қозғалыста күштердің толық орындаған жұмысы барлық уақытта теріс болса, бұндай күштер *диссипативтік күштер* деп аталады.

Консервативтік емес күштерге гироскопик күштерде кіреді. Бұл күштер материялық нүктенің жылдамдығына байланысты және әсері жылдамдыққа тік бағытталған. Бұл күштер әсерінде материялық нүктені әр түрлі траектория бойынша орын ауыстырғанда орындалған жұмыс нольге тең. Гироскопик күштердің консервативтік күштерден айырмашылығы сонда, ол тек қана материялық нүкте конфигурациясы мен анықталмай, оның жылдамдығына тәуелді болады. *Гироскопик күштерге, Лоренц күштері*, яғни магнит өрісінде зарядталған бөлшекке әсер ететін күштер мысал болады.

СЕРПІМДІ ДЕФОРМАЦИЯЛАНҒАН ДЕНЕНІҢ ПОТЕНЦИАЛДЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ

Серпімді деформацияланған дененің потенциалдық энергиясын анықтау үшін созылған серіппенің потенциалдық энергиясын есептейік (4.9-сурет).



4.9-сурет

Тәжірибелерден белгілі, серпімділік күші F деформация шамасы (x) ке тура пропорционал болып (Гук заңы), яғни

$$F = -kx \quad (4.23)$$

бұл жерде k – дененің серпімділік қасиеттерін сипаттайтын серпімділік коэффициенті. Минус таңба серпімділік күш пен деформация шамасы бағыты жағынан қарама-қарсы екендігін көрсетеді.

Серпімділік күші әсерінде, дене деформациясының кіші (dx шамаға) өзгерулерінде, орындалған элементар жұмыс төмендегіге тең болады:

$$dA = Fdx = -kx dx \quad (4.24)$$

Жұмыстың толық шамасын табу үшін (4.24) формуланы деформацияланбаған жағдайдан ($x_0=0$) деформация шамасы x мәндері шекарасында интегралдаймыз:

$$A = - \int_{x_0}^x kx dx = - \frac{kx^2}{2} + W_p \quad (4.25)$$

Бұл шамаға серіппенің потенциалдық энергиясы өзгереді,

$$W_n = - \frac{kx^2}{2} + W_{p0} \quad (4.26)$$

бұнда $W_n = \frac{kx_0^2}{2}$ деформацияланбаған дененің потенциалдық энергиясы, оны нольге тең деп алсақ, (4.26) төмендегідей жазылады:

$$W_n = -\frac{kx^2}{2} \quad (4.27)$$

Сонымен, (4.25) формуладан, серпімді дене деформацияланса, онда жұмыс деформацияланған дене энергиясының өзгеруіне жұмсалады. (4.27) өрнекке *деформацияланған дененің потенциалдық энергиясы* делінеді.

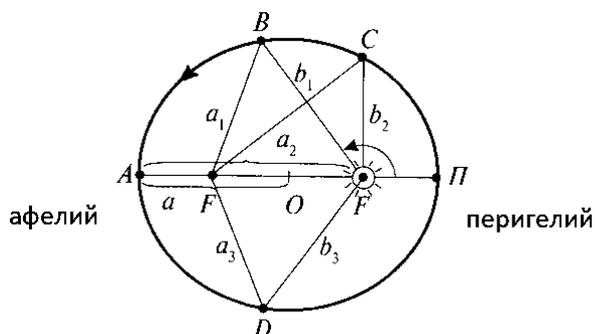
БҮКІЛӘЛЕМДІК ТАРТЫЛЫС ЗАҢЫ. ТАРТЫЛЫС ӨРІСІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Кеплер заңдары, эллипс, фокус, радиус-вектор, планеталардың айналу периодтары, планеталардың үлкен жарты осьтері, бүкіләлемдік тартылыс заңы, гравитация, гравитация күші, гравитация өрісі, гравитация тұрақтысы, гравитациялық өріс кернеулігі.

Денелердің Жерге түсуі, маятниктердің тербелісі, планеталар және жасанды серіктердің қозғалыс заңдылықтары және басқа мысалдар денелер арасындағы тартылыс күштерінің бар екендігін дәлелдейді.

Әйгілі астроном Тихо Брагениң күзету нәтижелеріне негізделіп, неміс ғалымы Иоганн Кеплер эмпирик түрде планеталардың қозғалыс заңдарын тапты. Бұл заңдар төмендегідей сипатталады:

1. Барлық планеталар тұйық траектория, яғни эллипс бойымен қозғалады және эллипстің фокустерінен бірінде Күн жатады (4.10-сурет).

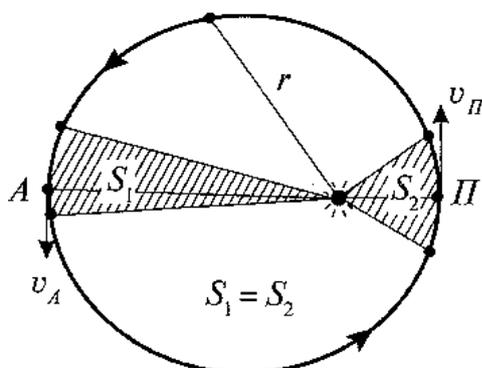


4.10-сурет

Эллипс деп аталатын жабық қисық сызықтың характерлі жағы сонда, оның кезкелген нүктелері (B, C, D) үшін эллипстің фокустері де аталатын екі нүктесінен қашықтықтарының жиындысы тұрақты мәнге ие болады, яғни эллипсте

$$a_1 + b_1 = a_2 + b_2 = a_3 + b_3 = \text{const}$$

2. Күннен планетаға өткізілген радиус вектор бірдей уақыт аралығында бірдей аудандарды өтеді (4.11 - сурет).



4.11 - сурет

3. Планеталардың Күн айналасында айналу периодтарының квадраттарының қатынасы, орбита эллипстері үлкен жарты осьтерінің кубтарының қатынасы сияқты болады, яғни

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3} \quad (4.28)$$

бұнда T_1 және T_2 – планеталардың Күн айналасында айналу периодтары; R_1 және R_2 – планеталардың шеңбер бойымен орбиталарының радиустары немесе эллипстердің үлкен жарты осьтері.

Кеплер және динамика заңдарынан пайдаланып, бүкіләлемдік тартылыс заңын 1665-жылда Исаак Ньютон анықталынған.

Ғарыштағы барлық денелер өздерінің массалары көбейтіндісіне тура пропорционал және олар арасындағы қашықтықтың квадратына кері пропорционал болған күш пен өзара әсерлеседі, бұл **бүкіләлемдік тартылыс заңы** деп аталады.

Табиғаттағы барлық денелер арасында тартылыс күштері – **гравитация күші** (тартылыс күші) деп аталады.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (4.29)$$

F – бүкіләлемдік тартылыс күші

R немесе r денелер арасындағы қашықтық $[R]=[r]=m$

$$G = \gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{K^2}$$

G – гравитациялық тұрақтылық.

Бүкіләлемдік тартылыс заңындағы гравитациялық тұрақтылықтың мағынасы: массалары 1 кг нан және арасындағы қашықтық 1 м болған екі дене арасындағы тартылыс күшіне тең шама.

Бүкіләлемдік тартылыс заңында әсерлесетін денелер материялық нүктелер деп қаралады. Мысалы, Күн мен басқа планеталар арасындағы өзара тартылыстарды қарап өтеміз. Егер денелерді материялық нүкте деп қарамасақ, онда гравитациялық әсерді есептеу үшін әр бір денені қиялда элементар бөліктерге бөліп және әр екі элементар бөліктер үшін бүкіләлемдік тартылыс заңы формуласы жәрдемінде тартылыс күштерін есептеп, соң күштердің геометриялық қосу жолымен табылады.

Тартылыс күштері денелердің қандай ортада (ауада, сұйықтарда, кеңістікте) орналасуына да байланысты емес.

Бүкіл әлем тартылыс заңы денелер арасындағы өзара әсер қандай амалға асуы жайлы сұраққа жауап бермейді. Бұл сұраққа төмендегі пікір арқылы жауап табылады.

Денелер арасындағы өзара әсер гравитациялық өріс арқылы жүзеге асырылады. Әр бір дененің айналасында оның өзіне сай материялық қасиеті-тартылыс өрісі деп аталатын көрінбейтін гравитациялық өріс бар екендігі анықталған. Бұл өрістер денелер жағынан жүзеге келтіріледі. Дене айналасында гравитациялық өріс бірдей, ол денеге жақын жерде күшті немесе денеден алыстаған сайын кемеіп күшсізденіп барады. Тартылыс немесе гравитациялық өрістің негізгі қасиеттерінің бірі сонда, әр қандай m массалы материялық нүкте өріске енгізілгенде бұл массаға пропорционал түрде F тартылыс күші әсер етеді:

$$F = m \cdot G$$

бұл жерде G – гравитациялық өріс кернеулігі делінеді.

Гравитациялық өрістің мөлшерлі характеристикасын білу үшін өріс кернеулігі деп аталатын физикалық шама енгізіледі. Өріс кернеулігі сан жағынан да, өріс жағынан да бір бірлік массалы материялық нүктеге әсер ететін күшке тең:

$$G = \frac{F}{m}$$

Өріс кернеулігі гравитациялық өрістің күш характерін өрнектейді. Өрістің барлық нүктелерінде, оның кернеулігі бірдей болса, ***өріс бір текті*** деп айтылады.

Бүкіләлемдік тартылыс заңы формуласынан пайдаланып және $m_1 = M$ және $m_2 = m$ деп алсақ, $G = \frac{F}{m}$ ді төмендегідей жазамыз:

$$G = \frac{\gamma \cdot \frac{M \cdot m}{r^2}}{m} = \gamma \cdot \frac{M}{r^2} \quad (4.30)$$

Бұл формуладан көрініп тұрғандай, ***өріс кернеулігі өрісті жүзеге келтіретін дененің массасы және осы дене мен өрістің белгілі бір нүктесіне дейін болған қашықтыққа байланысты. Өрістің кернеулігі гравитациялық өріске, енгізілген дененің массасына байланысты емес.***

Енді m_1, m_2, \dots, m_n массалы қозғалмайтын материялық нүктелер жүйесі жүзеге келтірген гравитациялық өрісті көріп шығайық. Өрістің кезкелген нүктесіне орналастырылған m массалы материялық нүктеге, жүйенің i -массасы жағынан әсер ететін F_i күш

$$F_1 = \gamma \cdot \frac{m \cdot m}{r^2} = m \cdot G_1$$

бұнда G_i – өрістің m_i массалы дене орналастырылған нүктесіне m массалы материялық нүкте жүзеге келтірген өріс кернеулігі.

Жүйедегі материялық нүктелер жағынан m массалы материялық нүктеге әсер ететін күштердің тең әсер ететін күш $\sum F_i$ күштердің векторлық жиындысына тең:

$$F_1 = \sum_{i=1}^n F_i = m \sum_{i=1}^n G_i \quad (4.31)$$

немесе

$$\vec{F} = m \cdot \vec{G}$$

бұнда $G = \sum_{i=1}^n G_i$ материялық нүктелер жүйесінің гравитациялық өріс кернеулігі.

Демек, бір неше гравитациялық өрістердің қосылуынан осы нәтижелік өрістің кернеулігі барлық қосылатын гравитациялық өрістер кернеуліктерінің векторлық жиындысына тең. Бұнда өрістердің *суперпозиция принципі* делінеді.

Масса – гравитациялық күштердің көзі болып саналады. Инерт және гравитациялық массалар өзара тең.

Гравитациялық күшті бірер-бір бөгет жәрдемінде жоғалту немесе кемейту мүмкін емес.

Дененің Жерге тартылыс күші – тартылыстың жүзеге келуінің жеке күйі болып саналады.

ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ӨРІС ЭНЕРГИЯСЫ ЖӘНЕ ПОТЕНЦИАЛЫ

Ауырлық күші өрісінде жүйені орын ауыстыруда орындалған жұмыс жүйе потенциалдық энергиясының кемеюіне тең.

Осы сияқты m массалы материялық нүктені гравитациялық өрісте орын ауыстыруында орындалған жұмыс осы жұмыстың потенциалдық энергиясының кемеюіне тең:

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = -\Delta W \quad (4.32)$$

Элементар орын ауыстырулар үшін бұл өрнек төмендегідей жазылады:

$$dA = -\Delta W \quad (4.33)$$

Гравитациялық өрісте күштерді m массалы материялық нүктені орын ауыстыруда орындаған элементар жұмыс:

$$dA = F dr \quad (4.34)$$

Гравитациялық өрісті M массалы материялық нүкте пайда еткен болса, бұл өріс жағынан денеге әсер ететін күш:

$$F = \gamma \cdot \frac{mM}{r^2} \quad (4.35)$$

(4.34) және (4.35) ге қойсақ, dA жұмыс үшін төмендегі формуланы аламыз:

$$dA = \gamma \cdot \frac{mM_1}{r^2} dr \quad (4.36)$$

Өрістің белгілі бір B нүктесінен екінші бір нүктесіне (4.12 - сурет) материялық нүктені орын ауыстыруда орындалған жұмысты табу үшін (4.36) ны r_1 ден r_2 ге дейін интегралдаймыз:

$$A_{12} = \int_{r_1}^{r_2} \gamma \cdot \frac{mM}{r^2} dr = -\gamma \cdot m \cdot M \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (4.37)$$

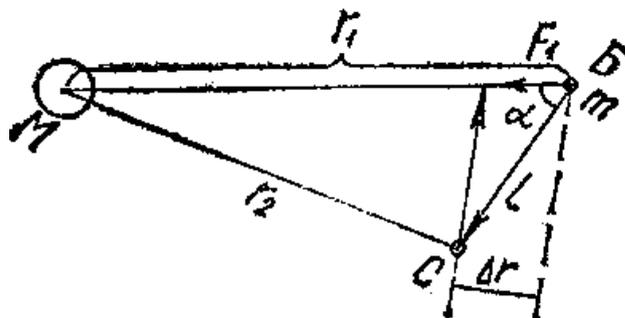
(4.37) пен (4.32) ді теңестіріп, потенциалдық энергияның өзгеруін анықтаймыз:

$$\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = -\gamma \cdot m \cdot M \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (4.38)$$

Егер m массалы материялық нүкте гравитациялық өрісті пайда еткен M (өріс көзі) массалы денеден шексіз алыстаса ($r_2 \rightarrow \infty$), $W_p = 0$ тең болады, онда (4.38) ны төмендегідей жазамыз:

$$W_p = -\gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r} \quad (4.39)$$

W_p – гравитациялық өрістегі m массалы материялық нүктенің потенциалдық энергиясы.



4.12 - сурет

Егер гравитациялық өрісті m_1, m_2, \dots, m_n массалы материялық нүктелер жүйесі пайда еткен болса, осы гравитациялық өрісте m массалы материялық нүктенің потенциалдық энергиясы төмендегіге теңдігін көрсету мүмкін:

$$W_p = -\sum_{i=1}^n \gamma \cdot \frac{m \cdot m_i}{r_i^2} \quad (4.40)$$

бұнда $r_i - m$ массалы материялық нүктеден жүйенің m_i масса тұрған нүктесіне дейін болған қашықтық.

Гравитациялық өрістің энергетикалық сипаттамасын білу үшін, оған **потенциал** түсінігі енгізілген.

Гравитациялық өрістің потенциалы φ тартылыс өрісіндегі материялық нүтениң потенциалдық энергиясы осы нүкте массасы қатынасына:

$$\varphi = \frac{W_p}{m} = -\sum_{i=1}^n \frac{\gamma \cdot m_i}{r_i} \quad (4.41)$$

Өрістің потенциалы оған енгізілген материялық нүктенің массасына (m) байланысты емес екен.

Егер гравитациялық өрісті тек бір m_1 массалы дене пайда еткен болса, онда оның потенциалы,

$$\varphi = -\gamma \frac{m_1}{r} \quad (4.42)$$

болады, мұнда $r - m_1$ массалы материялық нүктемен өрістің белгілі бір күзетілетін нүктесіне дейін болған қашықтық.

КОНСЕРВАТИВТІК ЖӘНЕ ДИССИПАТИВТІК ЖҮЙЕДЕ ЭНЕРГИЯНЫҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫ

Консервативтік күштер әсерінде болған механикалық жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергияларының өзгеруін қарастырамыз.

Механикалық жүйені құрайтын материялық нүктелер арасындағы ішкі күштер және жүйеге әсер ететін сыртқы күштер өзара консервативтік болса, ондай механикалық жүйені **консервативтік жүйе** деп жүргізіледі.

Консервативтік жүйеде механикалық энергияның сақталу заңының қозғалыс теңдеуінен пайдаланып, келтіріліп шығарылады.

Консервативтік жүйе m_1, m_2, \dots, m_n массалы n материялық нүктеден құралған болсын.

Бұ материялық нүктелер ішкі ($f_{12}, f_{13}, f_{14}, \dots$) және сыртқы күштер (F_1, F_2, F_3, \dots) әсерінде болғанда, жүйе нүктелері үшін қозғалыс теңдеуін жазамыз:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \frac{dv_1}{dt} &= (f_{12} + f_{13} + f_{14} + \dots + f_{1n}) \\ m_2 \frac{dv_2}{dt} &= (f_{21} + f_{23} + f_{24} + \dots + f_{2n}) \\ &\dots \\ m_n \frac{dv_n}{dt} &= (f_{n1} + f_{n2} + f_{n3} + \dots + f_{n,n-1}) \end{aligned} \right\} \quad (4.43)$$

Күштер әсерінде материялық нүктелер dt элементар уақытта dS_1, dS_2, \dots, dS_n элементар қашықтықтарға ығыссын. Әр бір теңдікті элементар қашықтықтарға көбейтіріп және

$$\left. \begin{aligned} \frac{ds_1}{dt} &= v_1, \\ \frac{dS_2}{dt} &= v_2 \\ &\dots \\ \frac{dS_n}{dt} &= v_n \end{aligned} \right\} \quad (4.44)$$

екендігін есепке алсақ, элементар өзгерістерден соң (4.44) теңдік төмендегідей жазылады:

$$\left. \begin{aligned} m_1 v_1 dv_1 - (f_{12} + f_{13} + f_{14} + \dots + f_{1n}) dS_1 &= F_1 dS_1 \\ m_2 v_2 dv_2 - (f_{21} + f_{23} + f_{24} + \dots + f_{2n}) dS_2 &= F_2 dS_2 \\ &\dots \\ m_n v_n dv_n - (f_{n1} + f_{n2} + f_{n3} + \dots + f_{n,n-1}) dS_n &= F_n dS_n \end{aligned} \right\} \quad (4.45)$$

(4.45) теңдіктердің сол және оң жақтарын мүше-мүше қосамыз, онда төмендегі өрнек пайда болады:

$$\left. \sum_{i=1}^n m_i v_i dv_i - \sum_{i=1}^n (f_{i1} + f_{i2} + \dots + f_{in}) dS_i = \sum_{i=1}^n F_i dS_i \right\} \quad (4.46)$$

(4.46) теңдікте бірінші қосынды жүйедегі материялық нүктелердің

$$dW_k = \sum_{i=1}^n m_i v_i dv_i \left. \right\}$$

кинетикалық энергиясының өзгерісіне тең.

Теріс таңбамен алынған екінші қосынды жүйедегі ішкі күштердің орындаған жұмысына тең, яғни бұл жұмыс жүйедегі потенциалдық энергиясының өзгерісіне тең:

$$\left. \sum_{i=1}^n (f_{i1} + f_{i2} + \dots + f_{in}) dS_i = dW_p \right\}$$

(4.46) теңдіктің оң жағы жүйеге әсер ететін сыртқы консервативтік күштердің элементар жұмысына тең:

$$\left. \sum_{i=1}^n F_i dS_i = dA \right\}$$

бұл жағдайда (4.46) ші теңдікті төмендегідей жазамыз:

$$dW_k + dW_p = d(W_k + W_p) = dA \quad (4.47)$$

Консервативтік механикалық жүйенің толық энергиясының өзгерісі жүйеге әсер ететін сыртқы консервативтік күштердің орындаған элементар жұмысына тең болады. Бұл механикалық энергияның сақталу заңын өрнектейді.

Егер жүйеге сыртқы күштер әсер етпесе, онда (4.47) теңдік төмендегі көріністе болады:

$$W_k + W_p = 0 \quad (4.48)$$

немесе

$$W = W_k + W_p = \text{const} \quad (4.49)$$

Демек, изоляцияланған механикалық жүйенің кинетикалық және потенциалдық энергияларының қосындысы, яғни толық энергиясы тұрақты болады.

Енді диссипативтік механикалық жүйеде энергияның сақталу заңын қарастырайық. Егер жүйеде консервативтік күштер қатары, диссипативтік күштер әсері де бар болса, бұндай механикалық жүйені ***диссипативтік жүйе*** деп атаймыз. Диссипативтік жүйенің механикалық энергиясы басқа түр (механикалық емес) энергияларға айналуы нәтижесінде кемейеді.

Изоляцияланбаған диссипативтік жүйедегі материялық нүктелерге әсер ететін күштерді үш топқа бөлеміз:

- Ішкі потенциалдық (консервативтік) күштер;
- Үйкеліс (диссипативтік) күштер;
- Жүйеге әсер ететін сыртқы (консервативтік) күштер.

Осыған негізделіп жүйеде күштер орындаған жұмысында үш топқа ажыратамыз:

1. $dA_p = dW_p$ – ішкі потенциалдық күштер орындаған жұмыс, ол потенциалдық энергия өзгерісіне тең;

2. dA_{diss} – диссипативтік күштер орындаған жұмыс;

3. dA_c - сыртқы күштер орындаған жұмыс.

Бұл уақытта диссипативтік жүйеде энергияның сақталу заңын төмендегідей өрнектейміз:

$$dA_{diss} + dA_t = d(W_k + W_p) \quad (4.50)$$

Демек, *диссипативтік күштер жүйенің толық энергиясының өзгерісі, сыртқы және үйкеліс күштері орындаған жұмыстар жиындысына тең екен.*

Диссипативтік жүйенің толық энергиясы тұрақты болмайды, ол кемеіп барады, себебі диссипативтік күштер орындаған жұмыс теріс болады.

Үйкеліс күштері әсер еткен жүйелерде механикалық қозғалыс энергиясы жылулық энергиясына айналады.

Демек, *энергия еш қашан жоғалмайды, ол тек қана бір денелер жүйесінен екінші денелер жүйесіне эквивалент жағдайға өтуі мүмкін. Материяның барлық қозғалыс формаларының өзгерістерінде да энергия өзгермейді.*

Энергияның сақталу заңы: энергия бардан жоқ болмайды, жоқтан бар болмайды. Ол бір түрден екінші түрге айналады.

$$W_{k_1} + W_{p_1} = W_{k_2} + W_{p_2}$$

$$W_k + W_p = const$$

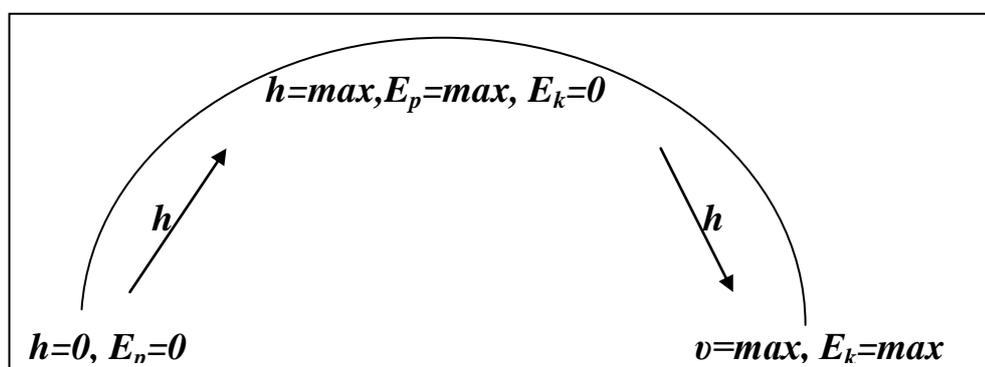
$$W_T = W_k + W_p = const$$

бұл жерде W_T – толық энергия.

Ауаның кедергісі есепке алынбаса, кеңістікте қозғалыстағы дене траекториясының кезкелген нүктесінде (ұшу уақыты барысында) толық энергия тұрақты болады.

Ауаның кедергісі есепке алынғанда, кеңістікте қозғалыстағы дененің толық энергиясы бастапқы нүктесінде ең үлкен, түсу нүктесінде ең кіші болады.

Төменде горизонтқа бұрыш астында атылған дене кинетикалық және потенциалдық энергиясының h биіктікке қарап өзгеруі (энергияның сақталу заңы) бейнеленген (4.13-сурет):



4.13-сурет

Денелер серпімді соқтығысса, соққыдан алдыңғы кинетикалық энергиялары жиындысы, соққыдан кейінгі кинетикалық энергиялар жиындысына тең болады. Демек, денелер серпімсіз соқтығысса, олардың кинетикалық энергиялары жиындысы тұрақты болады.

Денелер серпімсіз соқтығысса, соққыдан алдыңғы кинетикалық энергиялар жиындысы, соқтығысқаннан кейінгі кинетикалық энергиялар жиындысынан үлкен болады.

Демек, денелер серпімсіз соқтығысса, олардың кинетикалық энергиялар жиындысы кемейеді. Бұған себеп, энергияның бір бөлігі деформацияға себеп болады.

ІШКІ ЭНЕРГИЯ. ПОТЕНЦИАЛДЫҚ ЖӘНЕ ЖҮЙЕНІҢ ТЕПЕ- ТЕҢДІК ШАРТЫ

Механикалық жүйенің немесе дененің қозғалысын екі түрлі қозғалыстан құралған, деп қарау мүмкін, яғни жүйені бірер санақ жүйесіне қатынасты бір бүтін түрде қозғалыстағы және жүйені немесе денені құрайтын бөлшектердің “ішкі” қозғалысы формасында. Осыған орай, жүйе немесе дененің энергиясы, жүйе кинетикалық және ішкі энергияларының жиындысына тең:

$$W = W_k + U \quad (4.51)$$

бұнда

$$W_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

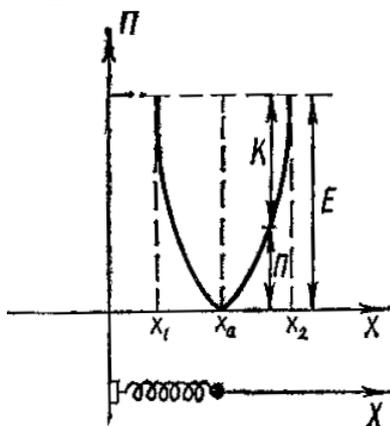
m – жүйені немесе дененің массасы, v – дене инерция центрінің жылдамдығы. Дененің (немесе жүйенің) ішкі энергиясы денені құрайтын бөлшектердің кинетикалық энергиясы мен олардың өзара әсер потенциалдық энергиясы жиындысына тең:

$$U = U_k + U_p \quad (4.52)$$

Материялық нүкте абцисса осі бойынша тербелмелі қозғалыс етсін. Бұндай жағдайда нүктенің потенциалдық энергиясын бір айнымалы шамаға байланысты, яғни

$$W_p = W_p(x)$$

Потенциалдық энергияны қашықтыққа байланыстылығын кескіндейтін график *потенциалдық қисықтық* деп аталады.



4.14- сурет

Мысал ретінде серпімділік күші әсерінде бөлшектің қозғалысын қарастырайық (4.14 - сурет). $x=x_0$ де серіппе деформацияланбаған. Сол үшін бөлшекке әсер ететін күш нольге тең. Бөлшек тепе-теңдік күйінен ауытқығанда оған әсер ететін күш $F=-k(x-x_0)$ ге тең.

Бөлшектің потенциалдық энергиясы,

$$W_p = \frac{k(x-x_0)^2}{2} = \frac{k\Delta x^2}{2} \quad (4.53)$$

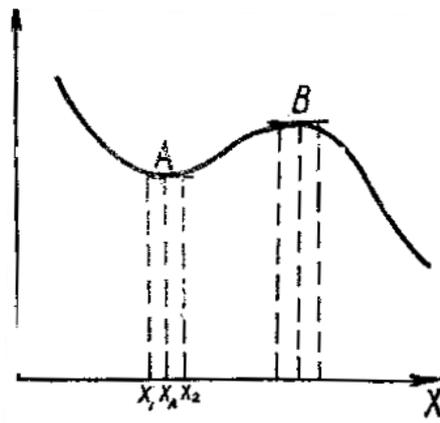
Оның графигі парабола көрінісінде болады. Бөлшектің толық механикалық энергиясы $W=W_k+W_p$ тұрақты шама және ол графикте x осіне параллель түзу сызық пен кескінделеді. $x=x_0$ де бөлшектің кинетикалық энергиясы максимал, потенциалдық энергиясы нольге тең ($W_p=0$) болып, толық энергия кинетикалық энергиядан ($W=W_{kmax}$) тұрады. $x=x_1$ және $x=x_2$ нүктелерде бөлшектің кинетикалық энергиясы нольге тең болып, толық энергия потенциалдық энергиядан құралған болады.

Графиктен көрініп тұрғандай, бөлшек x_1 нүктеден солға және x_0 нүктеден оңға жылжымайды. Бұл жағдайда, бөлшек $x_1 \leq x \leq x_2$ потенциалдық тереңдікте орналасқан болады.

Потенциалдық қисықтық анализінен денені немесе материялық нүктені тепе-теңдік шарттары бойынша пікірлер жүргізуіміз мүмкін.

Егер денеге қойылған күштердің тең әсер етушісі нольге тең болса, дене тепе-теңдік жағдайында болады.

Біреу өрістің потенциалдық энергиясы 4.15-суретте кескінделгендей болсын. Потенциалдық энергияның минимум және максимум А және В нүктелерінде дене тепе-теңдік жағдайында болады. Дене немесе бөлшек x_A нүктеде болсын, онда потенциалдық энергия минимумға тең. $x_1 \leq x \leq x_A$ бөлікте потенциалдық энергия кемейеді, сол үшін бөлшекті А нүктеге қайтаратын оң итеретін күш әсер етеді. $x_A \leq x \leq x_2$ бөлікте потенциалдық энергия артады, сол үшін бөлшекті А нүктеге қайтаратын теріс тартылыс күші әсер етеді.



4.15- сурет

Сонымен, егер бөлшекті минимал потенциалдық энергияға ие болған нүкте тепе-теңдік жағдайынан шығарылса, онда дене тартылыс және итеріліс күштері әсерінде тепе-теңдік нүктесіне келтіріледі.

Демек, *потенциалдық энергия минимум мәнге тең болғанда дене орнықты тепе-теңдікте болады.*

Егер бөлшек *B* нүктеде болса, онда ол максимал потенциалдық энергияға ие. Бөлшекті тепе-теңдік жағдайынан шығарылса, оған әсер ететін күштер тепе-теңдік нүктесіне қайтарылмайды. Сол үшін бұл күштер әсерінде тепе-теңдік нүктесінен алыстайды.

Демек, потенциалдық энергия максимал мәнге тең болғанда дене орнықсыз тепе-теңдікте болады.

АУЫРЛЫҚ КҮШІ. ҒАРЫШТЫҚ ЖЫЛДАМДЫҚТАР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Жердің тартылыс күші, центрге тартқыш күш, ауырлық, ауырлық күші, еркін түсу, салмақсыздық, эллиптик қозғалыс, параболик қозғалыс, гиперболик қозғалыс, жүктелу, Жердің массасы, Жердің радиусы, экватор, кедергі күші, аэродинамикалық күш, қысым күші, электр күші, магнит күші, жасанды серік, Жерде еркін түсу үдеуі, Айда еркін түсу үдеуі.

Ауырлық күші және ауырлық – өзара байланысқан екі түсінік.

Жердегі барлық дене оған тартылады. Егер Жер бір түрдегі шар деп есептелінсе, ол жағдайда тартылыс күшін бүкіләлемдік тартылыс заңы формуласынан пайдаланып есептеп шығаруға болады:

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2} = G \frac{M \cdot m}{R^2}$$

F – бұл ауырлық күшін төмендегідей жазуымыз мүмкін:

$$F = mg$$

Бұл күш дененің массалар центріне қойылған және Жердің масса центріне радиус бойынша бағытталған.

Жердегі әр бір дене оның өз осі айналасында тәуліктік айналуында қатынасады. Инерциялық санақ жүйесі мен байланысқан Жерден сырттағы күзетуші жақтан қаралғанда Жерде тұрған барлық денелер айналу осіне перпендикуляр бағытталған $F_{ц.т}$ центрге тартқыш күш әсер етеді. Бұл күш дененің Жерге тартылысынан пайда болады.

Дененің Жерге тартылыс күші және оның Жер осі айналасында айналуынан пайда болған центрге тартқыш күші арасындағы векторлық айырма ауырлық күші деп аталады.

$$F = F_m - F_{ц.т}$$

Центрге тартқыш күш $F_{ц.т} = m \cdot a$ ға тең, бырақ $a = \omega^2 \cdot r$. Сол үшін $F_{ц.т} = m \omega^2 \cdot r$, бұнда r – дененің айналу радиусы, ω - Жер айналуының бұрыштық жылдамдығы.

Кейде денені Жерге тартатын күш – **ауырлық күші** деп аталады.

Жерде жатқан денені оның ауырлық күшіне тең күш пен көтеріп болмайды.

Центрге тартқыш күш айналу радиусы r ге байланысты болса, ол жағдайда ауырлық күші Жердің географик кеңдігіне байланысты болады және полюстерде Жер шарының барлық нүктелерінде тартылыс күштерінен кіші болады.

Жерге денені тартатын күш – дененің массасына пропорционал болғандығы үшін, ол барлық денелерге бірдей үдеу береді.

Ауырлық күші гравитациялық табиғатқа ие.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{(R + h)^2} \quad (4.54)$$

F – Жерден h биіктіктегі ауырлық күші

$$R_{\text{жер}} = 6400 \text{ км} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}; \quad M_{\text{жер}} = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

Жердің тартылысы нәтижесінде дененің тірекке немесе аспаға әсер ететін күші **дененің ауырлығы** делінеді.

Ауырлық күші векторлық шама болып, ол тірек немесе аспадан төменге қарай бағытталған болады.

“Дененің салмағы (ауырлығы) және ауырлық күші бір нәрсе болып саналады – деген сөз дұрыс емес, себебі салмақ (ауырлық) және ауырлық күші басқа-басқа денелерге қойылған. Олар мөлшер жақтан тең болуы да, тең болмауы да мүмкін.

Тірек немесе аспаға ие болған дене тыныш тұрғанда, дененің салмағы ауырлық күшіне тең болады.

Дене ауырлығының оның құраушы заттардың түріне байланыстылығы **салыстырмалы ауырлық** деп аталатын физикалық шама мен сипатталады.

Денелердің **салыстырмалы ауырлығы** деп, көлем бірлігіне сай келген дененің ауырлығына мөлшер жақтан тең болған физикалық шамаға айтылады, яғни

$$d = \frac{P}{V}$$

Дененің салыстырмалы ауырлығы мен оның тығыздығы арасында төмендегідей байланыс бар:

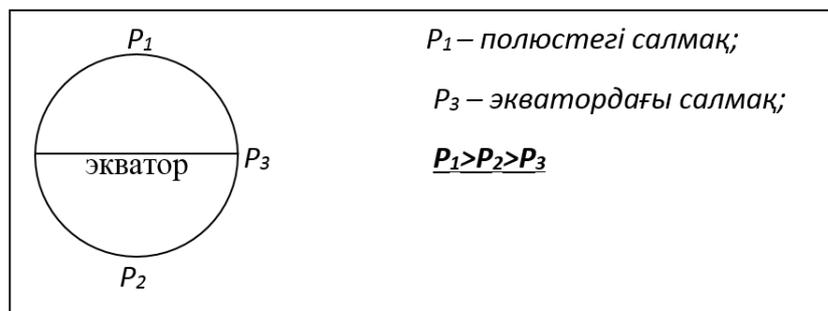
$$d = \frac{P}{V} = \frac{m \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

Ауырлық жоғалатын жағдай **салмақсыздық** деп аталады.

Егер денеге тек ауырлық күші әсер етсе, ол салмақсыздық жағдайда болады.

Ауаның кедергісі болмағанда, горизонтқа қатынасты бұрыш астында атылған дене қозғалыс траекториясының толық қозғалысы барысындағы салмақсыздық күйінде болады.

Айда еркін түсу үдеуі Жердегіге қарағанда 6 есе кіші болады.



Дененің ауырлығы тыныштыққа салыстырғанда неше есе артып кетуін көрсететін физикалық шама **жүктелу** деп аталады.

$$n = \frac{P}{mg} = \frac{g \pm a}{g} \text{ жүктелу}$$

$P = mg$ ауырлық (горизонтал жазықтықта тұрған дене)

$P = mg \pm F \cos \alpha$
 $P = mg \pm F \sin \beta$ ауырлық (күш әсері нәтижесінде), жоғарыға (-), төменге

(+) болады.

P – ауырлық $[P]=H$

$P = m(g \pm a)$ вертикал қозғалғандағы ауырлық, жоғарыға (+), төменге (-) болады.

$g = G \frac{M}{R^2}$ еркін түсу үдеуі

$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$ h биіктіктегі еркін түсу үдеуі

Жер өз осі айналасында 17-18 есе тез айналса, экваторда денелер салмақсыз жағдайында болады.

$$v_I = 7,9 \text{ км/с} \approx 8 \text{ км/с}$$

I ғарыштық жылдамдық

$$v_{II} = 11,2 \text{ км/с}$$

II ғарыштық жылдамдық

$$v_{III} = 16,7 \text{ км/с}$$

III ғарыштық жылдамдық

$$v_I = \sqrt{G \frac{M}{R}}$$

бірінші ғарыштық жылдамдық (негізгісі)

$$v_I = \sqrt{gR}$$

бірінші ғарыштық жылдамдық

$$v_I = \sqrt{G \frac{M}{R+h}}$$

h биіктіктегі бірінші ғарыштық жылдамдық

$$v_{II} = v_I \cdot \sqrt{2} \quad \text{екінші ғарыштық жылдамдық}$$

Бірінші және екінші ғарыштық жылдамдықтар төмендегідей келтіріліп шығарылады:

1. Ауырлық күшін центрге тартқыш күшке теңестіреміз:

$$P = F \Rightarrow mg = \frac{m \cdot v^2}{R}, \text{ бұдан жылдамдықты табамыз}$$

$$v_I = \sqrt{gR}$$

2. Кинетикалық және потенциалдық энергияларын өзара теңестіреміз:

$$E_k = E_p \Rightarrow \frac{m \cdot v^2}{2} = mgh, \text{ бұл жерде } h=R \text{ деп алып, жылдамдықты табамыз:}$$

$$v_{II} = \sqrt{2gR}$$

$$R - \text{Жер радиусы} \quad [R]=m$$

$$T = \frac{2\pi\sqrt{R^3}}{\sqrt{GM}} = 2\pi R \sqrt{\frac{R}{GM}} \text{ жасанды серіктің айналу периоды}$$

Бірінші ғарыштық жылдамдық деп, сондай жылдамдыққа айтылады, бұнда дене Жердің жасанды серігі болып, оның айналасында (Ай сияқты) айналуы керек.

Екінші ғарыштық жылдамдық деп, сондай жылдамдыққа айтылады, онда дене Күннің жасанды серігі болып, оның айналасында (Жер сияқты) айналуы керек.

Үшінші ғарыштық жылдамдық деп, сондай жылдамдыққа айтылады, бұнда дене Күн жүйесінен шығып кетіп, Галактика центрі айналасында қозғалуы керек.

$v_0 < v_I \rightarrow$ дененің жылдамдығы бірінші ғарыштық жылдамдықтан кіші болса, дене эллипс доғасы бойымен қозғалып, Жерге қайтып түседі.

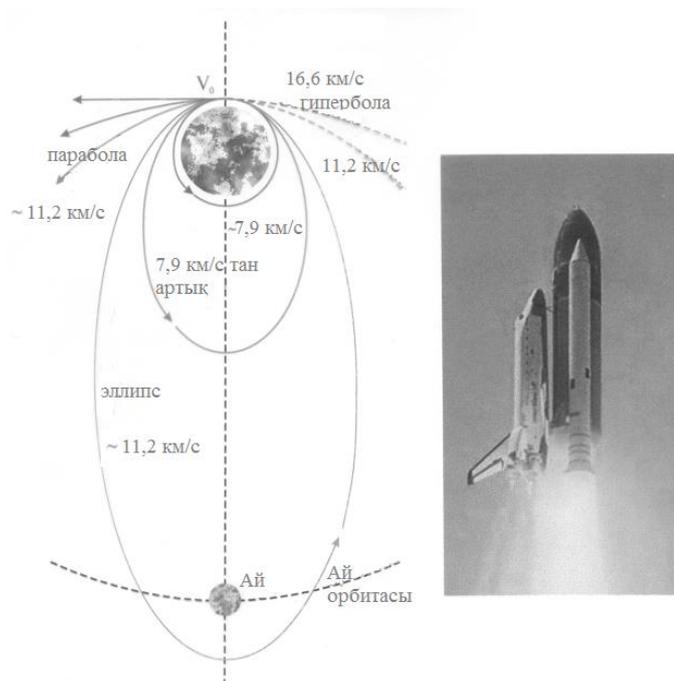
$v_0 = v_I \rightarrow$ дене бірінші ғарыштық жылдамдық пен қозғалғанда, дене шеңбер бойымен қозғалыс жасап, Жердің жасанды серігіне айналып қалады.

$v_I < v_0 < v_{II} \rightarrow$ дененің жылдамдығы бірінші ғарыштық жылдамдықтан үлкен болып, екінші ғарыштық жылдамдықтан кіші болса, дене эллипс бойымен қозғалады.

$v_0=v_{II} \rightarrow$ дене екінші ғарыштық жылдамдық пен қозғалғанда, гипербола бойымен қозғалып, Күннің жасанды серігіне айналып қалады.

$v_0=v_{III} \rightarrow$ дене үшінші ғарыштық жылдамдық пен қозғалғанда, дене парабола бойымен қозғалып, Галактиканың жасанды серігіне айналып қалады (яғни әлем кеңістігіне ұшып кетеді).

Ғарыштық жылдамдықтар траекторияларының көрінісі



Дене Жердің жасанды серігі болып қалуы үшін, оның дөңгелек орбитадағы жылдамдығы орбитаға өткізілген жанама бағытында болуы керек.

Ұшу уақытында Жасанды серікке (ЖС) әсер ететін ең маңызды табиғат күштерінен бірі – **бүкіләлемдік тартылыс заңы** (БЭТ). Материялық денелер арасындағы тартылыс күші Ньютон жағынан ашылған болып, ол БЭТ заңына мойынсұнады:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ЖС тің қозғалысы уақытында оған әсер ететін басқа бір күш атмосфераның **кедергі күші**. Ұшу қанша кіші биіктіктерде жүзеге асса, бұл күш сонша үлкен болады, себебі биіктік кемеіген сайын атмосфера тығыздығы сонша артады. Бұндай күш **аэродинамикалық күш** деп аталады.

Атмосфераның жоғарғы қабатында тығыздық өте кем болып, ЖС ұшуына дерлік әсер етпейді және сол үшін да бұндай жағдайда оны ескермесе болады.

Планеталар аралық болмыста ұшатын ЖС ке сезілерлі әсер ететін және бір күш бар болып, ол *Күн сәулелерінің қысым күші*. Егер ЖС тің массасы онша үлкен болмай, беті сезілерлі дәрежеде үлкен болса, ол күйде Күн сәулелерінің қысым күші, ұзақ ұшуларда жетерлі дәрежеде үлкен болып, ЖСтің қозғалыс траекториясына сезілерлі әсер көрсетеді. Бұндай жағдайларда оны есепке алу қажет болады.

Ғарыштық кеңістікте ЖС ке күшсіз болса-да, басқа бір күштер, яғни *электр* және *магнит күштері* әсер етіп, олар ЖСтің түзу сызықты қозғалысына емес, бәлкім ауырлық центрі айналасындағы шеңбер бойымен қозғалысына ғана әсер етеді.

V БӨЛІМ. АРНАУЛЫ САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

НЬЮТОН МЕХАНИКАСЫНДА САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ПРИНЦИПІ. ГАЛИЛЕЙ ТҮРЛЕНДІРУЛЕРІ

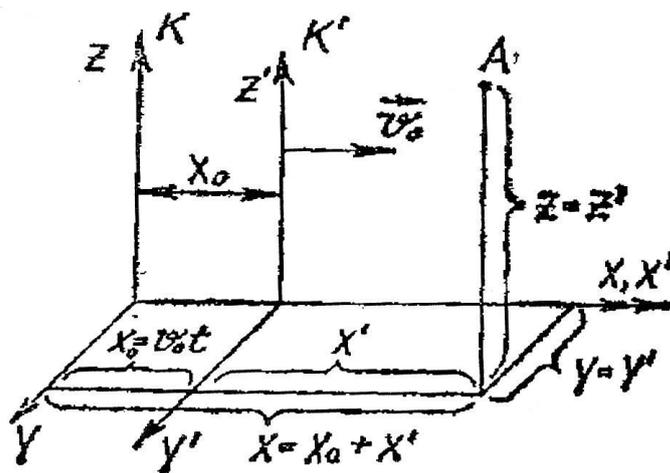
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: салыстырмалылық принципі, Галилей түрлендірулері, ілгерілемелі бір қалыпты қозғалыс, тыныш күй, орын ауыстырулы қозғалыс, санақ жүйесі, жылдамдықтарды қосу заңы, абсолют жылдамдық, салыстырмалы жылдамдық, орын ауыстырулы жылдамдық, инварианттық принципі.

Инерциялық санақ жүйелеріне қатысты бірер материялық нүктенің қозғалысын, мысалы, рельске қатысты ілгерілемелі бір қалыпты қозғалыс жасап жатқан вагон және вагонға қатысты қозғалыс жасап жатқан материялық нүкте қозғалысын қарап шығайық.

Санақ жүйелерінен бірін *тыныш* күйде деп, екіншісін қозғалыста деп қабылдайық. Мұндай қозғалыс *салыстырмалы қозғалыс* деп аталады. Тыныш тұрған санақ жүйесі (рельс)ге қатысты қозғалыстағы жүйедегі нүктенің қозғалысы *абсолют қозғалыс* деп аталады. Тыныш тұрған санақ жүйесіне қатысты қозғалысты *орын ауыстыру қозғалысы* деп аталады.

Тыныш тұрған санақ жүйесі (K)нде материялық (A) нүктенің координаталарын x, y, z қозғалатын санақ жүйесі (K') да оның координаталары x', y', z' болсын. Екі санақ жүйесінде өлшенген уақыт теңдеуін ($t = t'$) тәжірибелер көрсетеді. Пікірлерді қарапайымдастыру үшін $t = t' = 0$ де екі санақ жүйесі $K = K'$ бетпе-бет түседі дейміз.

K' санақ жүйесі тыныш тұрған санақ жүйесіне (K) қатысты түзу сызықты бір қалыпты ($\mathcal{V}_0 = const$) қозғалыс жасасын (5.1-сурет).



5.1-сурет

K және K' санақ жүйелерінде қозғалыстағы материялық нүктенің координаталары арасындағы байланыс төмендегі көріністе болады:

$$\left. \begin{aligned} t = t', x = x' + x_0, y = y', z = z' \\ x_0 = v_0 t = v_0 t' \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

(5.1) теңдеуге *Галилейдің координаталар түрлендірулері* қысқаша *Галилей түрлендірулері* деп аталады.

Материялық нүктенің K және K' санақ жүйелерінде жылдамдықтары арасындағы байланысты табу үшін (5.1) теңдеуден уақыт бойынша бірінші тәртіпті туынды аламыз. Бұл болса бір инерциялық санақ системасынан басқасына өтуге салыстырғанда симметрияны өрнектеп, барлық инерциал санақ системаларын тең құқылы екендігін білдіреді:

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{dx'}{dt} + \frac{dx_0}{dt} & v_x &= v'_x + v_0 \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{dy'}{dt} & v_y &= v'_y \\ \frac{dz}{dt} &= \frac{dz'}{dt} & v_z &= v'_z \end{aligned} \quad (5.2)$$

(5.2) ге *Галилейдің жылдамдықтар түрлендірулері* деп аталады. Бұл теңдікті мүшеме-мүше қоссақ

$$v = v' + v_0 \quad (5.2,a)$$

пайда болады.

Бұл жылдамдықтардың қосу заңы болып есептеледі.

(5.2) ні уақыт бойынша дифференциалдасақ, материялық нүктенің K және K' санақ жүйелеріндегі үдеулері арасындағы байланысты табамыз.

$$\begin{aligned} a_x &= a'_x \\ a_y &= a'_y \\ a_z &= a'_z \end{aligned} \quad (5.3)$$

(5.2) және (5.2a) теңдеулерді вектор көрінісінде жазамыз:

$$\vec{g} = \vec{g}' + \vec{g}_0 \quad (5.4)$$

$$\vec{a} = \vec{a}' \quad (5.5)$$

g - K жүйеге қатысты қаралып жатқан материялық нүкте жылдамдығы - **абсолют жылдамдық**, g' - K' жүйеге қатысты жылдамдық - **салыстырмалы жылдамдық** және g_0 - K' жүйенің K жүйеге қатысты жылдамдығы - **орын ауыстыру жылдамдығы** болып:

1) қозғалыс жасап жатқан материялық нүктенің абсолют жылдамдығы (g), салыстырмалы g' және орын ауыстыру g_0 жылдамдықтарының векторлық жиындысына тең;

2) материялық нүктенің K жүйеге қатысты үдеуі салыстырмалы үдеуге тең.

Қорытынды жасайтын болсақ, **инерциялық санақ жүйелері бір-біріне қатысты түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс жасаса, бұл санақ жүйелерінде материялық нүктенің үдеуі бірдей болады.**

(5.3) немесе (5.5) теңдікке негізделіп механиканың салыстырмалылық принципіне былайша анықтама беруге болады: **инерциялық санақ жүйесі ішінде өткізілген механикалық тәжірибелер жәрдемінде ол тыныш немесе түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс жасап жатқандығын анықтау мүмкін емес немесе механика заңдары барлық санақ жүйелері үшін орынды болып есептеледі.**

1905 жылы Эйнштейн жарық жәрдемінде өткізген тәжірибелері негізінде механиканың салыстырмалылық принципін талқылау арқылы төмендегідей қорытындыға келеді: **салыстырмалылық принципі бұл**

табиғаттың ең фундаментал заңдарынан бірі болып, оны тек механикалық құбылыстарға ғана емес, бәлкім жылулық, электромагниттік, оптикалық және басқа құбылыстарға да қолдау мүмкін.

Барлық инерциялық санақ жүйелерінде физика заңдары бірдей болуы *инварианттық принципі* деп аталады.

Демек, бір инерциялық санақ жүйесіне өткенде барлық физика заңдары қозғалыстың жылдамдығы жарық жылдамдығынан өте кіші болғанда инвариант болады.

ЭЙНШТЕЙН ПОСТУЛАТТАРЫ. ЛОРЕНЦ ТҮРЛЕНДІРУЛЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: тұрақты жылдамдық, жарық көзі, инерциалық санақ жүйесі, Ньютон механикасы, Галилей түрлендірулері, арнаулы салыстырмалылық теориясы, салыстырмалылық принципі, жарық жылдамдығының инварианттық принципі, Лоренц түрлендірулері, Эйнштейн постулаттары, кеңістік және уақыт түсініктері.

Көп жылдық тәжірибе және күзетулерге сүйеніп ғалымдар төмендегі қорытындыға келген: *жарықтың болмыстағы жылдамдығы тұрақты болып, жарық көзінің және жарық қабылдаушының қозғалысына байланысты емес.*

Жарық жылдамдығының тұрақтылық заңы Галилей түрлендірулеріне сай келмейді. Екі инерциялық санақ жүйесі (K және K') x осі бойынша v жылдамдықпен бір-біріне қатысты қозғалып жатқан болсын (5.1-сурет).

K' санақ жүйесінде жарық жылдамдығы c ға тең болса, онда Галилей түрлендірулеріне негізделіп K санақ жүйесінде оның жылдамдығы $(c+v)$ тең болады.

Ньютон механикасында кеңістік және уақыт абсолют деп қаралғандығы себепті денелер жылдамдығының жарық жылдамдығынан үлкен болмауын түсіндіру мүмкін емес.

Сол үшін Ньютонның кеңістік және уақытты абсолют деген түсініктерінен ұзақтасуға тура келеді.

Жарық жылдамдығының тұрақтылық фактіне негізделіп, Эйнштейн 1905 жылда кеңістік және уақыт туралы елестерін қайтадан көріп шықты.

Кеңістік және уақыт туралы жаңа тәлімді Эйнштейн *арнаулы салыстырмалылық теориясы* негізінде екі принцип жатады деп тұжырымдады:

1) Салыстырмалылық принципі: барлық инерциялық санақ жүйелері тең құқылы, бұл жүйелерде табиғат құбылыстары бірдей өтеді және заңдар бірдей өрнектеледі.

2) Жарық жылдамдығының инварианттық принципі: барлық инерциялық санақ жүйелерінде жарық жылдамдығы вакуумда ең үлкен болып, ол тұрақты және $c = 3 \cdot 10^8 \frac{м}{с}$ ге тең.

Осы екі постулаттан бір инерциялық санақ жүйесінен басқа инерциялық санақ жүйесіне өтілгенде уақыт және координата түрлендірулерін анықтаймыз.

5.1- суретте K және K' санақ жүйелерінде X осі бойынша бір – біріне қатысты v жылдамдықпен қозғалыс жасасын және $t = t' = 0$ болғанда, $x = x' = 0$ болсын.

Ойымызша, шын тура координата түрлендірулері Галилей түрлендірулерінен γ көбейтіндіге айырмашылық етсін:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - \vartheta \cdot t) \\x &= \gamma(x' - \vartheta' \cdot t')\end{aligned}\tag{5.6}$$

$\vartheta' = -\vartheta$ екендігін есепке алсақ, (6) төмендегі көріністе болады:

$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - \vartheta \cdot t) \\x &= \gamma(x' + \vartheta' \cdot t')\end{aligned}\tag{5.7}$$

Екі санақ жүйесінің координата бастары бетпе-бет түскен уақыттан басталып жарық сигналы фронтының таралуын күзетеміз.

Жарық сигналы фронтының уақыт және координаталарын екі жүйеде t_0, x_0, t'_0, x'_0 деп белгілейміз.

Эйнштейннің екінші постулатына негізделіп,

$$x_0 = ct_c$$

$$x'_0 = ct'_c \quad (5.8)$$

(5.7) ні (5.8) ге қойсақ, ол төмендегі көріністе болады:

$$\begin{aligned} ct'_c &= \gamma(c - \vartheta)t_c \\ ct_c &= \gamma(c + \vartheta)t_c \end{aligned} \quad (5.9)$$

(5.9) теңдеулердің бірінен t'_c тауып, екіншісіне қойсақ және t_c –ге қысқартып γ ның мәнін табамыз:

$$\gamma = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.10)$$

(5.10) ды (5.6) теңдеуге қойсақ, x және x' координата түрлендірулері заңын табамыз:

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ x &= \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \end{aligned} \quad (5.11)$$

Енді уақыттың түрлендіру заңын табу үшін (5.11) теңдеулерде x' координатаны жоғалту қажет. Бұл үшін екінші теңдіктегі x' орнына бірінші теңдіктегі мәнін қоямыз, онда t' тың t және x – ге байланысты теңдеуі пайда болады:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma(x' + \vartheta t') = \gamma[\gamma(x - \vartheta t) + \vartheta t'] \quad (5.12)$$

Бұдан

$$t' = \frac{x}{\gamma v} - \frac{\gamma x}{v} + \gamma t = \gamma t - \frac{x}{v} \left(\gamma - \frac{1}{\gamma} \right) \quad (5.13)$$

Элементар математикалық амалдардан кейін (5.13) тың көрінісі төмендегідей болады:

$$t' = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right) = \frac{t - \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.14)$$

Осы теңдікке ұқсас, яғни t ны t' және x' байланыстылық теңдеуін (5.11)ден табу мүмкін:

$$t' = \gamma(t' + \frac{v}{c^2} x') = \frac{t' + \frac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.15)$$

Y және Z осьтері бойынша орын ауыстыру болмағандығы үшін $y = y', z = z'$ тең (5.11), (5.14) және (5.15) теңдеулерді Лоренц тапқандығы себепті *Лоренц түрлендірулері* деп аталады.

Бұл түрлендірулер универсал сипаттамаға ие, өйткені ол тек кеңістік және уақытқа тиісті.

$v \ll c$ болғанда, Лоренц түрлендірулері Галилей түрлендірулеріне айналады.

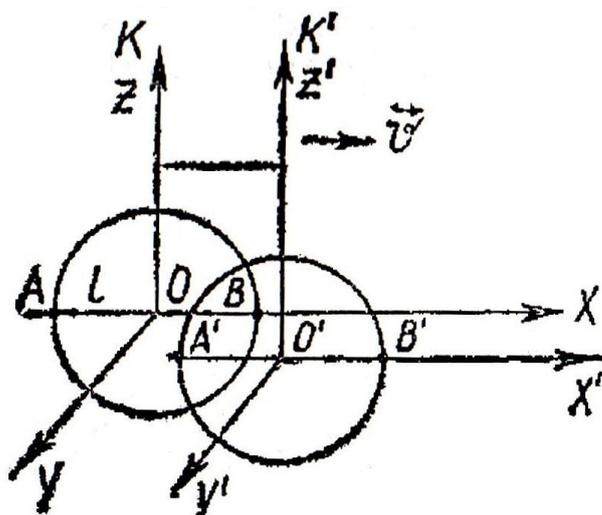
Ньютон заңдарында кеңістік және уақыт абсолют деп қаралады. Лоренц түрлендірулерін келтіріп шығаруда бұл шамалар өзара байланыста екендігіне негізделеді.

БІР УАҚЫТТЫЛЫҚТЫҢ, УАҚЫТ АРАЛЫҒЫНЫҢ ЖӘНЕ КЕСІНДІНІҢ САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҒЫ. ИНТЕРВАЛ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: бір уақыттылықтың салыстырмалылығы, уақыт аралығының салыстырмалылығы, уақыттың баяулау эффекті, кесіндінің салыстырмалылығы, интервал түсінігі.

Бір уақыттылықтың салыстырмалылығы. Ньютон механикасында уақиғалар барлық инерциялық санақ жүйелерінде бір уақытта болады деп есептелінетін еді. Арнаулы салыстырмалылық теориясының постулаттарынан төмендегі қорытынды келіп шығады. Бір санақ жүйесінде екі уақиға (бір-біріне жақын нүктелерде) бір уақытта болып өтсе, бірақ басқа санақ жүйелерінде бір уақытта болмайды. Төмендегі бір тәжірибені көріп шығайық. Бір - біріне қатысты X осі бойынша v жылдамдықпен қозғалыс жасаған екі K және K' инерциялық санақ жүйесін (5.2- сурет) көріп шығайық:

Олардың центрінде O және O' нүктелері бетпе-бет түскен уақыттан бастап екі санақ жүйесінде уақытты (t және t') есептейміз. ($t = t' = 0$) болғанда координата бастарында жарық шағылған болсын. Мұнда жарық сигналы барлық жерге тарала бастайды. X осінде екі A және B нүктелерін белгілейміз, бұл нүктелер координата басынан сол және оң жағында бірдей l қашықтықта орналасқан.



5.2- сурет

X' осінде да координата басы O' дан бірдей қашықтықта A' және B' нүктелерді белгілейміз. Жарық сигналы қандай уақыт аралығында және қандай тізбектілікте A, B және A', B' нүктелеріне жетіп барады.

K санақ жүйесінде жарық сигналы A және B нүктелерге бірдей уақытта жетіп барады:

$$t = \frac{l}{c}$$

бұл жерде c - жарық жылдамдығы. K' санақ жүйесінде уақиғаның тізбектілігін көрейік. A' нүкте жарық сигналы жаққа қарап қозғалады. Сол үшін ол алдын жарықтандырылады, B' нүкте жарық сигналынан ұзақтасады, сол үшін ол кейін жарықтандырылады. Егер K' санақ жүйесі оған қатысты солға v жылдамдықпен қозғалыс жасаса, кері нәтиже келіп шығатын еді. Инерциялық санақ жүйелерінен бірін абсолют деп қарау мүмкін емес, сол үшін абсолют, яғни қозғалмайтын деп есептей алмаймыз.

Мысалы: қозғалыстағы K' санақ жүйесінде x'_1 және x'_2 ($x'_1 \neq x'_2$) нүктелерінде (t' уақытта) екі уақиға болсын (мысалы, жарық шағылсын) (5.3- сурет).

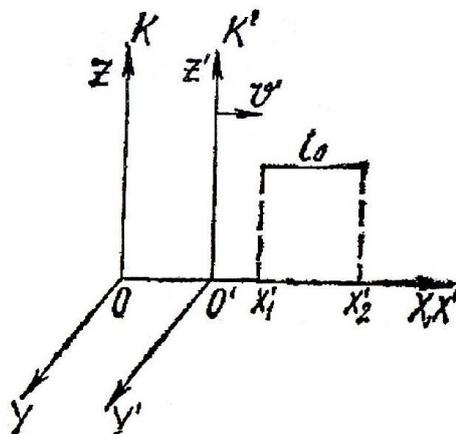
Тыныш тұрған K санақ жүйесінде бұл уақиғалар әртүрлі уақытта болады (t_1 және t_2). (5.15) формулаға негізделіп төмендегіні жазамыз:

$$t_1 = \frac{t' + \frac{x'_1 v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$t_2 = \frac{t' + \frac{x'_2 v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t' + \frac{x'_2 v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t' + \frac{x'_1 v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{v}{c^2} (x'_2 - x'_1) = \frac{v}{c^2} \Delta x' \quad (5.16)$$

Бұл өрнек нольден айрықша, өйткені $\Delta x' = x'_2 - x'_1 \neq 0$



5.3-сурет

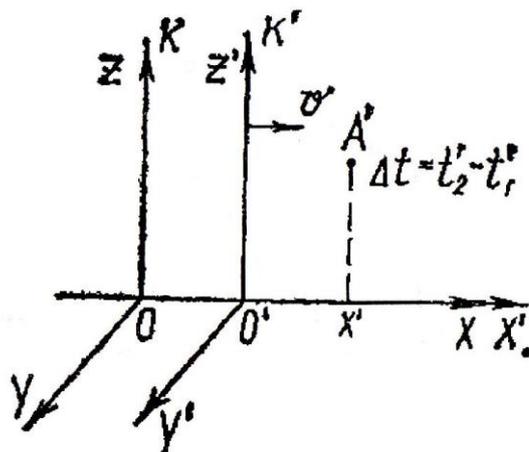
Демек, барлық инерциялық санақ жүйелері тең құқылы, бірақ оларда уақиғалардың бір уақыттылығы және тізбектілігі әртүрлі болады. Бір санақ жүйесінен басқасына өткенде уақыт өзгеруін есепке алу қажет.

Демек, бір уақыттылық түсінігі салыстырмалы мағынаға ие және әртүрлі инерциялық санақ жүйелерінде уақыт өтуімен әртүрлі болады.

Сонымен, *арнаулы салыстырмалылық теориясынан төмендегі келіп шығады: бір санақ жүйесінде екі уақиға бір уақытта болса, басқа*

санақ жүйесінде уақиғалар күзетілгенде әртүрлі уақытта болып өтеді.

Уақыт аралығының салыстырмалылығы. 5.4-суретте көрсетілген K' инерциялық санақ жүйесі K санақ жүйесіне қатысты v жылдамдықпен қозғалыс жасасын және K' жүйеде бізді қызықтырған дене A' нүктеде тұрсын. Сол нүктеде t'_1 кезде белгілі бір уақиға болсын. t'_2 кезде басқа уақиға болсын, бұл уақиғалар арасындағы уақыт аралығы $\Delta t' = t'_2 - t'_1$ уақыт аралығы K' санақ жүйесінде өлшенген.



5.4-сурет

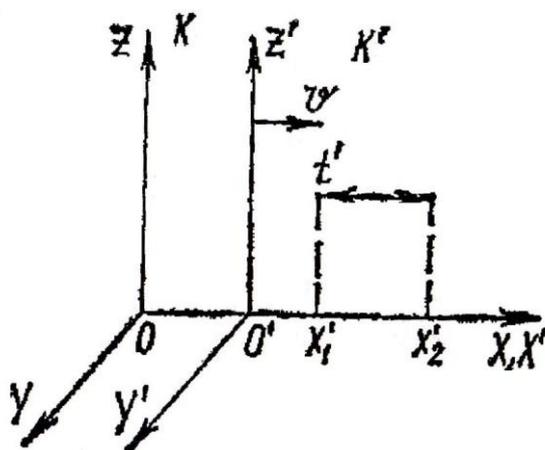
Енді осы уақиғалар болуында кеткен уақыт аралығын K санақ жүйесінде табайық, уақиғалар бір A' нүктеде болғандығы үшін $x'_1 = x'_2 = x'_0$ (5.15) формуладан пайдаланып, уақыт аралығы үшін төмендегі өрнек пайда болады:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{t'_2 + \frac{x'_0 v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{t'_1 + \frac{x'_0 v}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{t'_2 - t'_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.17)$$

(5.17) ден көрініп тұрғандай, **K жүйеде құбылыстың пайда болу уақытынан K' жүйеде құбылыстың пайда болу уақыты кіші екен, бұл уақыттың баяулау эффекті (кешігу эффекті) деп аталады.**

Сонымен, әртүрлі инерциялық санақ жүйелерінде тізбектей болатын уақиғалар арасындағы уақыт өзгереді екен. Демек, уақыт аралығы салыстырмалы.

