

М. Ҳ. УЛМАСОВА, Ж. КАМОЛОВ, Т. ЛУТФУЛЛАЕВА

ФИЗИКА

Ї К И Т О Б

МЕХАНИКА, МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА
ВА ИССИҚЛИК

Қайта ишланган ва тўлдирилган 2- наشري

*Ўзбекистон Республикаси Халқ таълими
Вазирлиги физикани мустақил ўрганувчилар
учун ўқув қўлланмаси сифатида
тавсия этган*

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ» 1997

Тақризчилар: профессор *М. Х. Холматов*,
физика-математика фанлари номзоди *М. С. Исамухамедова*,
катта ўқитувчи *Ҳ. Эшонов*.

Махсус муҳаррир физика-математика фанлари
номзоди, доцент *Б. Ж. Йўлдошев*.

Ушбу қўлланма олий ўқув юртларига кирувчилар учун мўлжалланган физикадан дастурлар асосида ёзилган бўлиб, унда физика курсининг назарий асослари баён қилинган. Назарий билимларни чуқурроқ ўзлаштириш мақсадида такрорлаш учун саволлар, масала ечиш намуналари ва мустақил ечиш учун масалалар берилган.

Қўлланма олий ўқув юртларига кирувчиларнинг тест саволларига назарий ва амалий жиҳатдан пухтароқ тайёрланишлари учун мўлжалланган бўлиб, ундан физикани мустақил ўрганувчилар, ўрта мактаб ўқитувчилари ва юқори синф ўқувчилари фойдаланишлари мумкин.

У 42

Улмасова М. Х. ва бошқ.

Физика. К. I. Механика, молекуляр физика
ва **иссиқлик. Мустақил ўрганувчилар учун ўқув**
қўлл/М. Х. Улмасова, Ж. Камолов, Т. Лутфуллаева/—2- қайта
ишланган ва тўлдирилган
нашр.— Т. Ўқитувчи, 1997.—296 б.

1. 1, 2 Автордош.

ББК 22.36 я7+22.2я7

У 4306020400—229
353 (04) — 97 142—96

© «Ўқитувчи» нашриёти, Т., 198
© «Ўқитувчи» нашриёти, 2- наш
Т., 1997

ISBN 5-645-02862-7

СУЗ БОШИ

Истиқлол йўлини танлаган Ўзбекистон Республикасининг равнақи, иқтисодий мустақилликка тўла эришиши ва бу мустақилликни янада мустаҳкамлаш келажак авлоднинг — юксак маданиятли, чуқур ва пухта билимли, ҳамма томонлама тадбиркор ва ишбилармон ёшларнинг қўлидадир. Бу эса деярли барча ёшларнинг, айниқса ишлаб чиқаришда илғор бўлган йигит-қизларнинг олий ва махсус ўқув юртларида ўз билимларини кенгайтиришларини ва янгидан-янги касбларни эгаллаб, етук мутахассислар бўлиб етишишларини, халқ хўжалигининг барча соҳаларида муваффақиятли меҳнат қилишлари учун ўз билимларини мунтазам равишда бойитиб боришларини тақозо этади. Бунинг учун бизда барча шарт-шароитлар мавжуд.

Ушбу қўлланма муаллифларининг асосий мақсади қўлланма орқали ёшларнинг мактабда физикадан олган билимларини янада мустаҳкамлашдан, уларнинг синов тестларидан муваффақиятли ўтиб, олий ўқув юртларида муваффақият билан ўқишларига тайёрлашдан иборатдир.

Қўлланма олий ўқув юртларига кирувчилар учун мўлжалланган физика дастурларига асосан Низомий номли Тошкент Давлат педагогика институти умумий ва экспериментал физика ва физика ўқитиш методикаси кафедраларининг бир гуруҳ ўқитувчилари томонидан яратилди. Бунда улар ўзларининг кўп йиллик иш тажрибалари асосида физиканинг асосий қонунлари ва тушунчалари, уларнинг техника ҳамда ҳаётга татбиқи билан ўқувчиларни таништиришга ҳаракат қилдилар.