Кесіндінің салыстырмалылығы. Ойлап көрейік, қозғалыстағы K' санақ жүйесінде X осіне параллель бірер l_0 ұзындықтағы стержень кесіндіні $l_0 = x'_2 - x'_1$ орналастырайық (5.5- сурет).



5.5- сурет

Бұл жерде x'_1 және x'_2 , K' санақ жүйесінде бір уақыттың өзінде (t') стержень басы және соңының координаталары оның ұзындығын K санақ жүйесінде өлшейік. K санақ жүйесіндегі бақылаушы үшін стержень K' жүйе мен бірге v жылдамдық пен қозғалады. K санақ жүйесінде бір уақыттың (t) өзінде кесінді координаталары x_1 және x_2 болса, оның ұзындығы $l = x_2 - x_1$ ге тең болады.

Лоренц түрлендірулерінен пайдаланып, төмендегі өрнекті жазамыз:

$$l_0 = x'_2 - x'_1 = \frac{x_2 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{x_1 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{x_2 - x_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{l}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.18)$$

Бұдан
$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (5.19)$$

Демек, K санақ жүйесінде тұрған бақылаушы K' санақ жүйесі мен бірге қозғалыстағы стержень (кесінді)нің ұзындығы $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ рет қысқаруын көреді.

Сонымен, бір - біріне қатысты қозғалыстағы әртүрлі инерциялық санақ жүйелерінде стерженнің ұзындығы өзгереді екен, яғни стерженнің ұзындығы салыстырмалы.

Арнаулы салыстырмалылық теориясында интервал түсінігі. Бұл екі нүкте арасындағы интервал (яғни қашықтық) түсінігі және екі уақиға арасындағы интервал (яғни уақыт аралығы) түсініктерін қосады.

Көз алдымызға келтірейік, K инерциялық санақ жүйесінде кеңістіктің бірер нүктесінде уақиға болып өтсін. Бұл нүктенің координаталары x, y, z деп белгілейік, t_1 уақытта басқа нүктеде екінші уақиға болсын, бұл нүктенің координаталары x_1, y_1, z_1 болсын. Ол кезде екі уақиға арасындағы s интервал

$$s = \sqrt{c^2(t_1 - t)^2 - (x_1 - x)^2 - (y_1 - y)^2 - (z_1 - z)^2} \quad \text{болады.}$$

Лоренц түрлендірулеріне қатысты интервалдың инвариантылығын төмендегі есептеулермен тексеру мүмкін. Қозғалыстағы инерциялық санақ жүйесінде (K') интервал s' ке тең:

$$s' = \sqrt{c^2(t'_1 - t')^2 - (x'_1 - x')^2 - (y'_1 - y')^2 - (z'_1 - z')^2} \quad (5.19a)$$

$$(x'_1 - x'_2)^2 = \frac{(x_1 - x)^2 + v^2(t_1 - t)^2 - 2v \cdot (x_1 - x)(t_1 - t)}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (5.19б)$$

$$c^2(t'_1 - t'_2)^2 = \frac{c^2(t_1 - t)^2 - 2g(x_1 - x)(t_1 - t) + \frac{g^2}{c^2}(x_1 - x)^2}{1 - \frac{g^2}{c^2}} \quad (5.19в)$$

$$(y'_1 - y')^2 = (y_1 - y)^2 \quad (5.19г)$$

$$(z'_1 - z')^2 = (z_1 - z)^2 \quad (5.19д)$$

Бұл (б, в, г, д) лерді (а) формулаға қойсақ және элементар есептеулерді орындасақ, $s' = s$ келіп шығады.

Сонымен, екі физикалық уақиға s интервал мен ажыратылған, ол абсолют сипаттамаға ие және барлық инерциялық санақ жүйелерінде орынды. Демек, ***интервал инвариант шама.***

ЖЫЛДАМДЫҚТАРДЫ ҚОСУДЫҢ РЕЛЯТИВИСТІК ЗАҢЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: координата және уақыттың түрлендірулері, абсолют жылдамдық, салымтырмалы жылдамдық, орын ауыстырулы жылдамдық, релятивистік заң, Ньютон механикасындағы жылдамдықтарды қосу.

5.1-суретте көрсетілген K' санақ жүйесінде материялық А нүктеде тұрған дене x' осі бойынша тұрақты \mathcal{G}' жылдамдық пен қозғалсын:

$$\mathcal{G}' = \frac{x'}{t'} \quad (5.20)$$

K' санақ жүйесі да x' осі бағытында K санақ жүйесіне қатысты \mathcal{G}_0 жылдамдық пен қозғалыста болсын.

Денені K санақ жүйесіне қатысты ол жылдамдықты табайық, яғни

$$u = \frac{x}{t} \quad (5.21)$$

Есептеулерді қарапайымдастыру үшін ($t = t' = 0$) уақытта ($x = x' = 0$) болсын және дене координаталар центрінде O нүктеде орналасқан болсын. Бұл жағдай үшін Лоренцтің координата және уақыт түрлендірулерін жазайық:

$$\begin{aligned} x &= \frac{x' + \mathcal{G}' \cdot t'}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}'^2}{c^2}}} \\ t &= \frac{t' + \frac{\mathcal{G}'}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}'^2}{c^2}}} \end{aligned} \quad (5.22)$$

(5.22) ні (5.21) ге қойып, төмендегі өрнекті аламыз:

$$u = \frac{\frac{x' + \mathcal{G}' t'}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}'^2}{c^2}}}}{\frac{t' + \frac{\mathcal{G}'}{c^2} x'}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}'^2}{c^2}}}} \quad (5.23)$$

(5.23) тің алым және бөлімін t' ге бөлеміз:

$$u = \frac{\frac{x'}{t'} + g}{1 + \frac{g}{c^2} \cdot \frac{x'}{t'}} \quad (5.24)$$

(5.24) формулада $\frac{x'}{t'}$ (5.20) формуланы есепке алып (5.24) ті төмендегідей жазамыз:

$$u = \frac{g' + g}{1 + \frac{g'g}{c^2}} \quad (5.25)$$

(5.25) формула *жылдамдықтарды қосудың (түрлендірудің) релятивистік заңын* сипаттайды. Мұнда абсолют жылдамдық, салыстырмалы және орын ауыстыру жылдамдықтардың жиындысына тең болмайды екен, яғни Ньютон механикасындағы жылдамдықтарды қосу заңына ұқсамайды.

Егер материялық нүктенің жылдамдығы және санақ жүйесін бір-біріне қатысты жылдамдық жарық жылдамдығынан өте кіші, яғни $u \ll c$, $g \ll c$ болса, онда $\frac{g'g}{c^2} \ll 1$ болады және (5.25) тең Ньютон механикасындағы жылдамдықтарды қосу заңы келіп шығады:

$$u = g' + g \quad (5.26)$$

(5.25) формуладан көрініп тұрғандай, дененің абсолют жылдамдығы жарық жылдамдығынан үлкен болмайды. Мысалы, материялық нүктенің жылдамдығы $g' = c$ тең болсын, онда

$$u = \frac{g' + g_0}{1 + \frac{g'g_0}{c^2}} = \frac{c + g_0}{1 + \frac{cg_0}{c^2}} = c \frac{c + g_0}{c + g_0} = c \quad (5.27)$$

тең болады.

Сонымен, релятивистік механика заңдары денелердің кіші жылдамдықтарында $g_0 \ll c$ классикалық механика заңдарына айналады.

АРНАУЛЫ САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНДА МАССА, ИМПУЛЬС ЖӘНЕ ЭНЕРГИЯ, ОЛАР АРАСЫНДАҒЫ БАЙЛАНЫС

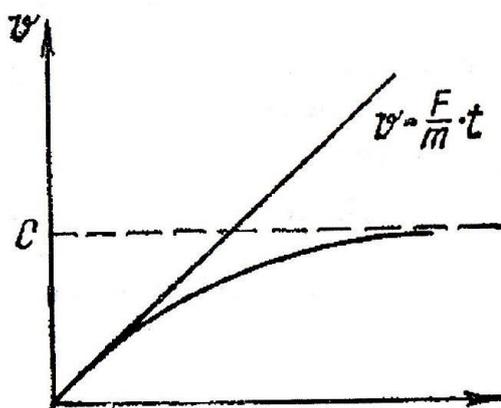
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: масса, импульс және энергия, олар арасындағы байланыс, релятивистік масса, тыныш күйдегі энергия, масса дефекті, байланыс энергиясы.

Классикалық механикада дененің массасы барлық инерциялық санақ жүйелерінде тұрақты деп есептелінер еді. Шындығында да, осы қорытындыларды тәжірибелер дәлелдейді, егер денелердің қозғалыс жылдамдығы жарық жылдамдығынан өте кіші ($v \ll c$) болса, дене массасының жылдамдыққа байланыстылығын анықтап болмайды.

Мысалы, дене тұрақты F күш әсерінде қозғалсын, $t_1 = 0$ уақытта $v = 0$ болғанда динамиканың екінші заңы төмендегі көріністе болады:

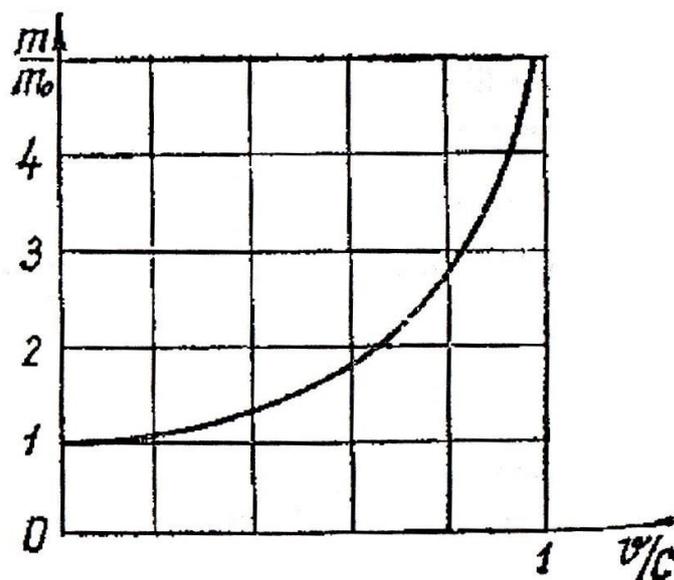
$$\vec{F} = m \frac{dv}{dt} \quad \text{немесе} \quad \vec{v} = \frac{\vec{F}}{m} t = at \quad (5.28)$$

Демек, жылдамдық күштің денеге әсер ету уақытына тура пропорционал екен. Басқаша айтқанда, әсер етіп жатқан тұрақты күштің әсер ету уақыты қанша ұзақ жалғасса, оның қозғалыс жылдамдығы шектелмеген күйде артып барады (5.6-суреттегі түзу сызық).



5.6-сурет

Бұл қорытынды арнаулы салыстырмалылық теориясына тура келмейді, себебі салыстырмалылық теориясында фундаментал қорытындылардың бірі еш қандай дененің қозғалыс жылдамдығы жарық жылдамдығынан үлкен болмайды.



5.7-сурет

Сол үшін динамиканың негізгі заңын сондай өзгертуіміз керек, оның қорытындысы арнаулы салыстырмалылық теориясының қорытынды-ларына сай келуі керек. Бұл мәселені шешу үшін Эйнштейн дененің массасы бір-біріне қатынасты қозғалыстағы санақ жүйелерінде бірдей емес деп есептейді. Дене массасының бірер инерциялық санақ жүйесіне қатынасты қозғалыс жылдамдығына байланысты төмендегідей бейнеленеді (5.7-сурет).

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.29)$$

бұл жерде m_0 -тыныш тұрған дененің массасы, m -дененің санақ жүйесіне қатысты v жылдамдық пен қозғалыстағы массасы. Бұл масса *релятивистік масса* деп аталады.

Релятивистік механикада дененің импульсі төмендегі көрініске ие:

$$p = m v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5.30)$$

мұнда m - релятивистік масса. Егер дененің қозғалыс жылдамдығы $v \ll c$ болса, $m = m_0 - const$ болады.

Онда $p = m_0 v$, яғни Ньютон механикасындағы импульс өрнегі келіп шығады.

Қозғалыстағы дене массасының арту себептерін талқылап шығайық. Дене $v \ll c$ жылдамдық пен қозғалыс жасап жатқанда (5.29) формуланы Ньютон биномына негізделіп төмендегідей жаза аламыз:

$$m = m_0 \left[1 - \frac{v^2}{c^2} \right]^{-\frac{1}{2}} = m_0 \left[1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{c^2} + \frac{3}{8} \cdot \frac{v^4}{c^4} + \dots \right] \quad (5.31)$$

(5.31) де мүшелер өте кіші мәнге ие болғандығы үшін есепке алмаймыз, онда (5.31)

$$m = m_0 + \frac{m_0 v^2}{2c^2} = m_0 + \frac{K}{c^2} \quad (5.32)$$

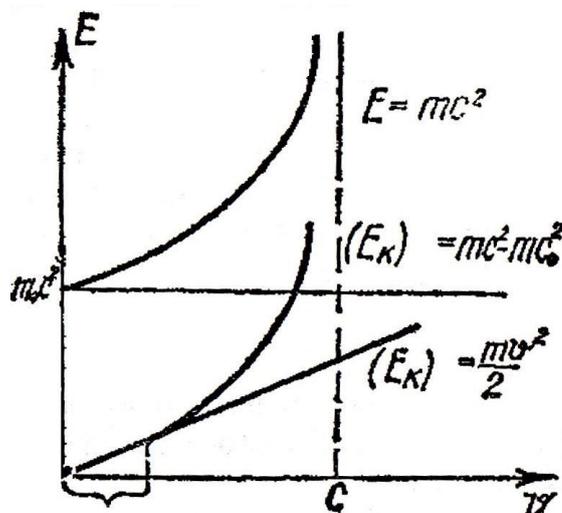
көріністі алады. (5.32) ні төмендегідей жазамыз:

$$mc^2 = m_0 c^2 + K = E_0 + K = E \quad (5.33)$$

немесе

$$E = mc^2 \quad (5.34)$$

Бұл энергиялар графикті түрде 5.8 - суретте көрсетілген.



5.8-сурет

(5.34) теңдік масса және энергияның өзара байланыстылық заңын бейнелейді:

$$E_0 = m_0 c^2 \quad (5.35)$$

Бұл теңдік энергия өрнегі, ол дененің *тыныш күйдегі энергиясы* деп аталады. Классикалық механика $v=0$ шаманы есепке алмайтын еді, себебі $v=0$ болғанда тыныш күйдегі дененің энергиясы нольге тең деп есептелінер еді.

Сонымен, дене үлкен жылдамдықпен қозғалыс жасағанда оның кинетикалық энергиясы (5.33) формуладан анықталынады:

$$K = E - E_0 = mc^2 - m_0c^2 = \frac{m_0c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0c^2 \quad (5.36)$$

$v \ll c$ болғанда (5.36) формула (5.31) есепке алынғанда классикалық механикадағы формулаға айналады:

$$K = \frac{mv^2}{2} \quad (5.37)$$

Егер дене тыныш күйде болса ($v = 0$), (5.33) теңдікте $K = 0$ болады. $E = E_0$, яғни

$$E = E_0 = m_0c^2 \quad (5.38)$$

Дененің тыныш күйдегі энергиясы (5.38) барлығы себепті денені белгілі бір потенциалдық энергиялы резервуар деп қарау мүмкін. Бұл энергия басқа түр энергияларға немесе сәулелену энергиясына айналуы мүмкін. Егер m_0 массалы дене ΔE энергия шығарған болса, онда дененің тыныш күйдегі массасы Δm мөлшерге азаяды. Мұнда тыныш күйдегі дене энергиясы және массасы ара байланыстылығы төмендегі қатынас арқылы бейнеленеді:

$$E_0 - \Delta E = (m_0 - \Delta m)c^2 = m_0c^2 - \Delta mc^2 \quad (5.39)$$

Бұл жерде

$$\Delta E = \Delta mc^2 \quad (5.40)$$

Δm - **масса дефекті** делінеді. Мысалы, дене жарық сәулесін жұтуы нәтижесінде ΔE энергияға ие болады және оның массасы мәнге артады.

Егер екі оң зарядталған бөлшекті бір-біріне жақындатсақ, онда олардың тыныш күйдегі массаларының жиындысы Δm мәнге артады. Яғни $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$, бұл жерде ΔE - жүйенің потенциалдық энергиясы артуын көрсетеді және ол итерілу күштерін жеңу үшін жұмсалған жұмысқа тең.

Дененің немесе өзара әсердегі бөлшектер жүйесінің тыныш күйдегі энергиясы E_0 осы денені немесе жүйені тыныш күйдегі энергиялары (m_0c^2) жиындысына тең емес. Бұндай жүйені бөлектерге ажырату үшін бөлшектер

ортасындағы өзара тұтыну күштеріне қарсы белгілі бір жұмыс орындау қажет. Сол үшін энергияның сақталу заңына негізделіп төмендегіні жазамыз:

$$\sum_{i=1}^n m_{oi}c^2 = E_0 + A \quad (5.41)$$

немесе

$$E_0 = \sum_{i=1}^n m_{oi}c^2 - \Delta E_n \quad (5.42)$$

Бұл жерде $\Delta E_0 = \Delta m_{oi}c^2 = A$ -жүйенің *байланыс энергиясы* деп аталады. Энергия және массаның өзара байланыс заңы ядро физикасында өткізілген тәжірибелерде дәлелденді.

РЕЛЯТИВИСТІК ДИНАМИКАНЫҢ НЕГІЗГІ ЗАҢЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Ньютонның II заңы, релятивистік динамиканың негізгі заңы, күш және жылдамдық бағыты, тұрақты шамалар, жылдамдықтың уақытқа байланыстылық графигі.

Механиканың негізгі заңы, яғни Ньютонның екінші заңы

$$F = m \frac{d\mathcal{G}}{dt} = \frac{d(m\mathcal{G})}{dt} = \frac{dp}{dt} \quad (5.43)$$

Лоренц түрлендірулеріне қатынасты инвариант болуы үшін жоғарыда көріп өтілген релятивистік импульс түсінігінен (5.30) формуладан пайдалануымыз қажет. (5.30)ды (5.43) формулаға қойсақ, төмендегі теңдік келіп шығады:

$$F = \frac{d}{dt} \left[\frac{m_0 \mathcal{G}}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}^2}{c^2}}} \right] \quad (5.44)$$

Бұл формула *релятивистік динамиканың негізгі заңын* өрнектейді. Релятивистік динамика бірер тұрақты күш әсерінде дене жылдамдығының өзгеру заңын табу үшін (5.44) теңдікті төмендегідей өзгертіріп интегралдаймыз, F күш және \mathcal{G} жылдамдық бағыттары параллель:

$$\int d \left(\frac{m_0 \mathcal{G}}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}^2}{c^2}}} \right) = \int F dt \quad (5.45)$$

Бұл жерде F , m_0 , \mathcal{G} және c тұрақты шама. Бұл теңдікті интегралдасақ:

$$\left(\frac{m_0 \mathcal{G}}{\sqrt{1 - \frac{\mathcal{G}^2}{c^2}}} \right) = Ft + const \quad (5.46)$$

пайда болады. Егер $t=0$ де $\mathcal{G}=0$ деп алсақ, онда интегралдау тұрақтысы да нольге тең болады. Онда (5.45) теңдікті \mathcal{G} ға қатынасты шешсек, төмендегі теңдікті табамыз:

$$\mathcal{G} = \left(\frac{\frac{F}{m_0} t}{\sqrt{1 - \left(\frac{Ft}{m_0 c} \right)^2}} \right) \quad (5.47)$$

Бұл жерде көрініп тұрғандай, релятивистік динамикада жылдамдықтың өзгеру заңы Ньютон динамикасындағы жылдамдықтың өзгеру заңына сай келмейді екен. 6-суретте жылдамдықтың уақытқа байланыстылық графигі көрсетілген. Графикте көрсетілгендей, релятивистік динамикада дененің жылдамдығы жарық жылдамдығынан үлкен болмайды, бұл салыстырмалылық теориясына сай келеді.

АРНАУЛЫ САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНДА САҚТАЛУ ЗАҢДАРЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: сақталу заңдары, релятивистік механика, толық релятивистік энергия, толық релятивистік импульс, дененің соқтығысуынан кейінгі массасы, дененің соқтығысуынан алдыңғы массасы, энергияның сақталу заңы, массаның сақталу заңы.

Релятивистік механикада импульс және энергияның сақталу заңын көріп шығайық, өзара әсерде болмаған n денеден тұратын жабық жүйені

аламыз. Бұл жүйенің толық релятивистік энергиясы және импульсы сол жүйедегі денелердің энергиясы және импульстің жиындысына тең:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_{0i} c^2}{\sqrt{1 - \frac{g_i^2}{c^2}}} = \sum_{i=1}^n \sqrt{p_i^2 c^2 + m_{0i}^2 c^2} = \sum_{i=1}^n (m_0 c^2 + K_i) \quad (5.48)$$

$$p = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_{0i} g_i}{\sqrt{1 - \frac{g_i^2}{c^2}}} \quad (5.49)$$

Жүйені құрайтын денелердің өзара әсері болмағандығы үшін олардың жылдамдығы және релятивистік энергиясы тұрақты. Сол үшін жүйенің толық энергиясы және импульсы тұрақты болады.

Денелердің өзара әсерін соқтығысуға дейін немесе соқтығысудан кейінгі жағдай үшін жазуымыз керек. Жүйе жабық болғаны үшін жүйенің энергиясы және импульсы тұрақты қалады.

$$\sum_{i=1}^n \frac{m_{0i} g^2}{\sqrt{1 - \frac{g_i^2}{c^2}}} = \sum_{i=1}^n \frac{m'_{0i} g^2}{\sqrt{1 - \frac{g_i^2}{c^2}}} \quad (5.50)$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{m_{0i} g^2}{\sqrt{1 - \frac{g_i^2}{c^2}}} = \sum_{i=1}^n \frac{m'_{0i} g^2}{\sqrt{1 - \frac{g_i^2}{c^2}}} \quad (5.51)$$

Бұл жерде m_{0i} -дененің соқтығысуға дейінгі массасы, m'_{0i} -дененің соқтығысудан кейінгі массасы.

Жүйені құрайтын денелердің өзара соқтығысуы нәтижесінде $n \neq n'$ болады.

Энергия және масса $E = mc^2$ қатынас пен байланысты болғандығы үшін энергияның сақталу заңынан (5.50) массаның сақталу заңы келіп шығады.

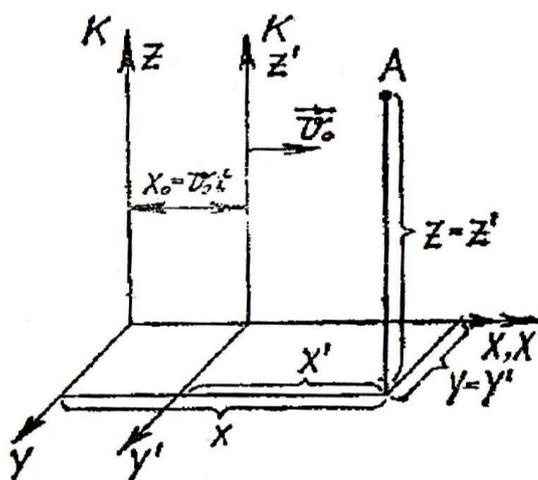
ИНЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС САНАҚ ЖҮЙЕЛЕРІ. ИНЕРЦИЯ КҮШТЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: инерциялық емес санақ жүйесі, инерция күштері, қозғалыстағы санақ жүйелері, инерциялық және инерциялық емес санақ жүйелерінде жылдамдық және үдеу арасындағы байланыс, абсолют үдеу, салыстырмалы үдеу, Ньютон күштерінің жиындысы, динамикалық және статикалық әсер.

Денелердің немесе материялық нүктелердің қозғалыстарын үйренгенімізде біз көбіне, инерциялық санақ жүйелерінен пайдаланған едік. Бірақ көп жағдайларда материялық нүктелердің қозғалысы инерциялық емес санақ жүйелеріне қатысты үйрену қажеттілігі келіп шығады.

Біреу инерциялық санақ жүйесіне қатынасты үдеу мен қозғалыстағы санақ жүйелері *инерциялық емес санақ жүйелері* деп аталады.

Осындай санақ жүйелеріне (5.9-сурет) қатынасты А нүктедегі материялық нүкте қозғалысын көріп шығайық. А нүктенің K' санақ жүйесіне қатысты координаталары x', y', z' , K санақ жүйесіне қатынасты болса x, y, z болсын. K' инерциялық санақ жүйесіне қатынасты тұрақты ($a_0 = const$) үдеумен X осі бойынша қозғалсын.



5.9-сурет

K және K' санақ жүйелеріне қатынасты қозғалыстағы материялық нүктенің координаталары арасындағы байланыс төмендегідей:

$$t = t', \quad x = x' + x_0, \quad y = y', \quad z = z' \quad (5.52)$$

бұл жерде $x_0 = g_0 t$, $g_0 = const$.

Материялық нүктенің инерциялық және инерциялық емес санақ жүйелеріндегі жылдамдық және үдеулері арасындағы байланыстылықты табу үшін (5.52) ні уақыт бойынша дифференциалдасақ,

$$\mathcal{G}_x = \mathcal{G}'_x + \mathcal{G}_0, \quad \mathcal{G}_y = \mathcal{G}'_y, \quad \mathcal{G}_z = \mathcal{G}'_z \quad (5.53)$$

және

$$a_x = a'_x + a_0, \quad a_y = a'_y, \quad a_z = a'_z \quad (5.54)$$

пайда болады. Бұл теңдікті мүшеме – мүше қоссақ,

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}' + \mathcal{G}_0$$

және

$$a = a' + a_0$$

болады. Бұл жерде

$$a_0 = \frac{d\mathcal{G}_0}{dt} \quad (5.55)$$

Инерциялық және инерциялық емес санақ жүйелерінде материялық нүктенің қозғалыс жылдамдығы және үдеуі әртүрлі болады. (5.53) және (5.54) ді вектор көрінісінде жазамыз.

$$\vec{\mathcal{G}} = \vec{\mathcal{G}}' + \vec{\mathcal{G}}_0 \quad (5.56)$$

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_0 \quad (5.57)$$

Демек, абсолют жылдамдық салыстырмалы және орын ауыстыру жылдамдықтарының жиындысына тең.

Абсолют үдеу салыстырмалы және орын ауыстыру үдеулерінің жиындысына тең. Қозғалыстағы K' санақ жүйесіне қатысты m массалы нүктенің қозғалыс теңдеуін жазайық. Тыныш тұрған санақ жүйесіне қатынасты динамиканың екінші заңын төмендегідей жазамыз:

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad (5.58)$$

(5.57) ге (5.58)ді қойсақ, төмендегі теңдік пайда болады:

$$\vec{F} = m\vec{a}' + m\vec{a}_0 \quad (5.59)$$

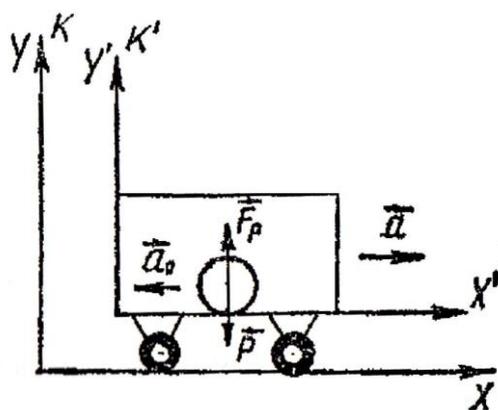
бұдан

$$m\vec{a}' = \vec{F} - m\vec{a}_0 \quad (5.60)$$

мұнда $\vec{F} = m\vec{a}_0$ - санақ жүйелері бір-біріне қатынасты үдемелі қозғалыста болғандығы үшін пайда болатын күш, ол **инерция күштері** деп аталады.

Демек, инерциялық емес санақ жүйелерінде денелерге Ньютон күштерінен басқа күштер, яғни инерция күштері да әсер етеді. Инерция күштерінің Ньютон күштеріндей денелерге динамикалық және статикалық әсері бар. Денелерге инерция күштерінің әсері барлығын қарапайым бір мысалда көрейік.

Мысалы, (5.10-сурет) вагон ішіне болат шар орналастырайық, мұнда Ньютон күштерінің жиындысы (ауырлық күші және вагон еденінің реакция күші) нольге тең. Вагон жерге қатынасты a үдеумен қозғалса, болат шар қозғалыс бағытына кері жаққа үдеу мен домалайды.



5.10-сурет

$$\vec{a} = -\vec{a}_0 \quad (5.61)$$

Бұл теңдіктің екі жағын шардың массасына көбейтіп, инерция күшінің шамасын табамыз:

$$\vec{F}_m = -m\vec{a}_0 \quad (5.62)$$

Сонымен, **санақ жүйелері үдемелі қозғалыста болса, бұл жүйедегі барлық денелерге инерция күші әсер етеді.** Инерция күші жүйенің қозғалысына кері, яғни жүйе үдеуіне қарама - қарсы бағытталған болады.

Егер санақ жүйесі тұрақты үдеумен қозғалса, мұнда инерция күштері да тұрақты болады. Санақ жүйесі айнымалы болады. Инерция күші формуласынан көрініп тұрыпты, денеге әсер етіп жатқан инерция күші осы дененің массасына тура пропорционал. Бұл инерция және ауырлық күштерінің ұқсастығын (эквиваленттілігін) көрсетеді.

ДЕНЕ АУЫРЛЫҒЫ. САЛМАҚСЫЗДЫҚ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: дененің ауырлығы, Ньютонның тартылыс заңы, реакция күші, салмақсыздық, инерция және тартылыс күштерінің жиындысы, еркін түсу үдеуі.

Механикадағы серпімділік үйкеліс және басқа күштерді өлшеуде динамометрден пайдаланамыз. Денелердің ауырлығын өлшеуде де осы аспаптан пайдаланамыз. Дененің ауырлығы дегенде нені түсінеміз?

Денелердің жерге тартылысы нәтижесінде дененің тағанға немесе аспаға әсер күші (P) **дененің ауырлығы** деп аталады.

Демек, дененің ауырлығы денеге әсер етіп жатқан күш саналады. Мысалы, m массалы дене жерге тартылуы нәтижесінде Ньютонның тартылу заңына негізделіп,

$$F = \gamma \frac{mm_1}{r^2} = mg$$

күш әсерінде болады. Дененің ауырлығы нәтижесінде пайда болатын күш (P) ның бағыты F күштің бағыты мен барлық уақытта бірдей түспейді.

Егер бірер тағанда (ауданы S болған ағаш үстінде) тұрған дене бірге белгілі бір a үдеумен қозғалса және оның бағыты ауырлық күші мен дәл түссе, онда денеге динамиканың екінші заңына негізделіп, төмендегідей күш әсер етеді:

$$m\bar{a} = \bar{F}_r + m\bar{g} \quad (5.63)$$

мұнда төмендегі өрнек пайда болады:

$$\bar{F}_r = m(\bar{a} - \bar{g}) \quad (5.64)$$

бұл жерде F_r – тағанның реакция күші. Осындай жағдайларда ғана грацитациялық және энергия күштерінің эквиваленттік принципі орындалады да бұл принцип табиғаттың өзіне тән болған симметрия қасиетін бейнелейді.

Дененің ауырлығы және тағанның реакция күші сан мәні жағынан тең және қарама-қарсы бағытта ($P = -F_r$) болғандығы үшін:

$$\bar{P} = m(\bar{g} - \bar{a}) \quad (5.65)$$

Сонымен, егер $a = 0$ болса, $P = mg$ болады. Егер дене және таған бірге нольден өзгеше үдеумен қозғалыс жасаса, $P \neq mg$ болады. Үдеу a ның бағыты және шамасына қарап дененің ауырлығы mg шамасынан үлкен немесе кіші болуы мүмкін.

Егер $a = g$ болса, $P = 0$ болады, яғни аспаға әсер күші нольге тең, дене ауырлығын жоғалтады. Дененің бұл күйі *салмақсыздық* деп аталады.

Жоғарыда айтылғандарды үдемелі қозғалыс жасап жатқан лифтке дененің ауырлығының өзгеруі мысалында көріп шығамыз (5.11-сурет). Лифт белгілі бір a үдеумен қозғалыс жасасын. Денеге әсер етіп жатқан күштер: P - тартылыс күші, денені тұтып тұратын тағанға қойылған, P күш және F_r денеге таған жақтан әсер етіп жатқан реакция күші ($P = -F_r$).



5.11-сурет

Міне осы жүйе a үдеумен төменге қарай қозғалыс жасаса, механика заңдарына орай:

$$\bar{P} = \bar{Q} - m\bar{a} \quad (5.66)$$

немесе

$$\bar{P} = m(\bar{g} - \bar{a}) \quad (5.66a)$$

Сонымен, дененің тағанға қысым күші (ауырлық) инерция және тартылыс күштері жиындысы мен белгіленеді.

Егер лифт $a = g$ үдеумен төменге қарай қозғалыс жасай алса, лифтің ішіндегі дене ауырлығын жоғалтады, яғни салмақсыздық күйінде болады.

ИНЕРЦИЯ ЖӘНЕ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ КҮШТЕРІНІҢ ЭКВИВАЛЕНТТІК ПРИНЦИП. ЖАЛПЫ САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫ ТУРАЛЫ ТҮСІНІК

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: гравитациялық өріс, гравитациялық күш, инерция күштері, эквиваленттік принципі, бір текті өріс, Эйнштейн теңдеулері, релятивистік гравитациялық теория.

Инерция және гравитациялық күштері дененің массасына тура пропорционал. Сол үшін инерция және гравитациялық күштерінің өрісінде барлық денелер (массаларына байланысты болмаған күйде) бірдей үдеумен қозғалады. Бізге тәжірибелерден белгілі, барлық денелер массаларына байланысты болмаған күйде белгілі бір гравитациялық өрісте бірдей үдеу алады. Осындай қасиетке бірер инерциялық емес санақ жүйесіне қатынасты еркін қозғалыс жасап жатқан денеге ие болады. Демек, инерция күштері дәл гравитация күштері сияқты қасиетке ие. Мысал ретінде, қозғалыс жасап жатқан лифтте болатын құбылыстарды көріп шығайық.

Лифт жерге қатынасты бір қалыпты қозғалыс жасасын. Оның ішіндегі барлық денелер (жолаушы немесе серіппелі аспадағы дене) жердің тартылыс (гравитациялық) өрісі әсерінде болады. Денелер өз күйіне қойылса, олар лифтке қатынасты бірдей үдеумен (g) еркін түседі. Енді лифтті жерден және басқа денелерден соншалықты ұзақтастырамыз, ол гравитациялық өріс әсерінде болмасын. Міне сондай жағдайда лифтті $a = -g$ үдеумен қозғалтырайық.

Лифтте гравитациялық өріс жоқ. Бірақ инерция күштері бар: $ma = mg$. Бұл күштер әсерінде лифттегі денелер g ға тең үдеумен төменге түседі. Лифт ішіндегі пассажир лифт еденіне көрсетіп жатқан қысым күші дәл гравитациялық өрістегі денелерге тартылыс күштері көрсетіп жатқан әсеріндей болады.

Демек, барлық физикалық құбылыстар бір текті гравитациялық өрістегі инерциялық санақ жүйесінде және шамасы, бағыты бойынша тұрақты

үдеумен қозғалыс жасап жатқан инерциялық емес санақ жүйелерінде бірдей өтеді.

Эквиваленттік принципі кеңістіктің кіші салаларында орынды, себебі бұл кеңістіктің кіші салаларында гравитациялық өрісті біртекті деп қарауымыз мүмкін. Кеңістіктің үлкен салаларында гравитациялық өріс бір текті болмайды. Сол үшін бұл кеңістікте инерциялық емес санақ жүйелерін табу мүмкін емес. Демек, бұл жүйеде күштердің шамасы және бағыты ауырлық күші өрісіндегідей болмайды.

Сонымен, инерция және гравитациялық күштерінің эквиваленттік гравитациялық өріс және барлық инерция күштері өрісін қосып, бір бүтін өріс көрінісінде қарауға алып келеді. Бұл мәселе жалпы салыстырмалылық теориясында орындалады. Жалпы салыстырмалылық теориясында (релятивистік гравитациялық теория) гравитациялық өрістің тендеулері келтірілген. Бұл тендеулер *Эйнштейн теңдеулері* деп аталады.

Эйнштейннің гравитациялық теориясының кейбір идеяларын төменде келтіреміз:

Массив денелер айналасында гравитациялық өріс пайда болады. Өріс болса өрістің кернеулік векторы және скаляр шама өріс потенциалымен сипатталады. Өріс кернеулігі өрістің берілген нүктесінде денелердің үдеуімен сай келеді.

Абцисса осі бойынша бағытталған бір текті өрісте потенциалдық $\varphi = gx$ болып, бұл жерде g еркін түсу үдеуі, x ордината осінде таңдалған потенциалдың нолінші деңгейінен өрістің белгілі бір нүктесіне дейін болған қашықтық. Эквиваленттік принципінен төмендегі пікірді айту мүмкін: тартылыс өрісінде кеңістік және уақыттың қасиеттері инерциялық емес санақ жүйелеріндегідей болуы керек.

2. Гравитациялық өрістің потенциалы нольге тең болған нүктеде абцисса осі бойынша Δx_0 ұзындықтағы кесіндіні аламыз. Өрістің бұл нүктесінде уақыт аралығы Δt_0 ға тең. Ол кезде өрістің басқа нүктесінде (потенциалы φ ға тең) кесіндінің ұзындығы $\Delta x \neq \Delta x_0$ және уақыт аралығы да

$\Delta t \neq \Delta t_0$. Эквиваленттік принципіне негізделіп, $g = a$ және $gx = ax = \varphi$. Бұл формуланы (5.17) және (5.18) ге қойсақ,

$$\Delta x = \Delta x_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \sqrt{1 - \frac{2ax}{c^2}} \Delta x_0 = \Delta x_0 \sqrt{1 - \frac{2\varphi}{c^2}}$$

және

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{2\varphi}{c^2}}}$$

өрнектер пайда болады.

Сонымен, гравитациялық өрісте дәл инерциялық санақ жүйесіндегідей уақыт бір текті емес және кеңістікте де изотропты емес және бір текті емес екен.

3. Дене гравитациялық тартылыс өрісінде қозғалыс жасасын (ол жерде уақыт бір текті емес және изотропты емес). Ол түзу сызықты траектория бойынша қозғалмай, қисық сызық бойымен қозғалады. Оның формасы өрістің структурасына байланысты. Қозғалыс жылдамдығы да айнымалы шама болады, себебі кемеңің ұзындығы және уақыт бірлігі гравитациялық өріс потенциалының функциясы саналады. Осы идеяларға негізделіп, Эйнштейн релятивистік гравитациялық теорияны жаратты. Бұл теориядан шекараланған жағдайларда (күшсіз өрістер және өзара әсердегі денелердің жай қозғалыстарында) Ньютонның тартылыс заңы келіп шығады.

Гравитациялық теорияға негізделіп Эйнштейн үш эффектті анықтады:

1. Күн айналасында барлық ғаламшарлар эллипс бойынша қозғалыс жасамай, жабық болмаған қисықтық бойынша қозғалыс жасайды екен. Мұндай әр бір қисықты шамамен эллипс деп қарау мүмкін, оның осі орбита жазықтығында өте жай бұрылады.

2. Гравитациялық өрісте жарық сәулесі иіледі. Жарық сәулесі күшті гравитациялық өрісте иілуін тәжірибелерде өлшеген. Бұл тәжірибеде

өлшенген нәтижелер гравитациялық теориядан пайдаланып, есептелген нәтижеге сай келеді.

3. Уақыт бір текті болмағандығы себепті, әр қандай периодты процесс гравитациялық өрісте өріс болмағандығына қатынасты жай өтеді. Демек, гравитациялық өрісте сағаттардың жүруі баяулайды. Бұл эффект да тәжірибелерде дәлелденген.

VI БӨЛІМ. ҚАТТЫ ДЕНЕ МЕХАНИКАСЫ

ҚАТТЫ ДЕНЕ МАТЕРИАЛЫҚ НҮКТЕЛЕР ЖҮЙЕСІ РЕТІНДЕ

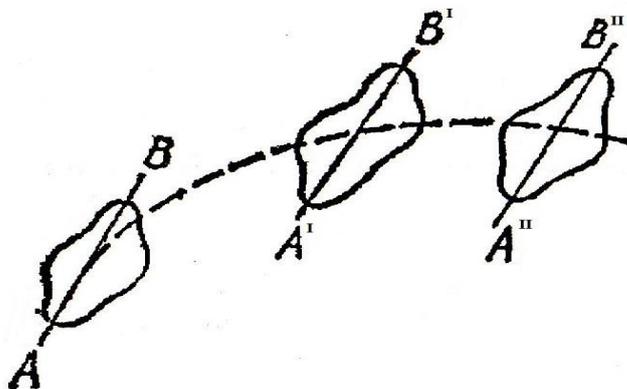
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: деформация, қатты дене, абсолют қатты дене, ішкі күштер, сыртқы күштер, ішкі және сыртқы күштердің тең әсер етушісі, ілгерілемелі қозғалыс, ілгерілемелі қозғалыс теңдеуі, сыртқы күштердің бас векторы.

Кез келген дене оған қойылған күш әсерінде өз пішіні және өлшемділігін аз болсада өзгертеді, басқаша айтқанда деформацияланады. Табиғатта ешқашан деформацияланбайтын дене жоқ. Бірақ, көптеген күйлерде, денелер қозғалғанда олар деформацияланбайды деп айтылады.

Басқаша айтқанда, қатты дененің кез келген екі нүктесі арасындағы қашықтық тұрақты болады. Біз абсолют қатты дене қозғалысын үйренеміз.

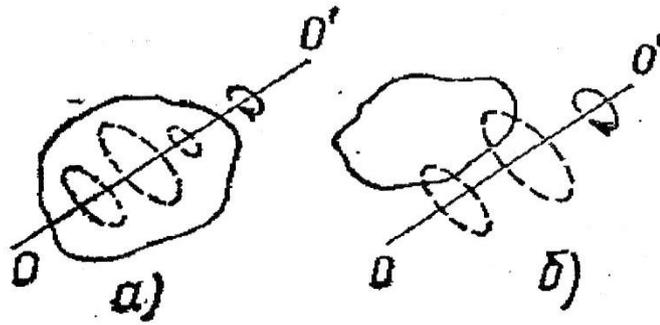
Қатты дененің кез келген қозғалысын екі негізгі қозғалысқа: ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалысқа бөлу мүмкін.

Қатты дененің ілгерілемелі қозғалысында оның екі нүктесін қосатын түзу сызық өз-өзіне параллель түрде орын ауыстырады (6.1-сурет).



6.1-сурет

Қатты дене шеңбер бойымен қозғалғанда оның әр бір нүктесі центрлік шеңберлер сызып, бұл центрлік шеңберлердің центрі айналу өсі деп аталатын OO_1 түзу сызықта жатады (6.2-а,б-сурет).



6.2-сурет

Қатты денені ойымызша n ұсақ бөліктерге бөлу мүмкін. Бірақ, оның әр бір бөлігінің өлшемділігінен біраз кіші болсын. Бұл жағдайда қатты денені n материялық нүкте жүйесінен тұрады деп қарау мүмкін болып, қатты дене массасы m осы материялық нүктелер жиындысына тең болады:

$$m = \sum_{i=1}^n m_i$$

мұнда m_i – i бөліктің массасы. Елестетейік, қатты дененің осы бөлігінің қозғалыс жылдамдығы v болсын. Мұндай материялық нүкте үшін Ньютонның екінші заңының математикалық көрінісі

$$\frac{d}{dt}(m_i v_i) = F_i + f_i$$

болады. Бұл теңдеуде f_i – дененің i -бөлігіне басқа бөліктер жағынан әсер етіп жатқан ***-ішкі күштер***, F_i – болса осы бөлікке әсер еткен ***сыртқы күштердің тең әсер етушісі***. Егер қатты дененің әр бір бөлігі үшін (6.1) теңдеуді жазып, олардың жиынтығын алсақ,

$$\sum_{i=1}^n \frac{d}{dt}(m_i v_i) = \sum_{i=1}^n F_i + \sum_{i=1}^n f_i \quad (6.1)$$

болады. Ньютонның үшінші заңына орай ішкі күштер жиынтығы

$$\sum_{i=1}^n f_i = 0 \quad \text{болғанда}$$

$$\sum_{i=1}^n \frac{d}{dt}(m_i v_i) = \sum_{i=1}^n F_i \quad (6.2)$$

немесе
$$\frac{d}{dt} \sum_{i=1}^n (m_i v_i) = \sum_{i=1}^n F_i = F \quad (6.3)$$

Егер қатты дене тек ілгерілемелі қозғалыс жасаса, оның барлық нүктелерінің үдеуі бірдей болады.

Сол үшін,

$$\frac{d}{dt} \left(\sum_{i=1}^n m_i v_i \right) = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \frac{dv}{dt}$$

көрінісінде жазамыз және $\sum_{i=1}^n m_i = m$ екендігін есепке алсақ (6.2) төмендегі көріністі алады,

$$m \frac{dv}{dt} = F \quad (6.4)$$

(6.4) теңдікті қатты дененің *ілгерілемелі қозғалыс теңдеуі*, $\sum_{i=1}^n F_i = F$ болса денеге әсер етіп жатқан *сыртқы күштер бас векторы немесе сыртқы күштер тең әсер етушісі* деп айтылады.

(6.4) теңдікті материялық нүкте қозғалыс теңдеуімен салыстырсақ төмендегі пікірге келеміз:

Қатты дене ілгерілемелі қозғалысын массасы осы күзетіліп жатқан қатты дене массасына тең материялық нүкте сыртқы күштер бас векторы әсерінде қозғалып жатыр, деп қарау мүмкін.

Егер қатты дене қозғалысы күрделі болса, оның әрбір нүктесі өзіне сай үдеуге ие болғандықтан мұндай қозғалысты бір материялық нүкте қозғалысы мен алмастырып болмайды. $m \frac{dv}{dt} = F$ теңдікті механикалық жүйе масса центрі қозғалысы үшін орынды болған $\frac{d(m_i v_i)}{dt} = F$ теңдеумен теңестірсек, қозғалысы m массалы қатты дене қозғалысына эквивалент болған осы нүкте қатты дене масса центрі екендігіне сенім арттырамыз. Демек, дененің масса центрі осындай материялық нүкте сияқты қозғалады, бұл нүкте массасы қатты дене массасына тең болып, оған сыртқы күштер тең әсер етушісі әсер етеді.

ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ ҚОЗҒАЛМАЙТЫН ОСЬ АЙНАЛАСЫНДА ШЕҢБЕР БОЙЫМЕН ҚОЗҒАЛЫСЫ. ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІ. КҮШ МОМЕНТІ. ИМПУЛЬС МОМЕНТІ.

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: траектория тангенциалы, нормаль күш, тангенциал үдеу, күш моменті, күш иіні, инерция моменті, бұрыштық үдеу, импульс моменті, қатты дененің қозғалмайтын ось айналасында айналуы, күштің толық моменті, эквивалент күштер, Обербек аспабы.

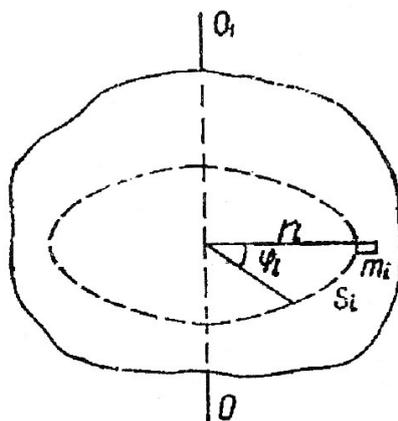
Жоғарыда айтқанымыздай, қатты денені n материялық нүкте деп қарау мүмкін болған бөліктерге бөлу мүмкін. Қатты дене OO_1 ось айналасында шеңбер бойымен қозғалған болса, оның әр бір бөлігі центрі айналу өсінде жатқан шеңберлер сызады. Осы бөлектерден i – дің массасы m_i және ол айналып жатқан шеңбер радиусы r_i болсын (6.3-сурет). Қатты дене шеңбер бойымен қозғалыс жасағанда оның әр бір бөлігі пайда еткен шеңбер радиусы әр түрлі уақытта бірдей бұрышқа бұрылады және радиандарда немесе градустарда өлшеніп оны φ мен белгілейміз. Қатты дененің әрбір бөлігі ол бірдей бұрышқа бұрылғанда әр түрлі сызықты ығысу s_i пайда етеді:

$$\varphi_i = \frac{s_i}{r_i} = \varphi \quad (6.5)$$

яғни

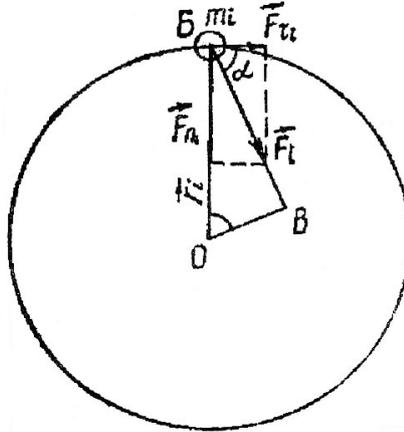
$$s_i = \varphi \cdot r_i \quad (6.6)$$

Сонымен, қатты дененің еркін алынған бөлігі айналу өсінен қанша ұзақта болса, оның ығысуы да сонша кіші болады.



6.3-сурет

Енді қатты дененің шеңбер бойымен қозғалыс заңдарымен танысып шығайық. Бұл үшін оны n бөлікке бөлеміз, оның m_i массалы бөлігі r_i радиусты шеңбер бойымен айналып жатқан болсын (6.4-сурет).



6.4-сурет

Бұл m_i массалы бөлігінің өлшемдері r_i ға қарағанда кіші болса, оны материялық нүкте деп қарау мүмкін. Қисықтық радиусы r_i болған шеңбер бойымен қозғалыс жасап жатқан материялық нүктеге F_i күш әсер етіп жатқан болсын. Бұл күшті екі: құраушы траекторияға жанама (тангенциал) F_{it} және центрге радиус бойынша бағытталған (нормал) күштерге ажыратамыз.

Материялық нүкте F_{it} әсерінде тангенциал үдеу a_{it} , F_{in} әсерінде нормал үдеу a_{in} алады.

6.4-суреттегі $F_i B F_{it}$ үшбұрыштан көрінеді, $F_{it} = F_i \cos \alpha$ Ньютонның екінші заңына орай,

$$F_{it} = m_i a_{it}$$

$$a_{it} = \beta_i r_i \quad (6.7)$$

болғаны үшін;

$$F_i \cos \alpha = m_i \beta_i r_i \quad (6.8)$$

Бұл теңдіктің екі жағын r_i ге көбейтеміз.

$$F_i r_i \cos \alpha = m_i r_i^2 \beta_i \quad (6.9)$$

Осы

$$M = F_i r_i \cos \alpha \quad (6.10)$$

Бұл шама айналу центріне қатынасты **күш моменті** деп аталады. $r_i \cos \alpha_i$ - күш иіні деп жүргізіледі және мөлшер жағынан айналу центрінен күш бағытына түсірілген перпендикуляр OB ның ұзындығына тең.

$$I = m_i r_i^2 \quad (6.11)$$

Шама **инерция моменті** деп жүргізіледі. **Инерция моменті-шеңбер бойымен қозғалыста дененің инерттілігін сипаттайтын физикалық шама.**

Демек,

1) айналу центріне қарағанда күш моменті M күшпен айналу центрінен күш бағытына түсірілген перпендикуляр ұзындығының көбейтіндісіне тең.

2) айналу центріне қатынасты материялық нүктенің инерция моменті I нүкте массасымен айналу центрінен осы денеге дейін болған қашықтық квадратының көбейтіндісіне тең. Сонымен, (6.10) (6.11) лерге көре

$$M = I \cdot \beta \quad (6.12)$$

ды жаза аламыз. Егер уақыт өтуімен күш мөлшері немесе бағыты өзгерсе, күш моменті және бұрыштық үдеулер уақытның функциясы болып қалады, бірақ олар арасындағы байланыс формал жақтан (6.12) сияқты болады.

(6.8) формуладағы үдеуді жылдамдық өзгеруі және жалпы әсер етуші күш арқылы сипаттасақ,

$$F_i \cos \alpha_i = m_i \frac{dv_i}{dt} = \frac{m_i dv_i}{dt} \quad \text{болады.}$$

Бұл өрнектің екі жағын айналу радиусына көбейтірсек,

$$F_i \cos \alpha_i r_i = m_i \frac{r_i dv_i}{dt} = \frac{dm_i v_i r_i}{dt} \quad (6.13)$$

болады. Өйткені, қозғалыс барысында масса және радиус өзгермейді. Бұл өрнекке импульс ($mv = p$) мен айналу радиусының көбейтіндісі **импульс моменті** деп аталады.

$$L = mvr = pr \quad (6.14)$$

Вектор көрінісінде жазамыз

$$\vec{L} = \vec{p} \cdot \vec{r} \quad (6.14a)$$

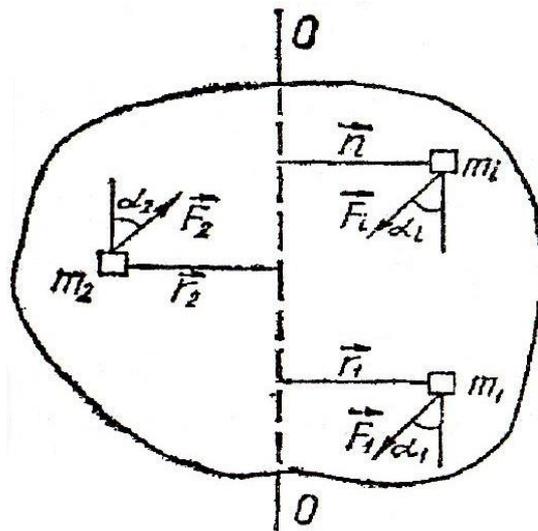
Импульс моменті векторы импульс векторымен радиус векторының вектор көбейтіндісі арқылы сипатталады.

(6.14), (6.15) ді есепке алсақ, (6.13) төмендегі көрініске ие болады.

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (6.14b)$$

(6.14) тен көрініп тұр, материялық нүкте бөлікті шеңбер бойымен қозғалысқа келтіретін момент импульс моментінен уақыт бойынша алынған бірінші тәртіпті дифференциалға тең болады екен. (6.11), (6.12) және (6.14) формулалар шеңбер бойымен қозғалыстағы материялық нүктенің күш моменті, инерция моменті және импульс моменттерін өрнектейді.

Елестетейік, қатты дене тұрақты ось айналасында үйкеліссіз айналып жатқан болсын (6.5-сурет).



6.5-сурет.

Оның бірінші, екінші және басқа i бөліктерінің сәйкес массалары $m_1, m_2, \dots, m_i, \dots, m_n$, олардың айналу өсінен ұзақтығы $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n$ оларға әсер етіп жатқан күштер $F_1, F_2, \dots, F_i, \dots, F_n$, болсын.

Материялық нүкте деп қарау мүмкін болған әр бір бөлік үшін (6.9) сияқты теңдеулерді жазып олардың жиындысын алсақ,

$$\sum_{i=1}^n F_i r_i \cos \alpha_i = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \beta_i \quad \text{пайда болады.}$$

Абсолют қатты дене барлық бөлігі үшін бұрыштық үдеу бірдей болғандығынан жоғарыдағы көріністі төмендегідей сипаттаймыз.

$$\sum_{i=1}^n F_i r_i \cos \alpha_i = \beta \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

болады, мұнда $F_i r_i \cos \alpha_i = M_i$ және $m_i r_i^2 = I_i$ сәйкес түрде i бөлікке әсер еткен

күш моменті және осы бөліктің инерция моменті. Бұл теңдік $\sum_{i=1}^n M_i = \beta \sum_{i=1}^n I_i$

күштер моментінің жиынтығы, $\sum_{i=1}^n I_i = I$ – қатты дененің айналу өсіне

қатынасты инерция моменті. Бұл белгілерді есепке алсақ (6.13) төмендегі көріністі алады:

$$M = I \cdot \beta \quad (6.15)$$

Бұрыштық үдеу векторлық инерция моменті скаляр шама болғаны үшін күш моменті болса, векторлық шама болып (6.15) вектор көрінісінде сипаттаймыз:

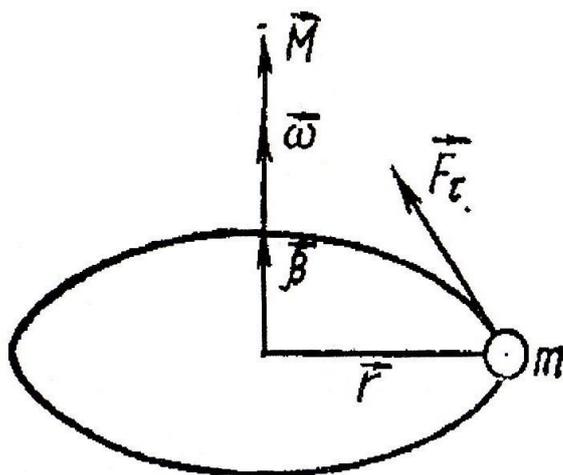
$$\vec{M} = \vec{I} \cdot \beta \quad (6.16)$$

Бұл теңдік қатты дене шеңбер бойымен қозғалысының негізгі теңдеуі деп аталады. Күш моменті векторы (M)ның бағыты бұрыштық үдеу векторы (β) мен сәйкес келеді.

Күш моменті векторының бағытын білу үшін бұрғы ережесінен пайдаланамыз.

Егер бұрғы тұтқасы қойылған күш әсері бағытында айналтырылса, бұрғының ілгерілемелі қозғалыс бағыты күш моменті бағытын көрсетеді.

Оның бағыты бұрыштық үдеуі векторы бағыты, демек, бұрыштық үдеу векторының өзгеру бағытымен сай келеді (6.6-сурет).



6.6-сурет

Қатты дене элементтеріне күштер моменті M_i бір айналу өсіне қойылған күштің толық моменті M да осы оське жатады және оның бағыты нәтижелі күш бағытымен байланысты.

(6.15) формуладан

$$\vec{\beta} = \frac{\vec{M}}{I} \quad (6.17)$$

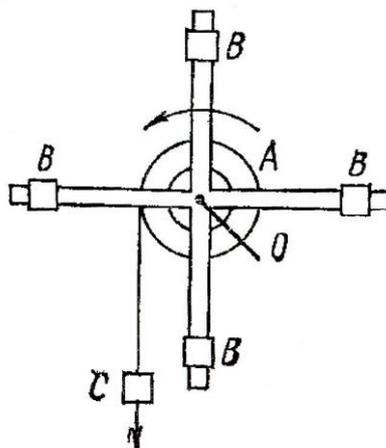
Күш моменті әсерінде дене алып жатқан бұрыштық үдеу күш моментіне тура пропорционал, дене инерция моментіне кері пропорционал.

(6.12), (6.15) және (6.17) өрнектер шеңбер бойымен қозғалыстағы қатты денелер үшін ***Ньютонның екінші заңы*** деп аталады. (6.15) немесе (6.17) теңдіктерден көрінеді, күш моменті нольге тең болса, бұрыштық үдеуде нольге тең болады. Бұл жағдайда дененің инерция моменті тұрақты болса, дене бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыста жеке жағдайда тыныш күйде болады.

Анық бір күшті айналу осінен қанша ұзақа қойылуына қарап бұл күш әсерінде дене алатын бұрыштық үдеу әр түрлі болады. Әр түрлі күштердің моменттері бірдей болса, бұл күштер әсерінде болған дене бірдей үдеу алады. Мұндай күштерді ***эквивалент күштер*** деп атау мүмкін.

Әр түрлі денелердің инерция моменттері бірдей болса, моменттері бірдей болған күш әсерінде бірдей бұрыштық үдеу алады. Сондықтан,

мұндай денелерді эквивалент денелер деп қарау мүмкін. Айналып жатқан қатты дене бұрыштық үдеуін оның инерция моментіне байланыстылығын Обербек аспабы жәрдемінде көрсету мүмкін (6.7-сурет).



6.7-сурет

АЙНАЛЫП ТҰРҒАН ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ КИНЕТИКАЛЫҚ ЭНЕРГИЯСЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: айналып тұрған қатты дененің кинетикалық энергиясы, айналып тұрған қатты дененің кинетикалық энергиясының жиындысы, ілгерілемелі қозғалыстың кинетикалық энергиясы, бұрыштық жылдамдық, дененің массасы, дененің масса орталығынан өткен оське қатынасты инерция моменті, осы оське қатынасты шеңбер бойымен қозғалыстың бұрыштық жылдамдығы, масса орталығының сызықты жылдамдығы, кинетикалық энергияның өзгеруі.

Қатты дене бір уақытта шеңбер бойымен және ілгерілемелі қозғалыста болуы мүмкін. Мұндай қозғалыста болған қатты дененің кинетикалық энергиясы оның шеңбер бойымен және ілгерілемелі қозғалысына сәйкес келетін кинетикалық энергиялар жиындысына тең болады.

Шеңбер бойымен қозғалыста болған қатты дене кинетикалық энергиясын қарап шығайық, денені абсолют қатты дене деп, оны материялық нүкте деп қарау мүмкін болған n бөлікке бөлейік, егер i бөліктің массасы m_i , сызықты жылдамдығы v_i қозғалып жатқан шеңбер радиусы r_i , шеңбер

бойымен қозғалыс бұрыштық жылдамдығы ω болса, бұл бөліктің кинетикалық энергиясы

$$K_i = \frac{m_i v_i^2}{2} \quad (6.18)$$

болады, $v_i = \omega \cdot r_i$ екендігін есепке алсақ,

$$K_i = \frac{m_i \omega^2 r_i^2}{2} \quad (6.19)$$

Дененің кинетикалық энергиясы оның бөліктерінің кинетикалық энергиялар жиындысына тең.

$$K_i = \sum_{i=1}^n K_i = \sum_{i=1}^n \omega^2 \frac{m_i r_i^2}{2} = \frac{\omega^2}{2} \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

мұнда

$$K_i = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 = I$$

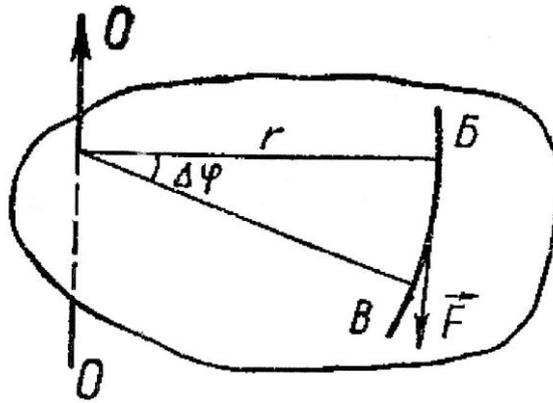
болғандықтан,

$$K_i = \frac{I \omega^2}{2} \quad (6.20)$$

Бұл формуланы ілгерілемелі қозғалыс кинетикалық энергиясы $\frac{mv^2}{2}$ өрнегімен салыстырсақ, дененің массасы орнында дененің айналу осіне қатынасты инерция моменті сызықты жылдамдық орнында шеңбер бойымен қозғалыс бұрыштық жылдамдығы тұрғанын көреміз.

Денеге күш әсер етіп, оны қандайда бір ось айналасында шеңбер бойымен қозғалысқа келтірілгенде оның бөліктері ығысады. Демек, жұмыс орындалады. Бұл жұмыс айналып жатқан дене кинетикалық энергиясы өзгеруіне тең болады. Осы жұмысты есептейік.

Дене OO_1 қозғалмайтын ось айналасында шеңбермен қозғалып жатқан болсын. Нәтижелі F күш дененің B нүктесіне қойылған болып, бұл нүкте айналу осіне r аралықта болсын (6.8-сурет).