Физикани чуқурроқ ўзлаштиришга қулайлик яратиш мақсадида материалнинг назарий қисми берилгандан сўнг ўз билимини текшириш учун саволлар, олган назарий билимларини татбиқ қилиш учун типик масалаларнинг ечилиши, сўнгра мустақил ечиш учун масалалар берилган. Физикадан дастур материалининг ҳажми катта бўлгани сабабли қўлланма икки қисмга бўлиб наشر этилди. Китобнинг биринчи қисмида физиканинг «Механика, механик тебранишлар ва тўлқинлар, молекуллар физика ва иссиқлик» бўлимлари баён этилган бўлиб, ккинчи қисмида эса «Электр ва магнетизм, оптика, атом ва ядро физикаси» бўлимлари берилди.

Муаллифлар ушбу ўқув қўлланманинг қўл ёзмаси билан танишиб чиқиб, ўз маслаҳатлари билан унинг сифатини яхши-лашда хисса қўшган профессор Ж. А. Тошхоновага, физика-математика фанлари номзоди Д. Ф. Пулатовага ва педагогика фанлари номзоди Н. Б. Гофуровга ўз миннатдорчиликларини билдирадilar.

Қўлланма физикани мустақил ўрганувчилар учун мўлжалланган бўлиб, ундан ўрта мактаб юқори синф ўқувчилари ва ўқитувчилари ҳам фойдаланишлари мумкин.

Муаллифлар ушбу қўлланма тўғрисидаги фикр ва мулоҳазаларингизни қуйидаги манзилгоҳга юборишингизни сўрайдилар: 700129 Тошкент, Навоий 30, «Ўқитувчи» нашриётининг физика-математика адабиёти таҳририяти.

Муаллифлар

КИРИШ

1-§. Физика предмети.

Физика ва табиий фанлар орасидаги боғланиш

Табиатда реал мавжуд бўлган ва бизнинг сезги аъзоларимиз ёки махсус асбоблар воситасида сезиш мумкин бўлган барча нарсалар фанда *материя* деб аталади. Материяга элементар зарралар (электронлар, протонлар, нейтронлар ва бошқалар), шундай зарралар йиғиндиси (атомлар, молекулалар, ионлар), физик жисмлар (кўплаб атомлар ва молекулаларнинг мажмуи) ва физик майдонлар (гравитацион, электромагнит майдонлар ва ҳоказолар) киради. Бу майдонлар воситасида турли моддий зарралар ўзаро таъсирлашади.

Олимлар табиатни кўп асрлар давомида ўрганиб, материя ҳаракатсиз яшай олмайди, ҳаракатни материядан ажратиб ва йўқ қилиб бўлмайди, яъни *ҳаракат материянинг ажралмас хос-сасидир*, деган хулосага келдилар. Ҳаракат деганда материянинг табиатда бўладиган барча ўзгаришлари, бир турдан иккинчи турга айланишлари ва барча жараёнлар тушунилади.

Табиатда содир бўлувчи барча ҳаракатлар ва жараёнлар муайян қонунлар бўйича юз беради. Турли жараёнлар ва ҳодисалар орасидаги қонуний боғланишни очиш ва ўрганиш ҳар қандай фан тармоғининг бош мақсади ҳисобланади. Буни билиш эса инсон қўлига табиатдаги бирор ҳодиса қандай юз беришини олдиндан билишга, яъни келажакни олдиндан айтишга ва ўтмишни изоҳлашга ёрдам қиладиган усуллар бериш учун керак. Шундагина табиат ҳодисаларини инсон фойдасига ишлатиш мумкин.

Физика — жонсиз табиат қонунлари ўрганиладиган асосий табиёт фанларидан бири бўлиб, материя ҳаракатининг энг содда ва шу билан бирга энг умумий шакли бўлган механик, атом-молекуляр, гравитацион, электромагнит жараёнларни, шунингдек, атом ичидаги ва ядро ичидаги жараёнларни ўрганади. Физик ҳаракат шаклининг бу кўринишлари шунинг учун ҳам умумийки, бу ҳаракат шакллари материянинг бошқа фанлар ўрганадиган барча янада мураккаброқ (кимёвий, биологик) ҳаракатларида бўлади ва уларнинг ажралмас қисмидир.