6.8-сурет

Дене F күш әсерінде $\Delta\varphi$ бұрышқа бұрылғанда B нүкте V нүктеге ығысып ΔS доғаны пайда етеді. Мұнда орындалған элементар жұмыс:

$$\Delta A = F\Delta S$$

Мұнда $\Delta S = r\Delta\varphi$ болғаны үшін $\Delta A = Fr\Delta\varphi$ болады, $Fr = M$ күш моменті болғандықтан

$$\Delta A = M\Delta\varphi \quad (6.21)$$

Толық жұмыс болса (6.21) ді өтілген бұрыштық қашықтық бойынша интегралдау арқылы өрнектеледі:

$$A = \int_0^{\phi} M d\varphi \quad (6.22)$$

Егер дененің шеңбер бойымен қозғалыс барысында күш моменті тұрақты ($M = const$) болса (6.22) ден жалпы орындалған жұмыс.

$$A = M \cdot \varphi \quad (23)$$

болады. Демек, шеңбер бойымен қозғалыста орындалған жұмыс күш моментімен бұрылу бұрышына көбейтіндісі арқылы анықталады екен. (6.23) тегі күш моментін инерция моменті және бұрыштық үдеу өзгеруі арқылы бұрыштық қашықтықты күзетіліп жатқан уақытқа бір қалыпты шеңбер бойымен қозғалыста деп қарасақ, элементар жұмыс:

$$dA = Md\varphi = I \frac{d\omega}{dt} \omega \cdot dt = I \cdot \omega \cdot d\omega$$

Бұрылу бұрышы φ_1 ден φ_2 дейін өзгергенде бұрыштық жылдамдық ω_1 дан ω_2 дейін өзгерген болса, жалпы жұмысты есептеу үшін осы шекараларда жоғарыдағы өрнекті интегралдаймыз:

$$A = \int_{\phi} dA = \int_{\phi_1}^{\phi_2} M d\phi = \int_{\omega_1}^{\omega_2} I \omega d\omega \quad (6.24)$$

немесе

$$A = M(\phi_2 - \phi_1) = \frac{I\omega_2^2}{2} - \frac{I\omega_1^2}{2} \quad (6.25)$$

(6.25) тен көрініп тұр, шеңбер бойымен қозғалыста дене кинетикалық энергиясының өзгеруі қойылған нәтижелі күш моментіне байланысты.

Дене бір уақытта шеңбер бойымен және ілгерілемелі қозғалып жатқан болсын. Айналу масса центрінен өткен ось айналасында болсын және де дене қозғалғанда бұл ось өз-өзіне параллель орын ауыстырсын. Мұндай күрделі қозғалыс үшін кинетикалық энергия:

$$K = K_i + K_{aui} = \frac{mv_s^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} \quad (6.26)$$

Бұл жерде m -дененің массасы, I -дененің масса центрінен өткен оське қатынасты инерция моменті, ω -осы оське қатынасты шеңбер бойымен қозғалыстың бұрыштық жылдамдығы, v_s -масса центрінің сызықты жылдамдығы.

Төмендегі кестеде ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалыстағы физикалық шамалардың өзара байланыстылығы келтірілген:

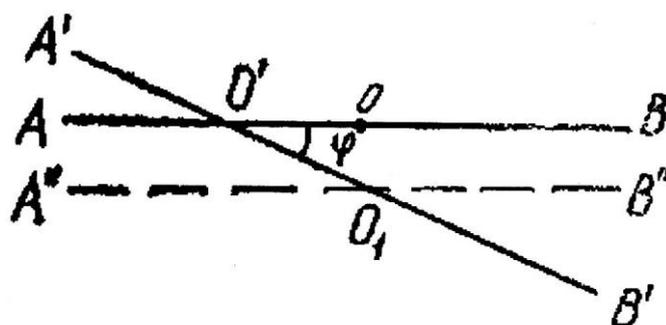
Ілгерілемелі қозғалыс	Шеңбер бойымен қозғалыс
Сызықты жылдамдық, v	Бұрыштық жылдамдық, ω
Сызықты үдеу, a	Бұрыштық үдеу, β
Масса, m	Инерция моменті, I
Импульс, $p = m \cdot v$	Импульс моменті, $L_z = I \cdot \omega$
Күш, F	Күш моменті, M
Қозғалыс теңдеуі, $\frac{dp}{dt} = F$	Қозғалыс теңдеуі, $\frac{dL}{dt} = M$
Қозғалыс теңдеуі, $F = ma$	Қозғалыс теңдеуі, $I\beta_z = M_z$

Кинетикалық энергия $E_k = \frac{m \cdot v^2}{2}$	Кинетикалық энергия, $\frac{I \cdot \omega^2}{2}$
Жұмыс, $dA = F_s ds$	Жұмыс, $dA = M_\omega d\varphi$
Қуат, $P = F_v v$	Қуат, $P = M_\omega \omega$

ДЕНЕ ИНЕРЦИЯ МОМЕНТІНІҢ АЙНАЛУ ОСІНЕ БАЙЛАНЫСТЫЛЫҒЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: инерция моментінің айналу осіне байланыстылығы, стерженнің ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалысы, Гюйгенс-Штейнер теоремасы, түрлі геометриялық пішіндер үшін инерция моменттері.

Масса орталығы O болған AB стержень (6.9-сурет) жазықтығына тік O' нүктеден өткен ось айналасында ω бұрышпен шеңбер бойымен қозғалыс жасап жатқан болсын. Уақыттың бірер моментінде стержень өзінің AB жағдайынан $A'B'$ жағдайына орын ауыстырған болсын. Мұнда масса орталығы OO_1 доға бойынша орын ауыстырады.



6.9-сурет

Бұл қозғалысты екі қозғалыстан тұрады деп қарау мүмкін.

1) Стержень ұзындығы бастапқы жағдайына параллель ($A''B''$) орын ауыстырып ілгерілемелі қозғалыста болады.

2) O_1 нүктеден өтетін ось айналасында өзінің жаңа $A'B'$ жағдайына бұрылады. Бұлардан көрініп тұр, бір уақытта стержень ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалыста болар екен.

Мұнда дененің O' нүктеден өтетін ось айналасында ω бұрыштық жылдамдықпен шеңбер бойымен қозғалыс энергиясы екі бөліктен тұрады деп қарау мүмкін.

Бірінші бөлім стерженнің ілгерілемелі қозғалыс кинетикалық энергиясы. Мұнда стерженнің барлық нүктелері бірдей жылдамдықпен орын ауыстырады деп қарау мүмкін. Ол уақытта,

$$K_i = \frac{mv^2}{2}$$

$$v = \frac{ds}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot d = \omega \cdot d$$

$$\text{Демек,} \quad K_i = \frac{m}{2} \cdot (\omega \cdot d)^2 \quad (6.27)$$

Бұл жерде $dS = OO_1$ доға ұзындығы болып, ол қозғалыс уақытын өткізі деп қарағанымызда хордаға тең болады:

$$d = O'O = O'O_1$$

Екінші бөлік стерженнің O нүктеден өтетін ось айналасында ω бұрыштық жылдамдықпен шеңбер бойымен кинетикалық энергиясы:

$$K_{a\ddot{u}\ddot{u}} = \frac{1}{2} I_0 \omega^2 \quad (6.28)$$

мұнда $I_0 - O'$ нүктеден өтетін оське параллель түрде масса орталығынан өтетін оське қатынасты дененің инерция моменті.

Егер стерженнің O' оське қатынасты инерция моментін I десек, бұл оське қатынасты стержень шеңбердегі кинетикалық энергия:

$$K_{a\ddot{u}\ddot{u}} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (6.29)$$

$$\text{Демек,} \quad K = K_1 + K_2 \quad (6.30)$$

(6.27), (6.28) және (6.29) формулаларды есепке алсақ, (6.30) төмендегі көріністі алады:

$$\frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} I_0 \omega^2 + \frac{1}{2} m d^2 \omega^2$$

Бұдан

$$I = I_0 + m d^2 \quad (6.31)$$

(6.31) ден көрініп тұр, қатты дененің кезкелген оске қатынасты инерция моменті I осы оске параллель масса орталығынан өтетін оске қатынасты инерция моменті I_0 мен дене массасының I және I_0 анықталып жатқан остер арасындағы қашықтық квадраты d^2 қа көбейтіндісінің жиынтығына тең.

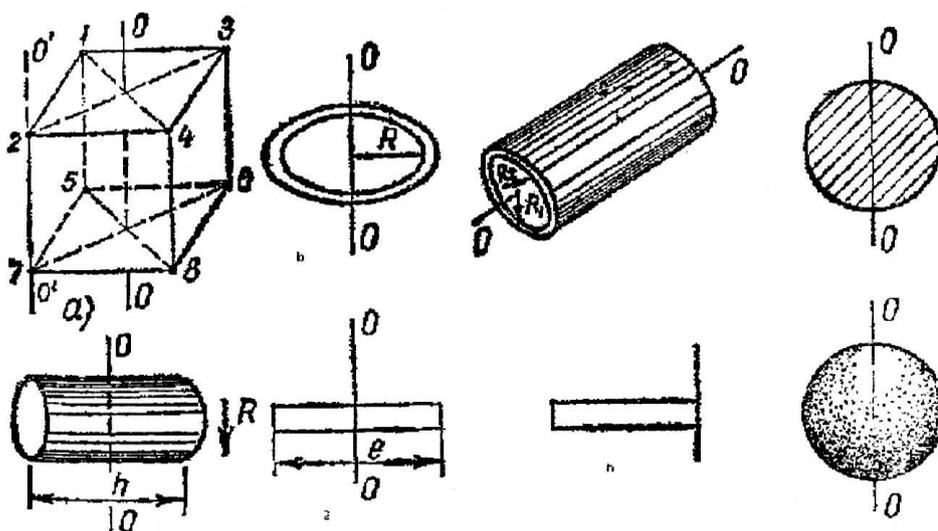
(6.31) формула Гюйгенс-Штейнер теоремасының математикалық көрінісі. Айтып өту керек, әр бір дене тыныш тұрса да, қозғалса да массаға ие болғаны сияқты, әр бір дене ол тыныш тұрады ма немесе шеңбер бойымен қозғалыста болады, кез келген оске қатынасты инерция моментіне ие болады.

Берілген дененің үйреніліп жатқан оске қатынасты инерция моменті тек оның массасы осы айналу осіне қатынасты қандай бөлінгеніне байланысты.

Елестетейік, үйреніліп жатқан дене куб пішінде болып, оның массасы кубтың ұштарына тең бөлінген және оларды материялық нүкте деп қарау мүмкін болсын. Кубтың массасын m десек, бір нүкте массасы $m_0 = \frac{m}{8}$ болады (6.10-сурет). Куб қырларының ұзындығы a болсын.

1. OO оске қатынасты кубтың инерция моментін есептейік. OO оске қатынасты барлық сегіз нүкте бірдей ұзақтықта орналасады және бұл қашықтық $\frac{\sqrt{2}a}{2}$ ге тең. Бір нүктенің инерция моменті $\frac{m_0 a^2}{2}$ ге тең болып, кубтың OO оске қатынасты инерция моменті:

$$I_{OO} = 8 \frac{m_0 a^2}{2} = 4a^2 m_0 \quad (6.32)$$



6.10-сурет

2) $O'O'$ оске қатынасты кубтың инерция моментін есептейік. $O'O'$ оске қатынасты 1,4,5,8 нүктелер бірдей a қашықтықта орналасады. Бұл нүктелер үшін әр бірінің инерция моменті $m_0 a^2$ тең болып, бұл 4 нүкте үшін инерция моменті $4m_0 a^2$ болады. 3 және 6 нүктелер $O'O'$ остен бірдей қашықтықта $\sqrt{2}a$ да орналасады және әр бірінің инерция моменті $2a^2 m_0$ ға тең. Бұл 3 және 6 нүктелердің біргелікте инерция моменті $4a^2 m_0$ ға тең, $O'O'$ оске қатынасты 2 және 7 нүктелердің инерция моменті нольге тең, өйткені бұл нүктелер осы осте орналасқан.

Сонымен, $O'O'$ оске қатынасты инерция моменті:

$$I_{O'O'} = 8m_0 a^2 \quad (6.33)$$

$O'O'$ ось кубтың масса орталығынан өткен OO оске параллель болғандықтан, үйреніліп жатқан жағдай үшін Штейнер теоремасы өрнегін жазсақ болады:

$$I_{O'O'} = I_{OO} + md^2$$

$O'O'$ және OO остерге қатынасты табылған кубтың инерция моменті мәнін есепке алсақ:

$$md^2 = 4m_0 a^2 \quad (6.33a)$$

Шындығында, $m = 8m_0$; $d = \frac{\sqrt{2}a}{2}$ екенін есепке алсақ, (6.33a) теңдік дұрыс екендігі келіп шығады.

Түзу геометриялық пішінге ие болған бір текті кейбір денелердің инерция моменті формуласын келтіреміз. (6.10 б-сурет).

Жіңішке сақинаның сақина жазықтығының ортасынан тік өткен оске қатынасты инерция моменті (6.10 б-сурет):

$$I = mR^2$$

Қалың қабырғалы цилиндрдің симметрия осіне қатынасты инерция моменті (6.10 д-сурет)

$$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$$

R_1 - ішкі радиус, R_2 - сыртқы радиус.

3) Дисктің диаметрлерінен бірімен сәйкес түрде түсетін оске қатынасты инерция моменті (6.10 е-сурет)

$$I = \frac{1}{4} mR^2$$

4) Цилиндрді құрайтын l ге перпендикуляр және ортасынан өтетін оске қатынасты инерция моменті (10 f-сурет)

$$I = m \left(\frac{1}{4} R^2 + \frac{1}{12} l^2 \right)$$

5) Ұзындығы l болған жіңішке стерженнің:

а) ұзындығы тік түрде ортасынан өтетін оске қатынасты инерция моменті (6.10 г-сурет)

$$I = \frac{1}{12} ml^2$$

б) оның шетінен өтетін оске қатынасты инерция моменті (6.10 h-сурет)

$$I = \frac{1}{3} ml^2$$

б) Шардың:

а) центрден өтетін оске қатынасты инерция моменті (6.10 ж-сурет)

$$I = \frac{2}{5} mR^2$$

б) егер айналу осі шар центрінен қандайда d қашықтықта өткен болса, ол жағдайда

$$I = \frac{2}{5} \cdot m \cdot (R^2 + d^2)$$

Бұл күзетіліп жатқан барлық пішіндегі денелер бір текті болғанда ғана жоғарыдағы формулалар орынды болады.

ИМПУЛЬС МОМЕНТІ. ИМПУЛЬС МОМЕНТІНІҢ САҚТАЛУ ЗАҢЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: импульс моменті, импульс моментінің сақталу заңы, сызықты жылдамдық векторы, айналу радиусының векторы, қатты дене шеңбер бойымен қозғалыс динамикасының негізгі заңы, центрден тепкіш инерция күштері, симметрия осі, еркін ось, бас инерция осі.

Және дене қандайда қозғалмайтын ось айналасында айналады деп, елестетейік.

Онда n элементар бөліктерге бөлеміз. Әр бір бөлік центрі айналу осінде орналасқан концентрлік шеңберлер сызады. i бөліктің массасы m_i сызықты жылдамдық векторы \vec{v}_i , айналу радиусы векторы r_i болсын. (6.14a) формулаға негізделіп осы бөлік (материялық нүкте)нің импульс моменті

$$\vec{L}_i = [r_i m_i v_i]$$

болып, жалпы күйде импульс моменті векторының модулі,

$$\vec{L}_i = r_i m_i v_i \sin(\vec{r} \vec{v})$$

ға тең болады. Шеңбер бойымен қозғалыстағы қатты денелер үшін Ньютонның екінші заңын пайдаланамыз.

$$\vec{M} = I \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

мұнда I -тұрақты, сондықтан:

$$\vec{M} = \frac{d(I\vec{\omega})}{dt} \quad (6.34)$$

$I = m_i r_i^2$ ті есепке алса

$$I\omega = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2 \omega = \sum_{i=1}^n m_i r_i r_i \omega = \sum_{i=1}^n m_i r_i v_i$$

деп жаза аламыз. Бұл жағдайда

$$L = \sum_{i=1}^n L_i \quad (6.35)$$

пайда болады. Демек, (6.34)ті төмендегідей жазу мүмкін:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad (6.36)$$

Кезкелген оске қатынасты қатты дене импульс моментінің уақыт бойынша дифференциалы осы қатты денені шеңбер бойымен қозғалысқа келтіретін сыртқы күштердің осы оске қатынасты моментін өрнектейді:

$$d\vec{L} = \vec{M} dt = d(I\omega) \quad (6.37)$$

мұнда Mdt - импульс моменті деп айтылады. (6.37) ден көрінеді, кезкелген айналу осіне қатынасты дененің импульс моменті өзгеруі осы оске қатынасты сыртқы күштер моменттері жиындысының импульсына тең болады екен.

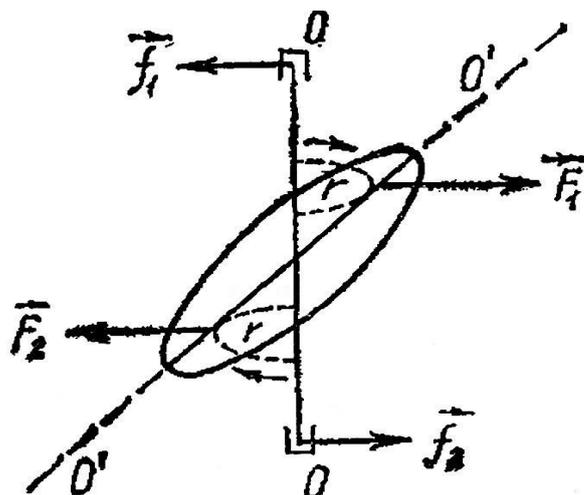
(6.36) теңдеу **қатты дене шеңбер бойымен қозғалысының негізгі теңдеуі** деп жүргізіледі. Бұл теңдеу қатты дене қай оске қатынасты шеңбер бойымен қозғалса-да, барлық күйде орындалады.

Әдетте, остердің ұшы шарикты подшипниктер, сферик шарнирлер немесе басқа құрылғылар жәрдемінде қозғалмайтын етіп бекітіліп, бұл құрылғылар ості кеңістікте орын ауыстырмай айналуына жағдай жаратады.

Мысалы, қатты дене шарикты подшипникке біріктірілген ось айналасында айналып жатқан болсын (6.11-сурет). Оның айналу осі OO симметрия $O'O'$ пен бұрыш пайда етеді.

Мұнда қатты дене бөліктері айналуынан пайда болатын центрден тепкіш инерция күштері оске қатынасты бір-бірімен тепе-теңдеспейді.

Нәтижеде бір-біріне тең F_1 және F_2 жұп күштер пайда болып, ості сағат тілі қозғалысы бойымен бұруға әрекет етеді. Нәтижеде, подшипник қабырғаларымен ось арасында өзара тең бағытта қарама-қарсы f_1 және f_2 реакция күштері пайда болады.



6.11-сурет

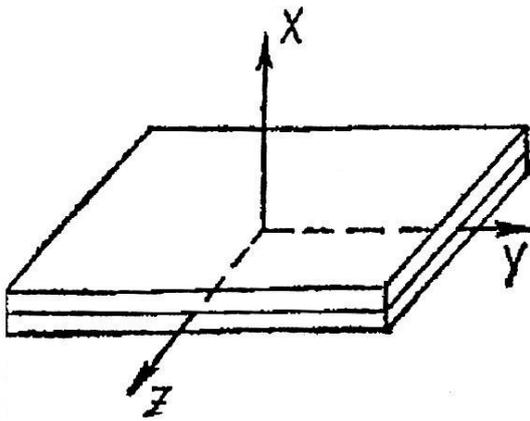
Сондай болуыда мүмкін, қатты дене бөліктерге әсер ететін центрден тепкіш инерция күші айналу осіне қатынасты бір-бірімен тепе-теңдеспейді. Мұндай ості *еркін ось* деп атаймыз. Мұндай остер айналасында дене айналғанда, біз көрсеткен реакция күші пайда болмайды. Демек, подшипниктер және остер бұл күштер есебіне ыдырамайды.

Көрсету мүмкін, масса бөлігі және дене пішініне қарамай әр бір қатты дене үшін өзара перпендикуляр және инерция центрінен өтетін остер бар. Бұл остерді еркін остер деп қарау мүмкін. Бұл остер дененің *бас инерция остері* деп айтылады.

Айналудың болуы дене қай бас инерция осі айналасында айналып жатқандығына байланысты.

Тәжірибе және теорияда көрсетуінше, дене инерция моменті ең үлкен және ең кіші болған остер айналасында айналса, оның айналуы анық болады. Мысалы, параллелопипед тәрізді денені аламыз (6.12-сурет).

x, y, z өстері еркін остер есептелінеді. Егер бұл остер айналасында параллелопипид айналтырылса, x және y остер айналасында айналғанда остер жағдайы өзгермейді. Шындығында, оттық құтысын ауада қозғалысқа келтірейік. Егер қаламның ұшын жіпке байлап, екінші ұшын тез шеңбер бойымен қозғалысқа келтірілсе, қалам горизонтал жазықтыққа өзінің ортасынан өткен және ұзындығына перпендикуляр болған ось айналасында айнала бастайды (6.13-сурет).



6.12-сурет



6.13-сурет

Өйткені, қаламның кеңістіктегі басқа жағдайларында (горизонтал жағдайдан басқа) қаламның айналу осіне қатынасты инерция моменті ең үлкенде, ең кішіде болмай, олардың аралығында болады.

Және қатты дене шеңбер бойымен қозғалыс динамикасы теңдеуі:

$$\vec{M} = \frac{d(I\omega)}{dt} = \frac{dL}{dt}$$

ға назар аударайық. Егер денеге әсер ететін күштер моментінің нәтижесі нольге тең болса, $Mdt = d(I\omega) = 0$ болады. $I\omega$ шаманың өзі тұрақты болады, демек,

$$L = I\omega = \text{const} \quad (6.38)$$

Сонымен, егер денеге күш моменттері әсер етпесе немесе олардың айналу осіне қатынасты әсер етпесе, олардың айналу осіне қатынасты нәтижелік моменті нольге тең болса, дененің айналу осіне қатынасты импульс моменті тұрақты қалады. Бұл заң *импульс моментінің сақталу заңы* делінеді.

$$L = I\omega = \text{const}$$

$$L = pr = \text{const} \quad (6.39)$$

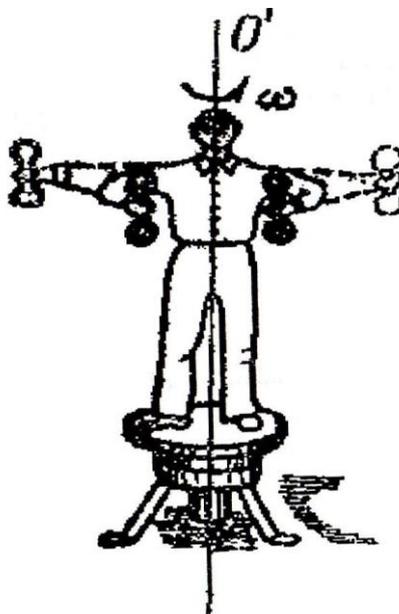
Импульс моментінің сақталу заңын векторлық көріністе өрнектесек:

$$\vec{L} = I \vec{\omega} = \text{const}$$

$$\vec{L} = \vec{p} \vec{r} = \text{const} \quad (6.39a)$$

Бұл заңның орындалуын Жуковский орындығы тәжірибесінде көрсету мүмкін.

Жуковский орындығы горизонталь жазықтан тұрады, вертикал OO' ось айналасында үйкеліссіз айналады (6.14-сурет).



6.14-сурет

Жуковский орындығы үстінде тұрған оқушы екі қолында екі гантельді жанына горизонталь көтерген түрде тұрғанда OO' оске қатынасты ω_1 инерция моментін I_1 десек, импульс моменті $I_1\omega_1$ болады. Егер оқушы гантельдерді көкірегіне әкеліп айналу осіне жақындатса, жүйе инерция моменті кемиді, оны I_2 мен белгілейік. Бұл жағдайда бұрыштық жылдамдығын ω_2 десек, $\omega_2 > \omega_1$ екенін көру мүмкін. Импульс моментінің сақталу заңы

$$I_1\omega_1 = I_2\omega_2$$

ден пайдалансақ,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (6.40)$$

болады. Бұл теңдіктен көрінеді, инерция моменттері қатынасы бұрыштық жылдамдықтар қатынасына кері пропорционал болар екен.

Бұл тәжірибеде шеңбер бойымен қозғалыс кинетикалық энергиясының өзгеруін қарап шығайық. Бірінші түрде жүйе кинетикалық энергиясы:

$$K_1 = \frac{I_1\omega_1^2}{2}$$

Екінші түрде жүйе кинетикалық энергиясы:

$$K_2 = \frac{I_2 \omega_2^2}{2}$$

Бұлардың қатынасы:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{I_1 \omega_1^2}{I_2 \omega_2^2} = \frac{I_1 \omega_1}{I_2 \omega_2} \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)$$

(6.40) қа негізделіп $\frac{I_1 \omega_1}{I_2 \omega_2} = 1$, демек, $\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)$ немесе

$$K_1 \omega_2 = K_2 \omega_1 \quad (6.41)$$

Демек, кинетикалық энергиялар қатынасы бұрыштық жылдамдықтар қатынасына тура пропорционал болады.

Тәжірибеге орай $I_1 > I_2$, немесе $\omega_1 < \omega_2$, бұған негізделіп:

$$\frac{K_1}{K_2} = \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right) < 1$$

Бұдан энергия өзгеруі нольден үлкен, $\Delta K > 0$ екенін көреміз.

Кинетикалық энергияның артуы оқушының мүскіл жұмысы есебіне пайда болады.

Мұны қандай түсіндіру мүмкін?

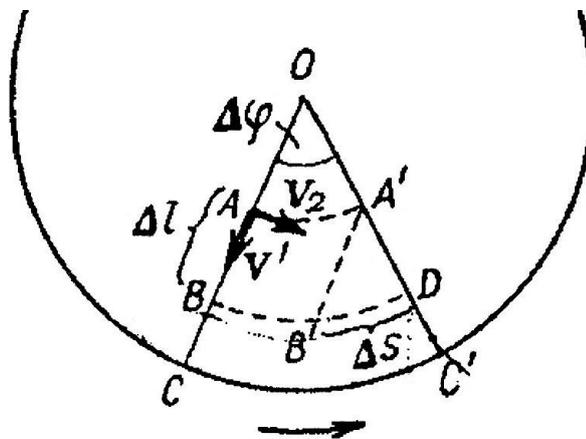
Оқушы гантельді ашылған қолында айналу осінен алысқа шеңбер бойымен траекторияда ұстап тұруы үшін мүскіл күшімен оған әсер етуі керек. Бұл күш центрге тартқыш күш болып, $F = m\omega^2 r$ ге тең (m - гантельдің массасы, r - гантельдің айналу осінен қашықтығы). Оқушы гантельді айналу осіне жақындастырғанда бұл күш оң жұмыс атқарады және кинетикалық энергия артады. Гантель алыстағанда, бұл күш кері жұмыс атқарып, кинетикалық энергия кемиді.

КАРИОЛИС КҮШТЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: бұрыштық жылдамдық, бұрыш, үдемелі қозғалыс, Кариолис күші, инерциялық күш, центрге тартқыш күш, центрден тепкіш күш, Бер заңы, Жердің солтүстік жарты шарында Кариолис күші бағыты, Жердің оңтүстік жарты шарында Кариолис күші бағыты, Фуко

Шеңбер бойымен қозғалыстағы жүйеде бұл жүйеге қатынасты орын ауыстырып жатқан денеге центрден тепкіш күштен басқа және қосымша күш те әсер ететінін көрсетеміз. **Кориолис күші** деп аталатын бұл күш (француз математигі Кориолис (1795-1843-ж) атына осындай аталған) дененің айналып жатқан жүйеге қатынасты қозғалысындағы ϑ' жылдамдығына және жүйе айналуының ω бұрыштық жылдамдығына байланысты.

Алдымен бір жеке түрді көріп шығамыз. Жүйе вертикал ось (6.15-сурет) айналасында стрелка мен көрсетілген бағытта тұрақты ω бұрыштық жылдамдығымен айналып жатқан дисктен тұратын болсын.



6.15-сурет

а дене ОС радиус бойымен А нүктеден дискке қатынасты ϑ' жылдамдықпен бір қалыпты қозғалыс жасаған болсын. Δt уақыт ішінде а дене $\Delta l = AB = v' \Delta t$ кесіндіні басып өтеді. Осы Δt уақыт ішінде ОС радиус **қозғалмайтын координата жүйесіне** қатынасты дисктің шеңбер бойымен қозғалысы себепті $\Delta \varphi = \omega \cdot \Delta t$ бұрышқа бұрылады және дене А нүктеден D нүктеге өтеді.

Қозғалмайтын координата жүйесінде а дене бір уақыттың өзінде екі қозғалыста, дискке қатысты ϑ' жылдамдықпен болып жатқан қозғалыста

және айналып жатқан дисктің қозғалысына қатынасады. Дисктің түрлі жерінде нүктелердің сызықты жылдамдығы әр түрлі болады. Сызықты жылдамдықтың А нүктедегі мәнін v_r мен белгілейміз. Егер а дене тек жылдамдықпен қозғалыс жасаса, АА' доғаны сызатын еді және А' нүктеге келіп қалар еді. Бір уақыттың өзінде v_r жылдамдықпен да, v' салыстырмалы жылдамдықпен да қозғалыс жасап, а дене В' нүктеге келіп қалуы керек еді ($A'B' \parallel AB$).

Шындығындада, А дене Д нүктеге келіп қалады. Бұл а дене айналу центрінен алыстаған сайын оның v_r сызықты жылдамдығы үлкейіп баруы себеп болады. Сонымен, а дене қозғалмайтын **координата жүйесіне қатысты** радиус бойымен қозғалыс жасап өз жылдамдығын үздіксіз өзгертіп барады. Ол **үдемелі қозғалыс** жасайды. Бұл ϖ үдеудің шамасы а дененің Δt уақытта басып өткен қосымша $\Delta s = B'D$ жолы арқылы анықталынуы мүмкін. 6.15-суреттен

$$\Delta s = A'B'\Delta\varphi$$

немесе $A'B' = \Delta l = v'\Delta t$ және $\Delta\varphi = \omega \cdot \Delta t$ болғаны үшін

$$\Delta s = \omega \cdot v' \cdot (\Delta t)^2 \quad (6.42)$$

Қосымша Δs жол Δt уақыттың квадратына тура пропорционал болып артады. Бірақ ϖ үдеуді тұрақты болғанда басып өтілген жол Δt уақыттың квадратына пропорционал болады (бір қалыпты үдемелі қозғалыс);

Бұл жағдайда;

$$\Delta s = \frac{1}{2} \cdot \varpi (\Delta t)^2$$

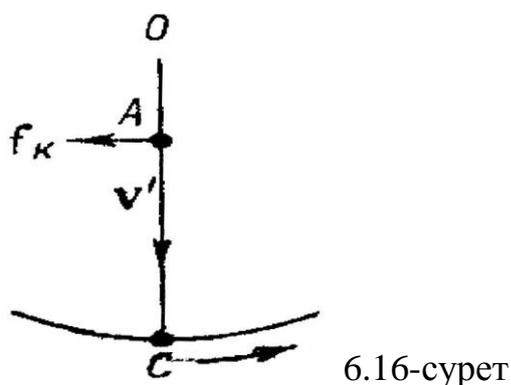
Δs үшін жазылған бұл өрнекті (6.42) өрнекпен салыстырсақ а дененің үдеуін табамыз:

$$\varpi = 2v' \cdot \omega \quad (6.43)$$

Бұл үдеу v' салыстырмалы жылдамдыққа тік түрде бағытталған болады, біз тексерген түрде ол оң жаққа бағытталған а денеге бұл үдеуді беру үшін оған оң жаққа бағытталған $f = m\varpi$ күш пен әсер ету керек, мұнда m дененің массасы.

f күш әсер етпегенде *дискпен бірге айналып жатқан* дененің координата жүйесіне қатысты өзінің радиус бойынша "*түзу сызықты*" қозғалысынан шетке шыққан болар еді.

Ньютонның үшінші заңына негізделіп a денені қозғалыс уақытында радиуста ұстап тұратын байланыстарға f күшке тең және қарама-қарсы бағытталған f_k әсер етеді. Үдемелі жүйелердің алдын көріп өтілген мысалдардағы сияқты бұл жағдайда, дискпен бірге айналып жатқан координата жүйесінен пайдалансақ, f_k күш a дененің өзіне қойылған деп есептейміз.



6.16-сурет

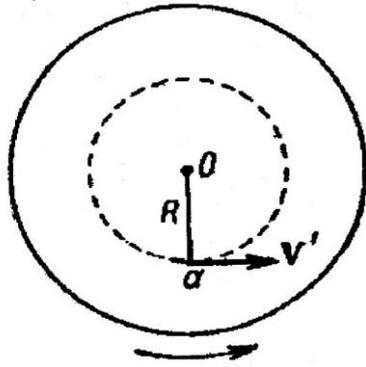
Сонымен, *шеңбер бойымен қозғалыстағы жүйеде радиус бойынша v' жылдамдықпен қозғалыстағы денеге*

$$f_k = 2 \cdot v' \cdot \omega \cdot m \quad (6.44)$$

инерциялық күш қойылған болып, күш v' жылдамдыққа перпендикуляр (6.16-суретке қараң) бағытталған болады.

Осы f_k күш *Кариолис күші* делінеді.

Енді a дене центрі айналу өсінде орналасқан шеңбер бойымен диск үстінде қозғалыс жасағанда да Кариолис күші бар болуын көрсетеміз (6.17-сурет). Егер a дене дискке қатысты v' жылдамдықпен қозғалыста болса, қозғалмайтын координата жүйесінде толық жылдамдық $v_r + v'$ болады, мұнда v_r шеңбердегі сызықты жылдамдық.



6.17-сурет

Демек, а денеге төмендегі центрге тартқыш күш әсер етеді:

$$f_{m.i} = \frac{m \cdot (v_r + v')^2}{R}$$

мұнда R айналу осінен денеге дейін болған қашықтық, бұл формуладағы жиындыны квадратқа көтеріп, төмендегіні аламыз:

$$f_{m.i} = \frac{m \cdot v_r^2}{R} + \frac{m \cdot v'^2}{R} + 2 \cdot \frac{v' v_r}{R} \cdot m$$

Дискпен байланысты координата жүйесінде $\frac{m \cdot v_r^2}{R}$ мүше дисктің ω бұрыштық жылдамдығымен айналу нәтижесінде пайда болатын центрден тепкіш инерциялық күшті сипаттайды $\frac{m \cdot v'^2}{R}$ мүше дененің R радиусты шеңбер бойымен v' салыстырмалы жылдамдықпен қозғалысы нәтижесінде пайда болатын центрден тепкіш күшті өрнектейді:

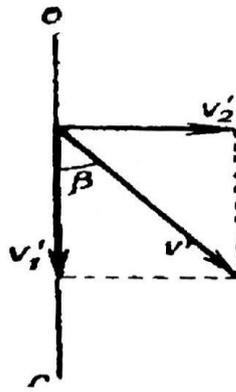
$$f = 2 \frac{\vartheta' \cdot \vartheta_r}{R} m = 2\vartheta' \omega m$$

мүше болса, бір уақыттың өзінде дисктің шеңбер бойымен қозғалысы және дискке қатынасты қозғалысы бар болғаны нәтижесінде пайда болатын қосымша күшті өрнектейді.

f күшке тең және оған қарама-қарсы бағытталған f_k күш бұл жағдай үшін *Кориолис күші* болады.

Бұл күштің шамасы қозғалыс радиусы бойынша болып жатқан күшке тең (6.44) формула және бұл жағдайда да салыстырмалы жылдамдыққа тік бағытталған.

Енді а дене ОС радиуспен β бұрыш құрайтын салыстырмалы ϑ' жылдамдықпен қозғалып жатқан жағдайды көреміз (6.18-сурет).



6.18-сурет

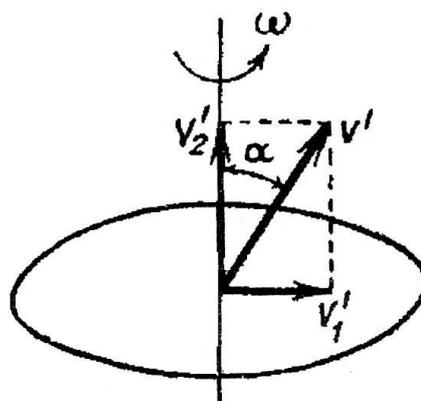
Бұл жағдайда ϑ' жылдамдықты екі құраушыға радиус бойынша бағытталған $\vartheta'_1 = \vartheta' \cdot \cos \beta$ құраушыға және радиусқа тік бағытталған $\vartheta'_2 = \vartheta' \cdot \sin \beta$ құраушыға ажрату мүмкін.

ϑ'_1 құраушыға (44) формулаға орай, $f_{k1} = 2v'_1 \cdot \omega \cdot \cos \beta$ Кориолис күші, ϑ'_2 құраушыға болса $f_{k2} = 2v'_2 \cdot \omega \cdot \sin \beta$ Кориолис күші сәйкес келеді. Толық Кориолис күші:

$$f_k = \sqrt{f_{k1}^2 + f_{k2}^2} = 2\vartheta' \omega \cdot m$$

Сонымен, ϑ' салыстырмалы жылдамдықпен кезкелген бағытқа ие болғанда Кориолис күшінің өрнегі (6.44) формула көрінісінде болады.

Ең жалпы жағдайды, яғни дене айналу осімен α бұрыш құрап қозғалып жатқан жағдайды көреміз (6.19-сурет). Ол жағдайда ϑ' жылдамдықты айналу осіне тік болған ϑ'_1 құраушыға және айналу осіне параллел болған ϑ'_2 құраушыға ажратамыз. Бұл соңғы құраушы денеден айналу осіне дейін қашықтықтың өзгеруіне себеп болмайды және қосымша үдеулерді және күштерді құрамайды.



6.19-сурет

Сол үшін Кориолис күшінің шамасы тек $\mathcal{G}'_2 = \mathcal{G}' \cdot \sin \alpha$ құраушы ғана анықтайды. (6.44) формуладағы \mathcal{G}' салыстырмалы жылдамдықты $v_1 = v \cdot \sin \alpha$ мен алмастырсақ Кориолис күші үшін төмендегі жалпы өрнекті аламыз:

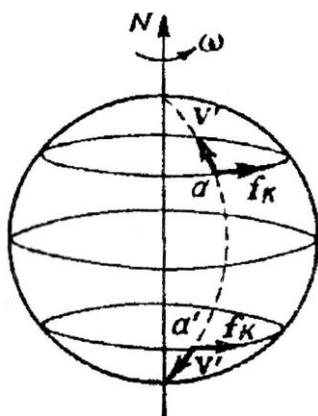
$$f_k = 2 \cdot v' \cdot \sin \alpha \cdot m$$

Кориолис күші тәулікті айналу нәтижесінде белгілі бұрыштық жылдамдыққа ие болған Жер шары үстіндегі қозғалыстары пайда болады.

Мысалы, поезд солтүстік жарты шарда меридиан бойынша солтүстікке қарап бара жатқан болсын (6.20-суреттегі, а нүкте). Бұл уақытта \mathcal{G}' салыстырмалы жылдамдық векторы ω бұрыштық жылдамдық векторымен сүйір α бұрыш құрайды және **Кориолис күші** Жер бетіне жанама түрде поезд қозғалысы бағытына қатысты оң жаққа релісті, сол жақтағы рельске қатысты үлкендеу күшпен басады. Оңтүстік жарты шарда поезд оңтүстікке келген болса (6.20-суреттегі α' нүкте), \mathcal{G}' пен ω арасындағы бұрыш доғал болады және Кориолис күші қозғалыс бағытына қатысты сол жаққа бағытталған болады.

Өзен суларының солтүстік жарты шарда оң жағаны оңтүстік жарты шарда болса сол жағаны жуып кетуі (*Бер заңы*) сонымен солтүстік жарты шарда солтүстік-шығыс пассаттардың пайда болуы және басқа осыған ұқсас құбылыстар Кориолис күшінің бар екендігі себепті пайда болады.

Еркін түсіп жатқан денелердің вертикал шығысқа қарай ауытқуы және маятник тербелу жазықтығының өзгеруі денелердің Жер шары үстіндегі қозғалысына Кориолис күшінің әсерін көрсететін мысалдар есептеледі. Соңғы жағдайды толық көрейік.



6.20-сурет

Мысал, қарапайымдастыру үшін маятник солтүстік полюсте тербеліп жатыр деп ойлаймыз. Бұл жағдайда маятник жүгінің \mathcal{S}' жылдамдығы (маятниктің жібі ұзын болғанда) барлық уақыт Жер шарының айналу осіне тік болады және демек $\mathcal{S}' \perp \omega$ мұнда ω алдынғыдай Жер айналуының бұрыштық жылдамдығы. Нәтижеде маятниктің жүгіне сан мөлшері $f_k = 2 \cdot m \cdot v' \cdot \omega$ болған Кориолис күші әсер етеді: бұл күш горизонтал жазықта жатады және \mathcal{S}' векторға қатысты оң жаққа бағытталған болады. Бұл күштің әсерінде маятниктің жүгі әрбір тербелуде оң жаққа ауытқиды. Нәтижеде маятниктің тербеліс жазықтығы Жерге қатысты сағат стрелкасы бағытында бұрыла бастайды және бір тәулікте 2π бұрышқа бұрылады. Маятник географиялық кеңдігі φ болған жерде тербелсе, тербелу жазықтығы бір тәулікте $2\pi \cdot \sin \varphi$ бұрышқа бұрылады.

Маятниктің тербелу жазықтығының бұрылуын бірінші рет 1851-жылда Фуко күзеткен және бұл күзету Жердің тәуліктік айналуы бар екендігін тікелей дәлелдейді.

ҚАТТЫ ДЕНЕ ТЕПЕ-ТЕҢДІГІ ЖӘНЕ ТЕПЕ-ТЕҢДІК ТҮРЛЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: қатты дене тепе – теңдігі, тепе- теңдік түрлері, орнықты тепе- теңдік, орнықсыз тепе- теңдік, бейқалып тепе – теңдік, тірек ауданы.

Қатты дене жағдайын кеңістікте анықтау үшін оның ілгерілемелі және шеңбер бойымен қозғалысын сипаттайтын параметрлерді анықтау керек.

Дене ілгерілемелі қозғалысын білу үшін оның масса центріне әсер ететін күштердің x , y , z осьтеріне қатынасты проекциялары жиындысымен масса центрі координаталары арасындағы байланысын көрсететін теңдеулер:

$$ma_x = \sum F_x, ma_y = \sum F_y, ma_z = \sum F_z$$

және де дененің x , y , z осьтер айналасында бұрылу бұрышын сыртқы күштер моментінің осы осьтерге қатысты шамасын сипаттайтын M_x, M_y, M_z шамалар арасындағы байланыстар:

$$I_x \beta_x = \sum M_x, I_y \beta_y = \sum M_y, I_z \beta_z = \sum M_z \text{ ті білу керек.}$$

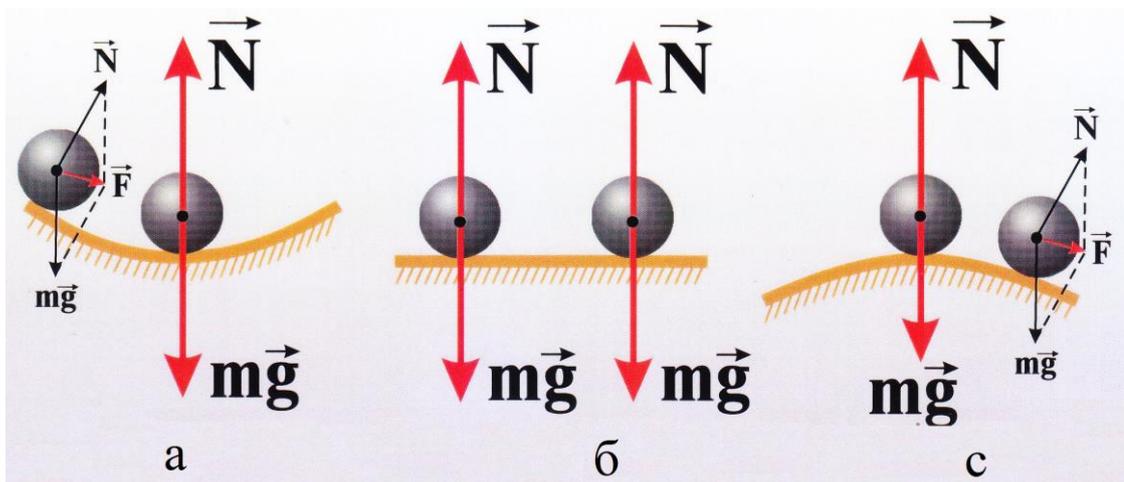
Дене тепе-теңдікте болуы үшін, басқаша айтқанда ось бойынша ауытқымауы және бұл осьтер айналасында шеңбер бойымен қозғалысқа келмеуі үшін төмендегі шарт орындалуы керек.

$$\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0$$

Демек, қатты дене тепе-теңдікте болуы үшін, оған әсер еткен күштердің x, y, z осьтерге проекцияларының жиындысы және бұл күштердің осы оське қатысты айналтырушы моменттерінің проекциялары жиындысы нольге тең болуы керек. Айту керек, тепе-теңдікте болған дене осы жағдайда қалағанша ұзақ уақыт тұра алмауы мүмкін, өйткені оларды күтпеген кіші әсерлер тепе-теңдік жағдайынан шығара алады. Бұл кіші әсер астында өз тепе-теңдік жағдайынан шыққан дене және тепе-теңдік жағдайына қайтадыма жоқпа?

Жағдайының өзгеруі қандай болуына қарап дене өзінің алдыңғы тепе-теңдік жағдайда тұрған жағдайына қайтуыда қайтпауыда мүмкін (6.21a-сурет).



6.21-сурет

А дене тегіс бетті тереңдікте тепе-теңдік жағдайда тұрған болсын. Оның төменгі нүктесінде бір-біріне тең және қарама-қарсы бағытталған ауырлық күші mg ға реакция күші R әсер етеді.

Егер тепе-теңдік жағдайынан біраз ауытқыса, mg және R_1 реакция күші бір-бірімен бұрыш астында әсер етіп, олардың нәтижесі F нольге тең

болмаудан денені тепе-теңдік жағдайына қарай бағыттталып оны тепе-теңдік күйіне қайтарады.

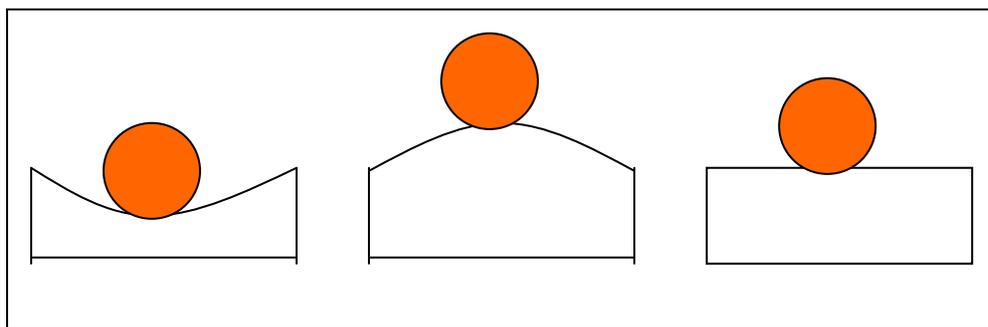
Бұл күш денені тепе-теңдік күйінен алыстатпайды. Мұндай тепе-теңдікті **орнықты тепе-теңдік** дейміз. Бұл орнықты тепе-теңдікте дененің потенциалдық энергиясы ең кіші болады. Сол себеп тепе-теңдік күйден шығаруда энергияның сақталу заңына негізделіп сыртқы күш көп жұмыс орындайды.

В дене тегіс төбеде тепе-теңдік күйде тұрған болсын және алдынғыдай mg және R бір-бірін тепе –теңдік қалпында сақтайды. Бірақ бұл тепе-теңдік күйден шығарылса, оған әсер ететін mg және R күштерінің нәтижесі F күш оны тепе-теңдік күйден алыстады (6.21б-сурет). Мұндай тепе-теңдіктеті **орнықсыз тепе-теңдік** деп аталады.

Орнықсыз тепе-теңдікте дененің потенциалдық энергиясы максимал мәнге ие болады. Сол үшін оны бұл күйден шығаруда кіші мөлшерде жұмыс орындалады. Сонымен, С дене тегіс горизонтал жазықта тепе-теңдік жағдайда тұрған болса, оны тепе-теңдік күйден шығарылған жағдайдада mg және R өзара бір-біріне тепе-теңеседі және F күш пайда болмайды (6.21с-сурет). Мұндай тепе-теңдікті **бейқалып тепе-теңдік** деп аталады. Бейқалып тепе-теңдікте күзетіліп жатқан деңгейге қатысты дененің потенциалдық энергиясы нольге тең болады. Демек, **дененің потенциалдық энергиясы оның тепе-теңдігінің анықтығын көрсетеді.**

Демек, тепе-теңдік үш түрлі болады:

1. **Орнықты**
2. **Орнықсыз**
3. **Бейқалып**



6.22-сурет

Егер денені қайсыбір тепе-теңдік күйінен азғантай ауытқытқан кезде денені бастапқы қалпына қайтаруға тырысатын күштер немесе күш моменттері пайда болатын болса, онда мұндай күй **орнықты тепе – теңдік күйі** деп аталады. Орнықты тепе-теңдік күйде дененің потенциалдық энергиясы минимал болады.

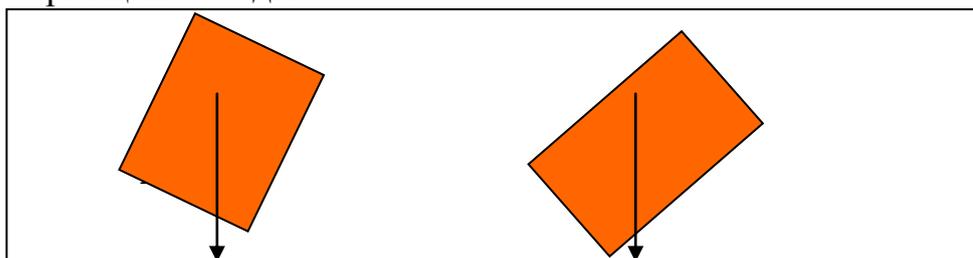
Егер денені тепе-теңдік күйден аз ғана ауытқыту кезінде осы ауытқытуды арттыруға тырысатын күштер пайда болса, онда тепе-теңдік **орнықсыз тепе – теңдік күйі** деп аталады.

Тепе-теңдік күйінен дене біраз ауытқытылғанда, ешқандай қосымша күш пайда болмаса, дененің тепе-теңдік түрі **бейқалып** деп аталады. Денені бейқалып тепе – теңдік кезінде қосымша күштер пайда болмайды, жаңа калып та орнықты тепе- теңдік қалпы болып табылады.

Дене қанша төменде болса, сонша орнықты болады.

Дене негізінің ауданы **тірек ауданы** деп аталады.

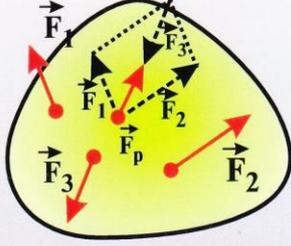
Егер дененің көлбеу жазықтықта ауырлық күші векторының жалғасы тірек ауданнан өтсе, дене орнықты тепе-теңдікте болады. Егер дене көлбеу жазықтықта ауырлық күші векторының жалғасы тірек ауданнан шығып кетсе дене құлап кетеді. Демек, тірек ауданы қанша үлкен болса, дененің тепе-теңдігі сонша орнықты болады.



6.23-сурет

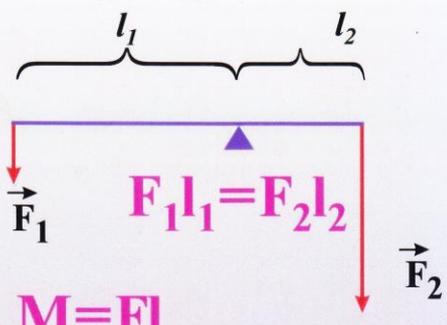
Дене тепе-теңдігінің шарты

Дене тепе-теңдігінің
бірінші шарты

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


Күштерді қосу - параллелограмм
ережесі бойынша

Дене тепе-теңдігінің
екінші шарты

$$M_1 = M_2 \quad \Sigma M = 0$$


$M = Fl$
 $[M] = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$

M - күш моменті
 l - күш иіні

ҚАРАПАЙЫМ МЕХАНИЗМДЕР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: қарапайым механизмдер, механиканың алтын ережесі, жылжымалы блок, тыныштықтағы блок, жылжымалы және тыныштықтағы блоктардың пайдалы әсер коэффициенті, тыныштықтағы блоктағы керулік күші, тыныштықтағы блоктағы үдеу, рычаг, рычаг формулалары, рычагтың тепе-теңдік шарты.

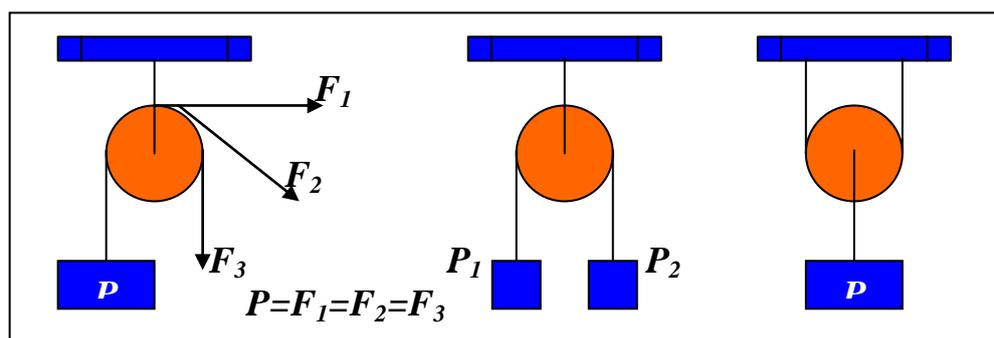
Күшті өзгертуге қызмет ететін механизмдер *қарапайым механизмдер* деп аталады.

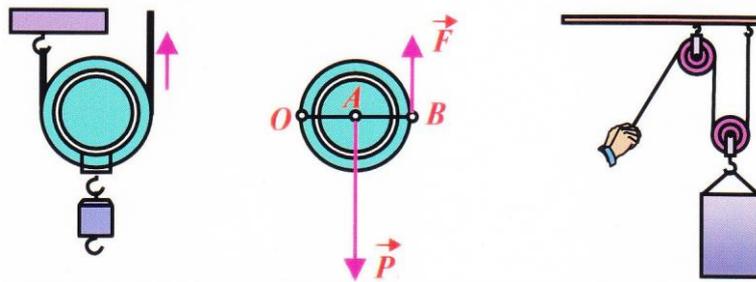
Мысалы, блок, рычаг,....

Механиканың «Алтын ережесі»: Күштен неше есе ұтсақ, қашықтықтан сонша рет ұтыламыз және керісінше.

Блоктар екі түрлі болады:

1. Жылжымалы блоктар;
2. Тыныштықтағы блоктар





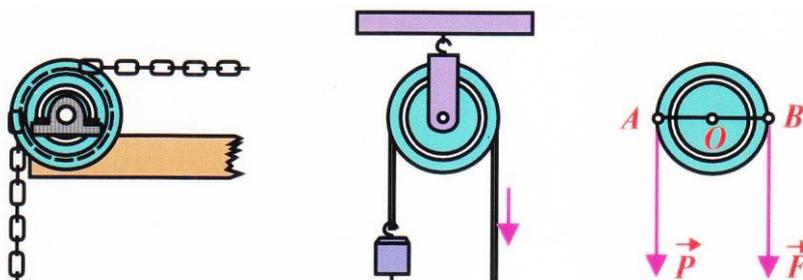
6.24 – сурет

Жылжымалы блокта жүктің көтерілу жылдамдығы жіптің тартылыс жылдамдығының жартысына тең.

$$F = \frac{P}{2} \text{ жылжымалы блок күштен екі рет ұтыс береді.}$$

$$\eta = \frac{mg}{2F} \text{ жылжымалы блоктың ПӘК.}$$

Тыныштықтағы блок күштен ұтыс бермейді, ол тек күштің бағытын өзгертеді. Тыныштықтағы блокта жүктің көтерілу жылдамдығы жіптің тартылыс жылдамдығына тең болады.



$$F_T = \frac{2 \cdot m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot g \text{ тыныштықтағы блоктағы керулік күші}$$

$$a = \frac{|m_1 - m_2|}{m_1 + m_2} \cdot g \text{ тыныштықтағы блоктағы үдеу}$$

$$\eta = \frac{mg}{F} \cdot 100\% \text{ тыныштықтағы блоктың ПӘК}$$

Тыныштық осьтен (тіреуіштен) айнала алатын шыбық (дене) **рычаг** деп аталады. Рычаг заңын Архимед ойлап тапқан.

Рычагтың формулалары:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2$$

$$F_1 S_1 = F_2 S_2$$

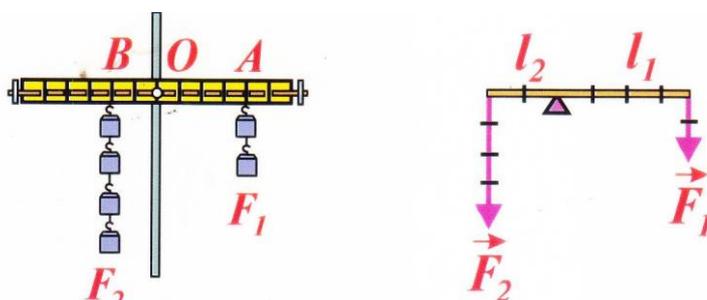
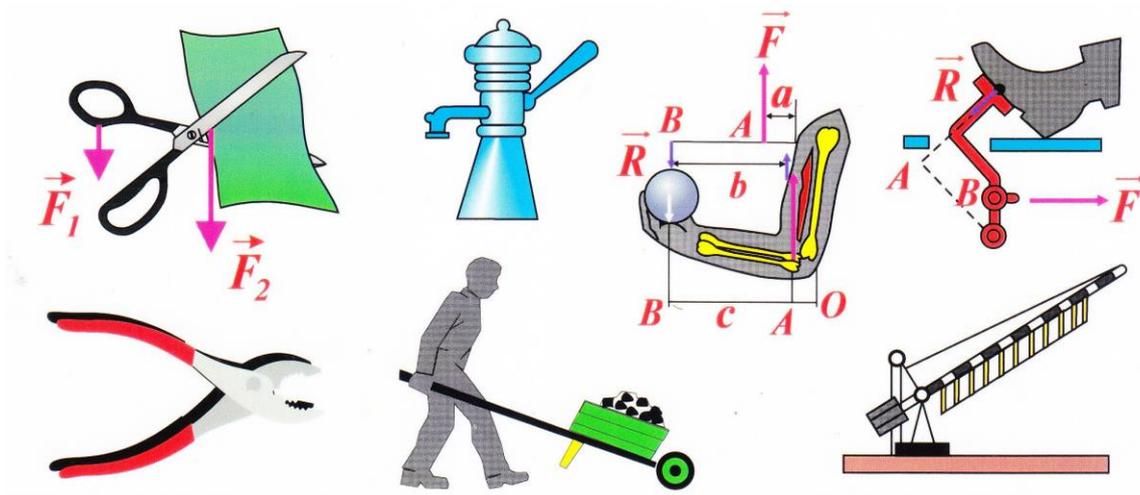
Күш моменті – күштің осы күш иініне көбейтіндісіне тең.

$$M = F \cdot l \text{ күш моменті}$$

M – күш моменті $[M] = H \cdot c$

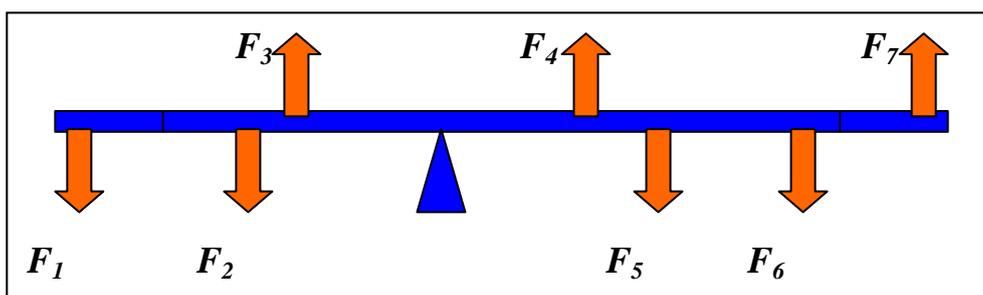
l – иін $[l] = m$

Тұрмыста және техникада рычагтардың қолданылуы

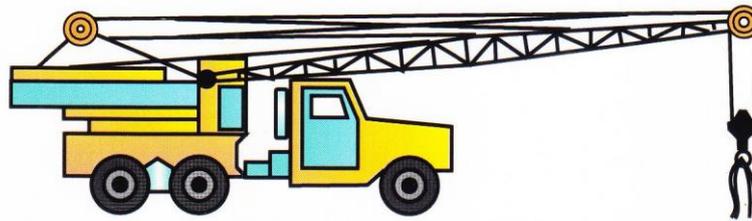


Рычагтың тепе – теңдік шарты: Сағат стрелкасы бойынша бағытталған күш моменттерінің жиындысы, сағат стрелкасына қарама – қарсы бағытталған күш моменттерінің жиындысына тең болса, рычаг тепе – теңдік күйінде болады.

Мысалы: $M_1 + M_2 + M_4 + M_7 = M_3 + M_5 + M_6$



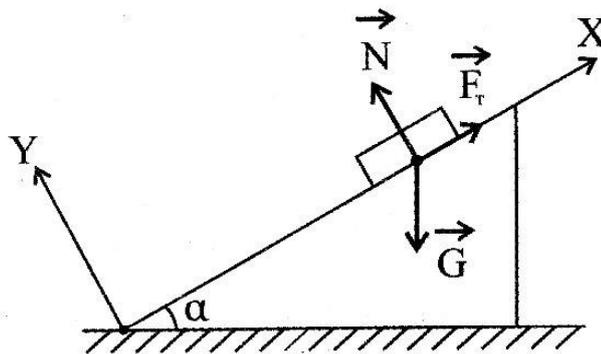
6.25 – сурет



6.26 – сурет. Көтеру краны

Көлбеу жазықтықтағы дененің тепе – теңдігі. Көлбеу жазықтықта жатқан білеушеге ауырлық күші \vec{G} , тіреуіштің реакция күші \vec{N} және тыныштық үйкеліс күші \vec{F}_m әсер етеді; тепе-теңдік шарты (күштердің моменттерін ескермеген кезде): $\vec{G} + \vec{N} + \vec{F}_m = 0$.

Егер тік бұрышты координаталар жүйесінің OX осі көлбеу жазықтыққа параллель, ал OY осі оған перпендикуляр бағытталса, онда осы осьтерге проекцияланған тепе- теңдік шарты (6.27 - сурет):



6.27 – сурет. Көлбеу жазықтықтағы дененің тепе-теңдігі

$$\vec{F}_m - G \sin \alpha = 0, N - G \cos \alpha = 0 \quad \text{теңдеулермен анықталады; } \vec{F}_m / N = \operatorname{tg} \alpha .$$

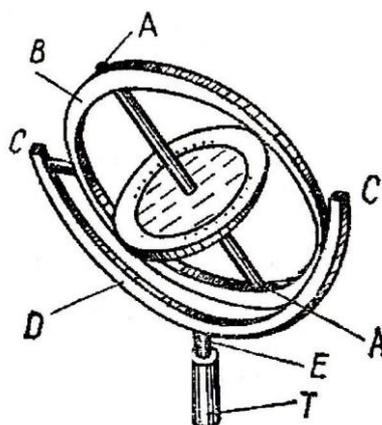
$G \sin \alpha > F'_m$ болса (F'_m - тыныштық үйкеліс күшінің максимал мәні) тепе – теңдік бұзылады, білеуше көлбеу жазықтық бойымен төмен қарай орын ауыстыра бастайды.

ГИРОСКОП ЖӘНЕ ОНЫҢ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: гироскоп, гидрокомпас, теңе – теңдік, гироскоптың импульс.

Еркін ось айналасында үлкен бұрыштық жылдамдықпен қозғалып жатқан бір текті катты дене **гироскоп** деп аталады. Импульс моментінің сақталу заңына орай гироскоп кеңістікте өз айналу осінің бағытын сақтауға әрекет жасайды. Егер гироскоп массасы және шеңберлі бұрыштық жылдамдығы қанша үлкен болса, ол өз осі бағытын сонша тұрақты сақтайды.

Гироскоп AA ось айналасында қозғалып жатқан болсын (6.26 – сурет). Бұл ось орналастырылған подшипниктер B сақинаға бекітілген болып, бұл сақина өз ретінде CC ось айналасында айналады. CC ось подшипниктері D жарты сақинаға бекітілген болып, бұл жарты сақина E ось айналасында айналады. E осі қозғалмайтын подшипникке сүйеніп тұрады. Подшиптик болса, T трубканың төменгі бөлігінде орналасқан.



6.26 – сурет

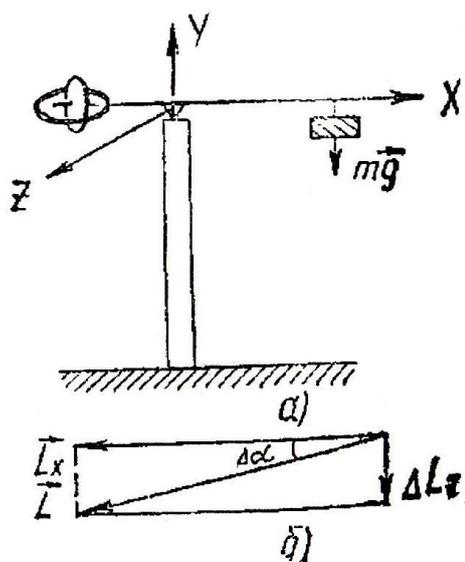
Егер T трубканы қолға алып жан- жақ бұрсاق (гироскоп қозғалып жатса-да), AA ось кеңістікте өз бағытын сақтайды, бірақ B сақинаға аз ғана тиіп кетсе, гироскоп CC немесе E ось айналасында айнала бастайды.

Егер гироскоп AA ось айналасында үлкен бұрыштық жылдамдықпен қозғалып жатқан болса, B сақинаға қысқа уақытта жетерлі дәрежеде үлкен әсер көрсетілседе осьтің кеңістіктегі бағыты тұрақты қалады.

Мұның себебі, гироскоптың импульс моменті $I\omega$ өте үлкен. B немесе D сақинаға қысқа уақытта болатын импульс моментінің әсері күш моменті импульсі Mdt ны өте кіші мөлшерде өзгертпеді. Сондықтан толық импульс моментінің шамасы және бағыты айтарлықтай өзгермейді. Нәтижеде гироскоп айналып жатқан AA ось кеңістікте өз бағытын сақтайды.

Егер әсер қысқа уақытты болмаса, гироскоп күйі қандай өзгеруін көрейік (6.27,а – сурет). Гироскоптың x осі вертикаль y және горизонталь z осі айналасында айналуы мүмкін. Үш ось гироскоп тірегінде қиылысады.

Алдымен, гироскоптың m массасы дене мен тепе – теңдік күйге келтірілген болсын. Егер гироскоп шеңбер бойымен қозғалысқа келтірілсе, оның осі кеңістікте өз бағытын өзгертпейді, себебі импульс моменті $L_x = I_x \omega_x$ тұрақты.



6.27 – сурет

Тепе – теңдікті бұзамыз, бұл үшін m массалы денені жылжыту немесе жанына қосымша жүк қою керек. Пайда болған M_z момент гироскопты Z осі айналасында ауытқытуы керек. Бірақ тәжірибелер көрсетуінше, гироскоп Y осі айналасында шеңбер бойымен қозғалысқа келеді. Бұның себебі не?

Бұрайтын момент әсерінде гироскоп қосымша импульс моментін алады:

$$\Delta L_z = M_z \Delta t$$

Бұл қосымша импульс моменті бастапқы импульс моменті L_x пен векториал қосылады. Жиынды моменті L_x моментке қатысты $\Delta\alpha$ бұрышқа бұрылады (6.27,б – сурет). Бұл ығысу вертикаль оске қатысты болады:

$$\Delta\alpha = \Omega_y \Delta t$$

Ω_y – осы ығысудың бұрыштық жылдамдығы. Нәтижеде, барлық гироскоппен бірге L_x және L_y те бұрылады. Бұрылудың бағыты ω_x және M_z бағытқа байланысты.

6.27,б – суретте өрнектелген векторлық диаграммадан:

$$\frac{\Delta L_z}{L_x} = \frac{M_z \Delta t}{I_x \omega_x} = \operatorname{tg}(\Delta\alpha) \approx \Delta\alpha = \Omega_y \Delta t$$

Бұдан,

$$\frac{M_z}{I_x \omega_x} = \Omega_y$$

Реал гироскоптарда үйкеліс болғанда бұрыштық жылдамдық кемейіп, оның осі вертикаль жақындайды. Бұл вертикаль бағыт M_z бағытымен сәйкес түседі.

Гироскоптың өз осі бағытының кеңістікте сақталу қасиетінен техникада кеңінен қолданылады. Мысалы, снаряд және ракеталардың қозғалыс бағытын тұрақты сақтау үшін олар шеңбер бойымен қозғалысқа келтіріледі. Снаряд оғы ствол ішінде шеңбер бойымен қозғалысқа келтіріледі. Ракеталар қозғалысын басқаруда да ракеталар корпусы ішіне гироскоптар орналастырылады.

Гироскоптың техникада қолданылуынан бірі бұл гироскоп *гидрокомпас*. Егер гироскоп осі мен бірер меридиан бағытында болып, оны электр двигателдер көмегінде қозғалысқа келтірілсе, ось меридиан бағытында өз күйін сақтайды. Гидрокомпастарда айналу жылдамдығы өте үлкен болып, $500 \frac{\text{айн}}{\text{с}}$ қа жетеді.

Әрқандай жүйенің кеңістіктегі күйін және бағытын сақтау үшін жүйе және гироскоп бір – біріне берік бекітіледі.

Сыртқы әсер жүйеге (мысалы, кемеге) әсер етіп, оның күйін өзгертсе, жүйемен байланысты болған гироскоп осі де өз күйінің бағытын өзгертуі керек. Бірақ гироскоп осі өз күйін сақтауға ұмтылады. Нәтижеде гироскоп пен байланысты жүйе де бірқалыпты күйге қарай ұмтылады.

VII БӨЛІМ. СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ГАЗ ТӘРІЗДІ ЗАТТАР МЕХАНИКАСЫ

СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ГАЗ ТӘРІЗДІ ЗАТТАРДЫҢ ТҮЗІЛІСІ.

ПАСКАЛЬ ЗАҢЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Паскаль заңы, қысым, қысым бірлігі, миллиметр сынап бағаны, атмосфера, миллиметр су бағаны, қатынас ыдыстар, гидравликалық пресс, Торричелли тәжірибесі, сұйық және газдарды қысымның үздіксіз ұзатылуы, қалыпты қысым, барометр, анероид-барометр, Торричелли трубкасы, жоғары қысым, манометр.

Заттар үш агрегаттық күйде (газ, сұйық, қатты) болып, олардың физикалық қасиеттері күй параметрлері өзгеруімен бір – бірінен айырмашылық етуі немесе ұқсас болуы мүмкін.

Мысалы, қалыпты жағдайда газ молекулалары арасындағы қашықтық олардың өлшемімен салыстырғанда өте үлкен болып, тығыздығы кіші және сығылғыш болады, яғни *газ молекулалары арасындағы өзара тартылыс күші кіші болғандығынан ол өзі құйылған ыдыс көлемін толық иелейді және ыдыс пішінін алады.*

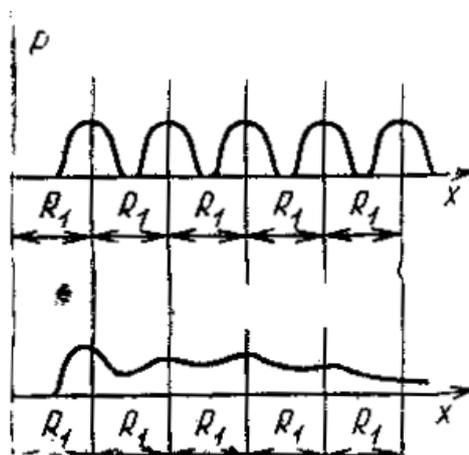
Сұйық молекулалары бір – біріне өте жақын орналасқан болып, олар арасындағы өзара әсер күші газ молекулалары арасындағы өзара күштен бір неше жүз есе үлкен болып, тығыздығы газдар тығыздығынан жүз есе үлкен, өте аз сығылады. Бұл қасиеті жағынан сұйықтар қатты денеге жақын тұрады. Критик температураға жақын температурада сұйық күй және қаныққан бу қасиеттері (тығыздығы, сығылуы) бір – біріне өте жақын болып, сұйық газға ұқсаса, балку температурасында сұйық өзінің көптеген қасиеттерімен қатты денеге ұқсайды. *Сұйық, газ сияқты, өзі құйылған ыдыс пішінін иелесе-де, бірақ қатты дене сияқты белгілі бір көлемді иелейді.*

Газдарда молекулалар тәртіпсіз қозғалыста болса, қатты денелерде молекулалар өз тепе – теңдік күйі айналасында тек тербелмелі қозғалыс жасайды, яғни қатты дене молекулалары орналасуында анық тәртіп бар.

Сұйық молекулалары қатты дене молекулалары сияқты тығыз орналасқан болса-да, оның өз көлемін өзгертуі сұйық молекулаларын (газ молекулаларындай болмаса-да) аз болса-да, бір – біріне қатысты еркін қозғалыс жасауын көрсетеді. Сонымен, *газ күйі (молекулалардың еркін қозғалысы) мен қатты күй (молекулалар теңе – теңдік күйі айналасында тербеледі) аралығындағы зат күйі сұйық күй есептеледі.*

Жоғарыда айтылған пікірлердің дұрыстығын сұйықтардың рентген структурасын талдау мен де анықтау мүмкін.

7.1-суретте кристалл және сұйықтарда атомдардың бөліну ықтималдығы (P) берілген.



7.1 - сурет

Біреп – бір атомды санақ басында деп алып, осыдан белгілі бір бағытта R_1 қашықтықта басқа атом бар екендігін білу үшін, жылулық қозғалысын есепке алмай, R_1 қашықтықтан аз қашықтықта атомды кездестіру ықтималдығы нольге тең болады. R_1 қашықтықта бұл ықтималдық бірге тең болады. Сонымен, таңдалған бағытта кейінгі атом алдыңғы атомнан тек R_1 қашықтықта тұрады. R_1 ден үлкен және $2R_1$ ден кіші қашықтықта атомды бөлу ықтималдығы нольге тең болып, $2R_1$ қашықтықта бірге тең болады. Сонымен, таңдалған атомнан белгілі бір бағытта R_1 қашықтыққа еселі аралықта атомды кездестіру ықтималдығы бірге тең.

Егер атомдардың жылулық қозғалысы есепке алынса, олардың $2R_1$ қашықтықтан аз ғана айырмашылық ететін қашықтықтарда кездестіру

ықтималдығы нольден айырмашылықта болады. Атом көрші атомға бір жақындаса (қашықтық R_1 ден кіші), одан бір аз алыстайды (R_1 ден бір аз үлкен).

Санақ басында тұрған атомнан басқа атомдардың қандай қашықтықта болуы және олар арасындағы қашықтық өзгеру ықтималдығы 7.1-суретте көрсетілген графикте бейнеленген. Бізге графиктен белгілі (жоғарыдағы қисықтың), әр бір nR_1 аралықта атомның бөліну ықтималдығының жазықтығы (қисықтың қоңырау тәрізді бөлігінің жазықтығы) бірдей. Дәл осы жазықтықтың тұрақты қалуы кристалл бойынша тәртіптің сақталуы, демек, кристаллда жақын және ұзақ тәртіп бар екендігін көрсетеді.

Сұйықтарда болса, қисықтың көрінісі басқаша (төменгі қисық).

Сұйықтарда да атом белгілі бір қашықтықта кездесу ықтималдығы (P) сапа жағынан кристалл тәрізді. Бірақ қисықтағы бірінші қоңырау тәрізді бөлігінде ғана максимум анық көрініп, $2R_1$, $3R_1$ және басқалар арасында максимумдар азайып барады және соңында жоқ болып кетеді. Демек, таңдап алынған сұйық атомынан тек R_1 қашықтықта басқа атомды бөлу ықтималдығы ең үлкен болып (кристаллдағы сияқты), қашықтық артқан сайын ықтималдық азаяды, кезкелген қашықтықта атомды бөлу ықтималдығы бір – біріне теңесіп қалады (газдардағы тәрізді). Бұл болса сұйықтарда жақын тәртіп бар екендігін, ұзақ тәртіп жоқ екендігін көрсетеді.

Атап айтқанда, ықтималдықты бейнелейтін қисықтағы максимумның оң бөлігі нольге дейін түспейді. Мұның себебі, сұйықтарда таңдалған бөлшекке жақын бөлшек белгілі бір бөлшек емес, ол өзгеріп тұрады. Сол себепті таңдалған молекулаға жақын молекулалар саны туралы әңгіме барысында, тек орташа сан туралы пікір білдіру мүмкін.

Жоғарыда сұйықтардың қасиеті күй параметріне қарай қатты дене қасиетіне немесе газ қасиетіне жақын болуы туралы пікірлер айтылды. Сұйық қасиетінің екі түрлі болуына себеп, сұйық молекулалары қозғалысының өзіне сай екендігі.

Қатты дене молекулалары тепе – теңдік күйі айналасында тербелмелі қозғалыс жасайды, ал газ молекулалары қозғалысы толық тәртіпсіз болады.

Сұйық молекулалары қатты дене молекулалары сияқты басқа бір тепе-теңдік күйі ортасында тербеледі. Бірақ бұл тербеліс орны мөлшерлі емес, белгілі бір τ уақыттан соң басқа орынға ауысады (10^{-8} см) және осы орында тербеле бастайды.

Молекула өзінің уақытша тепе – теңдік күйінен екінші күйге өткенде, оның басқа молекулалар мен байланысы үзіледі. Байланыс үзілу үшін W энергия жұмсалады. Молекула жаңа орынға секіріп өткеннен соң бұл орын айналасындағы молекулалар мен байланыста болады. Мұнда W энергия бөлініп шығады.

Сонымен, молекула «ескі» орыннан «жаңа» орынға өткенде оның потенциалдық энергиясы W ге артады. Бұл энергияны активация энергиясы деп атайды және басқа молекулалар энергиясы есебіне болады.

Егер сұйық молекуласын белгілі бір орында уақытша тербеліс периодын τ_0 деп атасақ, осы орында тербеліс (отырықты) уақыты

$$\tau = \tau_0 u^{\frac{w}{kT}} \quad (7.1)$$

болады.

τ – молекуланың «отырықты» күйі бар болуының орташа уақыты **релаксация уақыты** деп айтылады және формуладан белгілі, температура артуымен ол азайып, керісінше кемеюімен артады.

Егер сұйық температурасы критик температураға жақын болса, сұйық молекуласының тепе – теңдік күйі айналасында тербелу жиілігі $10^{12} - 10^{13}$ Гц болып, өз орнында шамамен 10^6 рет тербеліп басқа орынға ауысады. Бұл секірулер әр секундта $10^5 - 10^6$ рет болады. Температура төмендеген де бұл секірулер саны азайып, сұйық жабысқақ болып қалады. Тәжірибелерден белгілі, сұйықтардың көлемдік ұлғаю коэффициенті газдарға қатысты кіші

болып, характерлі жағы, қысым артуымен барлық сұйықтар үшін бұл коэффициент атап айтқанда бірдей.

Жалпы алғанда, температура артуымен сұйықтардың жылулық сыйымдылығы аз болса-да артады, бірақ C_p және C_v ортасындағы айырмашылық өте кіші болады.

Сұйықтардың жабысқақтығы газдарға салыстырғанда өте үлкен болып, температура артуымен азаяды. Әр түрлі сұйықтар үшін жабысқақтық коэффициенті бір – бірінен үлкен айырмашылық етеді. Мысалы, үй температурасында су жабысқақтығы глицерин жабысқақтығынан 250 есе аз.

Сұйықтардың маңызды қасиеттерінен бірі өзі құйылған ыдыс қабырғасы мен шекараланбаған еркін бетке ие болуы.

Егер сұйық тамшысына ауырлық күші әсер етпесе, тамшы шар пішінінде болады, яғни оның беті ең кіші болуға ұмтылады. Мұның себебі, сұйық бетіндегі молекулалардың жеке энергетикалық күйде болуы.

Механиканың газ және сұйықтардың тепе – теңдігін үйренетін бөлімі *гидроаэростатика*, олардың сыртқы әсері нәтижесінде қозғалысы және тепе – теңдік күйін үйренетін бөлімі *гидроаэродинамика* деп аталады.

Қысым күші dF элементар dS ауданға әсер еткен болсын, пайда болған қысым P мен олар арасындағы қатынас төмендегідей:

$$dF = P \cdot dS$$

Қысым – бұл физикалық шама болып, бетке тік (перпендикуляр) әсер ететін күштің осы күш әсер еткен бет ауданына қатынасына тең.

Атап айтқанда қысым деп, беттің бірлік ауданына тік түрде әсер ететін күшке мөлшер жағынан тең болған физикалық шамаға айтады.

$$P = \frac{F}{S}$$

P – қысым және оның негізгі бірлігі Паскаль (Па), яғни $[P] = Па$

F – күш $[F] = Н$

S – аудан

$$[S] = \text{м}^2$$

$$k \frac{H}{\text{см}^2} = k \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$1 \frac{H}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$$

Қысымның және төмендегідей туынды бірліктері бар:

$$1 \text{ мм.сын.баг} = 1 \text{ мм.Нг.баг} = 133,28 \text{ Па}$$

$$1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$$

$$1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$$

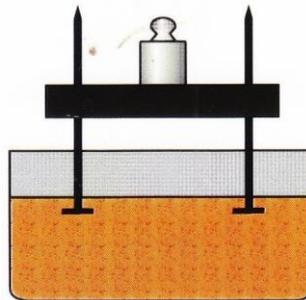
$$1 \text{ атмосфера} = 10^5 \text{ Па}$$

$$1 \text{ мм.Н}_2\text{О.баг} = 9,8 \text{ Па}$$

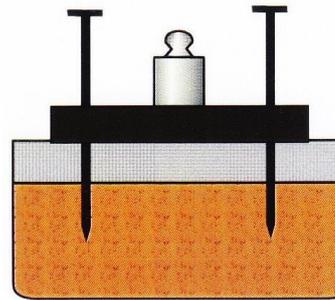
Қысым күші қысым және тірек ауданына пропорционал

$$F = P \cdot S$$

Аудан үлкен болса, қысым кіші болады (7.2 (а) - сурет), керісінше, аудан кіші болса, қысым үлкен болады (7.2(б) – сурет).



7.2 (а) - сурет



7.2(б) - сурет

Паскаль заңы: Сұйық немесе газға әсер етіп жатқан сыртқы қысым сұйық немесе газдың әрбір нүктесіне өзгеріссіз ұзатылады (7.3-сурет).

$P = \rho \cdot g \cdot h$ сұйық бағанының қысымы

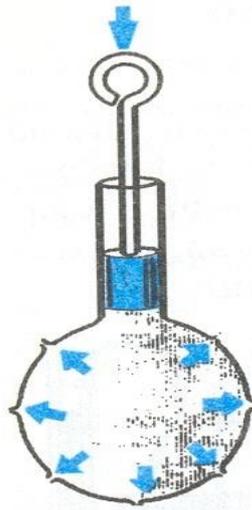
$P = \rho(g \pm a) \cdot h$ вертикаль қозғалғанда сұйық бағанының қысымы, жоғарыға (+), төменге (-).

h – тексеріліп жатқан нүктедегі сұйық деңгейінің биіктігі $[h] = \text{м}$

ρ – сұйық тығыздығы

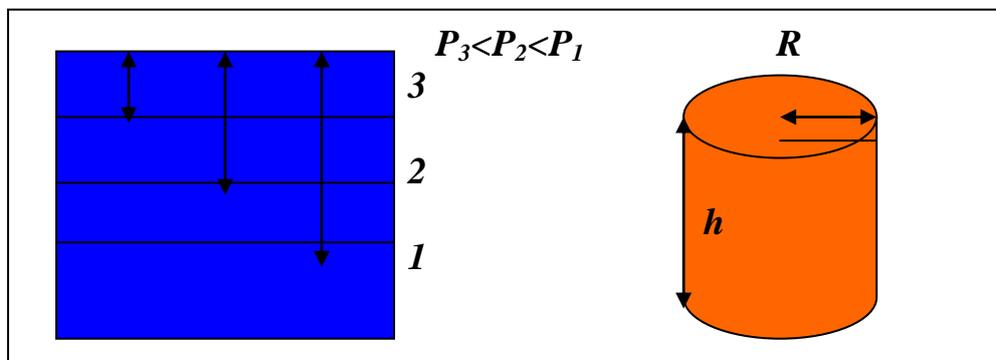
$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

a – сұйық құйылған ыдыстың вертикаль қозғалыстағы үдеуі $[a] = \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$



7.3 - сурет

Паскаль заңына негізделіп, сұйық бағанының биіктігі H ге қарай, ыдыс қабырғасы элементіне берілген қысымда өзгереді. Шындығындада, цилиндр тәрізді ыдыс алып оның түбінен әртүрлі биіктікте бірдей кесінді кемтік ашсақ, төменгі кемтіктерден ағып шыққан сұйық, жоғарыдағы кемтіктен ағып шыққан сұйыққа қатысты алыс қашықтықта атқылайды. Демек, ыдыс түбінде қысым үлкен болады және мұны біз төмендегі 7.4 – суреттен көруіміз мүмкін:



7.4 - сурет

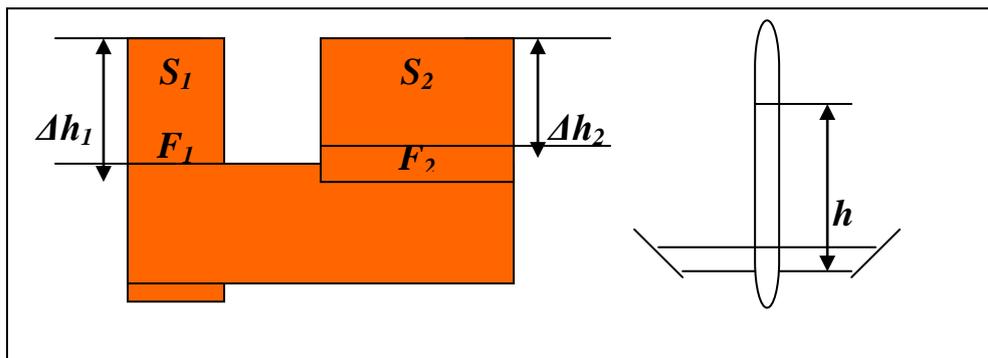
Мысалы, дүние мұхитының ең терең Марианна шөгіндісі (тереңдігі 11022 метр) түбіндегі қысым $11 \cdot 10^7 Pa$ ға тең.

Еркін түскен ыдыстан су азып түспейді.

Түптері қатынастырылған ыдыстар жүйесіне **қатынас ыдыстар** деп айтады.

Қатынас ыдыстарда әрдайым қысымдар бірдей болады.

Қатынас ыдыстарда тығыздығы үлкен сұйықтың биіктігі кіші болады және керісінше, тығыздығы кіші сұйықтың биіктігі үлкен болады.



7.5 – сурет

Әртүрлі пішіндегі қатынас ыдыстарда тыныш күйде болған бір текті сұйықтың еркін беті бірдей биіктікте болады.

$$P_1 = P_2$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

Қатынас ыдыс формулалары

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2, \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}$$

Пресстеу үшін пайдаланылатын аспап **гидравликалық пресс** деп аталады.

Гидравликалық пресс формулалары

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$$

$$F_1 \cdot S_2 = F_2 \cdot S_1$$

$$F_1 \cdot \Delta h_1 = F_2 \cdot \Delta h_2$$

F_1 – бірінші поршенге әсер ететін күш

F_2 – екінші поршенге әсер ететін күш

S_1 – бірінші поршеннің ауданы

S_2 – екінші поршеннің ауданы

Δh_1 – бірінші поршеннің жүріп өткен жолы

Δh_2 – екінші поршеннің жүріп өткен жолы

Сұйық және газдар қысымын өлшейтін аспап – **манометр** деп аталады.

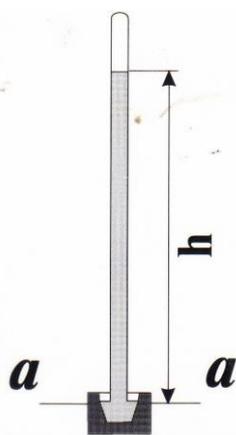
Жерді орап тұрған ауа қабаты **атмосфера** деп аталады.

Атмосфера дегеніміз планетаның ауырлық өрісінде оны қоршап тұрған газдардың қоспасы болып табылады.

Атмосфера қысымының шамасын сұйық бағанының қысымын өлшегендей оңай өлшеуге болмайды, себебі атмосфераның нақты бір шекарасы жоқ және екіншіден ауаның тығыздығы бойымен бірдей емес.

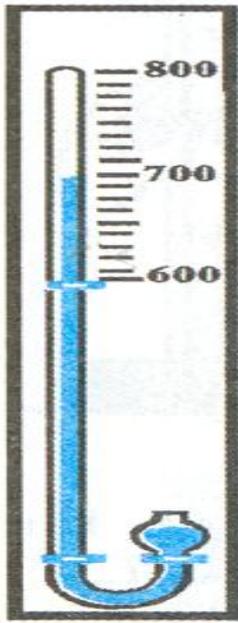
Атап айтсақ, атмосфера қысымын XVII ғасырда бірінші болып, италиялық ғалым Торричелли тәжірибе жолымен анықтаған.

Торричелли төмендегі тәжірибені өткізген. Ол бір ұшы дәнекерленген бір метр шамасындағы түтік алып, оған сынап толтырады. Сынап ағып кетпеуі үшін түтіктің екінші ұшын саусақ пен бекітіп, оны төңкерілген күйде сынапты кесеге батырады. Және сынап ішінде түтіктің ұшын ашып жібереді. Мұнда түтіктегі сынаптың бір бөлігі кесеге ағып түседі және түтікте биіктігі 760 мм. ге тең сынап бағаны қалады.

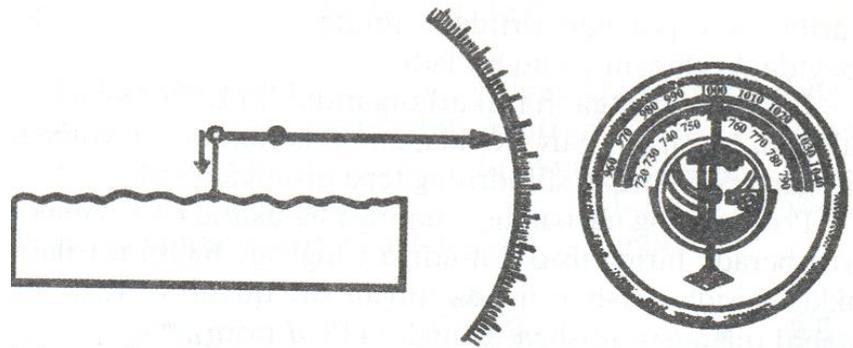


7.6- сурет

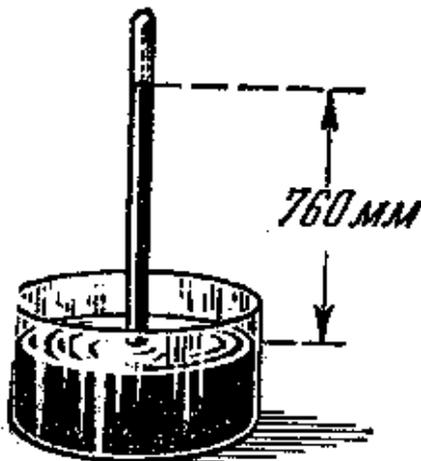
Өткізілген тәжірибе төмендегідей түсіндіріледі: Кеседегі сынап бетінде көрсетілген атмосфера қысымы түтік ішінде қалған сынап бағанының қысымы мен теңескенде, түтіктен сынаптың ағып шығуы бітеді.



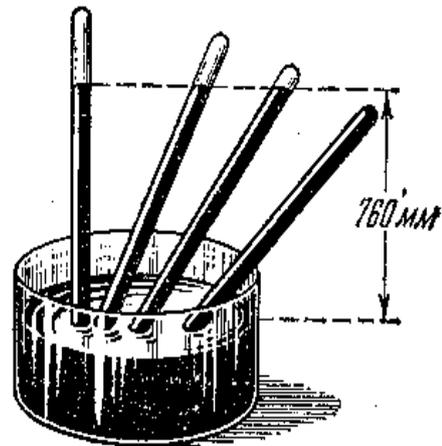
7.7(a) – сурет



7.7(б) - сурет



7.7(в) – сурет



7.7(г) - сурет

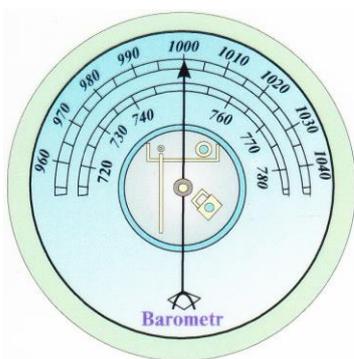
Демек, атмосфера қысымын Торричелли түтігіндегі сынап бағанының қысымымен өлшейді.

Атмосфера қысымын өлшейтін аспап – **барометр** деп аталады. Ол грекше сөз болып, “baro” – қысым, “metro” – өлшеу, яғни қысымды өлшеу дегені. Бастапқы қысымды өлшейтін аспап сынапты барометр (7.7(a) – сурет) болып, ол сынап құйылған шыны түтік, сынапты кесе және миллиметрлі өлшеу шкаласынан құралған.

Күнделікті тұрмыста, техникада, өндірісте сынапты барометрлерден пайдаланбайды. Себебі, сынап және сынап буы адам денсаулығы үшін

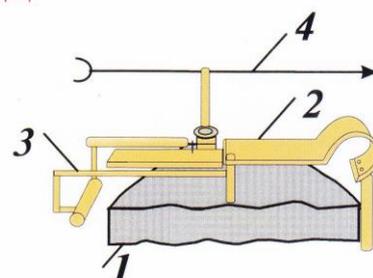
қауіпті. Сол себепті aneroid барометрлер жасалған. «Aneroid» грек тіліне алынған сөз болып, «сұйықсыз» деген мағынаны білдіреді.

Атмосфера қысымын өлшеу үшін пайдаланылатын сұйықсыз металл барометрлерді **анероид барометрлер** деп атайды. Анероид барометр берік металл құтыдан құралған қысым өлшейтін болып, үсті бұралатын металл қақпақпен берік жабылған және құтыдағы ауа сорып алынған. Атмосфера қысымы өзгеруімен көбіне аз иіледі. Қақпақ осы жол мен көрсеткішке қосылады. Көрсеткіш түбіне шкала орналастырылған болып, ол сынапты барометрдің көрсеткіш стрелкасына сәйкес болып шығарылған. Қысым өзгергенде бұл көрсеткіш оң және сол жаққа ауытқиды. Көрсеткіштің төменгі бөлігі сынапты барометр көмегінде миллиметр сынап бағаны немесе гектопаскалдарда, ал кейде дәрежеленген шкалада болады (7.8(б),(д) – сурет).



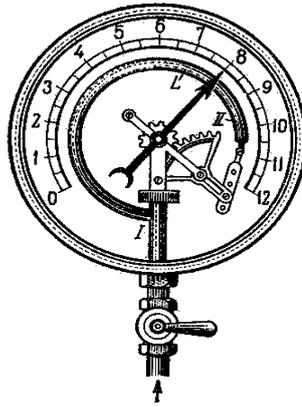
Барометр - анероид

1. Металл гофриланған мембрана
2. Серіппе
3. Ұзатқыш механизм
4. Көрсеткіш



7.8(д) – сурет

7.7(в) – суретте Торричелли трубкасы бейнеленген. Бірдей биіктіктерде Торричелли трубкасы түрлі бұрыштарда болса-да, ондағы сынаптың деңгейі бірдей болады. Торричелли трубкасы барометр ретінде де пайдаланылады.



7.9 – сурет. Жоғары қысымдарды өлшеуге мөлшерленген манометр.

Ғарыштық кемеде қысымды өлшейтін аспап – *анероид барометр* деп аталады.

Анероид барометрдің абзалдығы, одан салмақсыздық күйінде де пайдалану мүмкін.

Сол себепті, жасанды серік кабинасындағы ауа қысымын анероид барометр көмегінде өлшеу мүмкін.

Қалыпты атмосфера қысымы

$$1 \text{ атм.} = 760 \text{ мм.сын.баг} = 101325 \text{ Па} = 101300 \text{ Па} = 10^5 \text{ Па} \text{ ға тең.}$$

Әр 12 м биіктікке көтерілгенде атмосфера қысымы *1 мм.сын.баг.* на немесе 133,3 Па ға азаяды және керісінше.

Биіктік артуыман ауаның тығыздығы және қысымы азаяды, жоғарыда ауа молекулаларының концентрациясы аз. Атмосфераның түрлі биіктіктеріндегі қысымды формулалар көмегінде анықтаймыз.

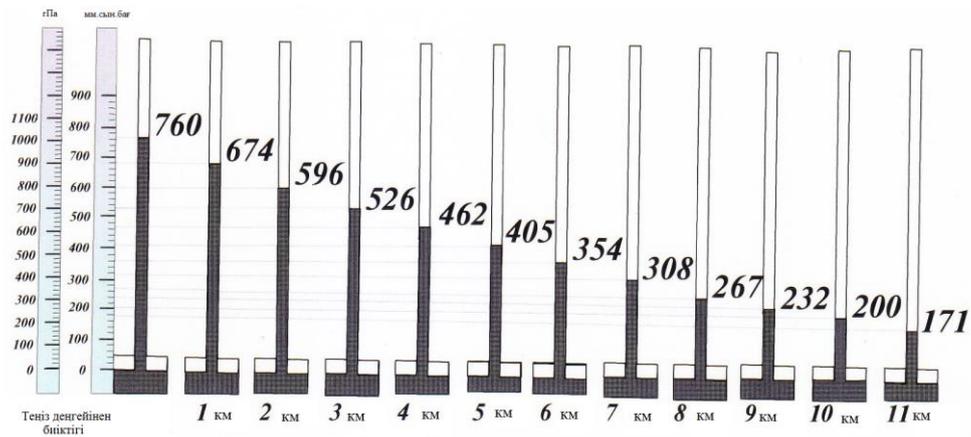
БАРОМЕТРЛІК ФОРМУЛА

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: атмосфера қысымы, түрлі биіктіктерде қысымның өзгеруі, тығыздық, молекулалар концентрациясы, Больцман тұрақтысы, Авагадро саны, Максвеллдің таралу заңы формуласы, Максвелл-Больцманның таралу формуласы, барометрлік формула, Жамолуңма шыңы.

Өте үлкен болмаған көлемдерде (бір неше м³ та) газдардың тығыздығы және бірлік көлемдегі молекулалар саны (концентрация) тексеріліп жатқан фазада айтарлықтай бірдей болады. Үлкен көлемдерде молекулалардың теңдей бөлінуі ауырлық күші әсерінде бұзылады, мұнда тығыздық да өзгереді.

Идеал газ теңдеулерін молекулалы-кинетикалық теорияның негізгі теңдеулерін қарастырғанымызда газға сыртқы әсер болмаған күйде ғана газ молекулалары газ құйылған ыдыстың барлық жағында бірдей бөлінеді, бақыланып жатқан күйде газ қоюлығы тұрақты деп айтуымыз мүмкін. Керісінше бұл жұмыс мүмкін емес, Жер шарын ауа қабаты орап тұр. Онда Жер тартылысы нәтижесінде егер молекулалардың өзара итерісу күші болмағанда, Жер бетінде атмосфера қабаты пайда болмайтын еді. Демек, бұл екі әсерден белгілі, Жер бетінен алыстауына қарай газ молекулалары қоюлануға қарай өзгереді, Жердің тартылыс күшін тұрақты деп газ молекуласы қоюлығының биіктігіне қарай қандай өзгеруін көріп шығамыз:

Жер бетінен биіктік артуымен атмосфера қысымының өзгеру заңын қарастырамыз. Жер бетінде атмосфера қысымы P_0 және h биіктікте P болсын. Биіктік dh ке артқанда қысымның өзгеруі $-dp = \rho g dh$ болады, бұл жерде ρ – берілген h биіктіктегі ауа тығыздығы, яғни қысым төмендегі график көрінісінде азаяды:



7.10-сурет. Әрбір 12 м биіктікте көтерілуде қысым 1 мм.сын.бағ на азаяды.

Демек, атмосфераның қысымы планета бетінен h қашықтық артқан сайын кеміп отырады.

$p = mn$ болып, n – бірлік көлеміндегі молекулалар саны, m – молекула массасы. Молекулалар саны қысыммен $P = nkT$ тәртібінде байланысқан, ол жағдайда

$$\rho = \frac{mP}{kT} \quad (7.2)$$

және

$$dP = -\frac{mg}{kT} \rho dh \quad (7.3)$$

$T = const$ деп алып, (үлкен биіктіктерде орынды емес) (7.3) өрнекті интегралдаймыз:

$$\int_{P_0}^P \frac{dP}{P} = -\frac{mg}{kT} \int_0^h dh \quad (7.4)$$

Бұдан барометрлік формуланы аламыз:

$$P = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) \quad \text{немесе} \quad P = P_0 \cdot e^{-\frac{mgh}{kT}} \quad (7.5)$$

m ді $\frac{\mu}{N_A}$ арқылы белгілесек, бұл жерде газдың молекулалық ауырлығы,

N_A – Авагадро саны, төмендегіні аламыз:

$$P = P_0 \cdot \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) \quad \text{немесе} \quad P = P_0 \cdot e^{-\frac{\mu gh}{RT}} \quad (7.6)$$

мұндағы μ - атмосфераны түзетін газдар қоспасының орташа мольдік массасы, g - планетаның бетіне жуық жердегі еркін түсу үдеуі, R - мольдік газ тұрақтысы, T – температура, p_0 – планета бетіндегі атмосфера қысымы, e – натурал логарифмдердің негізі ($e \approx 2,72$). (7.6) қатынас **барометрлік формула** деп аталады.

Жер атмосферасы үшін барометрлік формуланы

$$h \approx 18400 \lg \frac{P_0}{P} / T_0$$

түрінде беруге болады, мұндағы h - биіктік (метрмен), $T_0 = 273,15K$

Газ қысымының бірлік көлемдегі молекулалар санына тәуелді екеніне назар аударып, (7.6) ны төмендегі көріністе жазамыз:

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{mgh}{kT}\right) = n_0 \exp\left(-\frac{\mu gh}{RT}\right) \quad (7.7)$$

Екі параллель жазықтық аралығында ауырлық күші әсерінде болған dh қалыңдықтағы газ қабатын қарастырамыз. Ауырлық күшінің бағыты осы жазықтықтарға перпендикуляр. Төменгі жазықтықтың Жерден биіктігі h Жер бетінен жоғары қарай қозғалыс жасап жатқан молекуланы қарастырамыз; вертикаль жоғарыға бағытталған молекуланың бастапқы жылдамдығы U_{zo} . Биіктік бойынша молекула жылдамдығының өзгеруін энергияның сақталу заңынан табамыз:

$$\frac{mU_{zo}^2}{2} = \frac{mU_z^2}{2} + mgh \quad (7.8)$$

Молекуланың өзара соқтығысулары нәтижесінде h биіктікті иелей алмағандығы үшін біздің пікірлеріміз дұрыс: молекула соқтығысу уақытында жылдамдығын басқа молекулаға береді. Молекула иелеген биіктік

$$h = \frac{U_{zo}^2}{2g}$$

h биіктіктен жоғары биіктіктерде тек ғана бастапқы жылдамдығы төменгі жылдамдықтан үлкен болған молекулалар болуы мүмкін:

$$U_{z_0} + dU_{z_0} = \sqrt{2g(h + dh)}$$

Биіктіктің нолінші қабатындағы бірлік көлемдегі молекулалар жылдамдығы U_{z_0} ден $U_{z_0} + dU_{z_0}$ ге дейін $nf(U_{z_0})dU_{z_0}$ ге тең, әр секундта бір бетті тастап кететін молекулалар саны $v = n_0 f(U_{z_0}) U_{z_0} dU_{z_0}$ (7.8) ші теңдеуге негізделіп $U_z = 0$, $F_A < F_{Ay}$ болса, ол күйде

$$v = n_0 f(U_{z_0}) g dh \quad (7.9)$$

Бұл dh қабатқа әр секундта келетін және шығып кететін молекулалар арасындағы айырмашылығы.

Айырмашылықты (7.7) теңдеуді дифференциалдап, кейін жылдамдықтың ϖ_z орташа мәніне көбейтіріп табу мүмкін:

$$v_0 = dn = n_0 \frac{mNg}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNgh}{RT}\right) \varpi_z dg \quad (7.10)$$

(7.9) және (7.10) теңдікті бір – біріне қойып, $gh = \frac{U^2}{2}$ екендігіне назар аударып төмендегіні жазамыз:

$$f(U_{z_0}) = \frac{mN}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNgh}{RT}\right) \varpi_z = \frac{mN\varpi}{RT} \cdot \exp\left(-\frac{mNgh}{2RT}\right) \quad (7.11)$$

Демек, жылдамдықтар бойынша молекулалардың бөлінуі ауырлық күшіне байланысты емес.

Болцман тұрақтысынан пайдаланып және ауырлық өрісі потенциалы $\varphi = gh$ екеніне назар аударып, (7.11) ны төмендегідей жазамыз:

$$f(U_{z_0}) = \frac{2\varpi_z}{U^2} \cdot \exp\left(-\frac{2\varphi}{U^2}\right) \quad (7.12)$$

немесе

$$f(U_{z_0}) = \frac{2\varpi_z}{U^2} \cdot \exp\left(-\frac{U_{z_0}^2}{U^2}\right) \quad (7.13)$$

$\rho_s < \rho_j$ биіктікте бірлік көлеміндегі санды (7.7) өрнекке $\varphi = gh$ ауырлық күші потенциалын қойып табамыз:

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{m\varphi}{kT}\right) \quad (7.14)$$

$m\varphi$ өрнек ауырлық күші өрісінде молекуланың потенциал энергиясын береді.

Жылдамдықтары $U_z, U_z + dU_z$ интервалда h биіктікте бірлік көлеміндегі молекулалар саны

$$dN_{U_z} = \frac{N'}{\sqrt{\pi} \cdot U} \exp\left(-\frac{U_z^2}{U^2}\right) dU_z = N'f(U_z)dU_z$$

бұл жерде

$$f(U_z) = \frac{1}{\sqrt{\pi} \cdot U} \exp\left(-\frac{U_z^2}{U^2}\right)$$

ге негізделіп

$$dn_{U_z} = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{m\varphi}{kT}\right) \frac{1}{\sqrt{\pi} \cdot U} \cdot \exp\left(-\frac{mU_z^2}{2kT}\right) = \frac{n_0}{\sqrt{\pi} \cdot U} \cdot \exp\left[-\frac{m}{2kT} \cdot (2\varphi + U_z^2)\right] dU_z \quad (7.15)$$

Бұл жерден h биіктіктен молекулалардың потенциалдық энергиясы

$$E = mgh$$

(7.14) формулаға ауырлық күші өрісі потенциалын қойып, оны

$$n = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{m\varphi}{kT}\right) = n_0 \cdot \exp\left(-\frac{E}{kT}\right) \quad (7.16)$$

көрінісінде жазуымыз мүмкін.

Болцманның бұл заңын ауырлық күші өрісінде молекулалардың бөлінуін немесе ауырлық күші потенциал өрісінде жылулық қозғалысында қатынасқан бөлшектердің таралуын өрнектейді. Бұл заңды кез келген потенциал өрісте болған барлық газ тәрізді молекулаларға ұқсас бөлшектер үшін қолдану мүмкін.

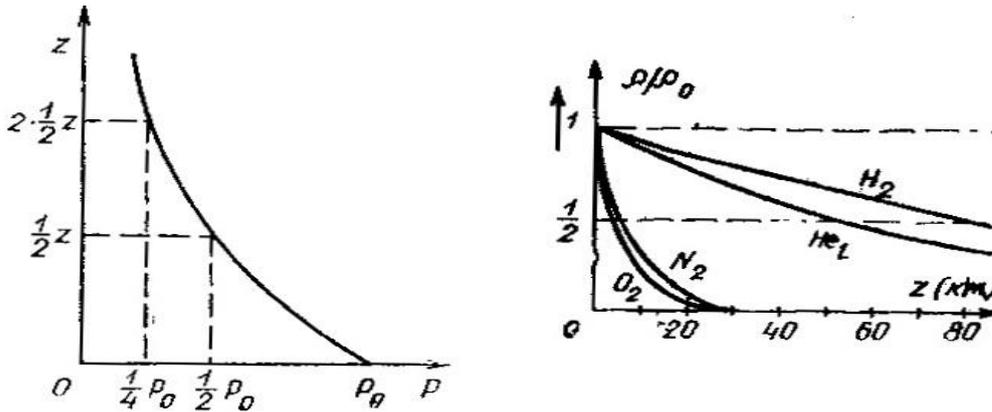
Егер Максвеллдің таралу заңы формуласы

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot n_0 \left(\frac{U_{z0}}{U}\right) \cdot \exp\left(-\frac{U_z^2}{U^2}\right) \cdot \frac{dU}{U}$$

ға (7.16) дегі n нің мәнін қойып сыртқы күштер өрісінде φ потенциалға ие болған және U ден $U + dU$ жылдамдықтар интервалына ие болған идеал газ молекуласы бөлігі үшін Максвелл – Болцман таралу формуласын алуымыз мүмкін:

$$dn = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot n_0 \left(\frac{U_{zo}^2}{U^2} \right) \cdot \exp\left(-\frac{U_{zo}^2 + 2\varphi}{U^2} \right) \cdot \frac{dU}{U} \quad (7.17)$$

(7.17) теңдіктен $\varphi = 0$ күй үшін $n = n_0$ болады. Бірақ атмосфера құрамында түрлі газдар болғандығы үшін газ молекулаларының массалары бір – бірінен айырмашылық еткені үшін бұл газдардың тығыздығы массаларына кері пропорционал түрде өзгереді.



7.11 – сурет

7.11– суреттегі графиктен бізге белгілі:

1. Оттегінің тығыздығы Жер бетінен 5 км, сутегінің тығыздығы 80 км, гелийдің тығыздығы болса 40 км биіктікте екі рет азаяды екен.

2. Басқа жеңіл газдарға салыстырғанда оттегінің тығыздығы биіктікке қарай өте тез азаяды. Себебі, оның массасы өте үлкен.

Мысалы, дүниенің ең биік шыңы саналған Жамолуңма (биіктігі 8848 метр) шыңында қысым 31500 Па ға тең.

АРХИМЕД ЗАҢЫ ЖӘНЕ АРХИМЕД КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Архимед заңы, Архимед күші, ауырлық күші, сұйық тығыздығы, дене тығыздығы, дененің көлемі, дененің сұйық бетіндегі биіктігі, дененің сұйық түбіндегі биіктігі, дененің жүзуі, дененің шөгуді, бату дәрежесі, ватер сызығы, су сыйымдылығы.

Архимед заңы: Сұйық немесе газға толық батырылған әр қандай дене өз көлеміне тең көлемдегі сұйық немесе газды ығыстырып

шығарады және ығыстырып шығарылған сұйық немесе газдың салмағына тең күшпен жоғарыға тік итеріледі.

$$F_A = \rho_c \cdot g \cdot V_o \text{ Архимед күші}$$

$$F_{Ay} = \rho_o \cdot g \cdot V_o \text{ Ауырлық күші}$$

$$F_A - \text{Архимед күші} \quad [F_A] = H$$

$$F_{Ay} - \text{Ауырлық күші} \quad [F_{Ay}] = H$$

$$\rho_c - \text{сұйықтың тығыздығы} \quad [\rho_c] = \frac{K\mathcal{Z}}{M^3}$$

$$\rho_o - \text{дененің тығыздығы} \quad [\rho_o] = \frac{K\mathcal{Z}}{M^3}$$

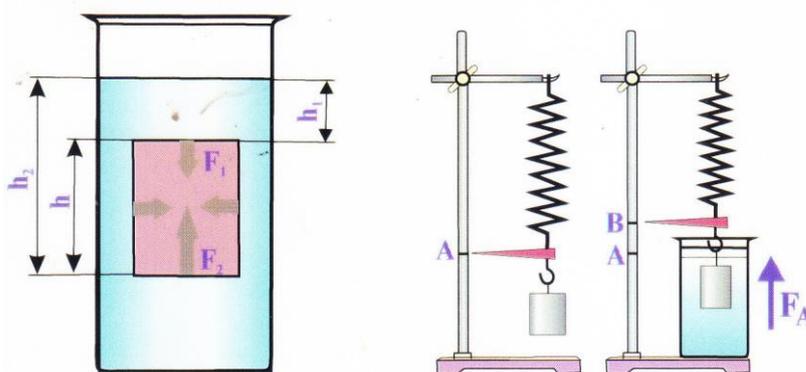
$$V_o - \text{дененің көлемі} \quad [V_o] = M^3$$

Су түбінде ауа шары көтерілгенде F_A артады, өйткені шардың көлемі артады.

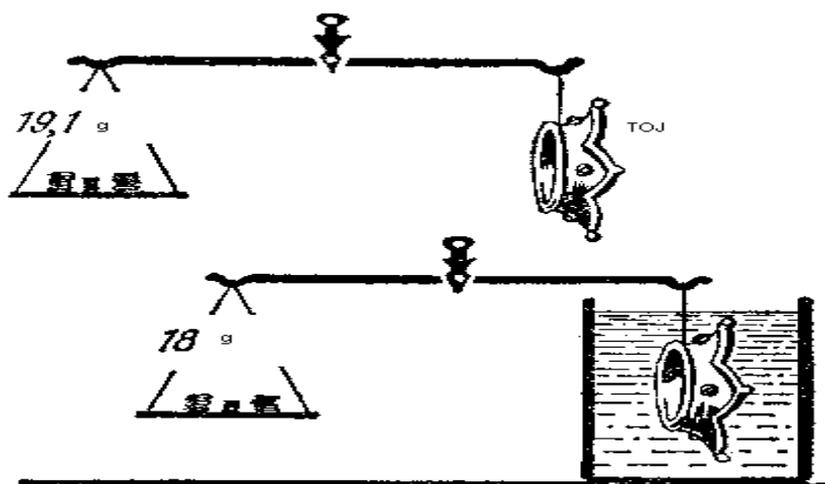
Шелек суға толық батып тұрғанда оны ұстап тұру оңай.

Архимед күші әрдайым төменнен жоғарыға бағытталған болады.

Демек, сұйыққа батырылған денеге Архимед күші әсер етеді. Мұны біз төмендегі 7.12 (а), 7.12 (б) суреттен байқауымыз мүмкін:



7.12 (а, б) –сурет



7.13-сурет

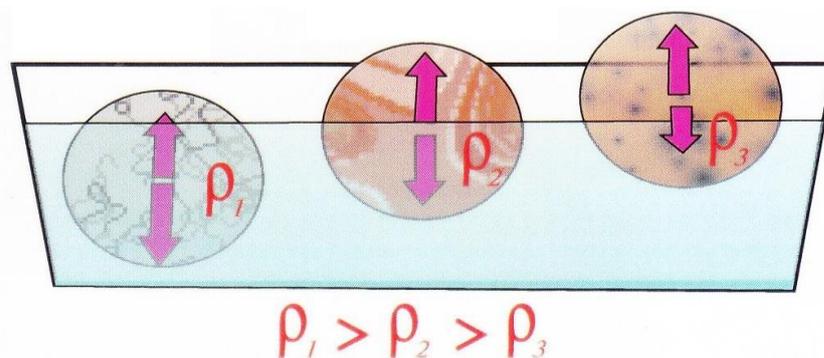
7.12 (а), 7.12 (б) суреттен бізге көрінеді, сұйыққа батырылған дененің массасы сұйық жағынан әсер еткен Архимед күші есебіне азаяды.

Салмақсыздық жағдайында итеріп шығаратын күш нольге тең болады. $F_A > F_{Ay}$ немесе $\rho_c > \rho_o$ болса, дене су бетінде жүзеді. $m_c = m_o$ болса, мұнда судың бетінде жүзіп жүрген дене өзінің массасы сияқты суды ығыстырып шығарады (7.14 - сурет).

Жоғарыда көрсетілген F_A – дене сұйыққа толық батырылғандағы Архимед күші.

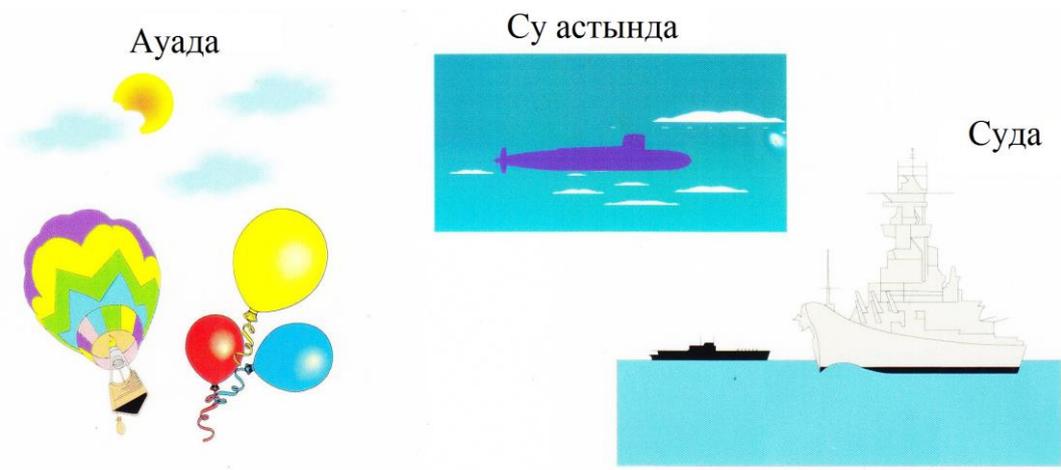
Сұйық бетінде қалқып жүрген денеге әсер ететін ығыстырып шығаратын күш (яғни, Архимед күші) дененің салмағына тең.

$F_A = F_{Ay}$ немесе $\rho_c = \rho_o$ болса, дене су ішінде қалқиды. $m_c = m_o$, $V_c = V_o$ болса, мұнда дене судың ішінде қалқыса, өзінің массасындай және көлеміндей суды ығыстырып шығарады (7.14-сурет).



7.14-сурет

$F_A < F_{Ay}$ немесе $\rho_c < \rho_d$ болса, дене суға шөгеді, $V_c = V_d$ болса, мұнда дене өзінің көлеміндей суды ығыстырып шығарады (7.15-сурет).



7.15 (а, б, в) - сурет

Сынапты шыны ыдыс сынапта шөкпейді, суы бар шыны ыдыс суда шөгеді.

$$\frac{h_o}{h_{жс}} = \frac{V_o}{V_{жс}} = \frac{m_o}{m_{жс}} = \frac{\rho_c - \rho_d}{\rho_c} \quad \text{дененің сұйық бетіндегі биіктігі}$$

$$\frac{h_m}{h_{жс}} = \frac{V_m}{V_{жс}} = \frac{m_m}{m_{жс}} = \frac{\rho_d}{\rho_c} \quad \text{дененің сұйық түбіндегі биіктігі}$$

h_o – қалқып жүрген дененің сұйық бетіндегі бөлігінің биіктігі

V_o – қалқып жүрген дененің сұйық бетіндегі бөлігінің көлемі

m_o – қалқып жүрген дененің сұйық бетіндегі бөлігінің массасы

h_m – қалқып жүрген дененің сұйық түбіндегі бөлігінің биіктігі

V_m – қалқып жүрген дененің сұйық түбіндегі бөлігінің көлемі

m_m – қалқып жүрген дененің сұйық түбіндегі бөлігінің массасы

$h_{жс}$ – қалқып жүрген дененің жалпы биіктігі

$V_{жс}$ – қалқып жүрген дененің жалпы көлемі

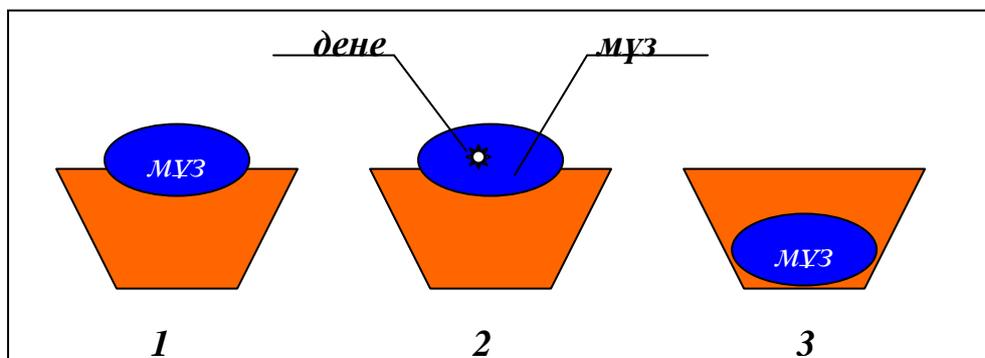
$m_{жс}$ – қалқып жүрген дененің жалпы массасы

ρ_c – сұйықтың тығыздығы, ρ_d – дененің тығыздығы

Мұз балқыса (7.1) судың деңгейі өзгермейді (7.15, в – сурет).

Егер $\rho_j \leq \rho_s$ немесе мұз ішіндегі дене суда шөкпесе, мұз ерісе су деңгейі өзгермейді.

Егер $\rho_s < \rho_j$ немесе мұз ішіндегі дене суда шөксе, мұз ерісе су деңгейі төмендейді.



7.16-сурет

Мұз ерісе, су деңгейі төмендейді.

Мұздың ішіндегі дене ауадан да жеңіл болса, мұз ерігенде су деңгейі көтеріледі.

Архимед күші газдарда да пайда болады. Мысал ретінде ауаны айту мүмкін. Мұнда Архимед күші формуласындағы ρ_c орнына $\rho_{ауа}$ жазылады.

Ауа шарлары, аэростат, дрижабль деп аталатын ұшатын денелер Архимед күші әсерінде ауаға көтеріледі.

Бұл шарлардың іші ауадан жеңіл болған газдар – сутегі немесе гелий газдары мен толтырылады.

Мынаны ажырата білу керек, «Шарды көтеретін күш» - осы шарға әсер ететін Архимед күші болса, «Шардың көтеретін күші» – осы шарға әсер ететін Архимед күшінен шар және газдың ауырлық күшінің айырмасы (яғни, $F_A - F_{Ay}$).

Сутегі және гелий газдары қымбат және қауіпті болғандығы үшін қазіргі күнде жылытылған ауадан пайдаланылады.

Ауа шарларының төменгі бөлігі ашық болып, оның ішіндегі ауа арнайы жанармай көмегінде қыздырылады. Нәтижеде, қызыған ауа жеңіл болып, шар жоғарыға көтеріледі.

Демек, мұхит және өзендерде жүзетін кемелер де Архимед күші әсерінде жүзеді.

Кеменің суға бататын тереңдігі *бату дәрежесі* деп аталады.

Кеменің ең көп бату дәрежесі, кеме корпусындағы қызыл сызықпен белгіленіп, бұл сызық *ватер сызығы* деп аталады.

Кеме ватер сызығына дейін батқанда, қысып шығарылған судың ауырлығы кеменің *су сыйымдылығы* деп аталады.

СҰЙЫҚ АҒЫСЫ

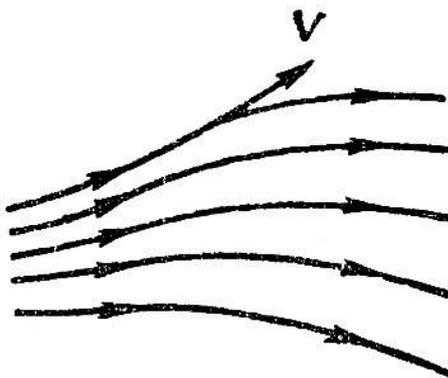
Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: сұйық ағысы, стационар ағыс, стационарсыз ағыс, ламинар ағыс, турбулент ағыс, ағыс сызығы, ағыс түтігі, ағыс түтігі беті, ішкі үйкеліс коэффициенті, идеал сұйық, Рейнольд саны, үздіксіздік теңдеуі, Бернулли теңдеуі, динамикалық қысым, статикалық қысым, гидростатикалық қысым.

Идеал сұйықтың қозғалысы. Ағыс сызықтары және түтіктері. Осы уақытқа дейін біз тексеріп келген қозғалыстар денелердің басқа денелерге қатынасты орын ауыстыруынан немесе қатты дененің белгілі ось айналасында айналуынан тұратын еді. Бірақ бірғана дене түрлі бөліктерінің бір-біріне салыстырмалы орын ауыстыруынан тұратын қозғалыстар да бар. Егер мұндай денені үздіксіз және шексіз үлкен деп есептеу мүмкін болса, оны *қатынас орта* дейміз. Қатынас орта серпімді қатты денеден тұратын болуы мүмкін; бұл жағдайда онда бөліктердің бір-біріне салыстырмалы ығысуы және тербелістер (толқындар) пайда болуы мүмкін. Қатынас орта сығылмайтын сұйықтан тұратын болуы мүмкін; онда ағымдар пайда болуы мүмкін. Нәтижеде, қатынас орта сығылғыш сұйықтан немесе газден тұратын болуы мүмкін; бұл жағдайда онда ағыстар да, тербелістер де пайда болуы мүмкін. Механиканың сұйықтар қозғалысын тексеретін бөлімі *гидродинамика* деп аталады.

Сұйықтың қозғалысын тексеруде, көбіне жетерлі болған анықтықта, сұйықты абсолют сығылмайтын деп, сұйық қабаттарының бір-біріне

қатынасты орын ауыстыруында үйкеліс күштері пайда болмайды (ішкі үйкеліс немесе тұтқырлықсыз) деп есептеу мүмкін болады. Бұндай *абсолют сызылмайтын және толық тұтқырлықсыз сұйық идеал сұйық* деп аталады. «Идеал сұйық» тың қасиеттері реал сұйықтардың қасиеттеріне азырақ жақындап келеді.

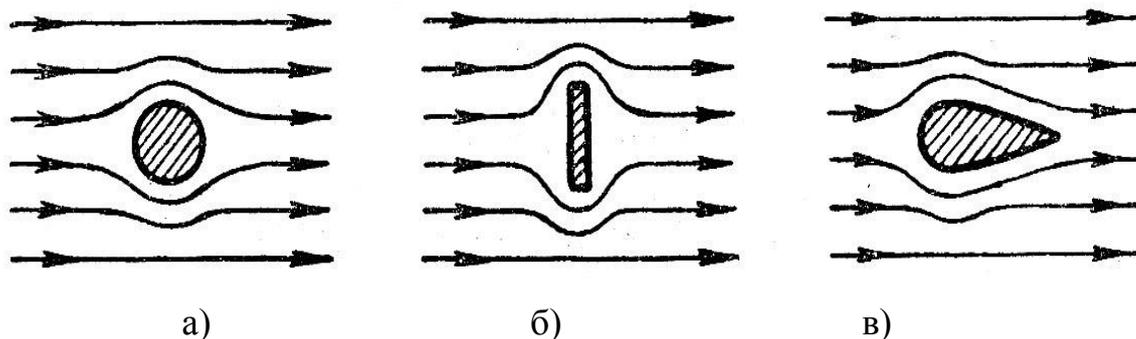
Сұйық бөлшектерінің қозғалысын бірер анық координата жүйесіне қатынасты анықтаймыз. Бұл жағдайда әрбір бөлшектің өз жылдамдық векторы болады. Осы мағынада толық сұйықты *жылдамдық векторы өрісі* деп атау қабылданған. Жылдамдық векторы өрісінде біз осындай сызықтарды өткізуіміз мүмкін, олардың әр бір нүктесінен өткізілген жанама сол нүктедегі сұйық бөлшегі жылдамдығының бағыты мен бетпе-бет түседі (7.17-сурет).



7.17-сурет. Сұйықтың ағыс сызықтары.

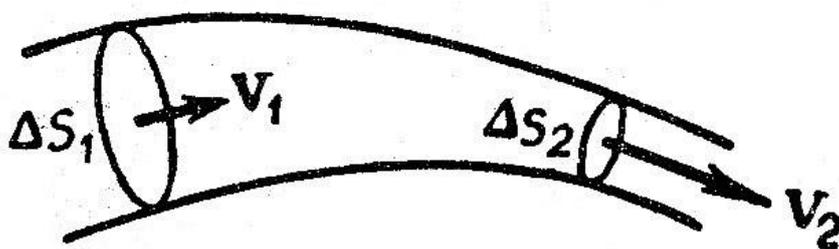
Бұндай сызықтар *ағыс сызықтары* деп аталады. Ағыс сызықтары төмендегі ережеге негізделіп сызылады: Олар сұйықтың ағыс жылдамдығы үлкен болған жерлерде тығыз, сұйықтың ағыс жылдамдығы кіші болған жерлерде сирек болады. Сұйықтың ағысы қалыптасқан (стационарлық) болса, әр бір нүктедегі жылдамдық уақыт өтуі мен өзгермейді. Бұл жағдайда ағыс сызықтары да тұрақты болып, кейбір сұйық бөлшектерінің траекториясы мен бетпе-бет түседі. Сұйыққа бояу араластырылып немесе ерімей қалқып жүретін сезілерлі бөлшектерді сеуіп ағыс сызықтарын көрінетін ету мүмкін. Сұйық домалақ цилиндрді, ағысқа тік етіп қойылған пластинканы және балық тәрізді көлденең қимаға ие болған денені айналып

ағып өткенде қандай ағыс сызықтары пайда болуы 7.18-а,б,в суретте көрсетілген.



7.18-а,б,в сурет. Сұйықтың ағыс сызықтары.

Сұйықтың ағыс сызықтар мен оралған бөлігі *ағыс түтігі* делінеді. Ағыс түтігінің бірер көлденең қимасындағы барлық бөлшектер қозғалыс уақытында осы ағыс түтігінің ішінде қозғалыс жасай береді және одан сыртқа шығып кетпейді. Ағыс түтігінің ішіне де сырттан еш қандай бөлшек келіп кірмейді. Бірер ағыс түтігін аламыз және оның ағыс жылдамдығына тік болған кезкелген екі бөлігін ΔS_1 және ΔS_2 арқылы белгілейміз (7.19-сурет).