Бироқ физиканинг бошқа фанлар билан боғланиши шунинг ўзидангина иборат бўлмай, балки физика яна барча табиёт ва амалий фанларнинг муваффақиятли ривожланиши учун зарур бўлган тадқиқотларни ишлаб чиқишга ва асбоблар яра-

тишга имкон беради. Ҳозирги вақтда бу фанларнинг барчасининг алоҳида физик бўлимлари бор: астрономияда—астрофизика, биологияда — биофизика, кимёда — физиккимё, электротехникада — электрофизика, геологияда — геофизика ва ҳоказо. Шунинг учун физика барча табиёт ва амалий фанларнинг яратилиши учун пойдевордир, дейиш мумкин.

Табиат ҳақидаги фанлар ичида техника тараққиёти учун физика энг катта аҳамиятга эга. Физика техниканинг асосидир, чунки физика қонунлари техникада кўп қўлланилади. Физика соҳасидаги янги кашфиётлар мавжуд техниканинг яхшиланиши ёки янги техниканинг пайдо бўлишига сабаб бўлади. Техниканинг тараққиёти ўз навбатида фаннинг янада ривожланишига олиб келади.

XX асрда физика соҳасида кўплаб муҳим кашфиётлар қилинди. Физикларнинг энг муҳим кашфиётларидан бири ядро энергиясини амалий ҳосил қилиш усулларини ишлаб чиқиш ва ундан халқ хўжалигида фойдаланиш бўлди, атом электростанциялари ва атом музёра кемалари қурилди.

Жуда юқори температурали ва юқори босимли буғ ҳосил қилиш усулларини тадқиқ қилиш асосида катта қувватли буғ турбиналари қурилди. Ҳавода жисмнинг товуш тезлигида ва товушдан тез ҳаракатлари қонунларини ўрганиш ва реактив двигателлар соҳасида қўлга киритилган ютуқлар асосида самолётсозликда ва ракетасозликда катта муваффақиятларга эришилди. Коинотга Ернинг сунъий йўлдошлари чиқарилди ва сунъий «сайёра» яратилди: инсон космосга қадам қўйди. Ойга, Венерага ва Марсга автоматик станцияларни қўндириш амалга оширилди ва ҳоказо. Буларнинг ҳаммаси фаннинг турли соҳаларида, жумладан, физика соҳасида эришилган улкан ютуқлар тўғайли мумкин бўлди.

2- §. Физик катталиклар ва уларни ўлчаш. Бирликлар системаси

Физик жисмлар, майдонлар ва физик ҳодисаларнинг муайян хоссаларини характерловчи катталиклар *физик катталиклар* дейилади. Масалан, жисмнинг массаси, температураси, ҳаракат тезлиги, иш, энергия ва бошқалар физик катталиклардир.

Кўпгина физик қонунлар турли физик катталикларни боғловчи формулалар кўринишида ифодаланади. Бу катталикларнинг сон қийматларини ҳосил қилиш учун физик катталикларни *ўлчаш* зарур бўлади. Физик катталикларни ўлчаш бу катталикларни у билан бир жинсли бўлган ва бирлик қилиб олинган физик катталик билан таққослаш демакдир. Ҳар бир бирлик қатъий аниқланган ва ўзгармас бўлиши керак. Ҳар бир физик катталикнинг бирлигини ихтиёрий танлаш мумкин. Бироқ амалда бирликларни бундай танлаш ниҳоятда ноқулай. Шунинг учун фақат баъзи физик катталиклар учунгина бирлик ихтиёрий тан-

ланади. Бу физик катталикларнинг бирликлари *асосий бирликлар* деб юритилади. Қолган барча физик катталикларнинг бирликлари бу катталикларни асосий катталиклар билан боғловчи қонулар (формулалар) асосида олинади. Бундай катталикларнинг бирликлари *ҳосилавий бирликлар* деб юритилади.

Физик катталикларнинг барча асосий ва ҳосилавий бирликлари тўплами *бирликлар системаси* дейилади.

Ҳозирги вақтда «Халқаро бирликлар системаси»—СИ (интернационал система) қабул қилинган (СИ ни қўшиб «си» эмас, балки «эс—и» деб ажратиб ўқиш лозим). СИ нинг асосий физик катталиклари бўлиб узунлик, масса, вақт, термодинамик температура, электр ток кучи, ёруғлик кучи ва модда миқдори ҳисобланади. Физик катталикларнинг асосий бирликлари қилиб, мос равишда еттита бирлик олинган: метр (м), килограмм (кг), секунд (с), кельвин (К), ампер (А), кандела (кд) ва моль (моль). Бундан ташқари, бу системада яна иккита қўшимча бирлик—марказий бурчак бирлиги радиан (рад) ва фазовий бурчак бирлиги стерadian (ср) қабул қилинган.