7.19-сурет. Сұйықтың ағыс түтігі.

Уақыт бірлігі барысында ΔS_1 қима арқылы ағып өтетін сұйықтың көлемі $\Delta S_1 \varrho_1$ көбейтіндіге тең болады; мұнда ϱ_1 - сұйықтың ΔS_1 қима өткізілген жердегі ағыс жылдамдығы. ΔS_2 қима арқылы уақыт бірлігінде ағып өтетін сұйықтың көлемі $\Delta S_2 \varrho_2$ көбейтіндіге тең; мұнда ϱ_2 - сұйықтың ΔS_2 қима өткізілген жердегі ағыс жылдамдығы. Сығылмайтын сұйық үшін ΔS_2 қима арқылы ағып өтетін сұйық көлемі ΔS_1 арқылы ағып өтетін сұйық көлеміне тең болады:

$$\Delta S_1 \varrho_1 = \Delta S_2 \varrho_2$$

Бұл қатынасты ағыс түтігінің әр түрлі екі қимасы үшін жазу мүмкін болғаны себепті, біз жалпы ағыс түтігі үшін төмендегі теңдікті жаза аламыз.

$$\Delta S \cdot \mathcal{G} = const$$

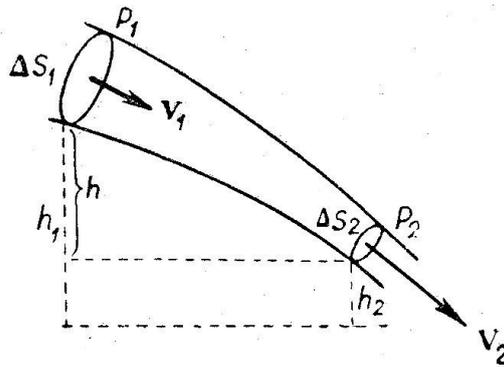
яғни тұтқырлыққа ие болмаған сығылмайтын сұйықтың ағыс жылдамдығы мен ағыс түтігі көлденең қимасының көбейтіндісі берілген ағыс түтігі үшін тұрақты мөлшер болып саналады. Бұл қатынас **ағыстың үздіксіздігі жайлы теорема** деген атпен әйгілі.

Тұтқыр болмаған сығылмайтын сұйық кейбір материялық құбыр бойынша қалыптасқан (стационарлық) ағып жатқанда осы құбырдың өзі ағыс түтігі болады. Сол үшін, ағыстың үздіксіздігі жайындағы теоремаға сәйкес, құбыр кеңірек болған жерлерде сұйық жай ғана ағады, құбыр тар болған жерлерде болса сұйық тезірек ағады.

Ағыс бағыты бойымен барған сайын тарайып баратын ағыс түтігін көз алдымызға келтірейік; сұйық түтіктің тар бөлігіне жақындасқан сайын тезірек аға бастайды, яғни ол үдеу алады. Демек, түтіктің тар бөлігіне кіріп бара жатқан сұйыққа түтіктің кеңірек бөлігіндегі сұйық бірер күш пен әсер етеді. Сұйық ішінде пайда болатын мұндай күш тек қысымның түрлі жерлерінде түрліше болуы есебіне пайда болуы мүмкін. Күш ағыс түтігінің тар бөлігіне қарай бағытталған екен, бұдан, ағыс түтігінің тар жерлеріндегі қысымға салыстырғанда кеңірек жерлеріндегі қысым үлкен, деген қорытынды келіп шығады. Ағыс түтігінің тар жерлерінде қысым төмендеген болады.

Бірер өріске қалыпты түрде әсер ететін сан жағынан f ге тең болған күштің осы өрістің ΔS ауданына қатынасы мен өлшенетін шама p қысым деп аталауын ескертіп өтеміз.

Ағып жатқан сұйықтың бірер Δm массасын ажыратып алайық; бұл масса алғаш ағыс түтігінің ΔS_1 қимасы арқылы, кейін ΔS_2 қимасы арқылы ағып өтеді (7.20-сурет).



(7.20-сурет). Сұйықтың ағыс түтігі.

ΔS_1 қима өткізілген жерде сұйық жылдамдығын \mathcal{G}_1 мен, қысымын p_1 мен белгілейміз; ΔS_2 қима өткізілген жердегі жылдамдық және қысымды сәйкес түрде \mathcal{G}_2 және p_2 мен белгілейміз. Бұдан басқа, ағыс түтігі горизонтал болмай, азғана көлбеулікке ие деп ойлаймыз. ΔS_1 қима орналасқан биіктікті h_1 арқылы және ΔS_2 қима орналасқан биіктікті h_2 арқылы белгілейміз. Сұйықтың Δm массасы ағып өткенде қандайда бір жұмыс орындалады, себебі бұл массаға сұйық ішінде пайда болған p қысым тудыратын күш әсер етеді.

Δm сұйық массасы ΔS_1 қима арқылы ағып өтіп жатқанда, оның толық энергиясы E_1 болсын, Δm масса ΔS_2 қима арқылы ағып өтіп жатқанда болса оның толық энергиясы E_2 болсын. Энергияның сақталу заңына орай, энергияның $E_2 - E_1$ айырмасы Δm массаны ΔS_1 қимасы ΔS_2 қимаға дейін орын ауыстыратын сыртқы күштердің орындаған жұмысына тең болады.

$$E_2 - E_1 = A \quad (7.18)$$

E_1 және E_2 энергиялар Δm сұйық массасының кинетикалық және потенциалдық энергияларынан тұратын болады.

$$E_1 = \frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_1^2}{2} + \Delta m \cdot gh_1; \quad E_2 = \frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_2^2}{2} + \Delta m \cdot gh_2;$$

Ағыс түтігінің ΔS_1 немесе ΔS_2 қималары арқылы сұйықтың Δm массасы ағып өтуі үшін кететін уақытты Δt мен белгілейміз. ΔS_1 немесе ΔS_2 қималары арасындағы барлық сұйық бөлігінің осы Δt уақыт ішіндегі орын ауыстыруында орындалған жұмыстың A жұмысқа тең болуын түсіну қиын

емес. Δm массаның бірінші қима арқылы ағып өтуі үшін сол жерде сұйық $\Delta l_1 = \mathcal{G}_1 \Delta t$ қимаға ығысуы керек, екінші қима арқылы сонша массаның ағып өтуі үшін болса сұйық сол жерде $\Delta l_2 = \mathcal{G}_2 \Delta t$ қимаға ығысуы керек. Ажыратылған сұйық бөлігінің екі ұшына әсер ететін күштер сәйкес түрде: $f_1 = p_1 \Delta S_1$ және $f_2 = -p_2 \Delta S_2$ болады. Бірінші күш сұйық ағып жатқан жаққа бағытталғаны үшін оң; екінші күш ажыратылған бөлікке ΔS_2 қиманың оң жағындағы сұйық жағынан әсер етеді және сұйықтың ағыс бағытына қарама-қарсы бағытталған болады; сол үшін ол теріс болады. Демек:

$$A = f_1 \Delta l_1 + f_2 \Delta l_2 = p_1 \Delta S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t - p_2 \Delta S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t$$

E_1 , E_2 және A үшін табылған мәндерін $E_2 - E_1 = A$ теңдікке қойсақ,

$$\frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_2^2}{2} + \Delta m \cdot gh_2 - \frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_1^2}{2} - \Delta m \cdot gh_1 = p_1 \Delta S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t - p_2 \Delta S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t$$

немесе

$$\frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_1^2}{2} + \Delta m \cdot gh_1 + p_1 \Delta S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t = \frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_2^2}{2} + \Delta m \cdot gh_2 + p_2 \Delta S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t \quad (7.19)$$

Ағыстың үздіксіздігі жайлы заңға орай сұйықтың Δm массасы иелеген көлем:

$$\Delta V = \Delta S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t = \Delta S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t \quad \text{тұрақты болады.}$$

$$\frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_1^2}{2} + \Delta m \cdot gh_1 + p_1 \Delta S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t = \frac{\Delta m \cdot \mathcal{G}_2^2}{2} + \Delta m \cdot gh_2 + p_2 \Delta S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t \quad \text{теңдіктің}$$

оң және сол жақтарын осы ΔV көлемге бөліп және $\frac{\Delta m}{\Delta V}$ қатынас сұйықтың ρ тығыздығы екенін есепке алып, төмендегі теңдікке ие боламыз:

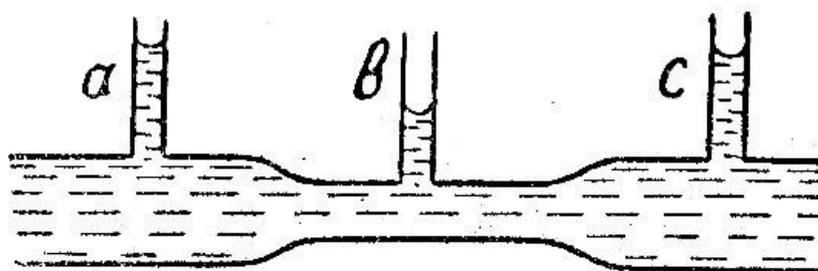
$$\frac{\rho \cdot \mathcal{G}_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho \cdot \mathcal{G}_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2 \quad (7.20)$$

Бұл теңдік бірінші рет әйгілі физик және математик, Петербургтік академик Даниил Бернулли (1700-1782) жағынан, ол Россияда істеген дәуірінде шығарылған. Бұл теңдік **Бернулли теңдеуі** деп аталады.

Горизонтал орналасқан ағыс түтігі үшін ($h_1 = h_2$) Бернулли теңдеуінен:

$$\frac{\rho \cdot g_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho \cdot g_2^2}{2} + p_2 \quad \text{теңдік келіп шығады.}$$

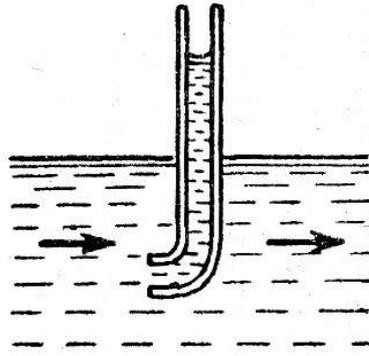
$\frac{\rho \cdot g_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho \cdot g_2^2}{2} + p_2$ формуладан және ағыстың үздіксіздігі жайлы теоремадан көрінуінше, егер сұйық түрлі көлденең қималы горизонтал құбыр бойымен ағып жатқан болса, сұйықтың жылдамдығы құбырдың тар жерлерінде үлкенірек болады, қысым болса құбырдың кең жерлерінде үлкенірек болады. Құбырға бір неше а, b, с манометрик түтіктер орнатып, бұл құбылысты күзету мүмкін (7.21- сурет).



7.21-сурет. Қысымның труба кеңдігіне байланыстылығы.

Бұл түтіктердегі сұйық деңгейінің биіктігі құбырдағы p қысымды көрсетеді. Тәжірибе көрсетуінше, құбырдың тар бөлігіне орналастырылған b манометрик түтіктегі сұйық деңгейі, құбырдың кең бөліктеріне орналастырылған манометрик түтіктердегі сұйық деңгейіне қатынасты төменде болады; бұл болса Бернулли заңына толық сәйкес келеді.

Егер сұйық ағысы ішіне төменгі ұшы ағысқа қарсы бағытта қайрылған қозғалмайтын манометрик түтік («Пито түтігі», 7.22-сурет) орналастырылса, бұндай түтік жақынында ағыс сызықтары өзгереді. Сұйықтың түтік тесігі алдындағы жылдамдығы нольге тең болады.



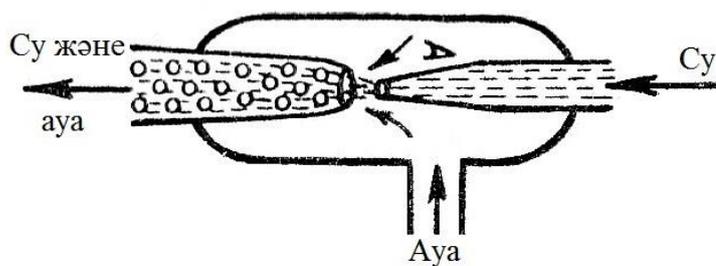
7.22-сурет

Бұл жағдайға $\frac{\rho \cdot \mathcal{G}_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho \cdot \mathcal{G}_2^2}{2} + p_2$ формуланы пайдаланып және $\mathcal{G}_2 = 0$ деп есептеп, төмендегідей теңдікке ие боламыз:

$$p_2 = p_1 + \frac{\rho \cdot \mathcal{G}_1^2}{2}$$

Мұның нәтижесінде, тесігі ағысқа қарсы жаққа қаратылған манометрик түтік p_1 қысымнан $\frac{\rho \cdot \mathcal{G}_1^2}{2}$ мөлшер сияқты үлкен болған p_2 қысымды көрсетеді (егер манометр ағыспен бірге қозғалыс жасаса, p_1 қысымды көрсетеді). p_1 белгілі болса, p_2 өлшенгеннен соң ағыстың \mathcal{G}_1 жылдамдығын табу мүмкін болады. $\frac{\rho \cdot \mathcal{G}_1^2}{2}$ шаманы кейде «динамикалық қысым» деп айтады.

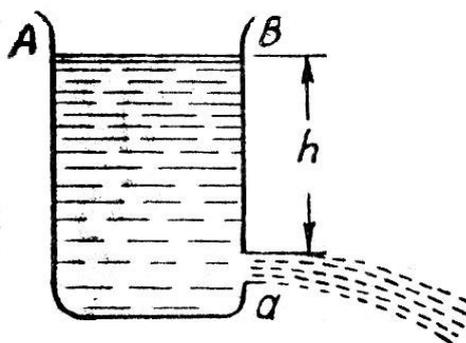
Түтіктің тар жерлерінде ағыс жылдамдығы өте үлкен болғанда P қысым теріс болып қалуы мүмкін. Бұл жағдайда түтіктің тар жерлерінен ағып өтіп жатқан сұйық жан-жақтама созылу күйінде болады. Егер түтіктің кең жерінде қысым атмосфера қысымына тең болса, тар жеріндегі қысым атмосфера қысымынан кіші болады. Бұнда ағыс соратын әсер көрсетеді. Бір неше аспаптардың, мысалы, пульверизатордың және су ағысты насостың істеуі тарайтырылған ағыстың осы соратын әсеріне негізделген. Су ағысты насостың схемасы 7.23-суретте кескінделген. А түтіктің тарайтырылған ұшынан үлкен жылдамдықпен ағып шығатын су ауа шарларын сорып алады және оларды өзімен бірге алып кетеді.



7.23-сурет. Су ағысты насос

Бернулли теңдеуінен пайдаланып, сұйықтың ыдыс саңылауынан ағып шығу жылдамдығын табу мүмкін. Егер ыдыс кең болса және саңылау кіші болса (7.24-сурет) сұйықтың ыдыс ішіндегі жылдамдықтары кіші болады және толық ағысты бір ағыс түтігі деп қарау мүмкін болады. Қысым жоғары қимада (АВ бетте), төменгі қимада да (а саңылау алдында) атмосфераның P_0 қысымына тең болады. Сол үшін Бернулли теңдеуі (7.19) төмендегі көріністе жазылады.

$$\frac{g_1^2}{2} + g(h_1 - h_2) = \frac{g_2^2}{2}$$



7.24-сурет. Сұйықтың саңылаудан ағып шығуы

Егер біз сұйықтың $g_1 = 0$ болғандағы ағып шығуын тексеріп жатқан болсақ және $h_1 - h_2 = h$ деп белгілесек (7.24-сурет):

$$g_2 = \sqrt{2gh}$$

яғни ыдыстағы сұйық бетінен h төменде орналасқан саңылаудан ағып шығып жатқан сұйықтың жылдамдығы сонша биіктіктен еркін түсіп жатқан дене жылдамдығына тең болады.

Сұйықтардың қозғалысын үйрену үшін Эйлер әдісінен пайдаланылады. Бұл әдістің негізі төмендегідей, сұйықтың әрбір нүктесіндегі жылдамдығы,

осы нүкте координатасы және уақыттың функциясы ретінде беріледі, яғни

$$v = f(r, t)$$

Берілген кеңістікте сұйық жылдамдығы уақытқа байланысты болмаса, ол жағдайда сұйық қозғалысы – **қалыптасқан (стационар)** деп аталады. Мұндай жағдайларда кеңістіктің түрлі нүктелерінде сұйық жылдамдығы бірдей болады.

Егер кеңістіктің берілген нүктелерінде сұйық жылдамдығы уақыт өтуімен өзгерсе, ол жағдайда сұйық жылдамдығы – **стационарсыз** болады.

Егер сұйық қозғалғанда оның тиіп тұрған қабаттары араласпай ақса немесе бір қабат екіншісіне қатысты ауытқып жатқан болса, ол жағдайда бұл ағыс – **ламинарлық ағыс** деп аталады.

Ламинарлық ағыс – стационар және стационарсыз болуы мүмкін.

Егер сұйық қозғалып жатқанда оның тиіп тұрған қабаттары араласып ақса, ол жағдайда бұл ағыс – **турбуленттік ағыс** деп аталады.

Турбуленттік ағыс – барлық уақыт стационарсыз болады.

Егер ағыс стационар болса, ағыс сызығы уақыт өтуімен тұрақты қалуы үшін сұйық бөлшектің траекториясымен сәйкес түседі.

Кіші тұйық контурдың барлық нүктелерінен өткізілген ағыс сызықтарынан пайда болған бет **ағыс түтігі беті** делінеді.

Ағыс түтігі бетімен шекараланған сұйық бөлігі **ағыс түтігі** деп аталады. Стационар ағыста сұйық бөлшегі барлық уақыт ағыс түтігімен шекараланған көлемде болады, яғни ағыс түтігінен шығып кетпейді.

Сұйықтың кіші жылдамдықтарында – ламинарлық, үлкен жылдамдықтарында – турбулент ағыс бақыланады.

Ішкі үйкеліс немесе **тұтқырлық** деп, сұйық немесе газдарда қабаттардың орын ауыстыруына қатысты қарама – қарсы пайда болатын күшке айтылады.

Газдарда ішкі үйкелістің пайда болуына себеп, бөлшектердің бір – біріне тиіп тұрған қабаттар арасынан импульстың алып өтілуі.

Идеал сұйық деп, ішкі үйкеліске немесе тұтқырлыққа ие болмаған сұйыққа айтылады, керісінше болса, сұйық – **тұтқыр** деп аталады.

Сұйық ағымын **Рейнольд саны** арқылы да өрнектеу мүмкін, яғни

$$Re = \frac{\rho v l}{\eta}$$

Бұл жерде ρ – сұйық тығыздығы, v – ағыс жылдамдығы, l – ағыс көлденең қимасының өлшемі, η – сұйық тұтқырлығы.

Ренің кіші мәндерінде ламинарлық, критик мәндерінде турбулент ағымы бақыланады.

Re нің критик мәні шамамен 1000 ға тең (егер l орнына құбыр диаметрі d алынса, ол жағдайда $Re = 2000$) болады.

Құбырдан ағып өткен сұйық ағымы төмендегі Пуазейль формуласынан табылады:

$$Q = \frac{(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot R^4}{8 \cdot \eta \cdot l}$$

Бұл жерде P_1 және P_2 – сәйкес түрде құбырға кіріп жатқан және шығып жатқан сұйықтың қысымы, R – құбырдың радиусы, l – құбырдың ұзындығы, η – сұйық тұтқырлығы.

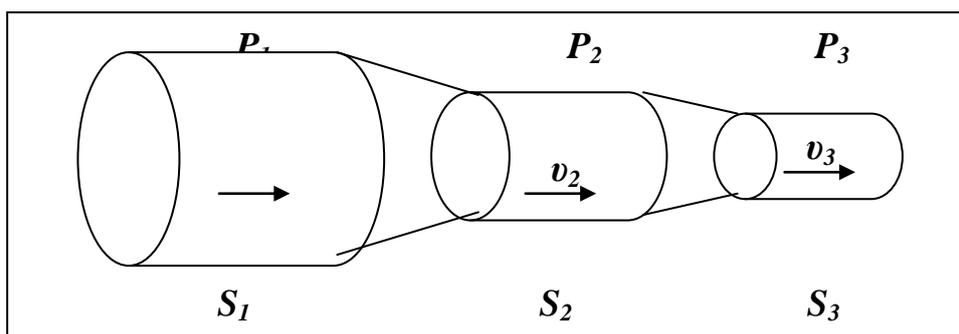
Сұйық тез ағып жатқан жерлерде айналаға берілетін қысым кіші болады және керісінше.

S_1 құбыр көлденең қимасынан кіріп жатқан сұйық көлемі S_2 құбыр көлденең қимасынан шығып жатқан сұйық көлеміне тең болады. Яғни,

$$S_1 v_1 = S_2 v_2$$

$$Sv = const$$

Бұл **үздіксіздік теңдеуі** деп айтылады.



7.25-сурет

7.25-суреттен көрінеді,

$$P_1 > P_2 > P_3$$

$$v_1 < v_2 < v_3$$

$$V_1 = V_2 = V_3$$

$$Sv = \frac{V}{t}$$

$$\frac{V_1}{t_1} = \frac{V_2}{t_2}$$

$$\frac{V}{t} = const$$

S – сұйық ағып жатқан құбырдың көлденең қимасының ауданы $[S] = m^2$

v – сұйық ағысы жылдамдығы $[v] = \frac{m}{c}$

V – құбырдың көлденең қимасы ауданынан t уақыт ішінде ағып өтіп жатқан сұйық көлемі

$$[V] = m^3$$

t – уақыт

$$[t] = c$$

Сығылмайтын, идеал сұйық стационар ағысы үшін механикалық энергияның сақталу заңына негізделіп Бернулли теңдеуі,

$$P + \rho \cdot g \cdot h + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = const$$

Горизонтал ($h = const$) күй үшін Бернулли теңдеуі,

$$P + \frac{\rho \cdot v^2}{2} = const$$

$$\frac{\rho \cdot v^2}{2} - \text{динамикалық қысым}$$

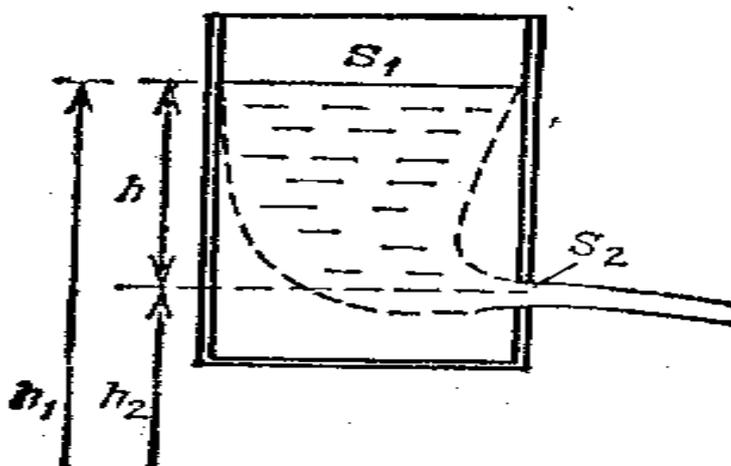
$\rho \cdot g \cdot h$ – статикалық қысым (түрлі тереңдіктердегі қысым)

P – гидростатикалық (сұйықтың ыдыс қабырғаларына беретін) қысым.

ТОРРИЧЕЛЛИ ФОРМУЛАСЫ. СҰЙЫҚТЫҢ ІШКІ ҮЙКЕЛІС КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Бернулли теңдеуі, сұйықтың кедергі күші, Торричелли формуласы, маңдайлық кедергі күші, көтергіш күш, Даламбер парадоксы.

Төбесі ашық, кең ыдысқа h_1 биіктікте сұйық құйылсын. Осы ыдыс қабырғасында, оның түбінен h_2 биіктікте саңылау ашылса, бұл саңылаудан сұйық атқылап шығады. Осы атқылап шыққан сұйықты саңылаудан өтіп жатқан моментіндегі жылдамдығын есептейік (7.26-сурет). Ыдыстың бірінші қимасы ыдыстағы сұйық бетіне сәйкес, ал екінші қима болса, саңылау бетіне сәйкес келсін. Бұл қималарды S_1 және S_2 деп белгілесек, $S_1 \gg S_2$ екеніне назар аударсақ, ол жағдайда $v_2 \gg v_1$ болуы белгілі болады. Бірінші және екінші қимадағы статикалық қысымдар $P_1 = P_2$ және атмосфера қысымына тең.



7.26 – сурет

Сол үшін Бернулли теңдеуі

$$\frac{v_1^2}{2} + gH_1 = \frac{v_2^2}{2} + gH_2$$

көрініске ие болады.

Шартқа орай, $v_2 \gg v_1$, демек, $\frac{v_1^2}{2}$ ды есепке алмасақта болады.

Ол уақытта

$$v_2^2 = 2 \cdot g \cdot (H_1 - H_2) = 2 \cdot g \cdot H$$

Бұл формуладан ашық ыдыс кіші саңылауынан тұтқыр болмаған, сығылмаған сұйықтың ағыс жылдамдығы табылады:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Мұны **Торричелли формуласы** деп атайды. Бұл формуладан белгілі, сұйық бөлшектері саңылаудан шыққан H биіктіктен еркін түскенде ие болатын жылдамдыққа тең болады екен.

Тік ұшақ қанатының көтеру күші Бернулли заңына негізделген.

$$P = P_0 + \frac{\rho v^2}{2} \text{ Бернуллидің негізгі теңдеуі.}$$

Ұшу биіктігі қанша артса, реактив тік ұшақтардың қуаты азаяды.

Өйткені, атмосфераның төменгі бөліктерінде ауаның тығыздығы өте үлкен, яғни қанша жоғарыға көтерілсе тығыздық азаяды. Өз уақытында тік ұшақ қанатының көтеру күші азаяды.

Сұйықта қозғалған денеге ауырлық және Архимед күштері әсер етуін орта мектеп программасынан білеміз. Мұнан тыс, денеге сұйықтың кедергі (ішкі үйкеліс) күші де әсер етеді және ол төмендегіге тең:

$$F = \eta \left(\frac{dv}{dx} \right) \cdot S$$

$\frac{dv}{dx}$ – жылдамдық градиенті

S – дененің ауданы.

Формуладан белгілі, сұйықтың кедергі күші онда қозғалған дене ауданына тура пропорционал екен.

Қатты дененің тұтқыр сұйықтағы қозғалысы. Қатты дене (мысалы, шар) сұйықта қозғалған кезде сұйықтың жуық қабаттары оның бетіне жабысып қалады да, онымен бірге қозғалады; қалған қабаттар бір-біріне қатысты қозғалады.

Сұйықта қозғалатын денеге әсер ететін және дененің қозғалыс бағытына қарсы бағытталған күш **гидродинамикалық күш** (немесе **маңдайлық кедергі**) деп аталады. Маңдайлық кедергінің екі құраушысы болады - үйкеліс күші және қысым күші. Үйкеліс күші сұйықтың тұтқырлығынан туады, қысым

күші-қозғалыстағы дененің алдыңғы және артқы беттеріндегі қысымдардың айырымынан пайда болады. Үйкеліс күші жылдамдыққа пропорционал, ал қысым күші жылдамдықтың квадратына пропорционал болады.

Егер дененің тұтқыр сұйықтағы қозғалысы кезінде құйындар пайда болатын болса, онда оған маңдайлық кедергімен қатар *көтергіш күш* әсер етеді, ол жылдамдық векторына перпендикуляр бағытталған.

Радиусы R шар \mathcal{G} жылдамдықпен қозғалған кезде, үйкеліс күшінің модулі

$$F_{\text{үйк}} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot \mathcal{G}$$

мұндағы η - динамикалық тұтқырлық.

$$F_{\text{үйк}} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot R \cdot \mathcal{G}$$

катынасы *Стокс формуласы* деп аталады.

Азғантай мөлшердегі шариктің тұтқыр сұйықта бірқалыпты (қалыптасқан) түсуінің жылдамдығы

$$\mathcal{G} = 2g(\rho - \rho_c) \frac{R^2}{9\eta}$$

формуламен анықталады, мұндағы ρ - шарик материалының тығыздығы, R - оның радиусы, ρ_c - сұйықтың тығыздығы, η - оның динамикалық тұтқырлығы, g - еркін түсу үдеуі.

Радиусы r және ұзындығы l капилляр түтіктің ұштарындағы қысымдар айырымы $P_1 - P_2$ болатын кезде бір секунд ішінде ағып өтетін сұйық көлемі:

$$V = 4 \cdot \pi \cdot r^4 (P_1 - P_2) / (8l\eta)$$

Егер орта және дене қозғалысы симметриялық болса, ол жағдайда тек қана маңдайлық кедергі күші әсер етеді, көтергіш күш болмайды.

Сығылмаған, идеал сұйықта түрлі пішіндегі бірқалыпты қозғалыстағы денеге маңдайлық кедергі күші күзетілмейді, мұны *Даламбер парадоксы* деп атайды.

ТІК ҰШАҚ ҚАНАТЫНЫҢ КӨТЕРГІШ КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Н.Е.Жуковский, шексіз құлайтын қанат, құйынды ағыс, ламинар ағыс, ұшу бұрышы, қону бұрышы, шабуыл бұрышы, қысымның кемеюі, қысымның артуы, көтергіш күш, маңдайлық кедергі күші, тартылыс күші.

Ағыстың денеге көрсететін әсерінің амалдағы маңызы өте үлкен. Мысал ретінде, тік ұшақ қанатының көтергіш күші немесе ағысқа көлбеу қойылған пластинканың көтергіш күшін алуымыз мүмкін. Тік ұшақ қанаты көтергіш күшінің теориясы бірінші рет теориялық, техникалық және экспериментал аэродинамиканың негізін тапқан Н. Е. Жуковский жағынан үйренілген. Көтергіш күшінің пайда болуы ауа ағысының дене бетінен ажыралу құбылысына негізделген. Әртүрлі пішінді денелерге әсер ететін көтергіш күшінің пайда болу механизмі бірдей болса-да, тік ұшақ қанатына әсер ететін көтергіш күшін үйрену өте қажетті. Тік ұшақ тұрақты жылдамдықпен ұшқанда, оның кеңістіктегі жағдайы тұрақты сақталып қалады. Атап айтсақ, ұшу уақытында тік ұшаққа әсер ететін барлық сыртқы күштердің моменттері теңеседі, ал импульсі өзгермей сақталады.

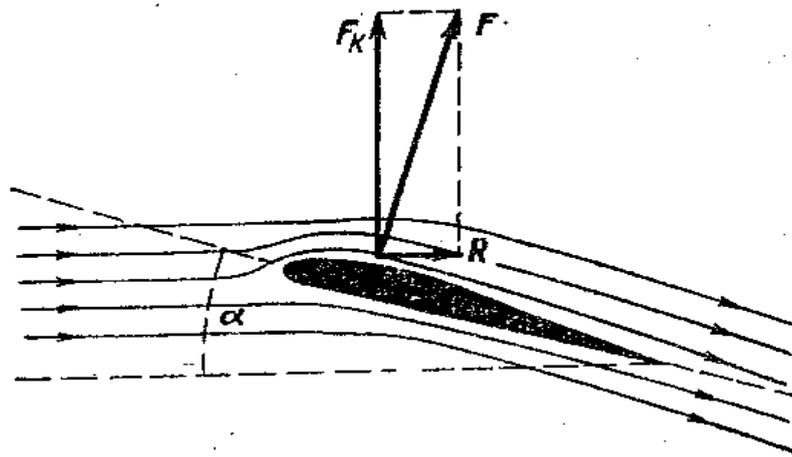
Тексеріліп жатқан мәселені қарапайым көрініске айналдыру үшін бірқалыпты қозғалыстағы бір қанатты көріп шығамыз. Қанатты шексіз ұзын деп қабылдаймыз. Мұндай қанатқа *шексіз құлайтын қанат* деп атайды. Қанатпен байланысқан инерциал санақ жүйесінің басын массалар орталығына орналастырамыз. Қанатты қозғалмайтын және ауа ағысын жазық деп аламыз және қанатқа әсер ететін қозғалыс мөлшері моменттерін массалар орталығына қатысты аламыз.

Көтергіш күшінің пайда болуы үшін, біріншіден, қанат симметрик, яғни өзі қозғалыстағы горизонтал жазықтыққа салыстырмалы симметрик орналастырылмаған болуы шарт және екіншіден, ауа ағысы белгілі көрінске, яғни турбулент (құйынды) көріністе болуы керек.

Белгілі *критик жылдамдық* деп аталатын жылдамдыққа дейін газ кабаттарының жылдамдықтары тұрақты, яғни газ кабаттары бір – біріне қатысты сырғанайды (ламинарлық ағыс). Ағыс жылдамдықтары критик жылдамдықтан артса, ламинарлық бұзылады. Төменде тік ұшақ қанатының көтергіш күшінің пайда болуын қарастырамыз.

Ауа ағысы жағынан тік ұшақ қанатына әсер ететін күштің бағыты қанаттың пішініне және оның ағысқа қандай бағытта болуына байланысты. Тік ұшақтың қанаты белгілі профилді пластинка (Н.Е.Жуковский профиліндегі) болып, алдыңғы қыры дөңгелек және кейінгі қыры өткір етіп жасалған. Көтергіш күші пайда болуы үшін тік ұшақ ұшу барысында оның қанат жазықтығымен ағыс бағыты арасындағы *«шабуыл бұрышы»* α ұшуда $1-1,5^\circ$ ке және қону уақытында 15° ке тең болуы керек.

Теориялық есептеу барысында және өткізілген тәжірибелер анықтығы бойынша, көтергіш күші қанат төбесінде қысымның азаюы және қанат түбінде оның артуынан пайда болады. Қанат төбесінде қысымның азаюында критик жылдамдықтардан үлкен жылдамдықтарда қанат айналасында ағыс циркуляциясының пайда болуы себеп болады. Пайда болған ағыс циркуляциясының бағыты ағыс бағытымен қанат үстінде бірдей болып, қанат астында қарама – қарсы бағытта болады. Бернулли заңына негізделіп, қанаттың үстінде аз қысымды сала пайда болады, яғни тік ұшақ қанатының көтергіш F_k күші пайда болады. Тік ұшақ ұшу барысында оған төмендегі күштер (7.27-сурет) әсер етеді: ауырлықты жеңетін F көтергіш күш және R маңдайлық кедергі күшін жеңетін F_1 күші әсер етеді.



7.27-сурет

VIII БӨЛІМ. ТЕРБЕЛІСТЕР

ДЕНЕ ДЕФОРМАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТҮРЛЕРІ. СЕРПІМДІЛІК

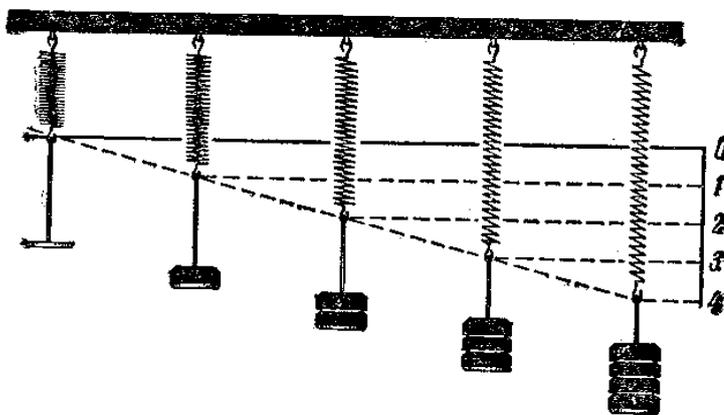
КҮШІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: деформация, серпімді деформация, пластикалық деформация, Юнг модулі, деформация түрлері, созылу, сығылу, ығысу, иілу, бұралу, салыстырмалы ұзару, абсолюттік ұзару, қатаңдық, тізбектей және параллель қосылған қатаңдық, механикалық кернеу, Гук заңы.

Деформация деп, сыртқы күштер әсерінде дененің пішіні немесе өлшемінің өзгеруіне айтылады.

Қатты дененің деформациясы - көбіне дененің пішінінің өзгеруі арқылы білінетін күш әсерінен дененің мөлшері мен көлемінің өзгерісі.

Дене деформациясы денеге берілген күшке тура пропорционал, мұны біз төмендегі 8.1-суреттен де көріуіміз мүмкін:



8.1 - сурет

Деформация екі түрлі болады:

1. Серпімді
2. Пластикалық (қалдық)

Серпімді деформация деп, сыртқы күштердің әсері тоқтағаннан кейін дененің бастапқы мөлшері мен пішінін қабылдайтын деформация түрі.

Пластикалық (қалдық) деформация - денеді сыртқы күштердің әсері аяқталғаннан кейін де сақталатын деформация.

Деформация 5 түрге бөлінеді:

1. Созылу
2. Сығылу
3. Ығысу
4. Иілу
5. Бұралу

Серпінді деформация кезіндегі кернеу

$$\bar{\sigma} = \frac{\bar{F}}{S} \quad \text{механикалық кернеу}$$

мұндағы $\bar{\sigma}$ - механикалық кернеу $[\sigma] = Pa$; \bar{F} - дененің көлденең қимасына перпендикуляр созушы (сығушы) күш; S - көлденең қиманың ауданы.

Егер күш бетке нормаль бағытталса, **кернеу нормаль** деп, ал бетке жанама бағытталса - **тангенциал** деп аталады.

$$x = \Delta l = l - l_0 \quad \text{абсолюттік ұзару,}$$

$$\text{Салыстырмалы бойлық созу (сығу)} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{x}{l_0}$$

мұндағы Δl дененің ұзындығының созылу (сығылу) кезіндегі өзгерісі немесе

$$x = \Delta l \quad \text{абсолюттік ұзару} \quad [x] = [\Delta l] = m$$

$$l - \text{соңғы ұзындық} \quad [l] = m$$

$$l_0 - \text{бастапқы ұзындық} \quad [l_0] = m$$

ε - салыстырмалы ұзару

$\sigma = E \cdot \varepsilon$ механикалық кернеу немесе бойлық созылу (сығылу) үшін **Гук заңы** деп аталады

$$E - \text{серпінділік күші немесе Юнг модулі} \quad [E] = Pa$$

Серпінді созылған (сығылған) шыбықтың потенциалдық энергиясы

$$\Pi = \int_0^{\Delta l} F dx = \frac{1}{2} \frac{ES}{l} (\Delta l)^2 = \frac{E\varepsilon^2}{2}$$

мұндағы V - дененің көлемі.

Ауданның төмендегі туынды бірліктері де бар:

$$\text{Верста квадрат} = 1,138 \cdot \text{км}^2$$

$$\text{Аршин квадрат} = 0,5058\text{м}^2$$

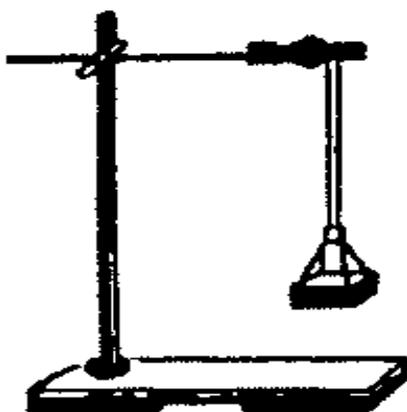
$$\text{Фут квадрат} = 9,29\text{дм}^2$$

$$\text{Дюйм квадрат} = 6,452\text{см}^2$$

$$\text{Линия квадрат} = 6,452\text{мм}^2$$

Заттың *Юнг модулі* деп, осы заттан жасалған дененің салыстырмалы деформациясы l -ге тең болуы үшін қажет механикалық кернеуге мөлшер жағынан тең болған физикалық шамаға айтылады.

Юнг модулі заттың түріне байланысты.



8.2 - сурет

Гук заңы формулалары

$$F = \frac{ES\Delta l}{l_0}$$

$$F = kx$$

$$F = -kx$$

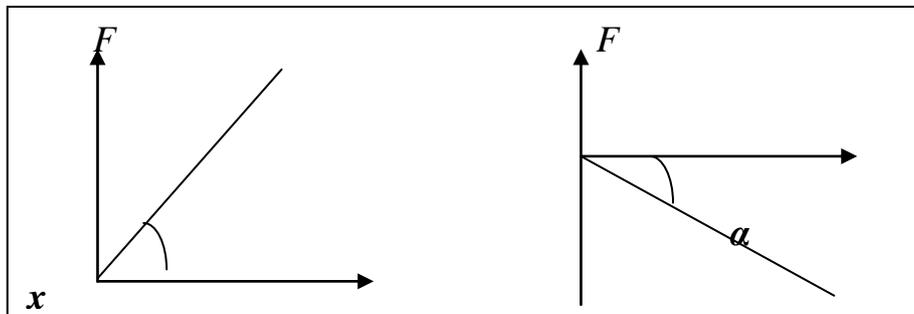
$$F = k\Delta l$$

$$F = -k\Delta l$$

Ұзындық неше есе артса, қатаңдық сонша есе кемейіп барады.

$$k = \frac{ES}{l_0} \quad \text{қатаңдық,} \quad k - \text{қатаңдық} \quad [k] = \frac{H}{m}$$

Гук заңындағы "минус" таңба, серпінділік күшінің денеге әсер ететін күшке кері бағытталғандығын өрнектейді және серпінділік күші дененің бастапқы жағдайына қайтаруға ұмтылады.

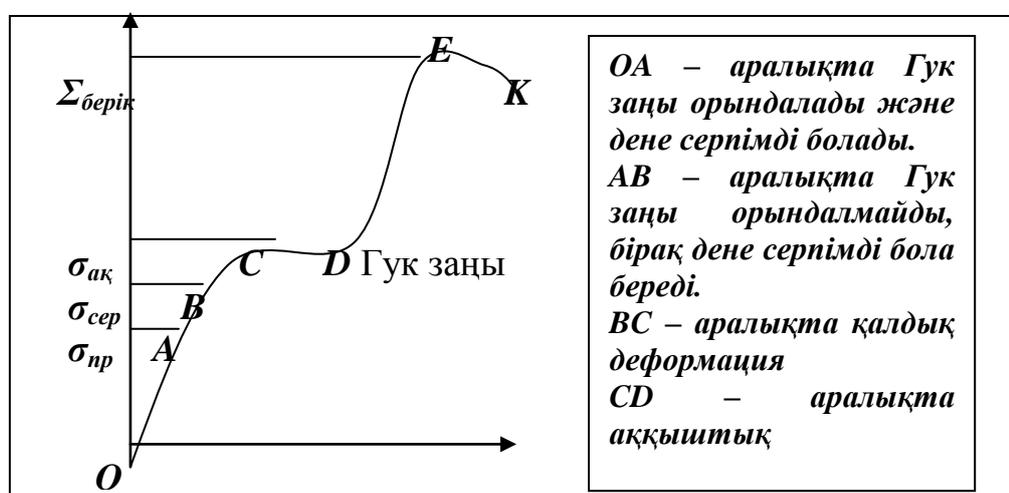


8.3 -сурет

$F(x)$ графигіндегі бұрыш тангенсі қатаңдықты береді.

$\frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$ тізбектей қосылғанда қатаңдық

$k = k_1 + k_2$ параллель қосылғанда қатаңдық



8.4-сурет

$\sigma_{пр}$ – механикалық кернеудің пропорционалдық коэффициенті;

$\sigma_{сер}$ – механикалық кернеудің серпінділік шекарасы;

$\sigma_{ак}$ – механикалық кернеудің аққыштық шекарасы;

$\sigma_{берк}$ – механикалық кернеудің беріктілік шекарасы.

ТЕРБЕЛІСТЕР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Тербелме қозғалыс, периодты процесс, тербеліс периоды және бірлігі, тербеліс жиілігі және бірлігі, тербеліс амплитудасы және бірлігі.

Табиғат құбылыстары арасында периодтық процесстерді өте көп кездестіруіміз мүмкін.

Мысалы, бір тәулікте күн мен түннің алмасуы, табиғи серіктердің планета айналасында (Айдың Жер айналасында) айналуы, планеталардың Күн және өз осьтері айналасында айналулары және тағы басқалар. Тұрмыста және техникада сағат маятникінің тербелісі, ішкі жану двигательдері цилиндріндегі поршеннің қозғалысы және басқалар периодтық процесстерге мысал бола алады. Материялық нүкте қозғалысының бірдей уақыт аралығында бірнеше рет қайталануына **периодтық процесс** деп аталады. Мұндағы тізбектелген бірдей күйлердің қайталануы үшін кеткен уақытқа периодтық процесстің периоды (T) делінеді. Периодтық процесстер математикалық түрде төмендегідей өрнектеледі:

$$f(t+T) = f(T)$$

Барлық периодтық қозғалыстар арасында физика және техникада негізгі орынды **тербелістер** иеледі. Тұрақты қайталануымен айырмашылық ететін процесстерге **тербелме қозғалыс (тербеліс)** делінеді немесе периодтық түрде қайталанылатын қозғалысқа, яғни дененің өз тепе-теңдік жағдайы айналасында периодтық қозғалысына **тербеліс** деп аталады.

Бір рет толық тербеліске кеткен уақытқа **тербеліс периоды** деп аталады және ол төмендегідей формула мен өрнектеледі:

$$T = \frac{t}{N} = \frac{1}{\nu} \text{ тербеліс периодының бірлігі секунд.}$$

Уақыт бірлігінде (бір секундтағы) толық тербелістер саны **тербелістер жиілігі** деп аталады және ол төмендегі формула мен өрнектеледі:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T} \quad [\nu] = \frac{1}{c} = c^{-1} = \text{Гц} \text{ тербеліс жиілігінің бірлігі Герц.}$$

Тербеліс жиілігі және тербеліс периоды тербелетін дененің жеке қасиеті болып есептеледі.

Тербелістер амплитудасы деп, тепе-теңдік жағдайынан максимал (яғни ең ұзақ) ығысу модуліне айтылады.

Тербелістер амплитудасы деп, дененің тепе-теңдік жағдайының ең шеткі жағдайына дейін болған қашықтыққа айтылады.

$A = x_m$ – тербелістер амплитудасының бірлігі-метр.

ГАРМОНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІС

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: гармоникалық тербеліс, гармоникалық тербеліс теңдеуі, тербеліс фазасы, бастапқы фаза, толық фаза, циклдік жиілік, максимал жылдамдық, максимал үдеу, тербелістегі үдеу, тангенциал үдеу, тербеліс жылдамдығы, тербеліс түрлері, өшетін тербелістер, сөнбейтін тербелістер, еркін (қарапайым) тербелістер, мәжбүр тербелістер, автотербелістер, резонанс, гармоникалық тербелістердің толық энергиясы.

Нүкте қозғалыс траекториясының уақыт бойынша өзгеруі синустар немесе косинустар заңы бойынша өзгертін тербелістерге **гармоникалық тербелістер** деп айтылады.

Гармоникалық тербелістер деп, синус немесе косинус заңы бойынша болып өтетін тербелістерге айтылады. Гармоникалық тербелістер теңдеулері төмендегі көріністерге ие болады:

Синусоида үшін гармоникалық тербеліс формулалары

$$x = x_m \sin \omega \cdot t$$

$$x = x_m \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Косинусоида үшін гармоникалық тербеліс формулалары

$$x = x_m \cos \omega \cdot t$$

$$x = x_m \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

x – нүктенің тепе – теңдік күйінен ығысуы $[x] = m$

φ_0 – бастапқы фаза немесе фазалар айырмасы $[\varphi_0] = rad$

$x_m(A)$ – тербеліс амплитудасы $[A] = m$

$(\omega \cdot t + \varphi_0)$ – тербелістің толық фазасы

Гармоникалық тербеліс қозғалысы - жиілік, период, амплитуда және фаза сияқты шамалар мен сипатталады.

Гармоникалық тербелістерде толық энергия өзгермейді.

Денені тербелмелі қозғалысқа келтіретін күштің шамасы және бағыты периодтық түрде өзгереді.

Гармоникалық тербелістегі нүктенің жылдамдығы және үдеуі уақытқа байланысты түрде синус немесе косинус заңы бойынша өзгереді.

2π секунддағы тербелістер санына **циклдік жиілік** деп аталады.

$$\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \cdot \nu \text{ бұрыштық жылдамдық немесе циклдік жиілік}$$

Циклдік жиілік деп, фазаның өзгеру жылдамдығына сан мәні жағынан тең болған шамаға айтылады.

\sin немесе \cos аргументі **фаза** деп аталады.

Тербелістер фазасы деп, тербелетін шаманың кезкелген уақыт моментінде анықталатын $(\omega \cdot t + \varphi_0)$ тәуелсіз айнымалыға айтылады.

Гармоникалық тербеліс теңдеуі(ығысу)нен уақыт бойынша бірінші тәртіпті туынды алсақ, біз гармоникалық тербеліс жылдамдығын тапқан боламыз және оның математикалық өрнегі төмендегідей болады:

$$\frac{dx}{dt} = \mathcal{V} = A \cdot \omega \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Гармоникалық тербеліс теңдеуі(ығысу)нен уақыт бойынша екінші тәртіпті немесе гармоникалық тербеліс жылдамдығынан бірінші тәртіпті туынды алсақ, гармоникалық тербеліс үдеуін тапқан боламыз және оның математикалық өрнегі төмендегідей болады:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{d\mathcal{V}}{dt} = a = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

Бұл теңдікті төмендегі көріністерде жазу мүмкін:

$$\mathcal{V}(t) = x'(t)$$

$$a(t) = \mathcal{V}'(t) = x''(t)$$

$$x = x_m \sin \omega \cdot t$$

$$\mathcal{V} = \mathcal{V}_m \cos \omega \cdot t$$

$$a = a_m \sin \omega t$$

$\mathcal{V}_m = x_m \cdot \omega$ максимал жылдамдық

$a_m = x_m \cdot \omega^2 = \mathcal{V}_m \cdot \omega$ максимал үдеу

$a = -x \cdot \omega^2$ тербелістегі үдеу

$a = x \cdot \omega^2$ тангенциал үдеу

$\mathcal{V} = x \cdot \omega$ тербелістегі жылдамдық

Тербелістер екі түрге бөлінеді:

- Өшетін
- Сөнбейтін

Уақыт өтуімен амплитудасы кемейіп баратын тербелістер ***өшетін тербелістер*** деп аталады.

Үйкеліс (яғни кедергісі) бар болған жүйелерде тербеліс өшеді және гармоникалық болмайды.

Бұдан өшетін тербелістер гармоникалық тербелістер емес екендігі келіп шығады.

Тербелістердің өшуі тербеліс жүйесіндегі үйкеліске (кедергіге) байланысты.

Уақыт өтуімен амплитудасы өзгермейтін тербелістер ***сөнбейтін тербелістер*** деп аталады.

Сөнбейтін тербелістер гармоникалық болып есептеледі.

Тербеліс үш түрге бөлінеді:

1. Еркін
2. Мәжбүр
3. Автотербелістер

Еркін тербелістер деп бір рет күш әсер еткеннен кейін ешқандай сыртқы әсерсіз болатын тербелістер.

Мәжбүр тербелістер сыртқы периодтық ретте әсер ететін күш әсерінде болатын тербелістер.

Автотербелістер деп, бір рет энергия алып, өз-өзін басқаратын тербелістер.

Сырттан әсер ететін күш жиілігімен дененің жеке жиілігінің сай келуі нәтижесінде амплитуданың күрт артып кету құбылысы **резонанс** деп аталады.

Гармоникалық сыртқы күштің периоды дененің еркін тербелістерінің периодына жақындаған кезде мәжбүр тербелістердің амплитудасы күрт артуы **резонанс** деп аталады.

Резонанс уақытында фазалар айырмасы нольге тең.

Мәжбүр тербелістер амплитудасы мәжбүрлейтін күш артуымен алдын артады, максимумға жеткен соң азаяды.

$$W = \frac{m \cdot x_m^2 \cdot \omega^2}{2} = 2 \cdot \pi^2 \cdot g^2 \cdot x_m^2 \cdot m \text{ гармоникалық тербелістің толық энергиясы.}$$

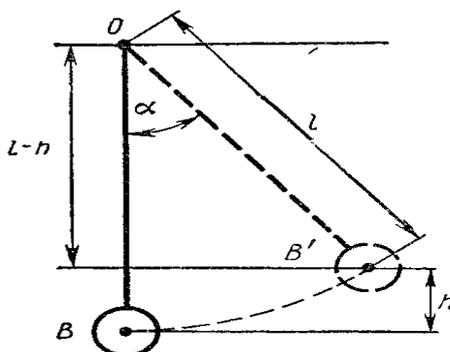
МАЯТНИКТЕР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: маятниктер, маятниктердің түрлері, математикалық маятник, математикалық маятниктің тербеліс периоды, математикалық маятниктің тербеліс жиілігі, математикалық маятниктің циклдік жиілігі, серіппелі маятник, серіппелі маятниктің тербеліс периоды, серіппелі маятниктің тербеліс жиілігі, серіппелі маятниктің циклдік жиілігі, физикалық маятник, физикалық маятниктің тербеліс периоды.

Гармоникалық тербелістер және оларды сипаттайтын физикалық шамалар мен өткен тақырыпта таныстық. Енді гармоникалық тербеліс қозғалыстарына мысал ретінде маятник деп аталатын жүйе қозғалысын қарастырамыз.

Маятник дегенде қойылған күш әсерінде қозғалмайтын ось немесе тепе-теңдік күйіне қатысты тербелістегі жүйелер түсініледі.

Созылмайтын ұзын, «салмақсыз» жіп және оған асылған денеден құралған жүйе **математикалық маятник** деп аталады. Бұл жүйе математикалық маятник болуы үшін қатты дене өлшемдері жіп өлшемінен бір неше есе кіші, массасы жіп массасынан үлкен, яғни жүйенің масса центрі В қатты дененің масса центрімен сай түсуі керек.



8.5-сурет

Бұл суретте математикалық маятникке тепе-теңдік жағдайда және тепе-теңдік күйінен шығарылғанда оған әсер ететін күштерді көріп шығамыз.

Жүйе тепе-теңдікте тұрғанда шарға әсер ететін ауырлық күші $P = mg$ жіптің керулік күші Т ға тең болып, нәтижелік күш нольге тең:

$$F = P + T = 0$$

Егер жүйені тепе-теңдік күйінен шетке шығарсақ, яғни α бұрышқа ығыстырсақ, ауырлық Р және керулік Т күштерінің тең әсер етушісі пайда болып, жүйені тепе-теңдік күйіне қайтаруға әрекет етеді. Егер шар қойып жіберілсе, ол өз жағдайына қайтады және инерция мен қозғалысын жалғастырады және екінші жаққа ауытқиды. Егер шар қозғалысына ауаның кедергі күшін және жіп асылған нүктедегі үйкеліс күшін есепке алмасақ, яғни шардың BB' доға бойымен қозғалысында энергия жоғалуы күзетілмейді, деп қарасақ, шар сол жаққа да α бұрышқа ауытқиды. Мұнда және шарды тепе-теңдікке келтіретін күш пайда болады. Шар және инерциясымен тепе-теңдік күйінен шығып B' нүктеге келеді тағы басқалар. Маятник дәл осындай тепе-теңдік жағдайы айналасында тербеле бастайды. Маятник ауырлық күші Р және жіптің керулік күші Т жатқан жазықта тербеледі.

Математикалық маятник үшін шеңбер бойымен қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуі

$$M = I \cdot \beta = I \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (8.1)$$

формулананы пайдаланамыз.

Айналу нүктелеріне қатысты күш моменті:

$$M = F_r \cdot l = m \cdot g \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (8.2)$$

мұнда l – математикалық маятник ұзындығы.

m массалы материялық нүктенің айналу нүктесіне қатысты инерция моменті:

$$I = m \cdot l^2 \quad (8.3)$$

(8.2) және (8.3) ті (8.1) ге қойсақ,

$$\frac{d\omega}{dt} = -\frac{g}{l} \cdot \sin \alpha = \frac{d^2 \cdot \alpha}{dt} \quad (8.4)$$

Ауырлық күші пайда ететін бұрыштық үдеу бұрыш ауытқуына кері болғандығы үшін минус таңба мен алынады. (8.4) теңдіктің шешімі $\alpha(t)$ ны табу күрделі, сол үшін α ны өте кіші деп есептейміз. Мұнда $\sin \alpha$ ны α арқылы алмастыруға болады:

$$-\frac{g}{l} \cdot \alpha = \frac{d^2 \cdot \alpha}{dt} \quad (8.4 \text{ a})$$

Бұл теңдіктен көрініп тұрыпты, α уақыттың сондай функциясы болуы керек, бұл функциядан уақыт бойынша алынған екінші тәртіпті дифференциалы функцияның өзін $\frac{g}{l}$ тұрақтылыққа көбейтіндісіне тең болуы керек.

Математикадан белгілі, гармоникалық функциялар синус және косинус сондай қасиетке ие. Мысал үшін, маятник тербелгенде α бұрыш уақыт өтуімен гармоникалық заң бойынша өзгерсін, яғни:

$$\alpha = \alpha_0 \cos \omega \cdot t \quad (8.5)$$

α_0 тербеліс амплитудасы, $\omega = 2\pi \cdot \nu$ – циклдік жиілік.

Әрқандай гармоникалық функцияда (8.4а) теңдікті қанағаттандырмай тек $\omega^2 = \frac{g}{l}$ болса ғана, функция (8.4 а) теңдікті қанағаттандырады.

Шындығында да (8.4 а) орнына

$$-\omega^2 \cdot \alpha = \frac{d^2 \cdot \alpha}{dt^2} \quad (8.6)$$

ны жазып (8.5) теңдікті есепке алатын болсақ, (8.6) теңдік пайда болады.

Жүйенің ауытқу бұрышы кіші болса, яғни BB' доға ұзындығы хорда ұзындығына тең деп алу мүмкін болса, $\sin \alpha = \frac{x}{l} \approx \alpha$ ны екі рет уақыт

бойынша дифференциалдасақ, $-\frac{1}{l} \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{d^2 \cdot \alpha}{dt^2}$ болады, оны (8.6) мен салыстырсақ

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \omega^2 \cdot x \quad (8.7)$$

пайда болады.

(8.4) және (8.7) екінші тәртіпті дифференциал теңдеулер математикалық маятниктің *қозғалыс теңдеуі* деп аталады. Оларды салыстырсақ:

$$\omega^2 = \frac{g}{l} \quad (8.8)$$

мұнда

$$4 \cdot \pi^2 \cdot \nu^2 = \frac{g}{l} \quad (8.9)$$

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$$

мұнда ν – тербеліс жиілігі.

Математикалық маятниктің толық тербеліс периоды төмендегідей болады:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{x}{g}}$$

Салмақсыздық жағдайында математикалық маятниктің тербеліс периоды шексіз үлкен болады.

$T = 2 \cdot \sqrt{l}$ Жерде тұрған математикалық маятниктің тербеліс периоды.

$$\pi^2 = g = 9,8 \approx 10$$

$$\sqrt{g} = \pi = 3,14$$

$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g \pm a}}$ математикалық маятниктің тербеліс периоды, жоғарыға

(+), төменге (-)

$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g^2 + a^2}}$ математикалық маятниктің тербеліс периоды (а –

горизонтал болғанда)

Математикалық маятниктің тербеліс периоды маятник ұзындығына және Жердің географиялық кеңдігіне байланысты болады.

Математикалық маятниктің тербеліс периоды Жердегіге қарағанда Айда үлкен, жиілігі болса керісінше кіші, себебі $g_{ай} < g_{жер}$

$\nu = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$ математикалық маятниктің тербеліс жиілігі.

$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$ математикалық маятниктің циклдік жиілігі.

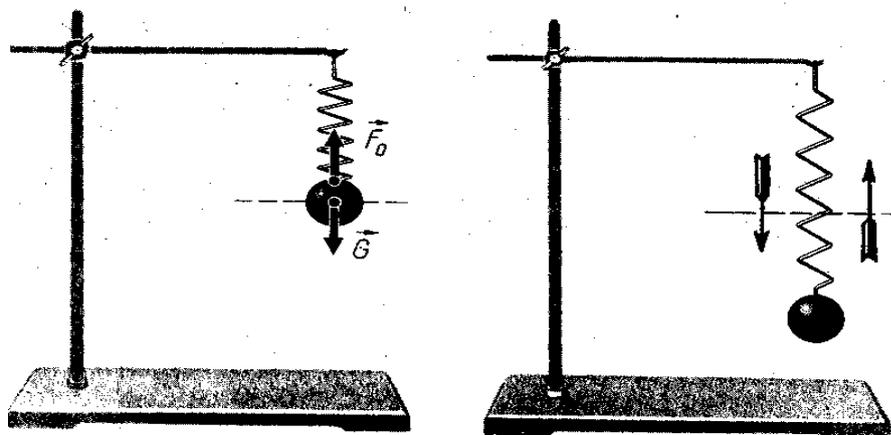
$h = l(1 - \cos \alpha)$ математикалық маятник α бұрышқа ауытқығанда, тепе-теңдік күйінен көтерілу биіктігі.

$F = mg(3 - 2 \cos \alpha)$ математикалық маятник тепе – теңдік күйінен өткенде жіптің керулік күші.

Енді серіппелі маятниктің қозғалысын қарастырамыз. Серіппе және оған асылған жүк өз тепе–теңдік жағдайынан шығарылғанда тербелме қозғалысқа келетін жүйе **серіппелі маятник** деп аталады.

Серіппеге жүк асылмағанда оның ұзындығы x_0 болсын. Серіппеге жүк асылғаннан кейін серіппе Δx_0 ға созылған болып (8.6- сурет) серіппе

тепе-теңдікте болсын. Мұнда $P = mg$ ға тең серпімділік күші $F_1 = k\Delta x_0$ пайда болады. $P = -F_1$. Бұл жағдайда серіппе ұзындығы $x_0 + \Delta x_0$ болады.



8.6- сурет

Серіппені вертикал төменге x қашықтыққа тартсақ, пайда болған серпімділік күші $F_x = k(\Delta x_0 + x_0)$ болады.

Серіппе x -ке созылғанда пайда болған серпімділік күші

$$F = F_2 - F_1 = kx$$

болады. Бұл күш жүйені тепе-теңдік жағына қайтаратын күш болып, біз серіппені созуда қойылған күшке (тепе-теңдіктен шығаратын) тең және қарама-қарсы бағытталған болады:

$$F = -kx$$

x – серіппе асылған жүкті тепе-теңдіктен шығуы, яғни ығысу мөлшерін көрсетеді.

Егер біз жүкті қойып жіберсек, F күш жүкті тепе-теңдік жаққа қозғалдырады. Жүк тепе-теңдік күйіне жеткенде $F = 0$ болады, бірақ жүк өз инерциясымен қозғалып, тепе-теңдік жағдайынан өтеді және серіппені қысады, яғни деформациялайды, нәтижеде және жүкті тепе-теңдік жаққа қайтаратын серпімділік күші пайда болады.

Егер энергия жоғалуын есепке алмаса, серіппе қаншаға созылған болса, жүк тепе-теңдік күйінен өткеннен кейін серіппе және дәл соншаға қысылады. Серіппенің қысылудағы деформация мөлшері созылудағы деформация

мөлшеріне тең болады. Демек, жүктің тепе-теңдік күйінен шығу шамасы уақытқа байланысты түрде өзгереді. Эсер етіп жатқан $F = kx$ серпімділік күші әсерінде жүк $\frac{d^2x}{dt^2}$ үдеу алады. Ньютонның екінші заңына орай:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx \quad (8.10)$$

мұнда

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad (8.11)$$

деп белгілесек,

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega^2 x \quad (8.12)$$

(8.12) теңдік көрініс жағынан математикалық маятник қозғалыс теңдеуі болып есептеледі.

Демек, серіппеге асылған жүк те өз тепе-теңдік жағдайынан шығарылса, гармоникалық тербелме қозғалыста болады және оның тепе –теңдік жағдайдан ұзақтастырылуының уақытқа байланыстылығы төмендегі өрнектен табылады:

$$x = A \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

$$x = A \cos(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

(8.11) теңдікке орай серіппелі маятниктің тербеліс периоды:

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

болады.

$$v = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ серіппелі маятниктің тербеліс жиілігі}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ серіппелі маятниктің циклдік жиілігі}$$

Серіппелі маятник жиілігі, периоды және циклдік жиілігі еркін түсу үдеуі g - ға және абсолют ұзару x -ке байланысты емес. Бірақ олар жәрдемінде

серіппелі маятниктің периоды, жиілігі және циклдік жиілігін есептеу мүмкін.

Демек, серіппелі маятник үдеумен қозғалған лифтке орналастырылса, тербелістер периоды және жиілігі өзгермейді.

Серіппелі маятниктегі жүктің тербелісінде, үдеу жүктің массасына байланысты.

Тербелістегі дененің кинетикалық энергиясы тепе-теңдік жағдайынан өтуінде ең үлкен, потенциалдық энергиясы ең кіші болады.

Физикалық маятник деп, қозғалмайтын ось айналасында еркін тербеле алатын және айналу осі ауырлық центрінен өтпейтін кезкелген қатты денеге айтылады (8.7-сурет).



8.7-сурет

Физикалық маятниктің тербеліс периоды төмендегі формуламен анықталады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}}$$

бұл жерде I - инерция моменті, l - ауырлық центрі мен дене асылған ось арасындағы қашықтық.

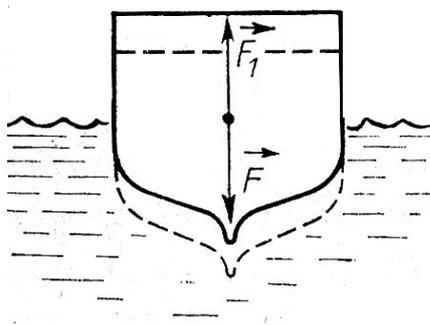
Әрбір маятник жеке период, жиілік және циклдік жиілікке ие болып, бұл шамалар амплитудаға байланысты емес.

МЕХАНИКАЛЫҚ ТЕРБЕЛІСТЕРДІҢ ТЕХНИКАДАҒЫ РОЛІ

Физикалық маятниктің тербелістерін оқығанда оқушыларға реалды техникалық қондырғылардың тербелістерімен байланысты бірқатар нақты есептерді шығару ұсынылады. Мысалы, мынадай есеп: егер кемеңнің массасы m және ватерсызық 3 бойынша қима ауданы берілген болса, оның вертикаль тербелістерінің (теңселуінің) периодын анықтау керек.

Бұл есепті шешуде екі жағдайды талдау керек:

1. Кеме тыныштықта тұр. Бұл жағдайда оған ауырлық күші F және Архимед күші F_1 әсер етеді (8.8-сурет).



8.8-сурет. Кеме корпусына әсер ететін күштер.

2. Кеме тепе-теңдік қалыптан шығарылады және вертикаль гармоникалық тербеліске ұшырайды. Ендігі Архимед күші \vec{F}_2 -ге тең; ол $S\rho Y$ -ке артады (мұндағы ρ — судың тығыздығы, Y — F_1 күштің түсу нүктесімен салыстырғандағы вертикаль ығысу).

Кемеңнің тербелісі серіппелі маятниктің тербелісі сияқты болады, бұл жағдайда y -ті ығысу ретінде, ал $S\rho$ -ны қатаңдық коэффициенті k -ға ұқсастырып қарастыруға болады.

Қабылданған жорамалдарды ескере отырып, кемеңнің еркін вертикаль тербелістерінің периоды үшін мынадай формула жазуға болады:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{S\rho}}$$

мұндағы T — период, с; m — кемеңнің массасы, T . Бұдан мынадай қорытынды жасай алуымыз мүмкін: кемеңнің теңселу периоды оның ватер сызығының ауданына кері пропорционал және кемеңнің массасына тура пропорционал.

Еріксіз тербелістермен және резонанспен таныса отырып, көптеген техникалық қондырғылар жұмыс істегенде қауіпті еріксіз тербелістер пайда болатындығын түсінуіміз керек (бу турбиналарының, көпірлердің, самолеттердің, іштен жанатын двигательдердің тіреулері). Белгілі жағдайларда тіпті әлсіз периодты күштің өзі конструкция үшін, одан көп үлкен тұрақты күштен анағұрлым көбірек бүлдіруі мүмкін. Бұл мәжбүрлеуші тербелістің жиілігі конструкцияның меншікті тербеліс жиілігіне жақын болғанда күштірек байқалады. Мысалы, қозғалыстағы вагонның меншікті тербеліс жиілігі рельстер жалғамасындағы тербеліс жиіліктерімен дәл келгенде, ол анағұрлым күшті тербеледі. Оқушыларға мынадай есепті шығаруды ұсынуға болады: рельстің ұзындығы 15 м, вагонның меншікті тербелісінің периоды - 0,5 с. Резонанс құбылысы басталған кездегі поезд қозғалысының жылдамдығын анықтаңыздар.

Бұл есептің шығарылуы күрделі емес.

Резонанстық жылдамдықты былай табады:

$$\frac{15\text{м}}{0,5\text{с}} = 30\text{м/с} = 108\frac{\text{км}}{\text{са}}$$

Бірақ еселік жылдамдықтар да резонанстық болып табылады: 54, 36, 12.

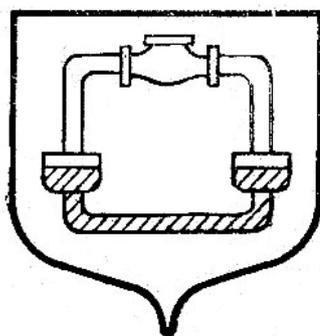
Тербелістердің зиянды көріністері. Көптеген техникалық қондырғыларда конструкция жеке бөліктерінің еріксіз тербелістері мүлдем зиянды болып шығады. Мысалы, бу және газ турбиналарының қалақтары мен дискілерінің тербелісі қалақтың немесе дискінің сынуын туғызуы мүмкін. Сонымен бірге сынған бір қалақ практикада барлық турбинаның қалақтарының көптеген бөлігін лезде істен шығарады.

Тербелістердің мейлінше зиянды көріністерінің бірі көпке белгілі корабльдердің шайқалуы болып табылады. Толқындар тербелісінің жиілігі кеме тербелісінің меншікті жиілігіне неғұрлым жақын болса, резонанс теориясына сәйкес, кеме соғұрлым көп шайқалуға душар болады.

Арнаулы қондырғыларды пайдаланып (шайқалуды тыныштандырғыштарды) шайқалуды айтарлықтай бәсеңдетуге болады, ол жартысына

дейін су құйылған, төменгі жағынан су құбырымен және жоғарғы жағынан вентилі бар ауа құбырымен өзара жалғасқан екі резервуардан тұрады (8.9-сурет). Шайқалу басталған кезде бактардағы судың ауырлық күшінің айналдыратын моменті толқын әсерінің айналдыратын моментіне қарама-қарсы болады. Шайқалуды тыныштандырғышты пайдалану кемеңің көлбеулік бұрышын 15-тен 5°-қа дейін азайтуға мүмкіндік береді.

Шайқалуды бұдан да көбірек азайтатын (20-дан 1°-қа дейін) гироскопиялық тыныштандырғыштар мейлінше кең қолданылады. Бұл конструкцияда гироскоптың маховигі кемеңің корпусымен байланыстырылған да, оның бұрылуына кедергі жасайды.



8.9-сурет. Теңселуді өшіретін жүйе.

Еріксіз тербелістердің тағы бір қызықты мысалы- аэродинамикалық күштердің әсерінен пайда болатын флаттер тектес тербелістер. Бұл тербелістер, әсіресе, самолеттер үшін қауіпті, себебі флаттер кезінде амплитуданың артатындығы соншалық «система бытырап кетеді» деп айтады.

Самолеттер мейлінше зор жылдамдық алғаннан соң, флаттердің салдарынан, сынау кезінде олардың кейбіреуі шын мәнінде ауада быт-шыт болған. Бұл құбылысты болдырмау үшін самолеттердің жобасын жасағанда конструкцияны самолеттердің кризистік жылдамдығынан жоғары кризистік жылдамдықпен қамтамасыз етеді.

Резонанс құбылысының көпір құрылысында бірнеше рет апатқа ұшыратқан жағдайы да бар. Мысал ретінде соңғы ондаған жылдар ішінде

әйгілі болғандардың бірі Такома (АҚШ) бұғазы арқылы жүргізілген көпірдің қирауын келтіруге болады, оған себепші болған жағдай - көпірдің иірілмелі, горизонталь бүйірлі, сондай-ақ, вертикаль тербелісі. Мұндай тербелістердің тууына желдің салдарынан болған еріксіз тербелістер жиілігі мен көпірдің конструкциясының меншікті вертикаль тербеліс жиілігінің бірдей болуы себеп болған. Резонанспен күресу үшін конструкторларға көп факторларын ескеруге тура келеді, атап айтқанда, көпір аспасының ұзындығы 100 м шамасында тербелістердің негізгі тогының жиілігі 1-2 Гц болуы керек.

Тербелістерді техникада пайдалану. Тербелістердің техникалық қолданылуы алуан түрлі. Атап айтқанда оларды құрылыс техникасында өте кең пайдаланады, мұнда ондаған жылдар бойы вибрациялау методымен бетонды қалау қолданылады. Сыртқы вибраторларды қолданғанда оларды қалқан ағашқа (опалубкаға) бекітеді, ол арқылы тербеліс бетондық массаға беріледі. Ішкі вибраторларды пайдаланғанда оларды бетондық массаға жайлап батырады, онда олар бірнеше ондаған секунд болған соң суырып алынады. Әдетте вибраторлардың тербеліс жиілігі 50-100 Гц болады. Виброметодты пайдаланғанда бетонның тығыздығы артады, бұл оны зиянды қоспалардың өтуіне қарсы өте берік етеді.

Көптеген технологиялық материалдардың қасиеттерін жақсарту үшін материалды вибрациялық уату аса маңызды екендігінде түсінуіміз керек. Мысалы, цементтің меншікті бетін арттыру оның беріктік шегін 2 есе арттырады.

Металлургияда балқытылған шойынды вибрациялау зиянды газдар мен шлактарды айдап шығуға мүмкіндік береді. Бұл жағдайда балқыған шойыны бар ожауды, вибрациялардың жәрдемімен тербелмелі қозғалысқа келтірілетін, арнаулы виброплатформаға орналастырылады. Аса жеңіл қоспалар, шлактар, сондай-ақ газдардың көпіршіктері вибрацияланғанда үдей бөлінеді де, аса жоғары сапалы шойын алуға мүмкіндік береді.

ІХ БӨЛІМ. ТОЛҚЫНДАР АКУСТИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: қозғалыс мөлшері, импульстың таралу жылдамдығы, салыстырмалы деформация, Юнг модулі, ығысу деформациясы, тығыздық, Пуассон тұрақтысы.

Біз денелер деформациясы туралы айтып өткенімізде қойылған күштің әсер уақыты туралы және оның шамасы өзгередіме немесе тұрақты қаладыма, осы туралы пікірлер айтылмаған еді. Денеге сыртқы күш әсер еткенде дене бүкіл көлемі бойынша деформацияланады, деп қараймыз.

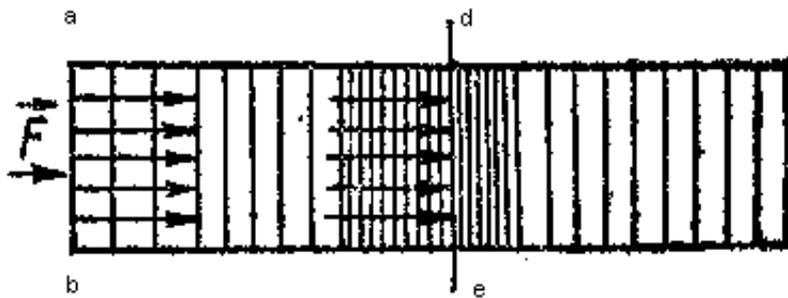
Енді денеге қойылған күш өте қысқа уақытта әсер етеді деп қарасақ, дененің күш қойылған бөлігіне жақын қабаттағы бөлшектері осы қысқа уақыт ішінде белгілі кіші қашықтыққа ығысуға уақыт жетерлі. Бірақ алыс қабатта жатқан бөлшектер, инерцияға ие болғандығы үшін, ығысуға уақыты жетпейді де қысылады. Атап айтсақ, дене деформацияға ұшрайды. Мұнда екінші қабатта пайда болған серпімділік күші бірінші қабат бөлшектерін өз орнына қайтаруға ұмтылады да үшінші қабат өз орнынан ығысады. Нәтижеде, екінші қабатта деформация пайда болады. Сонымен, деформация және бөлшектердің ығысуы бір қабаттан екінші қабатқа беріледі. Деформацияны күш импульсы (қозғалыс мөлшері) берілген қабаттан қарама – қарсы жаққа тарқалуы үшін белгілі бір уақыт кетеді. Демек, импульс серпімді денеде белгілі бір жылдамдықпен тарқалады екен.

Егер күш импульсы әсері қайталанып тұрса не болады?

Елестетейік, импульс дененің бойы бойынша таралсын. Мұнда қабаттардағы бөлшектер күш бағытында және оған қарама – қарсы бағытта қозғалады. Импульс тарқалғанда (деформация ұзатылғанда) бір қабатта қысылу деформациясы өткен болса, оның жанындағы екінші қабатта созылу деформациясы пайда болады. Егер алынған қабатта созылу деформациясы пайда болса, оның екі жанындағы көрші қабатында

ығысу деформациясы пайда болады. Атап айтсақ, әрбір қабатта периодты түрде созылу – ығысу (немесе сығылу – созылу) деформациясы өтіп тұрады. Демек, әрбір таңдалған көлемде қысым өзгеріп тұрады. Мұнан тыс, дене қимасындағы бөлшектердің ол немесе бұл жағына орын ауыстыруы бақыланады.

Импульстың таралу жылдамдығын табамыз. Мұның үшін импульс таралған ортадан негізі S болған цилиндрді бөліп аламыз. 1 – суреттегі a b қимаға F күшпен импульс берілсе, бұл импульс t уақытта d e қимаға жетіп барады. d e қимаға әсер етіп жатқан күшті болса, F ке тең деп аламыз.



9.1 – сурет

Елестетейік, d e қима алдындағы бөлшектер қысылған болады. Бұл қысылуда тығыздықтың өзгеруін салыстырмалы қысылуға пропорционал десек болады, яғни $\Delta\rho = \varepsilon\rho$ (ρ деформацияланбаған цилиндр тәрізді стерженнің тығыздығы, ε – салыстырмалы деформация).

Қысылу және созылу цилиндр бойынша бірдей жылдамдықпен таралады. Бұл жылдамдықты v десек, Δt уақытта S қимадан өтетін импульс

$$\Delta m v = S v \Delta t \rho v = S \Delta \rho v^2 \Delta t \quad (9.1)$$

Күштің қысым арқылы өрнегі $F = \Delta p S$ ден пайдалансақ,

$$\Delta m v = F \Delta t = \Delta p S \Delta t \quad (9.2)$$

(9.1) және (9.2) теңдіктерден

$$v^2 = \frac{\Delta p}{\Delta \rho} \quad (9.3)$$

$\Delta\rho = \varepsilon\rho$ және $\Delta\rho = \frac{\varepsilon}{a} = \varepsilon \cdot E$ екенін есепке алсақ,

$$v_b = \sqrt{\frac{1}{a \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (9.3a)$$

болады, мұнда E – серпімділік немесе Юнг модулі.

(9.3a) формула импульс таралып жатқан орта қандай (қатты, сұйық, газ) болуынан қарамай орынды болады. Демек, ортада импульстің таралу жылдамдығы осы ортаның серпімділік коэффициенті α ға және орта тығыздығы ρ ға байланысты.

Бойына созылу және сығылу деформациясы пайда болып жатқан уақытта ортада еніне тар болу және ұлғаю деформациясы болғандығынан және бұл деформациялар шамасы Пуассон тұрақтысы $\mu = \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_e}$ мен байланыстылығын есепке алып, жылдамдық

$$v_b = \sqrt{\frac{(1-\mu) \cdot E}{(1+\mu) \cdot (1-2\mu) \cdot \rho}} \quad (9.4)$$

көріністе болады.

Бұл жағдайда бөлшектер ығысуы импульстің таралу бағыты мен бір сызықта болғандығы серпімділік коэффициенті немесе Юнг модулі бойынша созылу немесе сығылу деформациясын сипаттағандығы себепті (9.3) және (9.4) формула импульстің бойлық таралу жылдамдығын береді.

Қатты денелерде сыртқы импульс нәтижесінде сығылу және созылу деформациясымен бірге ығысу деформациясы да пайда болады. Мұнда пайда болған деформация қарастырылып жатқан дененің көлденең өлшемі бойынша таралады. Мұнда пайда болған көлденең импульстардың таралу жылдамдығы шамасы ығысу деформациясын сипаттайтын шама G – ығысу деформациясын сипаттайтын шама ығысу модулына байланысты болады:

$$v_k = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (9.5)$$

(9.4) және (9.5) формуладан белгілі:

1. Сұйық, газ заттарда импульс тек қана бойлық, қатты денелерде де бойлық, әрі көлденең бағыттарда таралады. Сұйық және газдарда импульстардың көлденең таралмауына себеп, сұйық және газдарда ығысу модулі $G = 0$, яғни сұйық және газдарда ығысу деформациясын амалға асырып болмайды, өйткені өз күйінде қойылған сұйық және газ ағады (өз пішінін сақтамайды);

2. Инерттігі үлкен, яғни тығыздығы үлкен болған ортада импульстың таралу жылдамдығы кіші. Ортаның серпімділігі қанша үлкен болса, импульстің таралу жылдамдығы да осындай үлкен болады;

3. Көптеген қатты денелерде $E > G$ болғандығы үшін бойлық импульс таралу жылдамдығы көлденең импульс таралу жылдамдығынан үлкен болады, яғни $v_b > v_n$.

Мысалы, темір үшін $v_b = 5170 \frac{m}{c}, v_k = 2550 \frac{m}{c}$;

4.(9.4) және (9.5) формула жәрдемінде тек қана импульстің таралу жылдамдығы табылады, бұл формулаларды импульстің таралуын жеткізіп берген орта бөлшектерінің қозғалыс жылдамдығына ешқандай қатысы жоқ.

Атап айту керек, импульс таралғанда орта бөлшегі импульс жетіп келгенге дейін тұрған нүктесі айналасында тербеледі. Импульспен бірге ортаның бір нүктесінен екінші нүктесіне орын ауыстырмайды. Шындығында да, арқанның бір ұшын сілтеп, яғни импульс берсек, импульс арқанның екінші ұшына орын ауыстырғанын көреміз. Бірақ арқанда белгіленген бірер нүктеге назар аударсақ, ол арқанның бір ұшынан екінші ұшына орын ауыстырмайды.

Жалпы алғанда, импульсты пайда ететін күш уақыт бойынша қандай өзгеруіне байланысты. Мұндай жағдайда орта дисперсия қасиетіне ие деп айтылады.

Жоғарыдағы жағдайларда орта дисперсия қасиетіне ие емес деп, импульстің таралу жылдамдығы тек қана ортаның қасиеті E , G , ρ лерге байланысты деп қаралады.

ТЕРБЕЛІСТЕРДІҢ СЕРПІМДІ ОРТАДА ТАРАЛУЫ. БОЙЛЫҚ ЖӘНЕ КӨЛДЕНЕҢ ТОЛҚЫНДАР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: жүгірме толқын, бойлық толқын, көлденең толқын, толқын таралу жылдамдығы, тербеліс көзі, жүгірме толқын теңдеуі, тербеліс жүйесі, толқын ұзындығы, толқын саны, толқындардың ығысуы, толқын таралып жатқан орта бөлшектерінің жылдамдығы, толқын үдеуі.

Енді біз белгілі бір серпімді ортаға қысқа уақытты күш емес, периодты айнымалы күш әсер еткенде ортада болатын қозғалысты үйренеміз.

Елестетейік, алдын денеге тізбектей импульстармен әсер етсін. Дене әрбір импульсқа сәйкес қозғалыс жасайды. Бұл қозғалыстар денеге берілген тізбектелген екі импульс арасындағы уақытқа байланысты түрде қайталанатын. Егер әсер еткен импульстар арасындағы уақытты импульстің әсер уақытына дейін кемітсек, енді денеде жеке импульстар үздіксіз таралады.

Егер дәл осындай периодты импульстар белгілі уақытта әсер етсе, дененің әрбір нүктесі периодты қозғалысқа келеді. Орта бөлшектері периодты қозғалысының жиілігі сыртқы әсер (импульс) жиілігіне тең болады.

Жалпы айтқанда, импульс ортада таралғанда энергия жоғалтқандығы нәтижесінде орта бөлшектері периодты қозғалысының амплитудасы азаяды. Орта бөлшектері импульс берілген орыннан қанша алыста болса, бұл нүкте периодты қозғалысының амплитудасы соншалық кіші болады.

Егер алынған нүкте импульс берілген нүктеден біраз алыста болса, бұл нүкте периодты қозғалысқа келмеуі да мүмкін.

Біз қарастырып отырған орта ұзындығын (импульс таралу бағытында) таңдап алып, бұл ұзындықта амплитуда айтарлықтай кемімесін, яғни импульс осы ұзындықта таралғанда энергия жоғалуы дерлік болмасын.

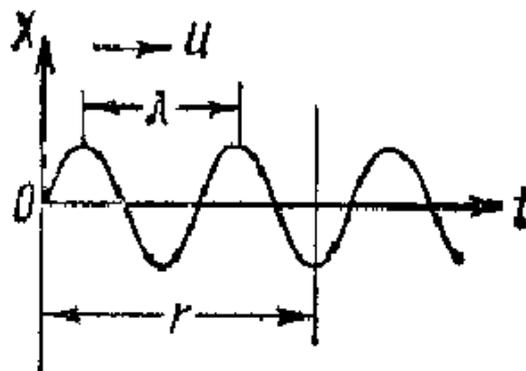
Елестетейік, қандайда бір жүйе ортада тербелмелі қозғалыста болсын. Орта бөлшектері бір–бірі мен байланысқан болса, тербелмелі қозғалыс энергиясы жүйесні орап тұрған орта бөлшектеріне беріледі және оларды тербелмелі қозғалысқа алып келеді. Дәл осындай тербелістердің ортада таралуы **толқындар** деп аталады.

Егер ортаның бөлшектері тербелісі таралып тұрған түзу сызық бойымен болса, мұндай толқындар **бойлық толқындар** деп аталады және олардың таралу жылдамдығы (3а) формуладан табылады. Егер орта бөлшегі тербелісі тербелістің таралу бағытына тік болса, мұндай толқындар **көлденең толқындар** деп аталады және олардың таралу жылдамдығы (9.5) формуладан табылады.

Жүйе синусоидалық немесе косинусоидалық тербелгенде:

$$x = A \sin \omega \cdot t \quad (9.6)$$

Тербеліс көзінен r қашықтықта орналасқан орта нүктесі тербеліс басталғаннан соң белгілі уақыт өткеннен соң тербеле бастайды (9.2 – сурет). Бұл уақыт $\frac{r}{u}$ ге тең (u – толқынның таралу жылдамдығы).



9.2 - сурет

Дәл осы r қашықтықта орналасқан нүктенің ығысуын толқынды пайда еткен тербеліс ығысуы заңдылығымен байланыстырсақ,

$$x = A \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.7)$$

болады. Бұл теңдік **жүгірме толқын теңдеуі** деп аталады. Циклдік (периодтық) жиілігі $\omega = \frac{2\pi}{T}$ екендігін есепке аламыз,

$$x = A \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{u \cdot T} \right) \quad (9.7a)$$

Демек, тербелістердің ортада таралу процесі – периодты болып саналады. Орта бөлшектерінің тербеліс периоды (жиілігі) толқынды пайда еткен тербеліс (тербеліс жүйесі) периодымен бірдей болады. Егер бірі гармоникалық тербелісте болса, екіншісінің тербелісі де гармоникалық болады:

$$uT = \lambda \quad (9.8)$$

Бір периодта толқын жүріп өткен қашықтыққа **толқын ұзындығы** деп аталады. Толқын ұзындығына басқа сипаттамада беру мүмкін. **Толқын таралып жатқан ортаның бір–біріне ең жақын бірдей бағыты және орын ауыстыруға ие болған нүктелер арасындағы қашықтық немесе ортаның бірдей кеңістікте тербелістегі ізбе – із екі нүктесі арасындағы қашықтық толқын ұзындығы деп аталады.** (9.8) ны

$$x = A \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{r}{\lambda} \right) \quad (9.7b)$$

$$\varphi = \frac{2\pi \cdot r}{\lambda} \quad (9.9)$$

(9.9) өрнек тербеліс жүйесінен r қашықтықта орналасқан нүктенің тербеліс фазасын жүйенің тербеліс фазасынан қанша арқада қалуын көрсетеді.

Егер кезкелген екі нүкте арасындағы фаза ығысуын табу үшін,

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi(r_2 - r_1)}{\lambda} \quad (9.10)$$

формуладан пайдаланамыз. Мұнда,

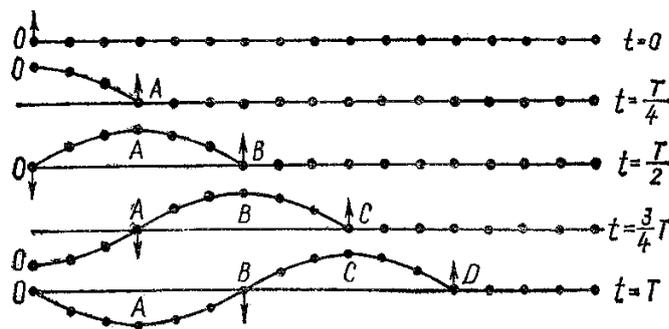
$$\frac{2\pi}{\lambda} = k \quad (9.11)$$

толқын саны деп аталады және 2π ұзындыққа неше толқын ұзындығы орналасуын көрсетеді. **Толқын саны** арқылы (9.7б) ны

$$x = A \cdot \sin(\omega \cdot t - kr) \quad (9.12)$$

көрінісінде жазу мүмкін. (9.7), (9.7а), (9.7б), (9.12) теңдіктер бір толқын процесін өрнектеп барлығы **жүгірме толқын теңдеуі** деп аталады.

Енді көлденең және бойлық толқындар таралғанда орта бөлшектері жағдайы қандай өзгеруін көреміз.



9.3 - сурет

9.3 – суретте көлденең толқындар таралғанда

$$t = 0, t = \frac{T}{4}, t = \frac{T}{2}, t = \frac{3}{4} \cdot T, t = T$$

моменттерде орта бөлшектерінің жағдайы көрсетілген. Горизонтал сызық бойынша орта нүктелерін бастапқы нүкте 0 ге қатынасты орналасуын, вертикал бойынша уақыттың әр түрлі моментінде бұл нүктелердің ығысуы көрсетілген:

$t=0$ бастапқы моментте барлық нүктелер бір туры сызықта жатады. Тек 0 нүкте үдеу алған болады;

$t = \frac{T}{4}$ моментте 0 нүкте ең үлкен ығысуға ие болады. 0 нүктеден $r = u \cdot \frac{T}{4}$

қашықтықта жатқан А нүкте енді үдеу алған болады;

$t = \frac{T}{2}$ моментінде бірінші нүкте өзінің тепе – теңдік күйіне қайтады. А

нүкте ығысуы максимал болады. В нүкте бірінші нүктеден $r = \frac{T}{2}$

қашықтықта тұрыпты;

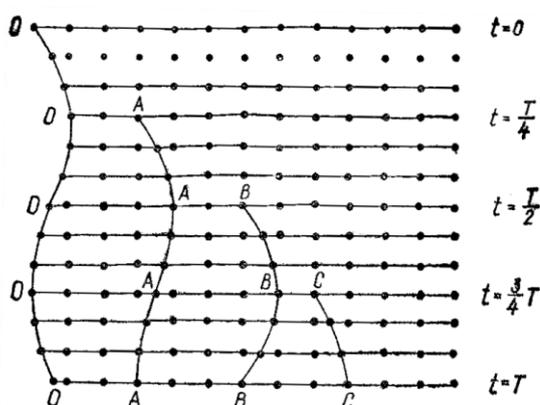
$t = \frac{3}{4} \cdot T$ моментте 0 нүктеде тұрған бөлшек төменге қарай максимал ығысады,

A нүкте тепе – теңдік күйінен төменге қарай өтіп жатқан болады. B нүкте жоғарыға максимал ығысады, бірінші нүктеден $r = \frac{3}{4} \cdot u \cdot T$ қашықтықта

жатқан C нүкте болса үдеу алады;

$t = T$ моментте бірінші 0 бөлшек тепе – теңдік күйіне қайтады, A нүкте төменге максимал ығысады, B нүкте тепе – теңдік күйіне қайтқан болады,

C нүкте жоғарыға максимал ығысады, бірінші нүктеден $r = uT$ қашықтықта тұрған D нүкте енді үдеу алған болады және уақыт өтуімен жоғарыдағы процесс қайталанады.



9.4 - сурет

9.4 – суретте бойлық толқындар таралғанда бөлшектер күйі келтірілген. Горизонтал сызық толқын таралуын көрсетеді, орта бөлшегінің орын ауыстыруы толқын таралуымен бір тура сызықта болады:

$t = 0$ моментте 0 нүкте тепе – теңдік күйінде;

$t = \frac{T}{4}$ моментте 0 нүкте оңға ең көп ығысады;

$t = \frac{T}{2}$ моментте 0 нүкте және тепе – теңдік күйіне қайтады;

$t = \frac{3T}{4}$ моментте 0 нүкте сол жаққа ең көп ығысады;

$t = T$ моментте 0 нүкте өзінің тепе – теңдік күйіне қайтқан болады.

O және A нүктелер арасындағы қашықтық өзгеруі ортаның осы бөлігінде қысылу және созылу пайда болып жатқандығын көрсетеді.

Уақыттың $t = \frac{T}{2}$ моментінде 0 және А нүктелер арасында ұлғаю болса, А және В нүктелер арасында қысылу болады. $t = T$ моментте 0 және А нүктелер арасында қысылу болса, А және В нүктелер арасында ұлғаю болады. Сонымен, ортада сығылу және кемуі периодты жалғасып тұрады.

Толқын таралғанда, орта бөлшектерінің жылдамдығын табамыз,

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \cos \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.13)$$

немесе

$$v = \frac{dx}{dt} = A\omega \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} + \frac{\pi}{2} \right) \quad (9.14)$$

болады. Демек, бөлшек жылдамдығыда, ығысуыда бірдей заңдылық бойынша болады. Бірақ жылдамдық ығысуға салыстырмалы $\frac{\pi}{2}$ фазаға ығысқан болады.

Бөлшек максимал ығысқан моментте жылдамдық өз бағытын өзгертеді, атап айтсақ, нольге тең болады. Тепе – теңдік күйінен өтіп жатқанда бөлшек жылдамдығы ең үлкен болады. Толқынның үдеуін анықтау үшін (9.13) ны уақыт бойынша дифференциалдаймыз:

$$a = \frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.15)$$

немесе

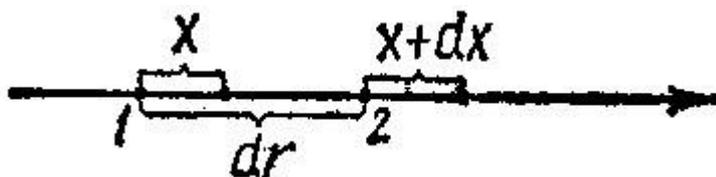
$$a = -\omega^2 x \quad (9.16)$$

(9.16) формуладан бізге белгілі, үдеуде ығысумен бірдей заңдылық бойынша өзгереді, бірақ фаза жағынан π ге айырмашылық етеді. Атап айтқанда, үдеу бағыты ығысу бағытына қарама – қарсы болып есептелінеді.

ТОЛҚЫННЫҢ ҚОЗҒАЛЫС ТЕҢДЕУЛЕРІ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: толқынның қозғалыс теңдеуі, тепе-теңдік күйі, ортаның созылуы, ортаның сығылуы, толқын қозғалысының дифференциал теңдеуі, толқын теңдеуі, серпімділік күші, Гук заңы, көлемдік сығылу коэффициенті.

Жеке денеге тиісті бірталай нүктелерді аламыз. Бұл нүктелер таралып жатқан түзу сызық үстінде болсын. Бұл нүктелерден екеуін ажыратайық (9.5-сурет). Нүктелер тепе – теңдік күйінде болғанда олар арасындағы қашықтық dr болсын.



9.5 - сурет

Уақыттың берілген моментінде 1 нүктенің тепе – теңдік күйінен ығысуы x , 2 нүктенің тепе – теңдік күйінен ығысуы $x+dx$ болсын. Мұнда салыстырмалы деформация:

$$\varepsilon = \frac{dx}{dr} \quad (9.17)$$

$\varepsilon = \frac{dx}{dr} > 0$ болса, нүктелер арасындағы қашықтық артады, демек, орта созылады;

$\varepsilon = \frac{dx}{dr} < 0$ болса, нүктелер арасындағы қашықтық азаяды, демек, орта қысылады.

Ортада таралатын толқынның теңдеуі,

$$x = A \cdot \sin \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right)$$

екенін ескеріп,

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dr} &= -\frac{A\omega}{u} \cdot \cos \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \\ \frac{d^2x}{dr^2} &= -\frac{A\omega^2}{u^2} \cdot \sin \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \end{aligned} \quad (9.18a)$$

$$\frac{dx}{dt} = v = A\omega \cdot \cos \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -A\omega^2 \cdot \sin \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.186)$$

Бұл екі теңдікті салыстырамыз:

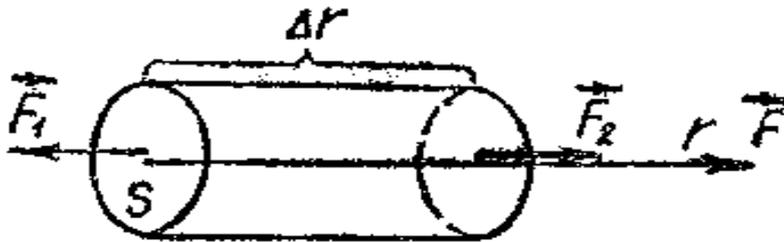
$$\frac{d^2x}{dr^2} = \frac{1}{u^2} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \quad (9.19 \text{ а})$$

немесе

$$\frac{d^2x}{dr^2} = u^2 \cdot \frac{d^2x}{dt^2} \quad (9.19 \text{ б})$$

(9.19 а) теңдік **толқын қозғалысының дифференциал теңдеуі** немесе **толқын теңдеуі** деп аталады.

Ортада толқынның таралу жылдамдығы (u) ды есептейміз. Бұл үшін ортадан ойымызда негіз қима S , ұзындығы dr болған цилиндрді бөліп аламыз. Цилиндр осі толқынның таралу бағытымен сәйкес түссін. Біз бөлген уақытта цилиндрге F_1 және F_2 серпімділік күші әсер етсін (9.6 – сурет).



9.6 – сурет.

Гук заңына негізделіп:

$$F_1 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{dx}{dr} \right)_0 S \quad (9.20 \text{ а})$$

және

$$F_2 = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{dx}{dr} \right)_{\Delta r} S \quad (20 \text{ б})$$

F_1 және F_2 күштер қарама – қарсы бағытталса, орта элементтеріне әсер етіп жатқан күш

$$F = F_2 - F_1 = \frac{1}{\alpha} \left[\left(\frac{dx}{dr} \right)_{\Delta r} - \left(\frac{dx}{dr} \right)_0 \right] S \quad (9.21)$$

$\left(\frac{dx}{dr} \right)_{\Delta r} = \left(\frac{dx}{dr} \right)_0 + \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{dx}{dr} \right) \right]_0 dr$ ді есепке алсақ,

$$F = \frac{1}{\alpha} \left[\frac{d}{dr} \left(\frac{dx}{dr} \right) \right]_0 S \cdot dr = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{d^2 x}{dr^2} S \cdot dr \quad (9.22)$$

Ньютон заңына негізделіп:

$$F = m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = \rho S \cdot dr \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (9.23)$$

(9.22) және (9.23) теңдіктерден:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{\alpha \rho} \cdot \frac{d^2 x}{dr^2} \quad (9.23a)$$

Бұл теңдікті толқын теңдеуі өрнегі (9.19) мен салыстырсақ,

$$u = \sqrt{\frac{1}{\alpha \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Бұл теңдікті импульстың серпімді ортада таралу жылдамдығын анықтағанымызда кездестірген едік.

Импульс немесе толқынның ортада таралу жылдамдығын есептеуде қысым және тығыздық өзгеруі $\frac{\Delta P}{\Delta \rho}$ ның температураға байланыстылығын есепке алмадық. Толқын таралып жатқан орта элементінде сығылу және созылу қысқа уақытта пайда болады, мұнда көлем элементінде пайда болған температура өзгеруі есебіне пайда болған жылулық көрші элементтерге берілмейді.

Атап айтқанда, элементар көлемде адиабаталық ұлғаюда температура өзгеруі $\frac{\Delta P}{\Delta \rho}$ ның өзгеруіне алып келеді. $\frac{\Delta P}{\Delta \rho}$ ны сипаттайтын шаманы **адиабаталық көлемдік қысылу коэффициенті** деп атайды және оны β мен белгілеп, жылдамдық үшін төмендегі өрнекті жазамыз:

$$v = \sqrt{\frac{1}{\beta \cdot \rho}}$$

ТОЛҚЫННЫҢ ҚОЗҒАЛЫС ЭНЕРГИЯСЫ. ЭНЕРГИЯ АҒЫСЫ. УМОВ ВЕКТОРЫ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: толқын қозғалысы энергиясы, энергия сәулеленуі, энергия ағысы, маятник, толқынның кинетикалық энергиясы, толқынның потенциалдық энергиясы, толқынның толық энергиясы, энергия тығыздығы, орташа энергия, энергия ағысының тығыздығы, Умов векторы.

Кезкелген тербелісте болған жүйе ортада толқын көзі бола алады. Ортада тербелісте болған жүйе өз энергиясын ең жақын тұрған бөлшекке береді. Бұл бөлшек тербеліс жүйесінен алған энергиясын кейінгі бөлшекке береді. Сонымен, тербеліс көзінің энергиясы орта бөлшектері жәрдемінде беріледі. Тербелісте болған жүйе өз энергиясын ортаға беруі *энергия сәулеленуі* деп аталады. Дәл осы энергия есебіне пайда болған толқын энергияны ортаға береді.

Алдыңғы 9.5-суретке назар аударамыз. Бөлініп алынған орта көлемі $\Delta V = Sdr$, оның массасы m болсын. Бұл ортаға әсер еткен серпімділік күші:

$$F = k \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r} \cdot S \quad (9.25)$$

$$\Pi = \frac{kV}{2} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta r} \cdot S \cdot \Delta x = \frac{k}{2} \left(\frac{\Delta x}{\Delta r} \right)^2 S \cdot \Delta r = \frac{kV}{2} \left(\frac{\Delta x}{\Delta r} \right)^2 \quad (9.26)$$

Элемент деформацияланғанынан пайда болған потенциалдық энергия болады. (9.18a) ны ескерсек,

$$\Pi = \frac{kV}{2} \cdot A^2 \frac{\omega^2}{u^2} \cos^2 \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.26 \text{ a})$$

Кинетикалық энергия (9.18б) және орта тығыздығы $\rho = \frac{m}{V}$ екенін есепке алсақ,

$$K = \frac{mV^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cos^2 \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.27)$$

Толық энергия кинетикалық және потенциалдық энергиялар жиындысына тең:

$$E = K + \Pi = \frac{V}{2} \cdot \left(\rho + \frac{k}{u^2} \right) A^2 \cdot \omega^2 \cos^2 \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.28)$$

Толқын қозғалысы кинетикалық, потенциалдық, толық энергиясын тербелісте болған жүйе (маятник) энергиясымен салыстырсақ, айырмашылығын байқаймыз:

1. Толқынды қозғалыс кинетикалық және потенциалдық энергиясы (толқынның бір бөлігі үшін) бірдей фазада тербеледі, яғни екі энергия да бір уақытта максимум және минимум мәнге ие болады. Тербелісте болған жүйе кинетикалық және потенциалдық энергиясы қарама – қарсы фазада тербеледі және бірі максимум мәнге ие болғанда екіншісі минимум мәнге ие болады;

2. Толқынды қозғалыстың толық энергиясы тұрақты шама.

$u^2 = \frac{1}{\alpha \cdot \rho} = \frac{k}{\rho}$ екенін есепке алсақ, (9.28) өрнекті төмендегідей жазу

мүмкін:

$$E = \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot V \cdot \cos^2 \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.28a)$$

Сонымен, толқын бөлігінің энергиясы амплитуда квадратына, жиілік квадратына, орта тығыздығына пропорционал болады.

Умов жағынан энергия ағысы және энергия тығыздығы түсінігі енгізілген. Энергия тығыздығы дегенде V көлем бірлігіне тура келген энергия

$$W = \frac{E}{V} = \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \cos^2 \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.29)$$

ды түсінеміз.

Энергия ағысы дегенде, толқынның таралу бағытына тік болған ауданнан бірлік уақытта өтетін энергия түсініледі.

Толқынның таралуына тік аудан S болса, ол жылдамдықпен таралып жатқан uT қашықтыққа ығысады.

Мұнда көлем uST , осы көлемдегі энергия $E = WuST$ болады. (W – энергия тығыздығы). Бір период ішіндегі бірлік уақытта өтіп жатқан орташа энергия:

$$\frac{E}{T} = E = \frac{W}{T} uS \quad (9.30)$$

Бірақ W уақыт бойынша өзгергені үшін уақыт t ден $t+T$ ға дейін өзгергенде

$$W = \frac{W}{T} = \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \frac{1}{T} \int_0^T \cos^2 \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \cdot dt = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \quad (9.31)$$

Демек,

$$E = W \cdot uS = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot uS \quad (9.32)$$

(9.32) формула S ауданнан бір периодта өтіп жатқан энергияны **энергия ағысы тығыздығы** деп атайды. Сонымен, энергия ағысы тығыздығы:

$$\varepsilon = \frac{E}{S} = Wu \quad (9.33)$$

Жылдамдық – векторлық шама болғандығы үшін, энергия ағысы тығыздығының да бағыты толқын таралуы бағытында болған векторлық шама деп қарау мүмкін.

Мұндай вектор бірінші рет Н. А. Умов жағынан, сол себепті бұл вектор **Умов векторы** деп аталады және (33) төмендегідей жазылады:

$$\vec{\varepsilon} = W \cdot \vec{u} \quad (9.33a)$$

ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ҚОСЫЛУЫ (ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСЫ)

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: толқындардың үстемеленуі, суперпозиция принципі, интерференция, толқындардың тепе-теңдік жағдайынан ауытқуы, тұрғын толқын, қорытындылайтын толқын, тұрғын толқын түйіні, жүгірмелілік коэффициенті.

Тәжірибелерден байқауымызша, егер ортада бір уақытта бірталай толқын таралса, ол жағдайда ортаның бөлшегі бірдей толқын қозғалысына қатысады: дыбыс толқындары үшін үстемелену принципі (немесе суперпозиция принципі) орынды болады. Толқындардың үстемелену принципі әрбір толқынның ортада басқа толқындар бар-жоқтығына байланысты болмаған күйде еркін таралуын білдіреді; әрбір толқын процесі қалған барлық толқындар болмаған күйдегідей пайда болады. Орта бөлшектерінің қозғалысын анықтау үшін біз бөлшектің әрбір толқындағы қозғалысын жеке табамыз, ал кейін бұл қозғалыстардың барлығын қосуымыз керек.

Белгілі бір жағдайда екі (немесе бірнеше) толқын қозғалысының үстемелену құбылысы *интерференция* деп аталады.

Құбырдағы екі дыбыс толқынының интерференциясын қарастырамыз. Құбырда бірдей жиілікке ие болған екі толқын бір уақытта таралады деп ойлаймыз. Ығысулар толқынының бірі x осінің оң бағытымен таралып,

$$y_1 = A \cdot \cos \omega \cdot \left(t - \frac{x}{c} \right)$$

арқылы өрнектелген, екіншісі біріншісіне қарсы бағытта таралып,

$$y_2 = B \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right)$$

мен өрнектелген болсын.

Қорытындылайтын күрделі толқын қозғалыс қандай қозғалыс болады?

Ашық айдын, әрбір нүктенің тепе – теңдік күйінен t уақыттағы ауытқуы төмендегіге тең болады:

$$y_1 + y_2 = y$$

Әуақыт екінші y_2 толқыны екі жүгірме (таралатын) толқынның жиындысы ретінде кескіндеу мүмкін:

$$y_2 = A \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) + (B - A) \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) \quad (9.33б)$$

Ол жағдайда қорытынды $y(x,t)$ тербелісті төмендегідей жазу мүмкін:

$$y = y_1 + y_2 = A \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) + A \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) + (B - A) \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) = 2 \cdot A \cdot \cos \frac{\omega \cdot x}{c} \cdot \cos \omega t$$

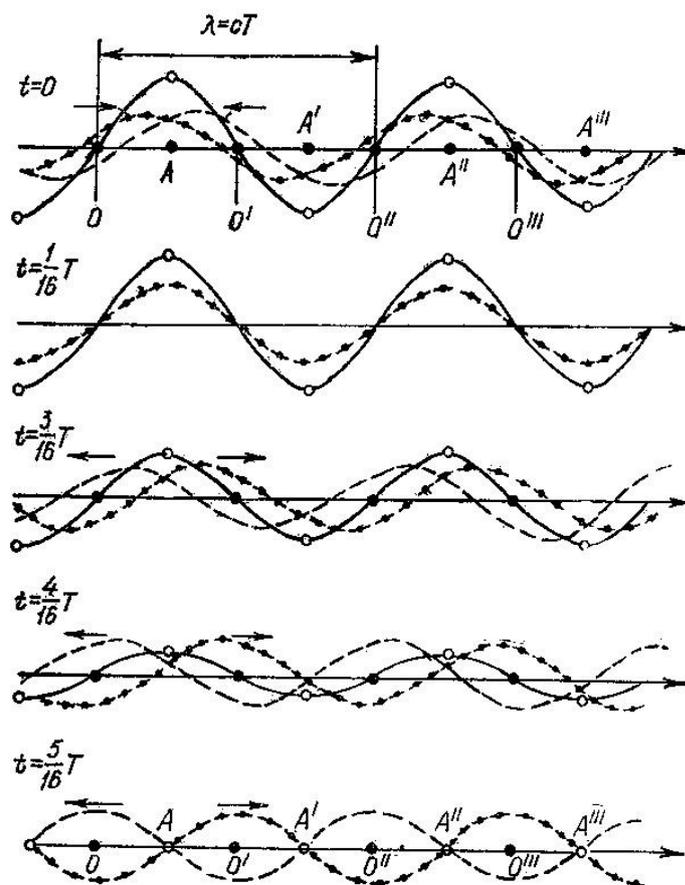
Қорытындылайтын толқын қозғалысы екі бөліктен яғни:

$$2 \cdot A \cdot \cos \frac{\omega \cdot x}{c} \cdot \cos \omega \cdot t \quad (9.33д)$$

мен өрнектелген тұрғын толқыннан және

$$(B - A) \cdot \cos \omega \cdot \left(t + \frac{x}{c} \right) \quad (9.33е)$$

мен өрнектелген жүгірме толқыннан тұрады.



9.7 - сурет

$B=A$ болғанда, яғни қарама – қарсы бағыттарда таралатын екі толқынның амплитудасы бірдей болғанда қорытындылайтын толқын қозғалысы **тұрғын толқын** болады. Таралатын екі бірдей толқында

бөлшектердің ауытқуын 9.7 – суретте кескінделгендей етіп, бірдей уақыт аралатып, график түрінде қоссақ, тұрғын толқындағы бөлшектердің қозғалысын анық елестетуіміз мүмкін. Бұл суретте солға кеткен толқын пунктирмен, оңға кеткен толқын нүктелермен, тұрғын толқындағы бөлшектер жағдайы анық сызықпен кескінделген (сызба анық болуы үшін 9.7 – суретте бастапқы фазасы $-\frac{\pi}{8}$ болған толқын кескінделген).

(9.33д) формуладан белгілі, тұрғын толқындағы барлық бөлшектер немесе бірдей фазада немесе қарама – қарсы фазада тербеледі, бірақ барлық нүктелердің тербелістер амплитудасы жалпы айтқанда әртүрлі. 9.7 – суреттен де дәл осы белгілі болады. O, O', O'', \dots нүктелердегі бөлшектер барлық уақыт тыныш тұрады; бұл нүктелердегі ығысулар **тұрғын толқынның түйіндері** деп аталады.

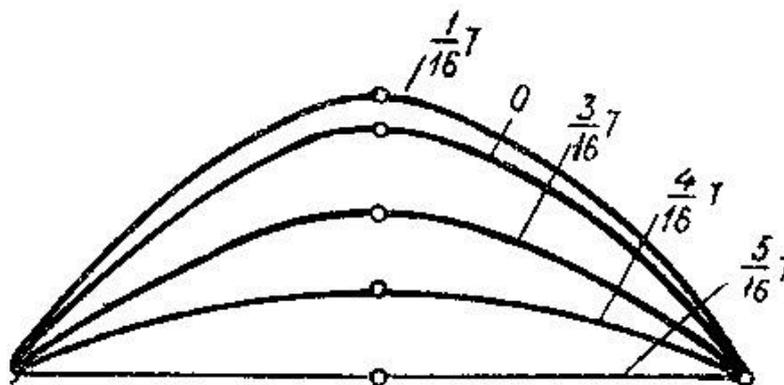
Бұл нүктелердің амплитудалары нольге тең. Түйіндер бір – бірінен $\frac{\lambda}{2}$ жарты толқын ұзындығына дейінгі қашықтықта орналасады. Егер $\lambda = c \cdot T = \frac{2\pi \cdot c}{\omega}$ екендігін есепке алсақ, тұрғын толқынның (9.33д) өрнегін төмендегідей жазу мүмкін:

$$2 \cdot A \cdot \cos \frac{2\pi \cdot x}{c} \cdot \cos \omega \cdot t \quad (9.33f)$$

Мұнда бұл толқында түйіндер координатаның $x = \frac{2n+1}{2} \cdot \frac{\lambda}{2}$ мәндерінде орналасады. A, A', A'', \dots нүктелерде тыныш тұрған дөңгелектермен белгіленген бөлшектер ең үлкен амплитудамен тербеледі. Бұл нүктелер **тұрғын толқынның тығыздалуы** деп аталады. Егер тұрғын толқын (9.33f) формуламен кескінделген болса, тығыздалулар координаталары $x = n \cdot \frac{\lambda}{2}$ болған нүктелерге сәйкес келеді. Бұл жерде n бүтін сан.

9.8 – суретте $O-O'$ екі түйін арасындағы бөлшектердің 9.7 – суретте көрсетілген уақыттағы тізбектелген жағдайлары берілген. Екі көршілес түйін арасында тұрған барлық бөлшектер бірдей фазалы гармоникалық

тербелмелі қозғалыс жасайды, яғни олардың барлығы ең шеткі жағдаймен бірдей болады және нольмен бірдей өтеді, бірақ барлық бөлшектердің тербеліс амплитудалары алуан түрлі болады.



9.8– сурет

Түйіндерде орналасқан бөлшектер еш қозғалыста болмағандығы үшін нүктелер арқылы энергия ұзатылмайды, тұрғын толқын бойымен энергия таралмайды тек қана түйіндер арасында тұрған бөлшектерғана бір – бірімен энергия айырбастайды. Сол себепті тұрғын толқындағы қозғалыс бірдей амплитудамен таралатын екі толқынның интерференциясы нәтижесінде пайда болса, ол негізінде толқындық қозғалыс емес.

Егер бір – біріне қарама – қарсы таралатын толқындардың амплитудалары тең болмаса, ол жағдайда толқын қозғалысы (33д) тұрғын толқыннан және (33е) таралатын толқыннан құралған болады, бұл таралатын толқындардың амплитудасы негізгі таралатын толқындар амплитудаларының айырмасына тең. Кейде:

$$k_{\sigma} = \frac{|A - B|}{B}$$

шама *жүгірмелілік коэффициенті* деп аталады. Бұл коэффициенттің нольден айырмашылықта болуы энергия үлкен амплитудалы толқын таралып жатқан бағытта берілуін білдіреді.

ЖАЗЫҚ ЖӘНЕ СФЕРАЛЫҚ ТОЛҚЫНДАР

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: жазық толқын, сфералық толқын, толқын беті, толқын фронты, сфералық толқын теңдеуі, толқын энергия тығыздығы, толқын энергия ағысы, амплитуда, шеңберлік толқын, жұтылу коэффициенті, цилиндрлік толқын, цилиндрлік толқын теңдеуі.

Жоғарыда толқынның таралуын көргенімізде, толқындар ортаның шекараланған бөлігінде, мысалы, цилиндр тәрізді көлемде таралады деп қарастырдық. Егер толқын біз ойлағандай таралса, толқынның таралу бағытына тік кезкелген қимасындағы бөлшектер күйі кез келген уақытта бірдей болады.

Демек, толқынның таралу бағытына параллел болған барлық түзу сызықтарда қозғалыс бірдей болады. Сол себепті, толқынның таралу бағытына тік қимадағы бөлшектер бірдей кеңістікте тербеледі. Дәл осындай бірдей фазада тербелген нүктелер жатқан бет *толқын беті* немесе *фазалар беті* деп аталады. Егер толқын беті жазық болса, мұндай толқын *жазық толқын* деп аталады.

Біз қарастырған толқындардың толқын беті жазық бет, сол үшін жазық толқындар үшін

$$x = A \cdot \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} \right)$$

теңдік орынды болады.

Уақыттың біреу уақытында тербеліс жетіп барған нүктелерінің геометриялық орны *толқын фронты (қапталы)* деп аталады.

Жазық толқындар үшін толқын фронтымен толқын беті сәйкес келеді.

Жазық толқындарда шекараланбаған орта пайда болмайды.

Толқындар көзі – нүктелік шар шекараланбаған бір текті ортада тербелсін. Нүктелік тербеліс көзінен шыққан толқындар барлық жаққа (орта бір текті болғаны үшін) бірдей жылдамдықпен таралады. Олар уақыттың t моментінде толқын көзінен $r = ut$ қашықтыққа барады.

Демек, нүктелік көзден бір текті ортада таралған толқындар беті радиусы $R = ut$ болған сферадан құралады. Дәл осындай толқын беті сфера пішінінде болған толқындар **сфералық толқындар** деп аталады. Сфера үстінде жатқан нүктелер бірдей фазада тербеледі.

Енді радиустары $R_1 < R_2$ болған сферадан өтіп жатқан орташа ағыстығыздығын есептейік, (9.33) формулаға негізделіп:

$$\varepsilon = \frac{E}{S} = \frac{E}{4\pi \cdot R^2} \quad (9.34)$$

Демек, толқын энергия тығыздығы радиус квадратына кері пропорционал.

Толқын энергиясы амплитуда квадратына пропорционал екенін есепке алсақ,

$$\varepsilon = \frac{E}{4\pi \cdot R^2} = \frac{1}{4\pi} \cdot \rho \cdot \left(\frac{A}{R}\right)^2 \cdot \omega^2 \cdot uS \quad (9.35)$$

(9.35) формуладан көрінеді, тербеліс центрінен R қашықтықта жатқан нүкте ығысуы

$$x_R = \frac{A}{R} \cdot \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.36)$$

заң бойынша болады. Бұл теңдік **сфералық толқын теңдеуі болып саналады**.

Жалпы айтқанда, әртүрлі толқын таралғанда ортада ішкі үйкеліс бар екендігінен энергия жұтылуы бақыланады. Бұл үйкелісті жеңуде жұмыс орындалады. Энергия кеміді дегені – тербеліс амплитудасы кішірейді, дегені. Амплитуда өзгеруін бақылаймыз.

Толқын қандайда бір dr қашықтыққа таралғанда амплитуда өзгеруі (кемеюі) dA деп аламыз, мұнда

$$-\frac{dA}{A} \approx dr$$

немесе

$$-\frac{dA}{A} \approx \alpha dr$$

бұдан,

$$d(\ln A) = \alpha(dr) \tag{9.37}$$

α -орта қасиетіне байланысты коэффициент (9.37) теңдіктен:

$$A = A_0 e^{-\alpha r} \tag{9.38}$$

(9.38) өрнек тербеліс центрінен r қашықтықта жатқан нүктенің тербеліс амплитудасы. Демек, энергия жұтылған орта үшін жазық толқын теңдеуін жазамыз,

$$x = A_0 e^{-\alpha r} \cdot \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \tag{9.39}$$

Егер энергияның орташа тығыздығы $r=0$ де W , r қашықтықта W_r десек, (9.31) және (9.38) формулалардан

$$W_r = W_0 e^{-2\alpha r} = W_0 e^{-kr} \tag{9.40}$$

ты аламыз, (k – жұтылу коэффициенті).

Егер нүктелік көзден шыққан толқындар бір – біріне жақын жазықтар арасындағы жұқа қабатта таралса, мұндай толқындар **шеңберлік толқындар** деп аталады.

Егер бір түзу сызықта бір – біріне жақын жатқан нүктелер бірдей амплитуда, бірдей фазалы толқындар пайда етсе, мұндай толқын фронты центрі түзу сызықта жатқан цилиндр бетімен сәйкес келеді. Мұндай толқындар **цилиндрлік толқындар** деп аталады. Шеңберлік және цилиндрлік толқындарда энергия тығыздығы $\frac{1}{r}$, ал амплитуда $\frac{1}{\sqrt{r}}$ ге пропорционал азаяды. Сол үшін мұндай толқындар теңдеуі

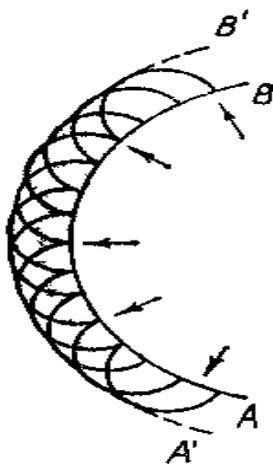
$$x = \frac{A}{\sqrt{r}} \cdot \sin \omega \left(t - \frac{r}{u} \right) \tag{9.40 б}$$

болады. (9.40 б) теңдік шеңберлік және цилиндрлік толқындардың **толқын теңдеуі** деп аталады.

ГЮЙГЕНС ПРИНЦИПИ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: Гюйгенс принципі, толқын фронты, толқын көзі, сфералық толқын, сфера радиусы, жарты сфералық фронт, жаңа толқын көзі, дифракция.

Егер уақыттың t моментінде толқын фронты анық болса, $t + \Delta t$ моментте бұл толқын фронты қандай болады? Бұл сұраққа Гюйгенс принципі жауап берді. Гюйгенс толқын фронты жетіп барған кеңістіктің әрбір нүктесін жаңа толқын көзі деп есептеу мүмкін деп қарады.



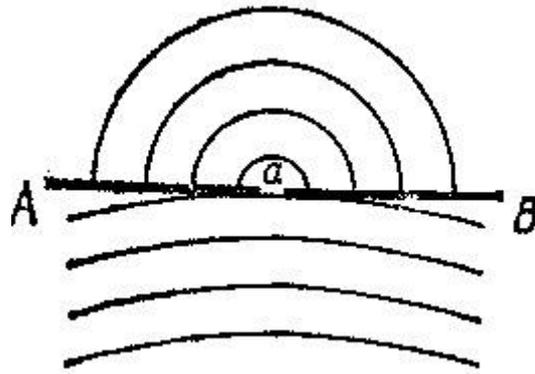
9.9-сурет

Елестетейік, уақыттың t моментінде толқын фронты AB анық болсын (9.9-сурет), $t + \Delta t$ моментіндегі фронтты білу үшін осы толқын фронтының кезкелген нүктесін жаңа толқын көзі деп қарап, осы нүкте айналасында жарты сақиналар өткіземіз. Бұл жарты сақиналар радиусы $r = u\Delta t$ болады. Жарты сақина тәрізді толқындарға жанама болған $A'B'$ жаңа толқын фронтын береді.

Гюйгенс принципін түсіну үшін төмендегі тәжірибені көріп шығамыз. Мысалы, су бетінде таралып жатқан кезкелген пішіндегі толқындар жолына кіші «а» саңылаулы AB тосын қояйық. Саңылау өлшемділігі «а» таралып жатқан толқынның толқын ұзындығы λ дан кіші болсын (9.10 – сурет).

Толқын тосынға жеткен соң одан шағылады. Саңылау болса жаңа толқын көзі болып қалады. Тосынға келген толқын пішіні қандай болсада

a саңылаудан жарты сақина (шеңбер) C толқындар таралады. *Гюйгенс принципінің мағынасы* осында.



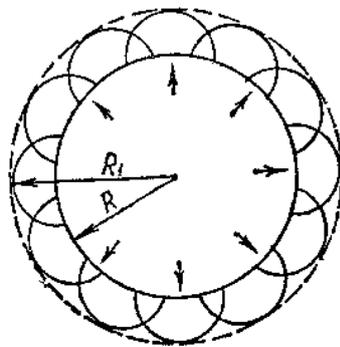
9.10 – сурет

Енді сфералық толқындар үшін толқынның жаңа фронтын жасау әдісін қарастырамыз. Алдымен толқын фронты R радиусты сфера бетінен құралған болсын.

Сфералық толқындар таралуы сфера радиусы бойымен бағытталған (толқын сәулесі) болғандығынан сфераның Δt уақыттан кейінгі радиусы $R_1 = R + u\Delta t$ болады.

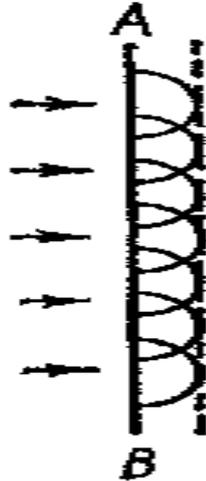
R радиусты сфераның әрбір нүктесін жаңа толқын центрі деп, осы центрлер айналасында $r = u\Delta t$ радиусты сфералық фронт сызамыз (9.11 – сурет).

Бұл жарты сфералық толқын фронттарын орап алған жаңа сфералық бет (штрихпен көрсетілген) толқынның жаңа фронты болады, демек, орта бір текті болса, сфералық толқындардың фронты сфералық күйінде қалады.



9.11 – сурет

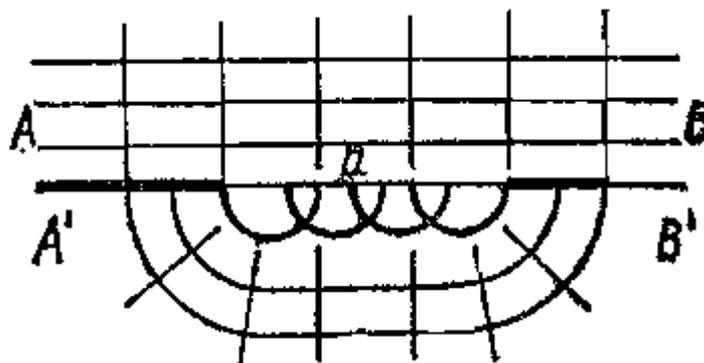
Егер жазық толқындар фронтын анықтау керек болса, ол 9.12 – суретте бейнеленгендей анықталады. Жазық толқын бір текті ортада таралып жатқан болса, толқынның кез келген моментінде толқын фронты жазық болады.



9.12 – сурет

Енді жазық толқын жолына a саңылаулы тосын қойылсын. Бұл кезде тосын кеңдігі a , жазық толқынның ұзындығынан үлкен болсын $a > \lambda$

(9.13 – сурет). a саңылаудың әрбір нүктесін *жаңа толқын көзі* деп қараймыз, әрбір нүкте айналасында жарты сфералық элементар толқын фронттарын өткіземіз.



9.13-сурет

Бұл элементар фронттарды орап алған $A'B'$ фронт жаңа толқын фронты болады. Суреттен белгілі, $a > \lambda$ шарт орындалатын саңылаудан жазық толқын өткенде оның жазықтығы бұзылады екен. Жаңа фронт $A'B'$ дың текқана орта бөлігінде жазық толқын фронты сияқты болса,

шеті иіледі. Толқын таралу бағыты тосынға тік (перпендикуляр) болмайды, бағыты өзгереді.

Атап айтқанда, сәуле өз бағытын өзгертеді. Бұл құбылыс **дифракция құбылысы** деп аталады.

ДЫБЫС ТОЛҚЫНДАРЫНЫҢ ТАРАЛУЫ. ДЫБЫСТЫ ҚАБЫЛДАУ

Тірек ұғымдар және негізгі сілтемелер: дыбыс өрісі, дыбыс қысымы, дыбыс амплитудасы, амплитуданың сөну коэффициенті, дыбыс жылдамдығы, толқынның сынуы, дыбыс биіктігі, дыбыс қаттылығы, шу, дыбыс интенсивтігі, дыбыс қаттылығы және интенсивтілігі арасындағы байланыс, Бинаурал эффект, эффектив қысым, жанғырық, эхолотатор, эхолот, гидролокатор.

Дыбыс толқындары таралған кеңістіктің бөлігі **дыбыс өрісі** деп аталады.

Дыбыс ортада жұтылмай таралса, дыбыс өрісінің әрбір нүктесіндегі бөлшек жылжуы, жылдамдығы гармоникалық заңдылық бойынша болады. Мұнан тыс, дыбыс таралғанда ортаның деформациялануы есесіне дыбыс өрісі ортаның әрбір нүктесінде артық қысым dp пайда етеді және бұл қысым **дыбыс қысымы** деп аталады.

Енді осы қысымды есептейміз: дыбыс таралған ортаның бөлшегі

$$x = A \cdot \sin \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.41)$$

Заңдылығымен жылжыған болсын. Осы бөлшектің жылдамдығы

$$v = \frac{dx}{dt} = A \omega \cos \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.42)$$

болады. Дыбыс таралған ортада, негізі dS болған параллелоипедті бөліп аламыз. Параллелоипедтің бұл dS жағы толқын фронтына параллель болып, оған әсер еткен күш

$$F = -dp \cdot dS \quad (9.43)$$

болады.

Динамиканың екінші заңына негізделіп күш $F = m \frac{dv}{dt}$ және бұл күш әсерінде бөлшекті dr қашықтыққа ығысуындағы орындалған жұмыс

$$dA = Fdr = m \frac{dv}{dt} dr \quad (9.44)$$

болады. Бұл теңдіктің екі жағы параллелопипед көлемі $dV = sSdr$ ге бөлеміз:

$$\frac{dA}{dV} = \frac{m}{dV} \cdot \frac{dv \cdot dr}{dt} = \rho \cdot \frac{dv}{dt} dr \quad (9.45)$$

(9.44) және (9.43) теңдіктен,

$$dA = -dp \cdot dS \cdot dr = -dp \cdot dV \quad (9.46)$$

Демек, (9.45) және (9.46) лардың теңдеуінен

$$dp = -\rho \frac{dv}{dt} dr$$

$$\frac{dv}{dt} = A \cdot \omega^2 \sin \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.47)$$

екенін есепке алсақ,

$$dp = \rho \cdot A \omega^2 \sin \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) dr \quad (9.48)$$

Бұл өрнекті $t = \frac{T}{4}$ және $\Delta p = 0$ деп интегралдаймыз, қысым үшін төмендегі өрнекті жазамыз:

$$p = \rho \cdot \omega \cdot Au \cos \omega \cdot \left(t - \frac{r}{u} \right) \quad (9.49)$$

Бұл формуладан белгілі, дыбыс қысымы және орта бөлшегінің жылдамдығы бірдей фазада тербеледі.

$$p_0 = \rho \cdot \omega \cdot A \cdot u \quad (9.50)$$

Бұл шама **дыбыс қысымының амплитудасы** деп аталады.

Дыбыс толқыны таралғанда өз бағытында энергия алып өтеді. Дыбыстың таралу бағытына тік болған аудан бірлігінен өтіп жатқан энергия ағысы мөлшері мен сипатталатын шама **дыбыс интенсивтігі** деп аталады. Дыбыс интенсивтігі

$$I = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot u \quad (9.51)$$

формуламен өрнектеледі. (9.50) негізінде (9.51) формуланы төмендегі көріністе жазу мүмкін:

$$I = \frac{1}{2} \cdot \frac{p_0^2}{\rho \cdot u} \quad (9.52)$$

ρu шама **ортаның акустикалық кедергісі** деп аталады.

Демек, дыбыс интенсивтігі дыбыс қысымы амплитудасы квадратына тура, ортаның акустикалық кедергісіне кері пропорционал.

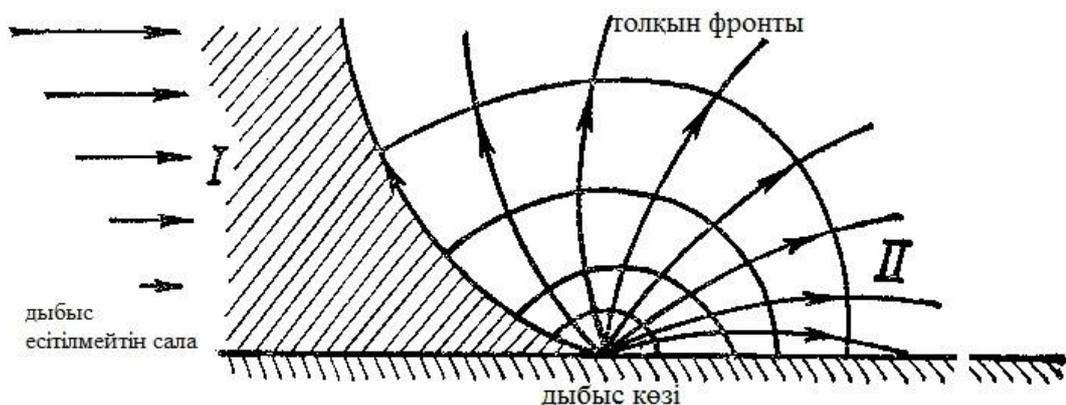
Дыбыс толқындары ортада таралғанда оның энергиясы ортада жұтылады. Демек, амплитудасы уақыт өтуімен азаяды. Егер берілген орта үшін амплитуданың сөну коэффициенті β болса, дыбыс толқыны амплитудасы және жұтылғыштығының толқын таралған қашықтық r ге байланыстылығы

$$A = A_0 e^{-\beta r} \quad (9.53)$$

$$I = I_0 e^{-2\beta r} \quad (9.54)$$

формулалар арқылы табылады.

Дыбыс толқындары таралғанда толқын фронтының пішіні (жазық, сфералық немесе басқа пішінде) ортаның элементар бөліктерінде тығыздық бірдейме немесе әртүрлі, ортаның бөліктері тыныш немесе қозғалыстама, екеніне байланысты.



9.14 – сурет

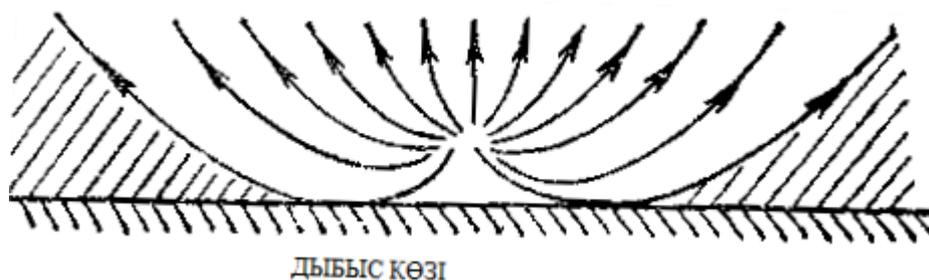
Мысалы, жел ессе, ауа қабаттары арасында үйкеліс болса, жел жылдамдығы жер бетінен төбеге шыққанда артады. Жел жылдамдығы дыбыстың таралу жылдамдығымен геометриялық қосылады, сол себепті биіктік артқан сайын толқынның таралу бағыты сонша қисық болып барады, атап айтқанда, толқын фронтының бөліктері жер бетіне салыстырмалы түрде әртүрлі жылдамдықпен қозғалады. Нәтижеде дыбыс толқынының сынуы бақыланады (9.14 –сурет).

Жел соққан жаққа белгілі бұрышпен таралған толқындар төбе жаққа ауытқыса, жел соққан жаққа таралған толқындар жерге ауытқиды.

Нәтижеде, толқынның таралу бағытымен желдің таралу бағыты теріс болған жағында тұрған адам дыбысты жақын қашықтықта тұрып (9.14 – суретте I салада) есітпеуі мүмкін. Жел және толқын таралуы сәйкес болған жаққа тұрған адам дыбысын ұзақ қашықтықта тұрып (9.14 – сурет II салада) есітуі мүмкін.

Дыбыстың таралу жылдамдығы ортаның тығыздығына байланысты. Атмосферадағы ауа температурасы жер бетіне қатысты жоғарыға шыққанда төмендесе, оның тығыздығы артады. Демек, әртүрлі тығыздыққа ие болған ортада дыбыс таралғанынан ол сынады. (9.15–сурет). Нәтижеде күн шығып тұрған жылы күндерде Жер бетіне жақын қабаттағы ауа жоғары қабаттағы ауаға қарағанда көп қызады, сол үшін күндізі кешке қарағанда есіту қашықтығы кіші болады, яғни дәл бір дыбыс кешке күндізгіге қарағанда жақсы есітіледі.

Есіту органдары дыбыстың қаттылығы, биіктігі және тембрі сияқты қасиеттерін бөліп алады.



9.15 – сурет

Дыбыстың биіктігі тербелістің жиілігімен анықталады. Биік дыбыстар жиілігі төмен дыбыстар жиілігіне қарағанда үлкен болады.

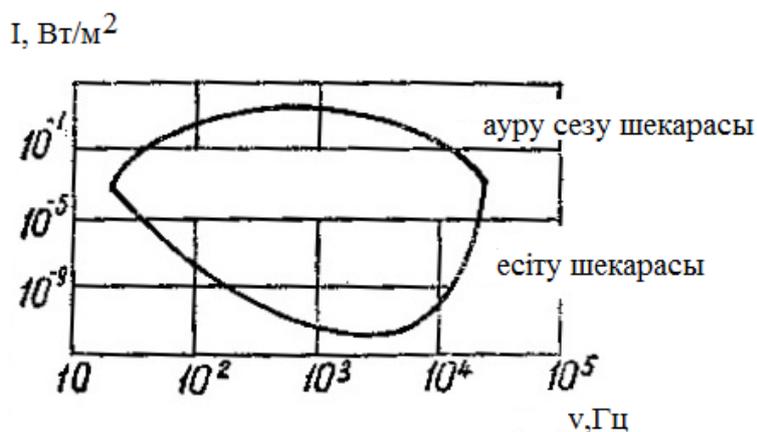
Дыбыстың қаттылығы дыбыстың субъектив характеристикасы болып, оған объектив характеристика – интенсивтік болады.

Құлақ дыбысты қабылдау үшін оның интенсивтігі белгілі бір минимал мәннен кіші болмауы керек. Құлақ сезе алатын дәл осы интенсивтіктің минимал мәні есіту шекарасы деп аталады.

Жиілігі 1000 Гц тен 3000 Гц ге дейін болған дыбыстарды құлақ жақсы қабылдайды.

Егер дыбыс интенсивтігі артса және белгілі шекараға жетсе, құлақ мұндай дыбыстарды қабылдамайды, әсер нәтижесінде есіту органында ауру сезіледі. Бұл шекара **ауруды сезу шекарасы** деп аталады.

9.16 – суретте есіту шегарасы және ауруды сезу шекарасын дыбыс жиілігіне байланысты график берілген.



9.16-сурет

Бұл екі қисықтықпен шекараланған сала *есіту саласы* деп аталады.

Жоғарыда атап айтқандай, дыбыс қаттылығы оның интенсивтігімен байланысты.

Бірақ, атап өтуіміз керек, дыбыс қаттылығы интенсивтікке қатысты жай өседі.

Дыбыс қаттылығы оның интенсивтігімен байланыстылығы Вебер – Фехнер үйреніп, дыбыс интенсивтігі артуымен қаттылық шамамен логарифмдік заңдылық бойынша өсуін анықтаған.

Бұл заң негізінде дыбыс қаттылығын сипаттау үшін дыбыс қысымы дәрежесін көрсететін шама L белгіленеді және ол төмендегі формуламен анықталады:

$$L = 2k1g \frac{p_2}{p_0} \quad (9.55)$$

Бұл формулада $p_0 = \sqrt{\rho \cdot v \cdot I}$ жиілікті дыбыстың орташа квадраттық қысымы болып, p_0 – осы жиілік үшін есіту шекарасы, I дыбыс интенсивтігі.

Егер $k=1$ болса, дыбыс қысымы беллда, $k=10$ болса, децибелл де өлшенеді. *Белл* деп аталған бірлік, телефонды тапқан ғалым А. Г. Белл атына қойылған.

Кейбір дыбыстар үшін олардың характеристкасы төмендегі кестеде берілген:

Дыбыс	Децибелл есебінде	Дыбыс интенсивтігі	Эффектив қысым, Н/м ²
Сағаттардың жүруіндегі шыққан дыбыс	20	$1 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-3}$
Жай сөйлескенде	40	$1 \cdot 10^{-5}$	$6,4 \cdot 10^{-2}$
Орташа қаттылықтағы сөйлеу	60	$1 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-1}$
Қыйқырғанда	80	$1 \cdot 10^{-1}$	6,4
Ауруды сезу	120	1·10	$6,4 \cdot 10^2$

Дыбыс интенсивтігі және эффектив қысым $\nu = 1000 \text{Гц}$ жиілігі дыбыс үшін жоғарыдағы кестеде шамамен берілген.

Адамда екі құлақ болуының бар екендігінен дыбыс көзінің қай жақта екенін анықтауға мүмкіншілік береді.

Мұны *бинаурал эффект* деп атайды. Егер құлақтардан біріне дыбыс $3 \cdot 10^{-5}$ секундта жетіп келсе, мұні біз байқаймыз. Мұнда дыбыс көзі тұрған нүкте өз орнына қатысты горизонталь жазықтықта шамамен 3 градусқа дейін шектескен болады.

Дыбыс көзін вертикал бойынша қандай бұрышта тұрғанын және оның адамнан алыстығын дыбысты есіту арқылы анықтау өте қиын.

Шу деп, тондардың тәртіпсіз қоспасына немесе адам құлағына есітілетін әртүрлі жағымсыз дауысты айтады.

Дыбыс қаттылығы – амплитудаға байланысты.

Тербеліс амплитудасы едеуір биік болса, дыбыс соншалық қатты болады.

Дыбыс биіктігі – жиілікке байланысты.

Тербеліс жиілігі қанша жоғары болса, дыбыс сонша биік болады.

Бір ортадан екінші ортаға өткенде жиілік өзгермейді.

Дыбыс толқындары – бойлық толқын есептеледі.

Дыбыстың ауадағы жылдамдығы – $340 \frac{M}{c}$.

Дыбыстың жылдамдығы заттың агрегат күйіне байланысты және дыбыстың жылдамдығы ортаның қасиеттерімен анықталады.

$I = \frac{W}{S \cdot t}$ дыбыс интенсивтігі

Механикалық толқындардың (немесе дыбыстың) қатты денелерден қайтуы *жаңғырық* деп аталады.

Дыбыстың тосыннан шағылу құбылысын *жаңғырық* деп атайды.

Бұл құбылыстардан эхолокацияда қолданады. Мұнда тосынға дыбыс импульсі беріліп, оның тосынмен соқтығысып қайтып келу уақытына қарай тосын қашықтығы анықталады.

$R = \frac{v \cdot t}{2}$ эхолокация формуласы

R – тосын қашықтығы $[R] = m$

v – дыбыстың ортадағы жылдамдығы $[v] = \frac{m}{c}$

t – дыбыстың барып шағылу уақыты немесе импульстар арасындағы минимал (ең кіші) уақыт. $[t] = c$

Эхолокация үшін пайдаланылатын аспап – *эхолокатор* немесе *эхолот* деп аталады.

Теңіз тереңдігін өлшейтін эхолокатор – *гидролакатор* деп аталады.

ГАЗДАРДА ДЫБЫС ЖЫЛДАМДЫҒЫ

Серпімді орта бөлшектері тербелістерінің уақыт өтуімен орта бойымен толқын ретінде таралу құбылысын *толқын* деп атайды.

1. Дыбыс толқындарының физикалық табиғаты бірдей болсада, олар жиілігіне қарай өзіне тән қасиеттерге ие. Мысалы, *жоғары жиіліктерде олқын ұзындығы өте қысқа*, яғни кейбір күрделі молекулалар өлшемдеріне жақын. Сол үшін, бұл толқындар өзі таралып жатқан заттармен өте күшті әсерлеседі.

Газдарда дыбыстың таралу жылдамдығы төмендегі формуламен өрнектеледі:

$$v = \sqrt{\frac{dP}{d\rho}}$$

Бұл өрнек *Лаплас формуласы* деп те аталады.

Клапейрон – Менделеев теңдеуінен P ны алмастырып және тығыздық

$\rho = \frac{m}{V}$ екенін ескеріп, төмендегіні жазамыз:

$$v = \sqrt{\frac{RT}{\mu}} \quad (9.56)$$

Бұл формула Ньютон формуласы делінеді. Бұл жерде μ – газдың мольдік ауырлығы. (9.56) формула текқана бір атомды, кейбір жағдайларда екі атомды газдар үшін орынды. Көп атомды газдарда дыбыс дисперсиясы бақыланады, яғни дыбыстың таралу жылдамдығы тербеліс жиілігіне байланысты. Мысалы, көмірқышқыл газында жиілік 10^5 Гц тен 10^6 Гц ке дейін өзгерсе, ол жағдайда **дыбыстың таралу жылдамдығы 4% га артады**. Дыбыс толқындары дисперсиясына себеп, жылулық сыйымдылығының жиілігіне байланысты, мұны төмендегі формуладан байқау мүмкін:

$$C_{mv} = \frac{dU}{dT} = \frac{5}{2}R + R \left(\frac{h\nu}{kT} \right)^2 \cdot \frac{l^{\frac{h\nu}{kT}}}{\left(l^{\frac{h\nu}{kT}} - 1 \right)^2} \quad (9.57)$$

Ньютон формуласы (9.56) бойынша дыбыстың ауада таралу жылдамдығын табамыз, ауа үшін $\mu = 28,8$; $T = 273K$ болса, $v = 280 \frac{M}{c}$ болады. Бірақ тәжірибеде $v = 330 \frac{M}{c}$ екені берілген.

2. Мұндай айырмашылық Лаплас (1749 – 1827) жағынан анықталған. Лаплас дыбыс толқынындағы тығыздық тербелістерін және онымен байланысқан температура тербелістері өте тез өтеді және ауаның жылулық өткізгіштігі өте кіші, мұндай процесстер үшін жылулық алмасу ешқандай роль атқармайды, деп айтты. Дыбыс толқынындағы қоюлану және азаюлар арасындағы температура айырмасының теңесуіне үлгермейді, сол үшін дыбыстың таралуын адиабатикалық процесс деп айту мүмкін. Мұндай жағдайда изотерма теңдеуінен емес, бәлкім $\gamma PdV + VdP = 0$ адиабатикалық теңдеуінен пайланамыз. Егер бұл теңдеуге V көлемнің орнына $p \sim 1/V$ тығыздықты қойсақ, бұл теңдік төмендегі көрініске ие болады:

$$\gamma P d\rho - \rho dP = 0 \quad (9.58)$$

Бұл формуладан адиабатикалық процесс үшін:

$$\frac{dP}{d\rho} = \left(\frac{dP}{d\rho} \right)_{ad} = \gamma \frac{P}{\rho} = \left(\frac{dP}{d\rho} \right)_T \quad (9.59)$$

Сонымен, (9.57) Ньютон формуласынан Лаплас формуласы келіп шығады:

$$C_L = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}} = C_N \sqrt{\gamma} \quad (9.60)$$

бұл жерде C_L дыбыстың Лаплас жылдамдығы.

Бұл формула дыбыстың жылдамдығы үшін Ньютон формуласынан $\sqrt{\rho}$ рет үлкен болған шаманы береді. Ауа үшін γ ні өлшегенде $\gamma = 1,4$ болған. Сол үшін Лаплас формуласына сай $T = 273\text{K}$ де ауада дыбыстың жылдамдығы

$$v = 280\sqrt{1,4} = 330\text{ м/с}$$

болуы тиіс, бұл тәжірибе мәліметтеріне сәйкес келеді.

γ жылулық сыйымдылығына қатысты экспериментал өлшеудің екінші қолай анықтығынан Клеман және Дезорм әдісінен жоғары болған әдіс Ньютон және Лаплас формулаларына негізделген. Дыбыстың қаралып жатқан газдағы c жылдамдығы экспериментал өлшенеді. γ шама

$$\gamma = \left(\frac{C}{C_N} \right)^2 \quad (9.61)$$

формуладан есептеледі, бұл жерде C_N – дыбыстың Ньютон жылдамдығы деп аталатын, яғни (9.57) формуладан анықталған шама. (9.60) формуладан анықталатын C_L шама дыбыстың Лаплас жылдамдығы деп аталады.

ДОПЛЕР ЭФФЕКТИ

Дыбыстың ортадағы таралу жылдамдығы дыбыс көзі және дыбысты қабылдайтын құрылғы (приемник) тыныш тұрғанда немесе қозғалғанда, дәл осы ортада берілген жағдайда тұрақты қалады. Егер дыбыс көзі және дыбыс приемнигі бір – біріне қатысты тыныш тұрса, құрылғы қабылдаған дыбыс жиілігі дыбыс көзі жиілігімен бірдей болады.

Егер дыбыс көзі және приемник бір – біріне қатысты қозғалса, приемник қабылдаған дыбыс жиілігі, дыбыс көзі жиілігінен айырмашылық етеді. Мұны бірінші рет анықтаған ғалым Допплер болғандығы үшін бұл құбылысты *Допплер эффекті* деп атады.

1. Елестетейік, дыбыс көзі дыбыс таралу жылдамдығы u болған ортада v жылдамдықпен тыныш тұрған приемникке жақындассын. Егер дыбыс жиілігі ν болса, дыбыс көзі $\frac{1}{\nu}$ секундта бір толқын λ таратады. Осы уақытта дыбыс көзі дыбыс приемнигіне $v \cdot \frac{1}{\nu}$ қашықтықта жақындасады.

Нәтижеде $\frac{1}{\nu}$ секундтан соң шыққан кейінгі толқын алдыңғы толқыннан $\lambda = \frac{u}{\nu}$ қашықтықта болмайды, $\lambda' = \frac{u-v}{\nu}$ қашықтықта болады. Демек, бақылаушы (приемник) қабылдайтын толқын ұзындығы шын мәніне карағанда кіші болады. Приемник қабылдайтын дыбыс жиілігі артады:

$$\nu' = \frac{\nu}{1 - \frac{v}{u}} \quad (9.62)$$

2. Егер дыбыс көзі бақылаушыдан v жылдамдықпен ұзақтасса, приемник қабылдаған жиілік азаяды:

$$\nu' = \frac{\nu}{1 + \frac{v}{u}} \quad (9.63)$$

3. Енді приемник дыбыс көзіне v жылдамдықпен жақындасады деп қараймыз. Мұнда приемникке қатысты дыбыс жылдамдығы $+u$ болады.

Ал жиілік $\nu = \frac{u+v}{\lambda}$ болып, $\nu = \frac{u}{\lambda}$ ны есепке алып, приемник қабылдайтын дыбыс жиілігі

$$\nu' = \nu \left(1 + \frac{v}{u} \right) \quad (9.64)$$

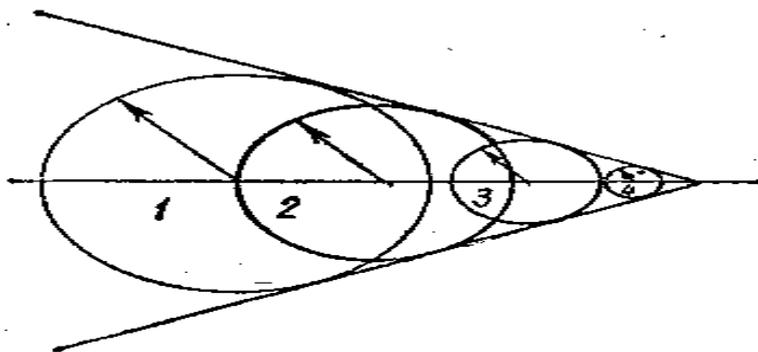
болады. Демек, приемник қабылдаған жиілік артады.

Егер приемник дыбыс көзінен жылдамдықпен алыстаған болса, ол қабылдаған жиілік азаяды,

$$v' = v \left(1 - \frac{v}{u} \right) \quad (9.65)$$

формуламен анықталады. Бұл формулаға назар аударсақ, приемник жылдамдығы v дыбыс таралу жылдамдығы (u) нан үлкен болса, дыбыс приемникке жетіп бармайды, демек, приемник дыбысты қабылдамайды.

Егер дыбыс көзінің жылдамдығы дыбыстың таралу жылдамдығынан үлкен болса, дыбыс көзінің алды жағында толқын болмайды. Текқана дыбыс көзі қозғалыс бағытына теріс жақта, яғни дыбыс көзінің артқы жағында толқын пайда болады (9.17 –сурет).



9.17 – сурет.

Дыбыс көзінің артқы жағында пайда болған сфералық толқындар бір – бірімен қосылып, ұшы дыбыс көзінде болған конус тәрізді бетті пайда етеді.

Бұл конус тәрізді бет күш толқындары деп аталған толқын фронты болады. Күш толқындары күнделікті дыбыс толқындарынан өзінің көп қасиеттерімен айырмашылық етеді, периодтық характерге ие емес.

Атап айтқанда, (9.62), (9.63), (9.64) және (9.65) формулаларды келтіріп шығарғанда, дыбыс көзі және бақылаушы оларды қосатын бір түзу сызық бойымен қозғалады деп алады. Егер олардың қозғалысы бір түзу сызықта болмаса, бұл формулалардағы u , v жылдамдықтар орнына олардың осы түзу сызықтағы проекциясын алады.

Допплер эффектін бақылау үшін бірер темір жол станциясында тұрып, дыбыс шығарып келе жатқан тепловоз бізге жақын келгенде және бізден алыстағанда біз байқаған дыбыс өзгерісіне назар аударуымыз керек. Дыбысы есітілген тепловоз бізге жақындаған болса, оның дыбысын «жіңішке» одан әрі шыңылдауын, бізден алыстаса дыбыстың «жоғалғанын» байқаймыз. Атап айтқанда, біз дыбыс биіктігін, демек, сіз қабылдаған дыбыс жиілігінің өзгеруін байқаймыз.

УЛЬТРАДЫБЫСТЫҢ ТЕХНИКАЛЫҚ ҚОЛДАНЫЛУЫ

Алдымен ультрадыбыс шығарғыштың-пьезокерамикалық пластинканың қалай жұмыс істейтінін көрсету керек және ультрадыбыс құрылғыларының негізгі типтерінің ультрадыбыс тербелістерінің басты екі қасиетімен: олардың жоғары бір бағыттылығы мен энергиясының көптігіне тікелей байланысты екендігін түсіндіреміз, барлық ультрадыбысты приборлар *екі сыныпқа бөлінеді* — ультрадыбыс шығарудың бір бағыттылығының артықшылығын пайдаланатын приборлар және оның жоғары энергиясын пайдаланатын приборлар. Сонан соң бірінші сыныптағы приборларының маңызды қолдануларын қарастырған жөн.

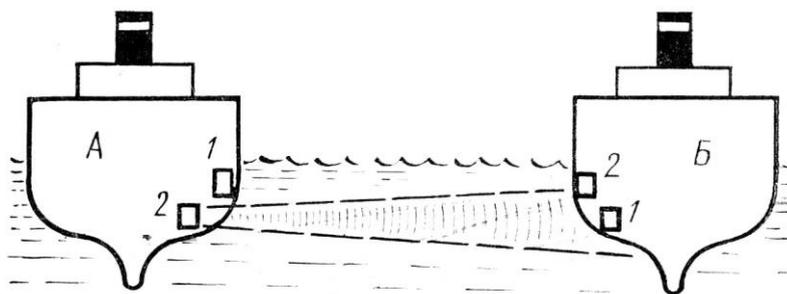
Дифракция салдарынан толқындардың ажырау бұрышы толқын ұзындығына тура пропорционал ($\Theta \sim \lambda$) екендігі белгілі. Жиілігі 5 кГц дыбыс толқынының шашырау бұрышы, басқа шарттары бірдей болғанда, жиілігі 100 кГц ультрадыбыс толқындарының ажырау бұрышынан 20 есе артық болады.

Ультрадыбыс шығарудағы бір бағыттылықты пайдаланатын приборларда энергияның жоғары деңгейі қажетсіз, көбінесе зиянды, себебі қуатты бағытталған толқындар объектінің зиянды деформациясын туғызуы мүмкін.

Ультрадыбысты навигациялық және локациялық приборлар. Навигациялық және локациялық мақсаттарға арналған ультрадыбыстық приборларды өздерінің сапалары жағынан осы приборлардың басқа

сыныптарымен (жарық, электромагниттік) салыстыруға болады, бірақ сыртқа шығарылған антеннасыз істей алатын дыбыс және ультрадыбыс жиілігіндегі толқындардың ғана су астында тарай алатындығына байланысты көптеген артықшылықтары бар.

Мұндай приборлардың бірінші мысалы ретінде екі кеме ультрадыбысты су асты байланысы қалай жүзеге асатындығын қарастыруға болады (9.20-сурет):



9.20-сурет. Кеменің су астындағы ультрадыбыстың байланыс схемасы: 1-сәуле шығаратын қабылдағыштар; 2-ультрадыбыс тербелістерінің көзі.

A кемесінен *B* кемесіне жіберілуге қажетті дыбыс толқындары электр сигналдарына түрленеді, сонан соң ультрадыбыс толқындарының көзіне беріледі. *B* кемеге дейін су арқылы жетіп, ультрадыбыс ондағы толқын қабылдағышта қабылданады, демодуляцияланып, жіберілген дыбыс толқынына айналады. Байланыстың мұндай системалары көптеген кемелерде бар, бірақ ең алдымен олар сүңгуір қайықтар үшін су асты байланысының, сыртқа шығарылған антеннасы жоқ бірден-бір мүмкін системасы болғандықтан теңдесі жоқ.

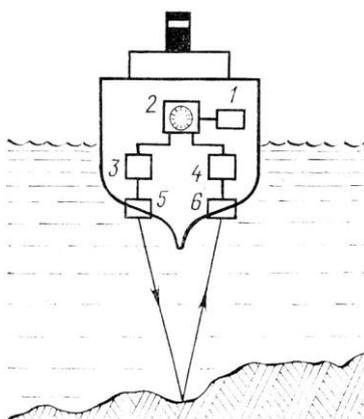
Теңіз ісінде қолданылатын ең көп тараған прибор эхолот болып табылады, оның жұмыс принципі ортадағы дыбыс жылдамдығы $v_{\text{дыб}}$ мен t сигналының шағылдырушы объектіге дейін барып қайтуға қажет уақыт белгілі болғандағы қашықтықты анықтау мүмкіндігіне негізделген.

Ультрадыбыс шығарғыштан шыққан импульс объектіден шағылады; ол анықталатын қашықтықты екі рет жүретіндіктен:

$$s = \frac{g_{\text{обл}} t}{2}$$

Оқушылардың назарын осындай формула радиолокацияда объектіге дейінгі қашықтықты анықтау үшін пайдаланылатындығына аудару керек.

Вертикаль эхолоттың құрылысы мынадай (9.21-сурет): қоректену көзі 1 мен соққы қоздырғыш генератор 3 кеме корпусының ішіне орналас-тырылады. Электр импульстері генератордан толқын шығарғышқа 5 түседі, генерациялайтын ультрадыбысты импульс теңіз түбіне дейін жетіп, одан шағылады да, қабылдағышқа 6 келеді. Сигнал қабылдағыштан күшейткіш каскадқа 4 өтеді де, одан санақшы индикаторлық құрылғыға 2 беріледі, онда индикаторлық шкала бойынша шығарылған және қабылданған импульстер арасындағы мен Δt уақыт интервалы анықталады.

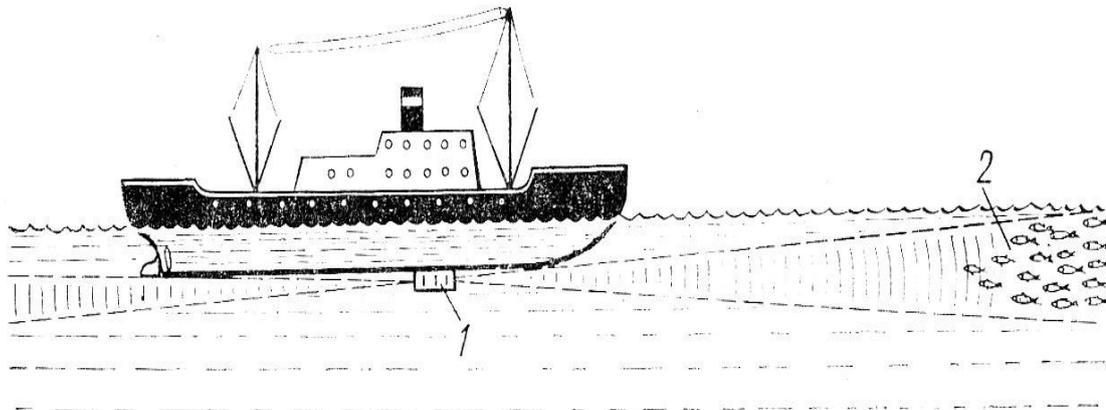


9.21-сурет. Ультрадыбыс эхолотының схемасы:
1-қоректендіру көзі; 2- санақшы-индикаторлық тетік; 3 — генератор; 4 — күшейткіш; 5 — толқын шығарғыш; 6 — қабылдағыш.

Эхолоттардың көпшілігінде импульстердің шығарылуы мен қабылдануы автоматты түрде болады да, кеме астындағы теңіз түбінің тереңдігі үздіксіз өлшенеді. Бұл локациялық методтың басты кемшілігі толқын шығарғыштың қозғалмайтындығы да, сондықтан тек корабль табанының астындағы тереңдік қана анықталады.

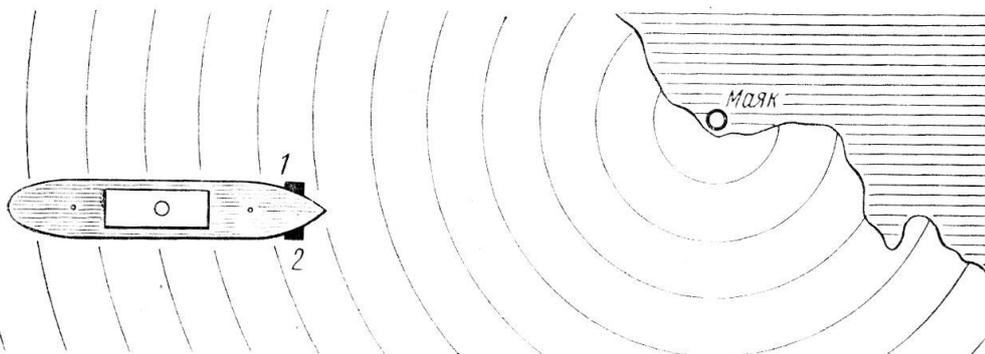
Эхолоттардың вертикаль орналасқан толқын шығарғыштары да болуы мүмкін, олар горизонталь жазықтықтағы нәрселерге дейінгі қашықтықты анықтауға мүмкіндік береді. Осы сияқты эхолоттардың жәрдемімен балықтардың шоғырын аңғарып, олардың қандай тереңдікте жүргенін

анықтайды (9.22-сурет). Балық шоғырларын аңғарғыш ультрадыбыстық толқын шығарғыштар кемеңің табанына орналастырылады да, ол толқындарды белгілі бағытта жібереді.



9.22-сурет. Балықтар шоғырын аңғарудың ультрадыбыстық әдісінің схемасы:

1 — ультрадыбыс толқынының көзі; 2 — балық шоғыры.



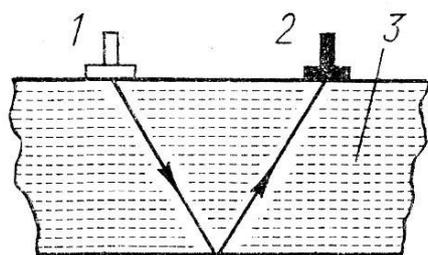
9.23-сурет. Ультрадыбыс толқынының екі қабылдағышының (1,2) жәрдемімен кемеңің маякқа қарайғы бағытын анықтаудың схемасы.

Теңізде жүзуде ультрадыбыс маяктары көп тараған (23-сурет), олардан шыққан толқынды теңіздегі корабль екі қабылдағыш жәрдемімен қабылдайды (бір ғана айналмалы қабылдағыш қолданылуы да мүмкін). Мұндай әдісті пайдаланғанда бағытты анықтау дәлдігі $\pm 1-2^\circ$ болады.

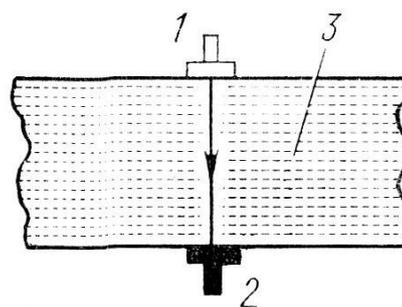
Өнеркәсіптегі ультрадыбыстық әдістер. Қазіргі бар ультрадыбыстық технологиялық қолданыстың ең дамығаны ультрадыбыс дефектоскопиясы

болып табылады, ол бұйымның ақауы (дефектісі) бар жерінің акустикалық қасиеттерінің едәуір өзгеруі және осы жағдайда пайда болатын дифракция, шағылу және сыну құбылыстары бойынша дефектілерді аңғаруға негізделген.

Ультрадыбыс дефектоскопиясы өлшемдері үлкен (5-10 м-ге дейін) бұйымдарды зерттеуге мүмкіндік береді, ол заттардың көпшілігінде ультрадыбыс тербелістерінің аздап өшуімен анықталады. Ультрадыбысты бақылаудың негізгі екі әдісімен танысу керек. Олардың бірі - жаңғырық әдісі (9.24-сурет) зерттелетін бұйымның шетінен шағылған ультрадыбыс толқынын қабылдағыштың тіркеуіне негізделген. Жаңғырық әдісі үздіксіз де, импульсты да болады, сонымен бірге соңғысының кемшілігі оны қалың бұйымды сынау кезінде пайда болатын өлі зонаның әсерінен қолдануға болмайды.



9.24 – сурет



9.25 - сурет

9.24-сурет. Ультрадыбыстық жаңғырық методінің схемасы:
 1 - ультрадыбыс толқындарын шығарғыш; 2 - ультрадыбыс толқындарын қабылдағыш; 3 — зерттелетін бұйым.

9.25-сурет. Ультрадыбыстық көлеңке әдісінің схемасы:
 1 — ультрадыбыс толқындарын шығарғыш; 2 — ультрадыбыс толқындарын қабылдағыш; 3 — зерттелетін бұйым.

Екінші — дефектоскопияның көлеңке әдісінде (9.25-сурет) ультрадыбыс толқынын шығарғыш зерттелетін детальдың бір жағына, ал ультрадыбыс қабылдағыш екінші жағына орналастырылады. Бұл метод қалыңдығы 50 мм-

ге дейінгі жұқа бұйымдарды (түтік, прокат қаңылтыр) бақылау үшін анағұрлым кең тараған.

Импульстық режимдегі ультрадыбыс құрылғыларының көпшілігінде бір ғана түрлендіргішті (пьезодатчик) ультрадыбыс тербелістерін шығарғыш және қабылдағыш ретінде пайдалануға болады. Импульс жолында ақау кездескен жағдайда (ауа көпіршігі немесе металл емес қоспа), ақаулардың өлшемдеріне байланысты импульстың барлық энергиясы немесе оның бір бөлігі шашырайды. Бұл жағдайда бұйымның қарама-қарсы бетінен шағылған импульс ақаудан шағылған импульстан қабылдағышқа кешігіп келеді. Ақаудан қабылдағышқа дейінгі қашықтықты импульстың жүрген уақытын біле отырып, ақау жатқан тереңдікті анықтауға болады, ал шағылған импульстың амплитудасы ақаудың шамасын бағалауға мүмкіндік береді.

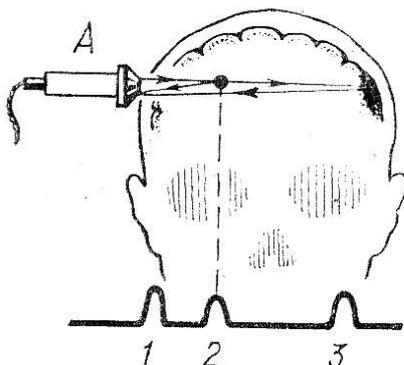
Ультрадыбыстық дефектоскопия әдісінің басты кемшілігі толқын шығарғыш пен қабылдағыштың сыналатын бұйыммен тығыз контактісі қажет болатындығында. Егер беттің кедір-бұдырлығынан немесе тегіс еместігінен контакті жеткілікті тығыз болмаса (әсіресе көлеңке әдісінде), онда бақылауда қате кетуі мүмкін.

Бұйымдарды ультрадыбыстық әдістердің жәрдемімен түрліше бақылаудан өткізетін металлургиядан басқа, ультрадыбыс дефектоскоптары темір жол транспортында кең пайдаланылады (рельстерді тексеру үшін). Рельс дефектоскоптарын пайдалану темір жол полотносының ақауларын әбден сенімді анықтауға және авария болу ықтималдығын едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Сондай-ақ, ультрадыбыс приборларының медицина мен биологияда пайдаланылатындығын білеміз, мұнда тканьдарды ультрадыбыспен сәулелендіру және ультрадыбыспен емдеу жұмыстары жүргізілуде.

Мұндағы негізгі қиындық организмде қайтымсыз өзгерістер тудырудан сақтану үшін ультрадыбыс сигналының қуаты биологиялық әсер шамасынан төмен етіп таңдап алуға.

Медицинаның аса жауапты проблемасы мида болған зиянды ісікті диагностикалау болып есептеледі. Осы мақсат үшін миды ультрадыбыстық локациялау әдісі қолданылады (9.26-сурет).



9.26-сурет. Миды ультрадыбыстық локациялау схемасы

Толқын — шығарғыш-қабылдағыш *A* жіберіп және қабылдаған сигнал осциллографпен қайта өндіріледі. Осы тектес осциллограмма 9.26-суретте (төменде) көрсетілген, онда ми шекарасынан (*1* сигнал) және зиянды ісіктерден (*2* және *3*-сигналдар) шағылған сигналдар көрінеді. Бұл әдіс өте дәл, оның жәрдемімен ісіктің орнын 1 мм-ге дейінгі дәлдікпен анықтауға болады.

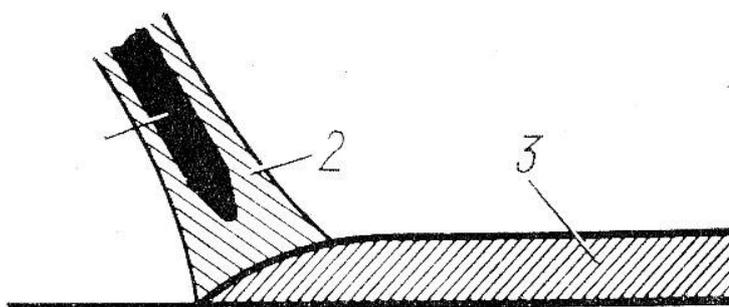
Ультрадыбыстың энергиясын пайдалану. Қуатты ультрадыбыс шығару балқыған және кристалл күйлердегі металдар мен шынылардың қасиеттерін өзгерту үшін металлургияда қолдану тапқан, бұл берілген қасиеттері бар материал жасауға мүмкіндік береді. Кейбір металдар (мысалы, алюминий мен кадмий) қалыпты жағдайларда араласпайды, ультрадыбысты пайдалану олардан қорытпа алуға мүмкіндік береді.

Егер кристалдану күйінде металл қуатты ультрадыбыспен өнделсе, онда бұл — түйіршіктен ұсақталуына әкеліп соғады да, құйманың структурасы анағұрлым біркелкі болады.

Ультрадыбыстық дәнекерлеу. Ультрадыбысты қолдану аса маңызды технологиялық мәселені шешуге — алюминий немесе алюминий қорытпаларын біріктіруге мүмкіндік береді. Басқа металдарға қолдануға

болатын дәнекерлеу әдісін алюминийге қолдану мүмкін емес, себебі алюминийдің оттегімен жанасатын бетінде қалыңдығы 0,001 мкм кәдімгі флюстер арқылы ажыратылмайтын тотық қабаты пайда болады.

Ультрадыбысты пайдалана отырып, алюминий мен алюминий қорытпаларының мүлтіксіз жұмсақ дәнекерленуін жүзеге асыруға болады. Сұйық дәнекерде тотықтың пленкасы бұзылады да, балқыған дәнекер тотықталмаған алюминий бетімен жанасады. Ультрадыбыс дәнекерлегішінің ұштығы (9.27-сурет) тек қызып қана қоймайды, сонымен бірге 20 кГц-ке жуық жиілікпен тербеліс жасайды.



9.27-сурет. Ультрадыбыстық дәнекерлеу схемасы:

1 — дәнекерлегіштің ұшы; 2 — балқыған қалайы дәнекер; 3 — қатқан қалайы.

Дәнекерлеудің ультрадыбыстық әдістің жалғанған жердің беріктілігін жоғарылататыны соншама үлгілер (мысалы, дәнекерленген сым) жалғастырылған жерден емес, мүлдем басқа жерден үзіледі.

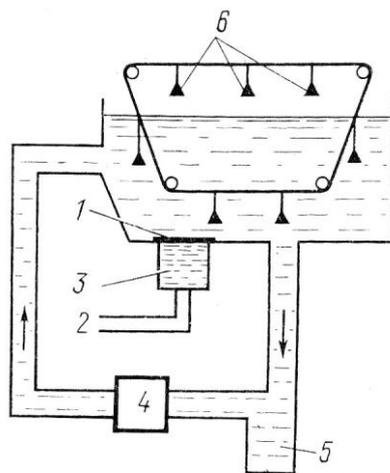
Материалдарды ультрадыбыстық өңдеу. Материалдарды ультрадыбыспен өңдеу принциптік жағынан жаңа технологияның жасалуына әкеліп соққандығы жөнінде айту керек, себебі ультрадыбыс әдістері пайда болғанға дейін қатты денелерді тек одан анағұрлым қатты заттардан жасалған аспаптармен ғана өңдеуге болады деп есептелген.

Қатты металдарды ультрадыбыстық өңдеудің принципі дыбыс шығарғыштың жұмыстық беті мен өңделетін беттің арасына арнаулы абразивті суспензия енгізуде, олар өңделетін материалға тегістеуші немесе соққылаушы әсер көрсететін қырлы түйірлерден тұрады. Соңғы жылдары

механикалық өңдеу үшін жасалған ультрадыбыстық станоктар керамика, кварц, титан, вольфрам, алмас сияқты аса қатты материалдардан да кез келген формалы шұңқыр немесе тесік жасай алады. Өзінің конструкциясы бойынша ультрадыбыстық станоктар бұрғылап тесу станоктарына ұқсас, тек бұрғының орнына оларда ультрадыбыстық ұштық болады.

Детальдарды ультрадыбыстық тазарту әдісі. Ультрадыбыс тербелістерінің тазартушы әсері кавитация құбылысына негізделген. Ультрадыбыстық тазарту әдісі кез келген ластанудан арылуға мүмкіндік береді: май, ұсақ металл жоңқалары ажарлау мен жылтыратудан кейін пайда болған материалдардың қалдығы.

Конструкторлар ультрадыбыстық тазарту үшін арнаулы ванналар жасаған (9.28-сурет). Детальдар транспортерлермен ваннаға жеткізіледі де, онда олар ультрадыбыстық тазартуға түседі. Жуушы сұйық тұндырғышта тазартылады.



9.28-сурет. Бұйымды ультрадыбыстық тазарту схемасы:

1 — вибратор; 2 — жоғары жиілікті генераторға шығару; 3 — контактілік сұйық; 4 — насос; 5 — тұндырғыш; 6 — тазартылатын детальдар.

Майлы пленкалар және әлсіз жабысқан бөлшектер жоғары жиілікті (≈ 300 кГц) ультрадыбыс тербелістерімен ажыратылады. Қатты қаптаулар (мысалы, лактар) төмен жиілікті (≈ 25 кГц) тербелістермен ажыратылады.

Металл бұйымдарды ультрадыбыстық тазарту әдісін былайша демонстрациялап көрсетуге болады: вазелин жағылған жіңішке сымның бір тұтамын бензин немесе метил спирті құйылған астаушаға батырады. Ультрадыбыс генераторын қосып, вазелин бөлшектерінің сымнан қалай ажырайтынын бақылайды, ол аз уақыттан соң тазарады.

Тазартудың ультрадыбыстық әдісінің ең маңызды қолданылуларының бірі—энергетикалық қондырғыларда пайдаланылатын қазандарда қақ тұруынан алдын ала сақтандыру екенін айту керек.

Кез келген жылу және атом станцияларында қолданылатын қазандар жұмысында электростанциялардың ПӘК-ін азайтып, жылу бергіштігін өте кемітетін қақ тұрады. Қазанды қақтан тазарту үшін оны белгілі мерзімге жұмыстан ажыратуға тура келеді.

Егер су ультрадыбыстық өңдеуге түсірілетін болса, онда қатты қақтың орнына жақсы жуылатын тұнба пайда болады. Қазанды тазалау үшін төмен жиілікті ультрадыбыс тербелістерін генерациялайтын арнаулы прибор қолданылады.

Ультрадыбыс толқындарын шығарғыш (магнитострикциялық вибратор) және онда тербелістерді қоздыратын катушка құндаққа бекітіледі, оның қазанға бұралатын бұрандасы бар. Конденсатордың периодты разрядталуының салдарынан катушка арқылы вибратор қозады.

МЕХАНИКА ПӘНІНЕН ТЕСТ СҰРАҚТАРЫ

1. Уақыт өтуіне қарай оның басқа денелерге қатысты кеңістіктегі орын алмастыруын ... деп аталады.

- а) қозғалыс
- б) ілгерілемелі қозғалыс
- в) *механикалық қозғалыс
- г) шеңбер бойымен қозғалыс

2. Абсолют қозғалмайтын дененің болуы мүмкін бе?

- а) иә
- б) * болмайды
- в) болады
- г) шеңбер бойымен қозғалыс

3. Дене қозғалысы уақытында қалдырған ізіне ... деп аталады

- А)*траектория
- б) жол
- В) ығысу
- г) орын ауыстыру

4. Дене қозғалыс траекториясының ұзындығына ... деп аталады.

- а) траектория
- б)*жол
- в) ығысу
- г) орын ауыстыру

5. Дененің бірлік уақыт ішінде басып өткен ара қашықтығына ... деп аталады

- а) *жылдамдық
- б) үдеу
- в) күш
- г) қозғалыс

6. Бірлік уақыт ішінде дене жылдамдығының өзгеруіне ... деп айтылады.

- а) жылдамдық
- б)*үдеу
- в) күш
- г) қозғалыс

7. Дененің жұмыс атқарғандағы қабілетін сипаттайтын физикалық шамаға ... деп айтылады

- а) *энергия
- б) қуат
- в) жұмыс
- г) күш моменті

8. Дененің өз қозғалысы бойынша алған энергиясына ... деп аталады

- а) *кинетикалық энергия б) потенциалдық энергия
в) ішкі энергия г) қуат

9. Денелердің өзара әсер энергиясына ... деп аталады

- а) кинетикалық энергия б) *потенциалдық энергия
в) ішкі энергия г) қуат

10. Кинетикалық энергия үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * $\frac{mv^2}{2}$ б) mgh
в) Fs г) ma

11. Потенциалдық энергия үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * mgh б) $\frac{mv^2}{2}$
в) Fs г) ma

12. Механикалық жұмыс үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * Fs б) mgh
в) Fv г) ma

13. Қуат үшін тура жазылған өрнекті көрсетің

- а) * Fv б) mgh
в) Ft г) ma

14. Бір қалыпты қозғалыста дене ... ге ие болмайды

- а) жылдамдық б) *үдеу
в) күш г) қозғалыс

15. Денені жерге тартатын күшке ... деп аталады

- а) *ауырлық күші б) серпінділік күші
в) үйкеліс күші г) қозғалыс күші

16. Денелер беті арасында пайда болатын үйкеліске ... үйкеліс деп айтылады

- а) * сыртқы б) ішкі
в) тыныш г) сырғанау

17. Серпінділік күші үшін тура жазылған өрнекті көрсетіңіз

- а) $* -k\Delta l$ б) kN
в) ma г) mg

18. Үйкеліс күші үшін тура жазылған өрнекті көрсетіңіз

- а) $* kF_N$ б) $-kx$
в) mg г) ma

19. Дене массасы мен оның жылдамдығының көбейтіндісіне ... деп айтылады

- а) $* \text{импульс}$ б) масса
в) ауырлық г) тығыздық

20. 0,5 үдеумен жоғарыға тік көтеріліп жатқан m массалы дененің ауырлығы неге тең?

- а) $2mg$ б) $* 1,5 mg$
в) $0 mg$ г) $0,5mg$

21. Екі пойыз бір – біріне қарап 54 км/сағ және 72 км/сағ жылдамдықпен қозғалып жатыр. Бірінші пойыздағы пассажирдің есебіне қарағанда екінші пойыз оның жанынан 4 с та өткен. Екінші пойыздың ұзындығын табың.

- а) 4 м б) 20 м
в) $* 140 \text{ м}$ г) 200 м

22. $v=10 \text{ м/с}$ жылдамдықпен ұшып бара жатқан граната жарылып, $m_1=0,6 \text{ кг}$ және $m_2=0,4 \text{ кг}$ массалы бөлектерге бөлініп кетті. Гранатаның үлкен бөлігі алғашқы бағытта $v_2=25 \text{ м/с}$ жылдамдықпен қозғалған болса, кіші бөліктің жылдамдығы v_2 ні табың.

- а) $* 15 \text{ м/с}$ б) 115 м/с
в) 125 м/с г) $12,5 \text{ м/с}$

23. $0,2 \text{ м}$ амплитуда мен тербелісте болған 2 м ұзындықтағы математикалық маятниктің тепе – теңдікпен өтіп жатқан центрге тартқыш үдеуі неше $\frac{M}{c^2}$ болады? $g=10 \frac{M}{c^2}$

в) Барометр

г) Акселерометр

32. Төмендегілердің қайсысының өлшем бірлігі негізгі физикалық шама болып саналады?

а) тығыздық

б) көлем

в) * күш

г) уақыт

33. Күш моменті қандай бірлікпен өлшенеді?

а) кг

б) Н

в) *Н с

г) Н м

34. Моменттер ережесінің формуласын тап.

а) $F_1 l_1 = F_2 l_2$

б) * $M = F l$

в) $\frac{F}{m}$

г) $\frac{F}{l}$

35. Жылжымайтын блок неден ұтыс береді?

а) күштен

б) жолдан

в) жұмыстан

г) *уақыттан

36. Механиканың «Алтын ережесі» деген не?

а) * Жай механизмдер тек күштен ұтады

б) Жай механизмдер күштен және жолдан ұтады

в) Жай механизмдер тек жолдан ұтады

г) Жай механизмдер тек жұмыстан ұтады

37. Рычаг ережесін кім тапқан?

а) Герон

б) Аристотель

в) *Архимед

г) Ньютон

38. Көлбеу жазықтың формуласын тап.

а) * $F = \frac{hmg}{s}$

б) $F = \frac{Rmh}{s}$

в) $F = \frac{mg}{2}$

г) $\frac{F}{l}$

39. Шеңбер бойымен бір қалыпты қозғалатын материялық нүктенің сызықты жылдамдығы 2 м/с және бұрыштық жылдамдығы 5 рад/с болса, центрге тартқыш үдеуді анықтаң.

а) $2 \frac{M}{c^2}$

б) $* 10 \frac{M}{c^2}$

в) $5 \frac{M}{c^2}$

г) $2.5 \frac{M}{c^2}$

40. Ауаның құрамында неше % азот, неше % оттегі бар?

а) 92 % азот, 31% оттегі

б) *78% азот, 21% оттегі

в) 42 % азот, 22% оттегі

г) 51% азот, 49% оттегі

41. Энергияның неше түрі бар?

а) * кинетикалық және потенциалдық

б) кинетикалық және ауырлық

в) күш, кинетикалық және потенциалдық

г) 6 түрі бар

42. Архимед күшінің формуласын тап.

а) $F = \rho kh$

б) $F = hgp$

в) * $F_A = \rho_c Vg$

г) $F = mg$

43. Атмосфералық қысымды ең бірінші рет қайсы ғалым нешінші жылы ашқан?

а) *1608 жылы Е. Торричелли

б) 1609 жылы Паскаль

в) 1605 жылы И. Ньютон

г) 1606 жылы Архимед

44. Арба және ондағы жүктің массасы бірге 100 кг. Оны 500 Н күшпен 10 метр жылжытты. Орын ауыстыруға вертикаль 10 Н күш әсер етті.

Дене 10 метр жылжыды. Орындалған жұмысты есепте.

а) *2000 Дж

б) 200 Дж

в) 20 Дж

г) 300 Дж

45. Рычаг күшінің формуласын тап.

а) * $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$

б) $M = F l$

в) $\frac{F}{m}$

г) $\frac{F}{l}$

46. Механикалық жұмыс деп нені айтамыз?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) *қандайда бір денені күштің әсерімен белгілі бір қашықтыққа жылжыту

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) жылжымайтын тіреуішті айнала алатын қатты дене

47. Ньютонның екінші заңының тұжырымдамасын көрсетің.

а) $a = F * m$

б) * $a = \frac{F}{m}$

в) $a = \frac{m}{F}$
2

г) $A = F S$

48. Рычаг дегеніміз не?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) қандайда бір денені күштің әсерімен белгілі бір қашықтыққа жылжыту

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) *жылжымайтын тіреуішті айнала алатын қатты дене

49. Энергия дегеніміз не?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) қандайда бір денені күштің әсерімен белгілі бір қашықтыққа жылжыту

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) * Денелердің жұмыс орындай білу қабілеті

50. Диффузия дегеніміз не?

а) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

б) *бір заттың молекулаларының екінші затқа, екінші заттың молекулаларының бірінші затқа өтуі

в) заттардың немесе денелердің қыздырылу дәрежесін өрнектейтін шаманы

г) жылжымайтын тіреуішті айнала алатын қатты дене

51. Горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған дене қандай траекториямен қозғалады? Ауаның кедергісін ескермеңіз.

а) *тармақтары төмен бағытталған парабола бойымен

б) тармақтары төмен бағытталған гипербола бойымен

в) тармақтары жоғары бағытталған парабола бойымен

г) қандайда бір денені қысым әсеріне түсіру

52. Дененің жылдамдық векторы мен удеу векторының бағыты қарама-қарсы болуы мүмкін бе?

а) мүмкін

б) болмайды

в) *мүмкін емес

г) болады

53. Центрге тартқыш үдеу нені сипаттайды?

а) *жылдамдықтың бағытының өзгерісін

б) үдеудің бағытының өзгерісін

в) орын ауыстыруды

г) шеңбер бойымен бір қалыпты үдемелі қозғалысты

54. Бір қалыпты үдемелі қозғалған автомобильдің жылдамдығы 10 м/с – тан 15 м/с-қа дейін 5 с –та өзгерген. Автомобильдің үдеуі неге тең?

а) * $1 \frac{м}{с^2}$

б) $2 \frac{м}{с^2}$

в) $1,6 \frac{м}{с^2}$

г) $1,1 \frac{м}{с^2}$

55. Кез-келген уақыт мезетінде дененің үдеуі мен жылдамдық векторлары біріне–бірі тік бұрышпен бағытталған. Дене қалай қозғалады?

а) *шеңбер бойымен бір қалыпты үдемелі қозғалады

б) тармақтары төмен бағытталған парабола бойымен

в) тармақтары төмен бағытталған гипербола бойымен

г) тармақтары жоғары бағытталған парабола бойымен

56. Автомобиль жолдың бұрылысында модулі бойынша тұрақты 10 м/с жылдамдықпен қозғалады. Егер жолдың қисықтық радиусы 50 м болса, онда автомобильдің центрге тартқыш үдеуі неге тең.

а) $*2 \frac{M}{c^2}$

б) $1,3 \frac{M}{c^2}$

в) $2,6 \frac{M}{c^2}$

г) $1,1 \frac{M}{c^2}$

57. Станциядан шыққан поезд $1 \frac{M}{c^2}$ тұрақты үдеумен қозғала отырып 10с –та қанша жол жүреді?

а) $* 50$ м

б) 30 м.

в) 60 м.

г) 10 м.

58. Ауасы сорылып шығарылған түтікте бытыра, тығын және құстың қауырсыны бар. Осы денелер құлағанда қайсысының үдеуі үлкен болады?

а) *барлық денелердің үдеуі бірдей

б) бытыраның үдеуі үлкен

в) тығынның үдеуі үлкен

г) құстың қауырсынының үдеуі үлкен

59. Нүктенің кинематикалық теңдеуі $X=5t+20$ болса, бұл нүкте қалай қозғалады?

а) бір қалыпсыз

б) * бір қалыпты

в) шеңбер бойымен

г) білмеймін

60. Бастапқы жылдамдығы 10м/с дене $a=-2 \frac{M}{c^2}$ үдеумен қозғалады. Дененің 8 секундта жүрген жолын анықтаңыз.

а) $* 16$ м

б) 15м

в) 25м

г) 14м

61. 1- ғарыштық жылдамдық нешеге тең?

а) $* 7,9$ км /с

б) 11,2 км / с

в) 16,7км / с

г) 14км/с

62. ХБ бірліктер жүйесінде күш бірлігі етіп не қабылданған?

а) * Н

б) м

в) Дж

г) Па

63. Горизонтқа бұрыш жасай лақтырылған дене қандай траекториямен қозғалады? Кедергіні ескермеуге болады.

- а) *парабола бойымен
- б) гипербола бойымен
- в) шеңбер бойымен
- г) бағытпен

64. 4 км/сағ та берілген жылдамдықты м/с та бейнелең.

- а) 10 м/с
- б) *15 м\с
- в) 20 м\с
- г) 25 м\с.

65. Дененің жылдамдығы сан мәнінен басқа және не мен сипатталады?

- а) * бағыт пен
- б) бағыт және сан мәнімен
- в) бағыт жоқ
- г) сан және бағыт мәнімен

66. 6- сыныптағы «қатты дененің тығыздығын анықтау» лаборатория жұмысында мына приборлар бар: таразы, таразы тастары, өлшеу цилиндрі (мензурка), тығыздығы анықталынуы керек болған қатты дене, жіптер. Осы лаборатория жұмысын анықтауға нелер жетіспейді?

- а) * су
- б) термометр
- в) динамометр
- г) монометр

67. Бірлік уақыт ішіндегі тола тербелістер санына тербеліс ... деп аталады

- а) период
- б) *жиілік
- в) фаза
- г) амплитуда

68. Созылмайтын, салмақсыз жіпке асылған шарға ... делінеді

- а) *маятник
- б) математикалық маятник
- в) физикалық маятник
- г) серіппелі маятник

69. Созылмайтын, салмақсыз жіпке асылған материялық нүктеге ... делінеді

- а) маятник
- б) *математикалық маятник
- в) физикалық маятник
- г) серіппелі маятник

70. Бернулли теңдеуі өрнегін көрсет.

- а) $\rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const$
- б) $p + h\rho g + \frac{\rho v^2}{2} = const$
- в) * $p + \rho gh + \frac{\rho v^2}{2} = const$
- г) $\frac{\rho v^2}{2} = const$

71. Тербелістер жиілігі үшін тура жазылған бірлікті көрсетіңіз

- а) секунд
в) метр
- б) *герц
г) грамм

72. Ауаның кедергісі болмағанда горизонтқа салыстырмалы бұрыш астында атылған дене қозғалыс траекториясының қайсы бөлігінде салмақсыздық күйде болады?

- а) тек түскен бөлігінде
б) * траекторияның ең жоғары нүктесінен өткен бөлігінде
в) толық қозғалыс бойында
г) салмақсыздық күйде болмайды

73. Механикалық жұмыстың формуласын көрсет

- а) $F = vkh$
в) * $A = F S$
- б) $F = hgp$
г) $F = A N$

74. Күштің формуласын тап

- а) $F = vkh$
в) $A = F S$
- б) * $F = mg$
г) $F = A N$

75. Физика грек тілінен аударғанда не деген мағынаны білдіреді?

- а) * табиғат
в) ток
- б) электр
г) магнит

76. Ағашты тесіп өту нәтижесінде оқтың жылдамдығы 2 есе азайды. Оқтың алғашқы энергиясының қанша бөлігі ағашты тесіп өтуге кетті?

- а) * $\frac{1}{4}$
в) $\frac{3}{4}$
- б) $\frac{1}{2}$
г) $\frac{2}{3}$

77. Ұзындығы 1,6 м болған математикалық маятниктің максимал жылдамдығы 0,5 м/с болса, оның тербелме амплитудасын табың. $g=10 \frac{M}{c^2}$

- а) 50 см
в) 6 см
- б) * 8 см
г) 20 см

78. Массасы 20 г болған құстың қауырсыны су бетінде тепе – тең тұрыпты. Оған әсер ететін Архимед күшін анықтаң.

а) *0,2 Н

б) 2 Н

в) 10 Н

г) 20 Н

79. Еркін түсіп жатқан дененің 3-секундындағы орын алмастыруды табыңыз.

а) 60 м

б) *45 м

в) 50 м

г) 25 м

80. Жоғарыға вертикал тік атылған дене 3 с тан соң қайтып түседі. Ол жоғарыға қанша уақытта көтерілген?

а) 1,5 с

б)* 3 с

в) 2,5 с

г) 2 с

81. Негізінің ауданы 0,5 м және биіктігі 2,4 м болған тура төртбұрышты темір бетон бағанның массасы қанша? Темір бетонның тығыздығы $2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ деп алынған?

а) *3000 кг

б) 3 кг

в) 30 кг

г) 300 кг

82. Көрсетілген жылдамдықтардан ең үлкенін табың.

а) * 100 дм/с

б) 1 м/с

в) 100 м/с

г) 100 см/мин

83. Массасы 4 кг болған дене бір күш әсерінен $2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ үдеу алды. Мұндай күш әсерінен массасы 10 кг болған дене қандай үдеу алады?

а) $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

б) * $0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

в) $1,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

г) $0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

84. Қайсы формула бүкіл әлем тартылыс заңын өрнектейді?

а) $F=ma$

б) $F= P$

в) * $F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$

г) $F=-kx$

85. Қозғалып бара жатқан дененің таңдап алған санақ жүйесіне қатысты жасаған үздіксіз сызығын деп атайды.

- а) жол
в) үдеу
- б) жылдамдық
г) * траектория

86. Жылдамдық формуласын көрсетің.

- а) * $v = \frac{s}{t}$
в) $v = S t$
- б) $v = \frac{t}{s}$
г) $v = TRF$

87. Үдеудің бірлігі не?

- а) * $\frac{M}{c^2}$
в) м с
- б) $\frac{M}{c}$
г) c^2

88. Айналу жиілігінің формуласын көрсетің.

- а) $v = \frac{t}{N}$
в) $v = CT$
- б) * $v = \frac{N}{t}$
г) $v = N t$

89. Бұрыштық жылдамдық формуласы төмендегілерден қайсы бірі?

- а) * $\omega = 2\pi v$
в) $\omega = \pi v$
- б) $\omega = 2Sv$
г) $\omega = 4 N t$

90. Дененің немесе денелер жүйесінің массасы жинақталған нүктені ... деп атайды.

- а) масса
в) қозғалыс
- б) * массалар центрі
г) траектория

91. Егер Архимед күші ауырлық күшінен үлкен болса, ол уақытта дене сұйықта ...

- а) * қалқыйды
в) тепе – тең болады
- б) шөгеді
г) қозғалады

92. Егер Архимед күші ауырлық күшінен кіші болса, ол уақытта дене сұйықта ...

- а) қалқыйды
в) тепе – тең болады
- б) * шөгеді
г) қозғалады

93. Сұйықтың қозғалыстағы қысымы ... қысым деп айтылады

- а) * динамикалық
б) статикалық

в) гидростатикалық

г) осмостық

94. Сұйықтардың түрлі тереңдіктегі қысымы ... қысым деп айтылады

а) динамикалық

б) *статикалық

в) гидростатикалық

г) осмостық

95. Қысым бірлігі үшін тура жазылған өрнекті көрсетіңіз.

а) *Паскаль

б) Дина

в) Ватт

г) Джоуль

96. Бірлік ауданға тік әсер ететін күшке сан жағынан тең болған шамаға ...деп аталады

а) *қысым

б) тығыздық

в) масса

г) көлем

97. Атмосфераның жер үстіне беретін қысымын кім анықтаған?

а) *Торричелли

б) Паскаль

в) Архимед

г) Аристотель

98. Сұйық немесе газға берілген қысым осы сұйық немесе газдың барлық нүктелеріне өзгеріссіз ұзатылады. Бұл ... заңы делінеді

а) *Паскаль

б) Архимед

в) Ньютон

г) Галилей

99. Бірінші ғарыштық жылдамдықты табу формуласын көрсет

а) $v = \frac{t}{N}$

б) $v = \frac{N}{t}$

в) $v = CT$

г) * $v = \sqrt{gR}$

100. Екінші ғарыштық жылдамдықты табу формуласын көрсет

а) $v = \frac{t}{N}$

б) $v = \frac{N}{t}$

в) * $v = \sqrt{2gR}$

г) $v = \sqrt{gR}$

101. Импульстың сақталу заңы өрнегін көрсет

а) $m_2 \vec{g}_1 + m_2 \vec{g}_1 = m_1 \vec{g}_1 + m_2 \vec{g}_2$

б) * $m_1 \vec{g}_1 + m_2 \vec{g}_2 = m_1 \vec{g}_1 + m_2 \vec{g}_2$

б) $F_1 l_1 = F_2 l_2$

г) $F_1 t_1 = F_2 t_2$

102. Оське қатысты жүйенің инерция моменті формуласын көрсет

$$a) I = m_i r_i$$

$$б) * I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

$$в) I = \frac{mr^2}{2}$$

$$г) I = \sum_{i=1}^n \omega_i r_i^2$$

103. Дененің кез келген айналу осіне қатысты инерция моменті, яғни Штейнер теоремасы формуласын көрсет

$$a) * I = I_c + md^2$$

$$б) I = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$$

$$в) I = I_c + \mathcal{G}d^2$$

$$г) I = F_c + md^2$$

104. Толқындар интерференциясы кезіндегі амплитуданың максимум шарты

$$a) \Delta_{\max} = \pm(2m+1) \frac{\lambda}{2}; (m=0,1,2,3,\dots)$$

$$б) * \Delta_{\max} = \pm 2m \frac{\lambda}{2}; (m=0,1,2,3,\dots)$$

$$в) \Delta_{\max} = m_1 \bar{\mathcal{G}}_1^1 + m_2 \bar{\mathcal{G}}_2^1$$

$$г) \Delta_{\max} = \pm m \frac{\lambda}{2}; (m=0,1,2,3,\dots)$$

105. Дыбыстың интенсивтігі формуласын көрсет

$$a) * I = \frac{W}{St}$$

$$б) I = \frac{St}{W}$$

$$в) I = \frac{Ct}{W}$$

$$г) W = \frac{I}{St}$$

106. Толық механикалық энергияның сақталу заңы формуласын көрсет

$$a) \mathcal{G} = E_k + E_n$$

$$б) F = E_k + E$$

$$в) E = E_k - E_n = const$$

$$г) * E = E_k + E_n = const$$

107. x осі бойымен өтетін бір қалыпты айнымалы қозғалыстың кинематикалық теңдеуі

$$a) * x = x_0 + \mathcal{G}_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$б) x = x_0 - \mathcal{G}_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$в) x = \mathcal{G}_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$г) x = x_0 + \mathcal{G}_0 t + \frac{st^2}{2}$$

108. Бойлық деформация үшін Гук заңын көрсет

$$a) \sigma_\epsilon = E\lambda$$

$$б) \sigma_\epsilon = EF$$

$$в) * \sigma_\epsilon = E\varepsilon$$

$$г) \sigma_\epsilon = El$$

109. Бір қалыпты айнымалы қозғалыстағы нүктенің жылдамдығы

a) * $\bar{g} = \bar{g}_0 + \bar{a}t$

б) $\bar{g} = s_0 + \bar{a}t$

в) $s = \bar{g}_0 + \bar{a}t$

г) $\bar{g} = Fat$

110. Математикалық маятниктің тербеліс периоды формуласын көрсет

a) $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$

б) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{D}}$

в) * $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$

г) $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{mgl}}$

Глоссарий (түсіндірме сөздік)

Физика-табиғат құбылыстарының жалпы заңдылықтарын, материяның түзілісі және қасиеттерін және де оның қозғалысын үйренетін пән болып есептелінеді.

Физикалық дене- табиғатта кездесетін түрлі заттардан құралған барлық денелер.

Дене- өлшемге ие болған заттар.

Физикалық шамалар-физикалық құбылыстарды, материяның қозғалыс пішіндері және қасиеттерін мөлшерлі сипаттайтын шамалар.

Туынды шамалар-негізгі шамаларды дәрежеге көтеру, көбейту немесе бөлулер жәрдемінде жүзеге келтіріледі.

Физикалық заң-құбылыстарды сипаттайтын шамалар арасындағы анық мөлшерлі байланыстан тұратын өрнек.

Күзету-жүзеге асатын құбылысқа әсер етпей, оның қасиеттерін және жағдай әсерін үйрену.

Тәжірибе-тексеріліп жатқан құбылыстарды қайтадан жүзеге келтіріп, айнымалы физикалық шамалар арасындағы заңды байланыстарды өлшеу негізінде пайда ету.

Өлшеу-берілген шаманы тиісті өлшеу бірліктер мен салыстыру.

Гипотеза-ғылыми жоба болып, құбылысты түсіндіруді талап етеді және де тексеру және дәлелдеуден кейін, ғылыми теорияға айналады.

Механика-материяның ең қарапайым қозғалысы, денелердің немесе олар бөліктерінің бір-біріне салыстырғанда орын ауыстыруы туралы тәлімет.

Қозғалыс-дене жағдайының уақыт өтуі мен үздіксіз өзгеруі.

Материалдық нүкте- тексеріліп жатқан қашықтыққа салыстырғанда өлшемдері өте кіші және пішінін есепке алынбаса да болатын денелерге айтылады, бырақ дененің массасы осы нүктеде жинақталған болады.

Механикалық қозғалыс-уақыт өтуі мен дене жағдайының басқа денеге салыстырғанда өзгеруіне айтылады, яғни механикалық қозғалыс қарапайым орын ауыстырудан тұратын болады.

Қозғалыс траекториясы-қозғалыстағы дененің кеңістікте қалдырған ізі.

Бір қалыпты қозғалыс-тең уақыт оралығында тең қашықтықтар өтілетін қозғалыс.

Бір қалыпсыз қозғалыс-тең уақыт оралығында әр түрлі қашықтықтар өтетін қозғалыс.

Ілгерілемелі қозғалыс-денедегі кезкелген екі нүктені қосатын кезкелген түзу сызық өз-өзіне параллел болып қалатын қозғалыс.

Қозғалыс жылдамдығы-материялық нүктенің уақыт өтуі мен кеңістіктегі қозғалыс шапшаңдығын сипаттайтын физикалық шама.

Үдеу-дененің лездік жылдамдығын өзгеру жылдамдығына шама жақтан тең физикалық шамаға немесе дененің бірлік уақыт ішіндегі жылдамдықтың өзгеруі.

Шеңбер бойымен қозғалыс-траекториясы шеңберден немесе шеңбер доғасынан тұратын қозғалыс.

Еркін түсу-тыныш күйдегі дененің ауырлық күші әсерінде ауасыз жерде (вакуумда) жерге түсуіне немесе дененің тек ауырлық күші әсері астындағы қозғалысы.

Динамика-дененің қозғалыс себептерін үйренетін механиканың бөлімі есептеледі.

Күш-дене қозғалысының немесе пішінінің өзгеруі себепшісі.

Инерттік-дененің тыныш немесе қозғалыс күйін сақтау қабілеті.

Масса-дененің инерттілігін сипаттайтын физикалық шама.

Импульс-дене массасы мен оның жылдамдығының көбейтіндісі.

Күш импульсі-дене импульсының өзгеруі.

Жұмыс-тәжірибелер соны көрсетеді, процестерде өтетін қозғалыстың шамасы, күштің орын ауыстыру шамасына көбейтіндісіне тең.

Қуат-дененің жұмыс орындау шапшаңдығын (жылдамдығы) өрнектейтін физикалық шама.

Кинетикалық энергия-денелердің қозғалысы нәтижесінде пайда болған энергия.

Потенциалдық энергия-дененің кеңістіктегі жағдайына немесе өзара әсеріне байланысты болған энергия.

Дененің ауырлығы-Жердің тартылысы нәтижесінде дененің тірекке немесе аспаға әсер ететін күш.

Орын ауыстырулы қозғалыс-тыныш тұрған санақ жүйесіне салыстырғандағы қозғалыс.

Дененің ауырлығы-денелердің жерге тартылысы нәтижесінде денені тағанға немесе аспаға әсер күші.

Инерция моменті- шеңбер бойымен қозғалыста дененің инерттілігін сипаттайтын физикалық шама.

Гидроаэростатика-Механиканың газ және сұйықтардың тепе-теңдігін үйренетін бөлімі.

Гидроаэродинамика-Механиканың газ және сұйықтардың олардың сыртқы әсер нәтижесінде қозғалысы және тепе-теңдік күйін үйренетін бөлімі.

Қысым - бұл физикалық шама болып, бетке тік (перпендикуляр) әсер ететін күштің осы күш әсер ететін бет ауданына қатынасы.

Паскаль заңы-сұйық немесе газға әсер ететін сыртқы қысым, сұйық немесе газдың әр бір нүктесіне өзгеріссіз ұзатылуы.

Барометр -атмосфера қысымын өлшейтін аспап.

Архимед заңы-сұйық немесе газға толық батырылған әр қандай дене өз көлеміне тең көлемдегі сұйық немесе газды ығыстырып шығарады және ығыстырып шығарған сұйық немесе газдың ауырлығына тең күш пен жоғарыға тік итереді.

Стационар ағыс-берілген кеңістікте сұйық жылдамдығы уақытқа байланысты болмайды. Бұндай жағдайларда кеңістіктің түрлі нүктелерінде сұйық жылдамдығы бірдей болады.

Стационар емес ағыс-кеңістіктің берілген нүктелерінде сұйық жылдамдығы уақыт өтуі мен өзгеруі.

Ламинар ағыс -егер сұйық қозғалып жатқанда оның тиіп тұрған қабаттары араласпай ағысы немесе бір қабат екіншісіне салыстырғанда ығысуда болса.

Турбулент ағыс -егер сұйық қозғалып жатқанда оның тиіп тұрған қабаттары араласып ағысы.

Идеал сұйық-ішкі үйкеліске немесе тұтқырлыққа ие болмаған сұйық.

Деформация-сыртқы күштер әсерінде дененің пішіні немесе өлшемінің өзгеруі.

Серпімді деформация-күш әсері тоқтағаннан кейін дене өз пішіні және өлшемдерін қайта тіктеуі.

Серпімсіз деформация-күш әсері тоқтағаннан кейін дене өз пішінін және өлшемдерін қайта тіктемеуі.

КЕСТЕЛЕР Негізгі физикалық тұрақтылар

Вакуумдегі жарық жылдамдығы	$c = 2,99792 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Гравитациялық тұрақты	$\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$
Идеал газдың мольдік көлемі	$(T_0 = 273,15 \text{ К}, p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па})$ $V_\mu = 0,0224138 \text{ м}^3 / \text{моль}$
Молдік газ тұрақтысы (Универсал газ тұрақтысы)	$R = 8,314 \text{ Дж} / (\text{К} \cdot \text{моль})$
Фарадей тұрақтысы	$F = 96485 \text{ Кл} / \text{моль}$
Авагадро тұрақтысы	$N_A = 6,02204 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Больцман тұрақтысы	$k = 1,3806 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$
Протонның тыныштық массасы	$m_p = 1,67265 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Электронның тыныштық массасы	$m_e = 9,10953 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Нейтронның тыныштық массасы	$m_n = 1,67495 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Протон мен электронның тыныштық массаларының қатынасы	$m_p / m_e = 1836,1515$
Электронның заряды	$e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$

Вин тұрақтысы	$b = 0,0028978 \text{ м} \cdot \text{К}$
Планк тұрақтысы	$h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Стефан-Больцман тұрақтысы	$\sigma = 5,67032 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Ридберг тұрақтысы	$R_\infty = 1,09737318 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Бор магнетоны	$\mu_B = 9,27408 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} / \text{Тл}$
Ядролық магнетон	$\mu_N = 5,05082 \cdot 10^{-27} \text{ Дж} / \text{Тл}$
Электронның магнит моменті	$\mu_e = 9,28483 \cdot 10^{-24} \text{ Дж} / \text{Тл}$
Протонның магнит моменті	$\mu_p = 1,4106171 \cdot 10^{-26} \text{ Дж} / \text{Тл}$
Масса атом бірлігі	$m.a.б = 1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Электронның массасы	$m_e = 9,09534 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ $m_e = 5,4858026 \cdot 10^{-4} \text{ м.а.б}$
Электрон зарядының массасына қатынасы	$\frac{e}{m_e} = 1,7588047 \cdot 10 \frac{\text{С}}{\text{кг}}$
Бор радиусы	$a_0 = 5,291771 \cdot 10^{-11} \text{ м}$
Еркін түсу үдеуі	$g = 9,80665 \text{ м} / \text{с}^2$
Судың максималы тығыздығы ($t = 3,98^\circ \text{С}; \rho = 101325 \text{ Па}$)	$\rho_{H_2O} = 999,973 \text{ кг} / \text{м}^3$
Қалыпты жағдайдағы атмосфера қысымы	$\rho_{атм} = 101325 \text{ Па}$
Қалыпты жағдайда ауада дыбыстың тарқалу жылдамдығы	$\mathcal{D} = 331,46 \text{ м} / \text{с}$
Қалыпты жағдайда құрғақ ауаның тығыздығы	$\rho_{ауа} = 1,293 \text{ кг} / \text{м}^3$
Қалыпты жағдайда бір моль идеал газ мольдік көлемі	$V_m = 22,41383 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{моль}^{-1}$
Магнит тұрақтысы	$\mu_0 = 12,566371 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
Электр тұрақтысы	$\varepsilon_0 = 8,854188 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м}$
Лошмидт тұрақтысы (саны)	$N_L = 2,68719 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$

Күн, Жер және Айға тиісті кейбір өлшемдер

Өлшемдер	Күн	Жер	Ай
Масса, кг	$1,98 \cdot 10^{30}$	$5,98 \cdot 10^{24}$	$7,33 \cdot 10^{22}$
Радиус, м	$6,96 \cdot 10^8$	$6,371 \cdot 10^6$	$1,738 \cdot 10^6$
Орташа тығыздық, кг/м ³	1410	5500	3300
Жерге дейінгі ара қашықтық	$1,496 \cdot 10^8$	-	384400

Кейбір заттардың тығыздықтары (кг/м³)

Газдар (0 °С температура қалыпты атмосфера қысымында)			
Сутегі	0,08988	Оттегі	1,429
Ауа	1,293	Көмірқышқыл	1,977
Сұйықтар			
Бензол	880	Керосин	800
Су(+4)	1000	Қан	1050
Глицерин	1200	Сынап	13600
Алтын	17200	Күміс	9300
Күнжіт майы	950	Спирт	790
Қатты денелер			
Алюминий	2600	Қалайы	7100
Темір	7900	Платина	21400
Алтын	19300	Никель	8800
Ас тұзы	2200	Қорғасын	11300
Жез	8400	Күміс	10500
Мұз	900	Болат	7700
Мыс	8600	Шиша	2700

Судың тығыздығы							
Температура, °С	20	30	40	50	60	70	80
Тығыздық, кг/м ³	998	996	992	988	983	978	972

Түрлі температураларда судың тығыздығы

<i>T, K</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	<i>T, K</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	<i>T, K</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
273	999,87	285	999,52	297	997,32
274	999,93	286	999,40	298	997,07
275	999,97	287	999,27	299	996,81
276	999,99	288	999,13	300	996,54
277	1000,00	289	999,97	301	996,26
278	999,99	290	998,80	302	995,97
279	999,97	291	998,62	303	995,67
280	999,93	292	998,43	304	995,37
281	999,88	293	998,23	305	995,05
282	999,81	294	998,02	306	994,72
283	999,73	295	997,80	307	994,40
284	999,63	296	997,57		

Жануарлар әлеміндегі қозғалыс жылдамдықтары

Аты	Жылдамдығы, км/сағ
Акула	40
Көбелек	80
Қасқыр	55-60
Бұлбұл	35
Қарға	25-32
Гепард	112
Кептер	60-70
Дельфин	54
Жираф	51
Кит	38-40
Қоян	60
Кенгуру	48
Қарлығаш	54-63
Аю	40
Май қоңызы	11
Лос	47
Шыбын	18
Бал ара	25
Піл (Африка)	40
Шегіртке	36
Тасбақа	0,5

Жылдамдықтың км/сағ бірлігінен м/с бірлігіне өту

$$1 \text{ км/сағ} = 0,2777 \text{ м/с}$$

км/с ағ	км/сағ							
	0	1	2	3	4	5	6	7
	м/с							
0	0	2,2778	0,555	0,8333	1,111	1,388	1,66	1,944
10	2,778	3,0556	3,333	3,611	3,888	4,166	4,44	4,722
20	5,555	5,833	6,111	6,388	6,666	6,944	7,22	7,5
30	8,333	8,611	8,888	9,166	9,444	9,722	10,0	10,27
40	11,11	11,38	11,666	11,94	12,22	12,5	12,7	13,05
50	13,88	14,166	14,444	14,722	15,0	15,277	15,555	15,833
60	16,66	16,944	17,222	17,5	17,777	18,055	18,333	18,611
70	19,44	19,722	20,0	20,277	20,555	21,111	21,388	21,388

Кейбір заттардың серпінділік модулі (ГПа)

Алюминий	70	Мыс	120
Ағаш	10	Қорғасын	17
Дюралюминий	75	Болат (темір)	210
Кірпіш	10	Шойын	100
Жез	90	Каучук	0,008

Дыбыстың кейбір орталардағы жылдамдығы(м/с)

Алюминий	5100	Темір	5300
Су	1450	Кірпіш	3650
Ауа (0 ⁰ С)	332		

Атом және молекулалардың массалары

Атомдар	10 ⁻²⁷ кг	Молекулалар	10 ⁻²⁷ кг
Азот	23,2	Азот	46,5
Алюминий	44,8	Аммиак	28,3
Сутегі	1,67	Су	29,9
Гелий	6,64	Сутегі	3,3
Темір	92,8	Ауа	48,1
Алтын	327	Оттегі	53,2
Оттегі	26,6	Метан	26,6
Кремний	46,6	Күміс нитрат	282
Мыс	105	Азон	80
Натрий	38,1	Натрий хлор	97
Сынап	333	Мыс сульфат	265
Қорғасын	344		

Күн жүйесіндегі ғаламшарлардың тығыздықтары

Ғаламшардың аты	Тығыздығы, кг/м ³	Ғаламшардың аты	Тығыздығы, кг/м ³
Меркурий	5500	Юпитер	1330
Венера	5200	Сатурн	710
Жер	5500	Уран	1400
Марс	3900	Нептун	1600

Күн жүйесіндегі ғаламшарлар үшін бірінші және екінші ғарыштық жылдамдықтар

Ғаламшар аты	$v_1, \frac{км}{с}$	$v_2, \frac{км}{с}$
Меркурий	3,0	4,25
Венера	7,2	10,2
Жер	7,9	11,2
Марс	3,57	5,05
Юпитер	42,6	60,04
Сатурн	25,7	36,4
Уран	15,2	21,5
Нептун	16,6	23,5

0°-90° бұрыштар үшін синустар және тангенстер мәндерінің кестесі

Градус тар	Синустар	Тангенстер	Градус тар	Синустар	Тангенстер	Градус тар	Синустар	Тангенстер
0	0,0000	0,0000	31	0,5150	0,6009	61	0,8746	1,804
1	0,0175	0,0175	32	0,5299	0,6249	62	0,8829	1,881
2	0,349	0,0349	33	0,5446	0,6494	63	0,8910	1,963
3	0,0523	0,524	34	0,5592	0,6745	64	0,9888	2,050
4	0,0698	0,699	35	0,5736	0,7002	65	0,9063	2,145
5	0,0872	0,875	36	0,5878	0,7265	66	0,9135	2,246
6	0,1045	0,1051	37	0,6018	0,7536	67	0,9205	2,356
7	0,1219	0,1228	38	0,6157	0,7813	68	0,9272	2,475
8	0,1392	0,1405	39	0,6293	0,8098	69	0,9336	2,605
9	0,1564	0,1584	40	0,6428	0,8391	70	0,9397	2,747
10	0,1736	0,1763	41	0,6561	0,8693	71	0,9455	2,904
11	0,1908	0,1944	42	0,6691	0,9004	72	0,9511	3,078
12	0,2079	0,2126	43	0,6820	0,9323	73	0,9563	3,271
13	0,2250	0,2309	44	0,6947	0,9657	74	0,9613	3,487
14	0,2419	0,2493	45	0,7071	1,0000	75	0,9659	3,732
15	0,2588	0,2679	46	0,7193	1,036	76	0,9703	4,011

16	0,2756	0,2867	47	0,7314	1,072	77	0,9744	4,331
17	0,2924	0,3057	48	0,7431	1,111	78	0,9781	4,705
18	0,3090	0,3249	49	0,7547	1,150	79	0,9816	5,145
19	0,3256	0,3443	50	0,7660	1,192	80	0,9848	5,671
20	0,3420	0,3640	51	0,7771	1,235	81	0,9877	6,314
21	0,3584	0,3839	52	0,7880	1,280	82	0,9903	7,115
22	0,3746	0,4040	53	0,7986	1,327	83	0,9925	8,114
23	0,3907	0,4245	54	0,8090	1,376	84	0,9945	9,514
24	0,4067	0,4452	55	0,8192	1,428	85	0,9962	11,43
25	0,4226	0,4663	56	0,8290	1,483	86	0,9976	14,30
26	0,4384	0,4877	57	0,8387	1,540	87	0,9986	19,08
27	0,4540	0,5095	58	0,8480	1,600	88	0,9994	28,64
28	0,4695	0,5317	59	0,8572	1,664	89	0,9998	57,29
29	0,4848	0,5543	60	0,8660	1,734	90	1,0000	∞
30	0,5000	0,5774						

Түрлі жағдайларда үдеу

Үдемелі қозғалыс	$\frac{m}{c^2}$	Баяуламалы қозғалыс	$\frac{m}{c^2}$
Пассажир лифты	0,3-0,6	Пассажир лифты	0,3-0,6
Трамвай	0,5-1	Трамвай	3
Троллейбус	1-1,5	Троллейбус	5
Электропойыз	0,6-0,7	Электропойыз	0,8-1,5
Метрополитен вагоны	0,8-1,3	Вольга автомобилі	0,18
Жигули автомобилі	1,3	Жигули автомобилі	0,48
Иль-62 ұшағы	1,7	Иль-62 ұшағы	2

Ескерту! Тормоздалу жолы тормоз беру уақытынан толық тоқтағанға дейін алынған.

Жерде теңіз деңгейінен түрлі биіктіктерде g (еркін түсу үдеуі) нің мәндері

Биіктік,м	$\frac{m}{c^2}$	Биіктік,м	$\frac{m}{c^2}$
0	9,8066	11000	9,7728
50	9,8065	12000	9,7697
100	9,8063	13000	9,7667
150	9,8062	14000	9,7636
200	9,8060	15000	9,7605
300	9,8057	16000	9,7575
400	9,8054	17000	9,7544
500	9,8051	18000	9,7513
600	9,8048	19000	9,7483
700	9,8045	20000	9,7452
800	9,8042	25000	9,7300
900	9,8039	30000	9,7147
1000	9,8036	40000	9,6844
1500	9,8020	50000	9,6542
2000	9,8005	60000	9,6241
3000	9,7074	70000	9,5942
4000	9,7943	80000	9,5644
5000	9,7912	90000	9,535
6000	9,7882	100000	9,505
7000	9,7851	120000	9,447
8000	9,7820	500000	9,845
9000	9,7789	1000000	9,736
10000	9,7759	5000000	3,08

Гравитациялық тұрақтылықтың анықталынуы

Тәжірибе авторы, мемлекет аты	Тәжірибе жылы	Алынған G мәні, $10^{-11} \frac{H \cdot m^2}{кг^2}$
Г. Кавендиш, Англия	1798	6,67±0,05
Ф.Райх, Германия	1852	6,64±0,06
Д.Пойтинг, Англия	1891	6,70±0,04
Р.Этвиш, Венгрия	1896	6,657±0,013
П. Хейл, П.Хржановский, АҚШ	1942	6,673±0,005
Л.Фасси, К.Понтикс, Франция	1972	6,6714±0,0006
М.У.Сагитов, В.К. Миллюков, Россия	1978	6,6745±0,0008
Ж.Лазер, У.Тоулер, АҚШ	1982	6,6726±0,0005

Күш бірліктері арасындағы байланыс

Күш бірліктері	Н	Дина	кГ	тГ	кН
1-	1	10^5	0,102	$1,02 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}
1дина	10^{-5}	1	$1,02 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-9}$	10^{-8}
1кГ	9,81	$9,81 \cdot 10^5$	1	10^{-3}	$9,81 \cdot 10^{-3}$
1тГ	$9,81 \cdot 10^3$	$9,81 \cdot 10^8$	10^3	1	9,81
1кН	10^3	10^8	102	0,102	1

Жерден түрлі биіктіктерде атмосфералық қысым

Биіктік, м	Қысым, Па	Биіктік, м	Қысым, Па
0	101325	10000	26500
50	100720	11000	22700
100	100129	12000	19399
150	99536	13000	16580
200	98945	14000	14170
300	97773	15000	12112
400	96611	16000	10353
500	95461	17000	8850
600	94322	18000	7565
700	93194	19000	6467
800	92077	20000	5529
900	90972	25000	2549
1000	89876	30000	1197
2000	79501	40000	296
3000	70121	50000	79,8
4000	61660	60000	21,2
5000	54048	70000	5,22
6000	47218	80000	1,05
7000	41105	90000	0,183

8000	35652	100000	0,032
9000	30801	120000	0,0026

Атмосфера құрамына кіретін газдардың порциал қысымы

Газ	Салыстырмалы молекулалық массасы	Порциал қысым, Па
Азот	28	79110
Оттегі	32	21220
Аргон	40	943
Көмірқышқыл	44	31
Неон	20	1,9
Гелий	4	0,51
Криптон	83,8	0,11
Сутегі	2	$5,1 \cdot 10^{-2}$
Ксенон	131,3	$8,1 \cdot 10^{-3}$
Азон	48	$2 \cdot 10^{-4}$

Түрлі заттар үшін сырғанау- үйкеліс коэффициенті

Бір – бірінде сырғанап жатқан заттардың аты	Тыныш күйде	Қозғалғанда
Бронза және бронза	-	0,2
Бронза және шойын	-	0,21
Ағаш және ағаш	0,65	0,33
Ағаш және тас	0,46-0,60	-
Темір және темір	0,15	0,14
Темір және шойын	0,19	0,18
Металл және ағаш	0,6	0,4
Металл және металл	0,18-0,20	-
Резина және қатты гурунт (топырақ)	0,4-0,6	-

Болат және мұз	0,002-0,003	0,015
Мұз және мұз	-	0,028
Болат және болат	0,15-0,25	0,09

Кейбір машина және қондырғылардың жылулық двигателдерінің қуаты

Машина немесе қондырғы аты	Қуаты, кВт	Қуаты, Ат күші
Жигули автомобилі	47	64
Москвич автомобилі	50,7	69
Вольга автомобилі	74	100
КамАЗ автомобилі	154	210
БелАЗ самосвалы	1790	2300
РАФ автобусы	70	95
ЛАЗ автобусы	122	180
Ява мотоциклі	14,7	20
Ил-62 ұшағы	30600	41600
МТЗ -80 тракторы	59	80

Түрлі газ және буларда дыбыстың таралу жылдамдығы

Газ немесе бу	Температура °С	Дыбыс жылдамдығы м/с
Азот	0	333,6
Аргон	0	319
Ацетилен	0	327
Бензин	90	200
Сутегі	0	1284
Ауа	0	331,5
Су буы	0	401
Қаныққан су буы	110	413
Гелий	0	965
Оттегі	0	316

Неон	0	435
Хлор	0	206
Көмірқышқыл	0	259

Жерден түрлі биіктіктерде дыбыстың ауада таралу жылдамдығы

Биіктік, м	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Биіктік, м	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
0	340,29	4000	324,59
50	340,10	5000	320,54
100	339,91	6000	316,45
200	339,53	7000	312,31
300	339,14	8000	308,10
400	338,76	9000	303,85
500	338,37	10000	293,53
600	337,98	11000-20000	295,07
700	337,60	30000	301,71
800	337,21	40000	317,19
900	336,82	50000	329,80
1000	336,43	60000	315,07
2000	332,53	70000	297,06
3000	328,58	80000	282,54

Ауада түрлі температураларда дыбыстың таралу жылдамдығы

Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
-100	263,7	60	365,8
-90	271,2	70	371,2
-80	278,5	80	376,6
-70	285,6	90	381,9
-60	292,6	100	387,7
-50	299,3	150	412,3
-40	306	200	436

-30	312,5	250	458,4
-20	318,8	300	479,8
-10	325,1	400	520
0	331,5	500	557,3
10	337,3	600	592,3
20	343,1	700	625,3
30	348,9	800	656,6
40	354,6	900	686,5
50	360,3	1000	715,2

Түрлі сұйықтарда дыбыстың таралу жылдамдығы

Сұйық	Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
Азот	-203	929
Аргон	-186	837
Ацетон	20	1192
Су	25	1497
Бензин	17	1166
Теңіз суы	20	1490
Сутегі	-253	1127
Гелий	-269	18
Глицерин	20	1923
Керосин	15	1330
Оттегі	-210	1130
Сынап	20	1452
Этил спирті	23	1177

Түрлі қатты денелерде дыбыстың таралу жылдамдығы

Қатты дене	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Қатты дене	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
Алюминий	60	Никель	4785
Бетон	5250	Қалайы	3320
Ағаш	3625	Органикалық шиша	2550
Темір	5850	Парафин	1300
Алтын	3240	Платина	3960
Ас тұзы	4400	Резина	1480
Кірпіш	3600	Қорғасын	2160
Магний	4600	Күміс	3620
Мыс	4700	Болат	6100

Кварц шиша	5570	Уран	3300
Мәрмәр	6100	Форфор	5900
Мырыш	4170	Шойын	5600

Суда түрлі температураларда дыбыстың таралу жылдамдығы

Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$	Температура, °С	Дыбыс жылдамдығы, $\frac{м}{с}$
0	1402,7	55	1547,7
5	1426,5	60	1551,3
10	1447,6	65	1553,8
15	1466,2	70	1555,1
20	1482,7	75	1555,4
25	1497	80	1554,8
30	1509,4	85	1553,2
35	1520,1	90	1550,8
40	1529,2	95	1547,5
45	1536,7	96	1546,8
50	1542,9	100	1543,4

Түрлі дыбыс көздерінің тербеліс жиілігі

Дыбыс көзі	Тербеліс жиілігі, Гц
Еркектер дыбысы	100-7000
Әйелдер дыбысы	200-9000
Скрипка	260-15000
Домбыра	90-14000
Рояль	90-9000
Радио және телевизордың дыбыс көтергіші	80-10000

Түрлі дыбыс көздерінің қуаты

Дыбыс көзі	Максимал қуаты, Вт
Еркектер дыбысы	$2 \cdot 10^{-3}$
Әйелдер дыбысы	$2 \cdot 10^{-3}$
Скрипка	0,2
Домбыра	1225
Рояль	2
Радио және телевизор дыбыс көтергіші	1,5-3

Ультрадыбыстың қолданылуы

Ультрадыбыс тербелістер жиілігі	Қолданылу саласы
20-30 кГц	Заттарды механикалық қайта өңдеуде, яғни диэлектрик, электр өткізгіш және қатты материалдарды кесуде
0,2-25 МГц	Металлдар деффектоскопиясында
50 кГц-10 МГц	Заттардағы ақауларды анықтауда (металл плита, бетон конструкция, резиналы шиналарда және тағы басқа)
0,5-20МГц	Металдар деффектоскопиясында (резонанс әдісі)
500-800кГц	Деталлдарды тазалауда

Қазақ халқының тіршілігінде тарихи қолданылып келе жатқан бірліктер

Шаманың атауы	Бірліктер атауы және олардың үлестері	СИ бірлігімен қатынасы (шамамен)
Ұзындық	1 елі	2 см
	1 сүйем	12-14 см
	1 тұтам	-
	1 қарыс	20-22 см
	1 білек	45 см
	1 адым	60 см
	1 құлаш	1 м
	1 сала құлаш	1,7 м
	1 құрық бойы	5 м
	1 шақырым	1 км
	1 күншілік жол (атпен)	50 км
Уақыт	1 сәт	1-5 мин
	1 қас-қағым	1 сек
	1 бие- сауым	15 мин
	1 сүт пісірім	30 мин
	1 күн (1 тәулік)	24 сағ
	1 ай	-
	1 жыл	-
Сұйықтың көлемі	1 қасық	50 мл
	1 шелек	10 л
Сусымалы көлем	1 уыс	0,1 дм ³
	1 қос уыс	0,35 дм ³
	1 қоржын	-
Масса	1 пұт	16 кг

Ресейде тарихи қолданылып келген бірліктер

Физикалық шама	Бірліктер атауы және олардың үлестері	СИ бірлігімен қатынасы
Ұзындық	1 верста = 500 сажень	1,0668 км
	1 сажень = 3 аршин	2,1336 км
	1 аршин = 16 вершок	71,120 см
	1 вершок = 7 фут	2,1336 км
	1 фут = 12 дюйм	0,3048 км
	1 дюйм = 10 линия	2,54 см
	1 линия = 10 точка	2,54 мм
Аудан	1 десятина = 2400 сажень квадраты	10925,4 м ²
Сұйықтың көлемі	1 бочка = 40 ведро	491,98 дм ³
	1 ведро = 10 штоф	12,2994 дм ³
	1 штоф = 2 бутылка	1,22994 дм ³
	1 бутылка = 5 чарка	0,614970 дм ³
	1 чарка = 10 шкалик	0,122994 дм ³
Сусымалы көлем	1 четверть = 8 четверик	209,91 дм ³
	1 четверик = 8 гарнц	26,2387 дм ³
	1 гарнц	3,27984 дм ³
Масса	1 берковец = 10 пуд	163,805 кг
	1 пуд = 40 фунт	16,3805 кг
	1 фунт = 32 лот	409,512 г
	1 лот = 3 злотник = 288 доля	12,797 г
	1 доля	44,4349 мг
Аптекарь салмағы	Аптекарь фунты = 12 унция	358,328 г
	1 унция = 8 драхма	32 г
	1 драхма = 3 скурпул	3,732 г
	1 скурпул = 20 гран	1,244 г
	1 гран	0,062 г

Судың түрлі қысымдарда қайнау температурасы

<i>P, МПа</i>	<i>t, °C</i>	<i>P, МПа</i>	<i>t, °C</i>	<i>P, МПа</i>	<i>t, °C</i>
0,1	99,7	1,1	183,8	2,5	224
0,2	120,3	1,2	187,8	3	236
0,3	133,4	1,3	191,5	3,5	244
0,4	143,5	1,4	195	4	252
0,5	151,7	1,5	198,2	4,5	259
0,6	158,7	1,6	201,3	5	266
0,7	164,8	1,7	204,2	5,5	272
0,8	170,8	1,8	207	6	277
0,9	175,2	1,9	210,2	6,5	283
1	179,7	2,0	212,3	7	288

Атмосфера ауасының құрамы

Газ	Көлемі, %	Ауырлығы, %	Газ	Көлемі, %	Ауырлығы, %
Азот	78,09	75,5	Ксенон	$8 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-4}$
Оттегі	20,95	23,1	Радон	$6 \cdot 10^{-18}$	-
Аргон	0,9325	1,286	Көмірқышқыл	0,030	0,046
Неон	0,0018	0,0012	Сутегі	$5 \cdot 10^{-5}$	-
Гелий	0,0005	0,00007	Азон	$1 \cdot 10^{-6}$	-
Криптон	0,000108	0,0003			

Пайдаланылган адабиёттер

1. А.Расулмухамедов, Б.Ф.Избосаров, Ж.Камолов. Физика курсы. Механика. Оқытушы, Тошкент, 1989.
2. М.М.Архангелский. Курс физики. Механика. Просвещение, Москва, 1975.
3. С.П.Стрелков. Механика. Оқытушы, Тошкент, 1977.
4. С.Е.Фриш, А.В.Тиморева. Жалпы физика курсы, I-том. Оқытушы, Тошкент, 1972
5. И.В.Савелев. Жалпы физика курсы, I-том. Оқытушы, Тошкент, 1973.
6. М.Исмоилов, П.Хабибуллаев, М.Халиулин. Физика курсы. Ўзбекистан, Тошкент, 2000.
7. Г.С.Ландсберг. Элементарный учебник физики. Наука, Москва, 1968.
8. Е.Еллиот, У.Уилкокс. Физика. Наука, Москва, 1975.
9. Б.М.Яворский, Ю.А.Селезнёв. Справочное руководство по физике. Наука, Москва, 1989.
10. Б.М.Яворский, А.А.Детлаф. Справочник по физике. Наука, Москва 1965.
11. Х.Кухлинг. Справочник по физике. Мир, Москва 1983.
12. А.С.Енохович. Справочник по физике. Просвещение, Москва 1990.
13. Физика. Справочник школьника. Ташполиграфкомбинат, Тошкент, 2000.
14. Современный, универсальный справочник школьника. БАО ПРЕСС, Москва, 2003.
15. М.Мамадазимов. Астрономия. Оқытушы, Тошкент, 2003.
16. Ж.Камолов, А.Ф.Расулмухамедов, Б.Ф.Избосаров, И.Исмоилов. Физика курсы. Оқытушы, Тошкент, 1992.
17. Б.Ф.Избосаров, И.Р.Камолов. Физика. Иқтисод-Молия, Тошкент, 2006.
18. Б.Ф.Избосаров, И.Р.Камолов. Жалпы физикадан лаборатория жұмыстары. Ворис-нашриёт. Тошкент, 2007.

19. А.А.Ахмедов, И.Р.Камолов, А.Ж.Чангбоев. Физикадан маълуматнама услубий қолданба, Навоий, 2005.
20. У.Қ.Толипов, М.Усмонбойева. Педагогик технологияларнинг татбиқий асослари. Пэн, Тошкент, 2006.
21. Х.И.Ибрагимов, Ч.А.Абдуллаева. Педагогика. Пэн және технологиялар, Тошкент, 2007.
22. Ахборотнамалар. Давлат тест маркази. Тошкент, 1997-2006.
23. Н.Садриддинов, А.Рахимов, А.Мамадалиев, З.Жамолова. Физика оқыту услубиёти негиздері. «Өзбекстан», Тошкент, 2006.
24. О.Қодиров. Физика курсы (Механика және молекулалық физика) I-бөлім. «Пэн және технологиялар». Тошкент, 2005.
25. И.Джаббаров, А.Юсупов. Механика и молекулярная физика. «Пэн және технологиялар». Тошкент, 2006.
26. Ж.Тошхонова және босқалар. Механика және молекулалық физикадан практикум. «Пэн және технологиялар». Тошкент, 2006.
27. Б.Ф.Избосаров, И.Р.Камолов. Молекулалық физика және термодинамика негиздері. «Юрист-медиа». Тошкент, 2008.
28. Б.Ф.Избосаров, И.Р.Камолов. Механика. «Лидер пресс». Тошкент, 2009.
29. Jearl Walker, David Halliday, Robert Resnick “Fundamentals of physics” QC21.3.H35 2014.
30. General Astronomy. En.wikibooks.org., March 15, 2015.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. A.Rasulmuxamedov, B.F.Izbosarov, J.Kamolov. Fizika kursi. Mexanika. O'qituvchi, Toshkent, 1989
2. M.M.Arxangelskiy. Kurs fiziki. Mexanika. Prosvesheniye, Moskva, 1975
3. S.P.Strelkov. Mexanika. O'qituvchi, Toshkent, 1977
4. S.E.Frish, A.V.Timoreva. Umumiy fizika kursi, I-tom. O'qituvchi, Toshkent, 1972
5. I.V.Savelev. Umumiy fizika kursi, I-tom. O'qituvchi, Toshkent, 1973
6. M.Ismoilov, P.Habibullayev, M.Xaliulin. Fizika kursi. O'zbekiston, Toshkent, 2000
7. G.S.Landsberg. Elementarniy uchebnik fiziki. Nauka, Moskva, 1968
8. E.Elliot, U.Uilkoks. Fizika. Nauka, Moskva, 1975
9. B.M.Yavorskiy, Yu.A.Seleznyov. Spravochnoe rukovodstvo po fizike. Nauka, Moskva, 1989
10. B.M.Yavorskiy, A.A.Detlaf. Spravochnik po fizike. Nauka, Moskva 1965
11. X.Kuxling. Spravochnik po fizike. Mir, Moskva 1983
12. A.S.Yenoxovich. Spravochnik po fizike. Prosvesheniye, Moskva 1990
13. A.A.Pinskiy. Zadachi po fizike. Nauka, Moskva, 1977
14. Fizika. Spravochnik shkolnika. Tashpoligrafkombinat, Toshkent, 2000.
15. Sovremenniy, universalniy spravochnik shkolnika. BAO PRESS, Moskva, 2003.
16. M.Mamadazimov. Astronomiya. O'qituvchi, Toshkent, 2003.
17. J.Kamolov, A.G'.Rasulmuxamedov, B.F.Izbosarov, I.Ismoilov. Fizika kursi. O'qituvchi, Toshkent, 1992.
18. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Fizika. Iqtisod-Moliya, Toshkent, 2006.

19. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Umumiy fizikadan laboratoriya ishlari. Voris-nashriyot. Toshkent, 2007.
20. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov, L.H.Jalilova. Fizikadan testlar to'plami uslubiy qo'llanma, Navoiy, 2007.
21. A.A.Axmedov, I.R.Kamolov, A.J.Changboyev. Fizikadan ma'lumotnoma uslubiy qo'llanma, Navoiy, 2005.
22. O'.Q.Tolipov, M.Usmonboyeva. Pedagogik texnologiyalarning tatbiqiy asoslari. Fan, Toshkent, 2006.
23. Axborotnomalar. Davlat test markazi. Toshkent, 1997-2006.
24. N.Sadriddinov, A.Rahimov, A.Mamadaliyev, Z.Jamolova. Fizika o'qitish uslubiyoti asoslari. O'zbekiston, Toshkent, 2006.
25. O.Qodirov. Fizika kursi (Mexanika va molekulyar fizika) I-qism. Fan va texnologiyalar, Toshkent, 2005.
26. I.Djabbarov, A.Yusupov. Mexanika i molekulyarnaya fizika. Fan va texnologiyalar, Toshkent, 2006.
27. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Molekulyar fizika va termodinamika asoslari. Yurist-media markazi nashriyoti. Toshkent, 2008.
28. B.F.Izbosarov, I.R.Kamolov. Mexanika. Lider press markazi nashriyoti. Toshkent, 2009.
29. Jearl Walker, David Halliday, Robert Resnick "Fundamentals of physics" QC21.3.H35 2014.
30. General Astronomy. En.wikibooks.org., March 15, 2015.

МАЗМҰНЫ

Алғы сөз.....	3
I БӨЛІМ. ФИЗИКА ПӘНІНІҢ ӨРКЕНДЕУ ТАРИХЫ	
Физика пәнінің өркендеу тарихы. Физика пәнінің басқа пәндермен қатынасы.....	4
Физикалық заңдар, физикалық құбылыстар және ұғымдар.....	14
Физикалық шамалар және өлшеу бірліктері.....	21
II БӨЛІМ. МАТЕРИЯЛЫҚ НҮКТЕ КИНЕМАТИКАСЫ	
Кіріспе.Физика пәні және әлемді білу.....	40
Материялық нүкте және оның қозғалысы.....	46
Векторлар.Векторлардың координаталардағы проекциялары.....	64
Түзу сызықты бір қалыпты қозғалыс.....	66
Түзу сызықты бір қалыпсыз қозғалыс.....	75
Түзу сызықты бір қалыпты айнымалы қозғалыс. Үдеу.....	83
Дененің ілгерілемелі қозғалысы.....	90
Материялық нүктенің шеңбер бойымен қозғалысы.....	92
Дененің еркін түсуі.....	103
III БӨЛІМ. МАТЕРИЯЛЫҚ НҮКТЕ ДИНАМИКАСЫ	
Динамика. Ньютонның бірінші заңы.....	110
Әсер, қарсы әсер және күш.....	116
Өзара әсер және күш түсінігі.....	120
Ауырлық күші.....	126
Салмақ немесе салмақ күші.....	128
Күшті өлшеу. Күш бірліктері.....	130
Үйкеліс. Үйкеліс түрлері. Үйкеліс күші мен кедергі күші.....	133
Серпінділік күші.....	152
Дененің серпінділік күші әсерінен қозғалуы	159
Ньютонның екінші және үшінші заңы.....	161
Классикалық механиканың қолдану шекарасы.....	164
Дене импульсы.....	166
Тұйық система. Система импульсінің сақталу заңы.....	167
Массалар центрі.....	169
Айнымалы массалы дене қозғалысы. Мещерский және Циалковский теңдеулері.....	174
IV БӨЛІМ. ЖҰМЫС, ЭНЕРГИЯ ЖӘНЕ ҚУАТ	
Жұмыс, энергия және қуат туралы түсінік.....	179
Дененің кинетикалық энергиясы.....	185
Дененің потенциалдық энергиясы.....	187
Потенциалдық (консервативтік) және диссипативтік (консервативсіз) күштер.....	191
Серпінді деформацияланған дененің потенциалдық энергиясы.....	194
Ньютонның бүкіләлемдік тартылыс заңы. Тартылыс өрісі	195
Гравитациялық өріс энергиясы және потенциалы.....	199

Консервативтік және диссипативтік жүйеде энергияның сақталу заңы.....	201
Ішкі энергия. Потенциалдық және жүйенің тепе-теңдік шарты.....	206
Ауырлық күші. Ғарыштық жылдамдықтар.....	208

V БӨЛІМ. АРНАЙЫ САЛЫСТЫРМАЛЫЛЫҚ ТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

Ньютон механикасында салыстырмалылық принципі. Галилей түрлендірулері	215
Эйнштейн постулаттары. Лоренц түрлендірулері.....	218
Бір уақыттылықтың, уақыт аралығының және кесіндінің салыстырмалылығы. Интервал.....	221
Жылдамдықтарды қосудың релятивистік заңы.....	227
Арнаулы салыстырмалылық теориясында масса, импульс және энергия, олар арасындағы байланыс.....	229
Релятивистік динамиканың негізгі заңы.....	233
Арнаулы салыстырмалылық теориясында сақталу заңдары.	234
Инерциялық емес санақ жүйелері. Инерция күштері.....	236
Дене ауырлығы. Салмақсыздық.....	239
Инерция және гравитация күштерінің эквиваленттік принципі. Жалпы салыстырмалылық теориясы туралы түсінік.....	241

VI БӨЛІМ. ҚАТТЫ ДЕНЕ МЕХАНИКАСЫ

Қатты дене материялық нүктелер жүйесі ретінде.....	245
Қатты дененің қозғалмайтын ось айналасында шеңбер бойымен қозғалысы.	
Инерция моменті, күш моменті, импульс моменті.....	248
Айналып тұрған қатты дененің кинетикалық энергиясы.....	254
Дене инерция моментінің айналу осіне байланыстылығы.....	258
Импульс моменті. Импульс моментінің сақталу заңы.....	263
Кориолис күштері.....	269
Қатты дене тепе-теңдігі және тепе-теңдік түрлері.....	275
Қарапайым механизмдер.....	279
Гироскоп және оның қолданылуы.....	283

VII БӨЛІМ. СҰЙЫҚ ЖӘНЕ ГАЗ ТӘРІЗДІ ЗАТТАР МЕХАНИКАСЫ

Сұйық және газ тәрізді заттардың түзілісі. Паскаль заңы.....	287
Барометрлік формула.....	299
Архимед заңы және Архимед күші.....	304
Сұйық ағысы.....	309
Торричелли формуласы. Сұйықтың ішкі үйкеліс күші.....	321
Тік ұшақ қанатының көтергіш күші.....	324

VIII БӨЛІМ. ТЕРБЕЛІСТЕР

Дене деформациясы және оның түрлері. Серпімділік күші.....	327
Тербелістер.....	331
Гармоникалық тербеліс	332
Маятниктер	335
Механикалық тербелістердің техникадағы ролі	343

IX БӨЛІМ. ТОЛҚЫНДАР

Акустика элементтері.....	347
---------------------------	-----

Тербелістердің серпімді ортада таралуы. Бойлық және көлденең толқындар.....	351
Толқынның қозғалыс теңдеулері.....	357
Толқынның қозғалыс энергиясы. Энергия ағысы. Умов векторы.....	360
Толқындар қосылуы (интерференциясы).....	363
Жазық және сфералық толқындар.....	367
Гюйгенс принципі.....	370
Дыбыс толқындарының таралуы. Дыбысты қабылдау.....	373
Газдарда дыбыс жылдамдығы.....	380
Допплер эффекті.....	382
Ультрадыбыстың техникалық қолданылуы.....	385
Механика пәнінен тест сұрақтары.....	395
Глоссарий (түсіндірме сөздік).....	411
Кестелер.....	414
Пайдаланылған әдебиеттер.....	431
Мазмұны.....	435

MUNDARIJA

Soʻz boshi.....	3
I-BOʻLIM. FIZIKA FANINING RIVOJLANISH TARIXI	
Fizika fanining rivojlanish tarixi. Fizika fanining boshqa fanlar bilan aloqasi.....	4
Fizik qonuniyatlar, fizik hodisalar va tushunchalar.....	14
Fizik kattaliklar va oʻlchov birliklari.....	21
II BOʻLIM. MODDIY NUQTA KINEMATIKASI	
Kirish. Fizika fani va olamni bilish.....	40
Moddiy nuqta va uning harakati.....	46
Vektorlar. Vektorlarning koordinatalardagi proyeksiyalari.....	64
Toʻgʻri chiziqli tekis harakat.....	66
Toʻgʻri chiziqli notekis harakat.....	75
Toʻgʻri chiziqli tekis oʻzgaruvchan harakat. Tezlanish.....	83
Jismning ilgarilamali harakati.....	90
Moddiy nuqtaning aylanma harakati.....	92
Jismning erkin tushishi.....	103
III BOʻLIM. MODDIY NUQTA DINAMIKASI	
Dinamika. Nyutonning birinchi qonuni.....	110
Taʻsir, qarshi taʻsir va kuch.....	116
Oʻzaro taʻsir va kuch tushunchasi.....	120
Ogʻirlik kuchi.....	126
Vazn va ogʻirlik kuchi.....	128
Kuchni oʻlchash. Kuch birliklari.....	130
Ishqalanish. Ishqalanish turlari. Ishqalanish kuchi va qarshilik kuchi.....	133
Elastiklik kuchi.....	152

Jismning elastiklik kuchi ta'siridan harakatlanishi.....	159
Nyutonning ikkinchi va uchinchi qonunlari.....	161
Klassik mexanikaning qo'llanilish chegarasi.....	164
Jism impulsi.....	166
Yopiq sistema. Sistema impulsining saqlanish qonuni.....	167
Massalar markazi	169
O'zgaruvchan massali jism harakati. Mesherskiy va Siolkovski tenglamalari.....	174

IV BO'IIM. ISH, ENERGIYA VA QUVVAT

Ish, energiya va quvvat to'g'risida tushuncha.....	179
Jismning kinetik energiyasi.....	185
Jismning potensial energiyasi.....	187
Potensial (konservativ) va dissipativ kuchlar.....	191
Elastik deformatsialangan jismning potensial energiyasi.....	194
Butun olam tortishish qonuni. Tortishish maydoni.....	195
Gravitasion maydon energiyasi va potentsiali.....	199
Konservativ va dissipativ sistemada energiyaning saqlanishi.....	201
Ichki energiya. Potensial va sistemaning muvozanat sharti.....	206
Og'irlik kuchi. Kosmik tezliklar.....	208

V BO'IIM. MAXSUS NISBIYLIK NAZARIYASINING ASOSLARI

Nyuton mexanikasida nisbiylik prinsipi. Galiley almashtirishlari.....	215
Eynshteyn postulotlari. Lorens almashtirishlari.....	218
Bir vaqtlilik, vaqt oralig'ining va kesmaning nisbiyligi. Interval.....	221
Tezliklarni qo'shishning relyativistik qonuni.....	227
Maxsus nisbiylik nazariyasida massa, impuls va energiya, ular orasidagi bog'lanish.....	229
Relyativistik dinamikaning asosiy qonuni.....	233
Maxsus nisbiylik nazariyasida saqlanish qonunlari.....	234
Noinersial sanoq sistemalari. Inersiya kuchlari.....	236
Jism og'irligi. Vaznsizlik.....	239
Inersiya va gravitatsiya kuchlarining ekvivalentlik prinsipi. Umumiy nisbiylik nazariyasi to'g'risida tushuncha.....	241

VI BO'IIM. QATTIQ JISM MEXANIKASI

Qattiq jism moddiy nuqta sistemasi sifatida.....	245
Qattiq jismning qo'zg'almas o'q atrofida aylanma harakati. Inertsiya, kuch, impuls momentlari.....	248
Aylanayotgan qattiq jismning kinetik energiyasi.....	254
Jism inersiya momentining aylanish o'qiga bog'liqligi.....	258
Impuls momenti. Impuls momentining saqlanish qonuni.....	263
Koriolis kuchlari.....	269
Qattiq jism muvozanati va muvozanat turlari.....	275
Oddiy mexanizmlar.....	279

Girooskop va uning qo'llanilishi.....	283
VII BO'IM. SUYUQ VA GAZSIMON MODDALAR MEXANIKASI	
Suyuq va gazsimon jismlarning tuzilishi. Paskal qonuni.....	287
Barometrik formula.....	299
Arximed qonuni va Arximed kuchi.....	304
Suyuqlik oqimi.....	309
Torrighelli formulasi. Suyuqning ichki ishqalanish kuchi.....	321
Samolyot qanotining ko'tarish kuchi.....	324
VIII BO'IM. TEBRANMA HARAKAT	
Jism deformatsiyasi va uning turlari. Elastiklik kuchi.....	327
Tebranma harakat.....	331
Garmonik tebranish.....	332
Mayatniklar.....	335
Mexanik tebranishlarning texnikada tutgan o'rni.....	343
IX BO'IM. TO'LQINLAR	
Akustika elementlari.....	347
Tebranishlarning elastik muhitda tarqalishi. Bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlar.....	351
To'lqinning harakat tenglamasi.....	357
To'lqin harakat energiyasi. Energiya oqimi. Umov vektori.....	360
To'lqinlarning qo'shilishi (interferensiyasi).....	363
Yassi va sferik to'lqinlar.....	367
Gyuygens prinsipi.....	370
Tovush to'lqinlarining tarqalishi. Tovushni qabul qilish.....	373
Gazlarda tovushning tezligi.....	380
Doppler effekti.....	382
Ultratovushlarning texnikada qo'llanilishi.....	385
Mexanika fanidan test savollari.....	395
Глоссарий.....	411
Jadvallar.....	414
Foydalanilgan adabiyotlar.....	431
Mundarija.....	435

Оглавления

Предисловие	3
Глава 1. История развития физики	
История развития физики. Связь физики с другими предметами.....	4
Физические законы, физические явление и понятие.....	14
Физические величины и единицы измерения.....	21
II ГЛАВА. КИНЕМАТИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ	

Введение. Физика и понятие вселенной.....	40
Материальная точка и её движение.....	46
Векторы. Проекция векторов в координатах.....	64
Прямолинейное равномерное движение.....	66
Прямолинейное переменное движение.....	75
Прямолинейное равномерное переменное движение. Ускорение.....	83
Поступательное движение тела.....	90
Вращательное движение материальной точки.....	92
Свободное падение тела.....	103

III ГЛАВА. ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ

Динамика. Первый закон Ньютона.....	110
Действие. Противодействие и сила.....	116
Понятие о силе и взаимодействии.....	120
Сила тяжести.....	126
Вес и сила тяжести.....	128
Измерения силы. Единицы измерения силы.....	130
Трения. Виды трения. Сила трения и сопротивления.....	133
Сила упругости.....	152
Движения тела под действием силы упругости.....	159
Второе и третье законы Ньютона.....	161
Граница применения классической механики.....	164
Импульс тела.....	166
Замкнутая система. Закон сохранения импульса системы.....	167
Центр масс.....	169
Движения тела переменной массы. Уравнения Мещерского и Циолковского.....	174

IV ГЛАВА. РАБОТА. ЭНЕРГИЯ И МОЩНОСТЬ

Понятие о работе, энергии и мощности.....	179
Кинетическая энергия тела.....	185
Потенциальная энергия тела.....	187
Консервативные и диссипативные силы.....	191
Потенциальная энергия упруго деформированного тела.....	194
Закон всемирного тяготения. Поле тяготения.....	195
Потенциал и энергия гравитационного поля.....	199
Сохранения энергии в консервативных и диссипативных системах.....	201
Внутренняя энергия. Потенциал и условия равновесия системы.....	206
Сила тяжести. Космические скорости.....	208

V ГЛАВА. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Принцип относительности механике Ньютона. Преобразование Галилея.....	215
Постулаты Эйнштейна. Преобразование Лоренца.....	218
Одновременность, относительность времени и Интервал.....	221
Релятивистический закон сложения скорости.....	227

Масса, импульс, энергия и взаимосвязь между ними в специальной теории относительности.....	229
Основные законы релятивистской динамики.....	233
Законы сохранения в специальной теории относительности	234
Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции	236
Вес тела. Невесомость.....	239
Принцип эквивалентности инерции и сила гравитации. Понятие об общей теории относительности.....	241
VI ГЛАВА. МЕХАНИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА	
Твёрдое тела в виде системы материальной точки	245
Движение твёрдого тела вокруг неподвижной оси. Моменты инерции, силы и импульса.....	248
Кинетическая энергия вращательного движения.....	254
Зависимости момента инерции тела от оси вращения.....	258
Момент импульса. Закон сохранения момента импульса.....	263
Сила Кориолиса.....	269
Равновесия твёрдого тела и виды равновесия.....	275
Простые механизмы.....	279
Гироскоп и его использование.....	283
VII ГЛАВА.МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗООБРАЗНОГО ВЕЩЕСТВА	
Строения жидкостей и газообразных тел	287
Барометрическая формула.....	299
Закон Архимеда и сила Архимеда.....	304
Поток жидкости.....	309
Формула Торричелли. Сила внутреннего трения жидкости.....	321
Подъёмная сила крыло самолёта	324
VIII ГЛАВА.КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ	
Деформация тела и её виды.....	327
Колебательное движение.....	331
Гармоническое колебание.....	332
Маятниктер	335
Маятники.....	343
Роль механических колебани в технике	
IX ГЛАВА. ВОЛНЫ	
Элементы акустики.....	347
Распространение колебаний в упругих средах. Продольные и поперечные волны	351
Уравнения движения волн.....	357
Энергия движения волн. Поток энергии. Вектор Умова.....	360
Сложение волн (Интерференция).....	363
Плоские и сферические волны.....	367
Принцип Гюйгенса.....	370
Распространение звуковых волн. Приём звука.....	373

Скорость звука в газах.....	380
Эффект Доплера.....	382
Применения ультразвука в технике.....	385
Тесты по механике.....	395
Глоссарий.....	411
Таблицы.....	414
Использованные литературы.....	431
Оглавления	435

TABLE OF CONTENTS

Foreword.....	3
CHAPTER I. HISTORY TEACHER of PROSPERITY	
The history teacher of the Renaissance. Teacher of physics with other subjects	
Athanasys.....	4
Physical laws, physical phenomena, concepts and.....	14
Physical quantity and units of measurements.....	21
CHAPTER II. KINEMATICS OF A MATERIAL POINT	
Introduction. Physics and the concept of the universe.....	40
A material point and its motion.....	46
Vectors. Projection of the vectors in the coordinates.....	64
Rectilinear uniform motion.....	66
Rectilinear alternating movement.....	75
Uniform variable rectilinear motion. Acceleration.....	83
The translational motion of the body.....	90
The rotational motion of a material point.....	92
Free fall body.....	103
CHAPTER III. DYNAMICS OF A MATERIAL POINT	
Dynamics. Newton's first law.....	110
Action. Counteraction and force.....	116
The concept of force and interaction	120
Gravity force.....	126
Force and gravity force.....	128
Force sensing. Measurements of force sensing.....	130
Friction. Types of friction. Force friction and resistance	133
Elastic force.....	152
The motion of bodies under the action of elastic force	159
The second and third laws of Newton	161
The boundary of the application of classical mechanics	164
Body Impulse	166
Closed system. The law of conservation of the momentum of the system	167
Center of Masses	169
Movement of a body of variable mass. Equations of Meshchersky and Tsiolkovsky	174

CHAPTER IV. A UNIT OF WORK. ENERGY AND POWER

The concept of work, energy and power	179
Kinetic energy of the body.....	185
Potential energy of the body.....	187
Conservative and dissipative forces	191
Potential energy of an elastically deformed body	194
The law of universal gravitation. The gravitational field	195
Potential and energy of the gravitational field	199
Conservation of energy in conservative and dissipative systems	201
Internal energy. Potential and equilibrium conditions of the system	206
Gravity. Space velocities	208

CHAPTER V. SPECIAL RELATIVITY

Principle of relativity of Newton's mechanics. Galilean transformation.....	215
Einstein postulates. Lorentz transformation	218
Simultaneity, time relativity and interval.....	221
Addition law.....	227
Mass, pulse, energy and their interconnection in special theory of relativity.....	229
Basic laws of (relative) dynamics.....	233
Conservation laws in the special theory of relativity	234
No inertial reference systems. The forces of inertia	236
Weight of body. Free fall.....	239
Inertia equivalence principle and gravitation force. The concept of special theory of relativity.....	241

CHAPTER VI. MECHANICS OF RIGID BODIES

Rigid bodies as a system of particle.....	245
Gyration of rigid body about a fixed axis. Moment of inertia, power and pulse signal.....	248
Kinetic energy of angular motion.....	254
Increased moment of inertia of the body axis of rotation.....	258
Moment of force and angular momentum. The law of conservation of momentum.....	263
Coriolis force.....	269
Balance of rigid body and its types.....	275
Simple mechanisms.....	279
Gyroscope and its use	283

CHAPTER VII. FLUID MECHANICS AND GASEOUS SUBSTANCE

TSL liquid and gaseous substances. The Pascal's law.....	287
Barometric height formula.....	299
Archimedes principle and buoyancy force	304
Jet of liquid.....	309
Torricelli formula. Viscous fluid force.....	321
Lifting force of an airplane wing.....	324

CHAPTER VIII. OSCILLATORY MOTION

Rigid body deformation.....	327
Oscillatory motion	331
Harmonic oscillation.....	332
Pendulums.....	335
The role of mechanical oscillations in engineering	343

CHAPTER IX. WAVES

Elements Of Acoustics.....	347
The propagation of elastic vibrations in the environment. Jogging,running transverse waves and.....	351
The equation of motion of the wave.....	357
The energy of wave motion. The flow of energy. Vector of Umov.....	360
Accession waves (interference).....	363
Plane wave and steric.....	367
Huygens principle.....	370
The propagation of sound waves. The sound reception.....	373
The speed of sound in gases.....	380
Doppler effect.....	382
Ultradistance of obtaining and their use.....	385
Tests on mechanics.....	395
Glossary.....	411
Tables.....	414
Used literature	431
TABLE OF CONTENTS	435