СИ бирликлари билан бир қаторда амалда физик катталикларнинг системага кирмаган бирликлари ҳам ишлатилади.

Бу қўлланмада барча материаллар асосан СИ да баён қилинган бўлиб, баъзи ҳолларда СИ бирликлари билан системага кирмаган бирликлар орасидаги боғланишлар ҳам келтирилади.

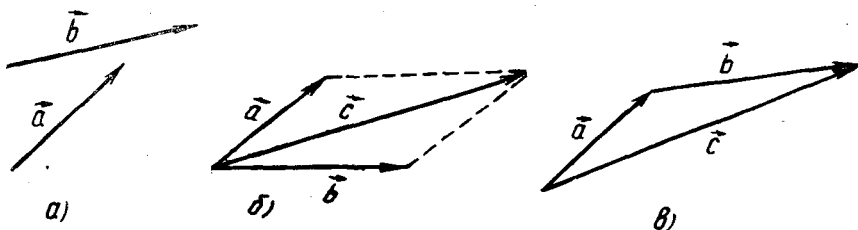
3- §. Скаляр ва вектор катталиклар. Векторларни қўшиш ва айириш

Барча физик катталиклар асосан икки гуруҳга бўлинади: *скаляр катталиклар* (скалярлар) ва *вектор катталиклар* (векторлар). Улчов бирликларининг тегишли системасида *фақат сон қийматлари билан тўлиқ аниқланадиган физик катталиклар скаляр катталиклар дейилади*. Масалан, вақт, ҳажм, масса ва энергия скаляр катталиклардир. Скалярларга доир амаллар алгебра қоидаларига мувофиқ бажарилади.

Сон қийматлари ва йўналишлари билан тўлиқ аниқланадиган физик катталиклар вектор катталиклар дейилади. Масалан, тезлик, тезланиш, куч кабилар векторлардир. Чизмаларда векторлар стрелкали тўғри чизиқ кесмалари ҳолида тасвирланади. Кесманинг узунлиги қабул қилинган масштабда векторнинг модулини (сон қийматини) берса, стрелканинг учи эса векторнинг йўналишини кўрсатади.

Сон қийматлари ва йўналишлари бир хил бўлган векторлар ўзаро тенг бўлади. Бундан векторни ўз-ўзига параллел кўчириш мумкин, деган ҳулоса келиб чиқади. Сон қийматлари тенг, бироқ қарама-қарши йўналган векторлар *қарама-қарши векторлар* дейилади.

Векторларга доир амаллар вектор ҳисоби қоидаларига асосан бажарилади. Улардан баъзилари билан танишиб чиқамиз:



1- расм.

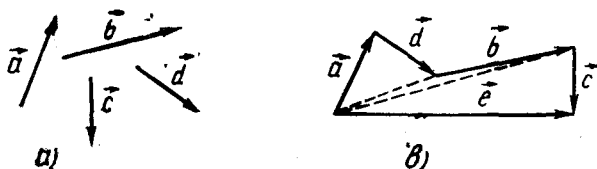
а) Векторларни қўшиши. Векторлар параллелограмм қоидасига мувофиқ қўшилади. Масалан, \vec{a} ва \vec{b} векторларни қўшиш учун (1-а расм) параллел кўчириш йўли билан уларнинг бошларини устма-уст тушириш ва векторлардан параллелограмм ясаш керак (1-б расм). Параллелограммнинг катта диагонали бўлган \vec{c} вектор изланаётган йиғинди (натижавий) вектор бўлади:

$$\vec{a} + \vec{b} = \vec{c}.$$

Векторларни учбурчак қоидаси деб аталадиган усулда ҳам қўшиш мумкин (1-в расм). Бунинг учун иккинчи (\vec{b}) векторнинг бошини биринчи (\vec{a}) векторнинг охири билан устма-уст тушадиган қилиб ўзига параллел кўчирамиз. У ҳолда биринчи (\vec{a}) векторнинг бошидан иккинчи (\vec{b}) векторнинг охирига ўтказилган учинчи (\vec{c}) вектор натижавий вектор бўлади.

Вектор катталикларни қўшиш алгебраик қўшишдан фарқли бўлиб, уни геометрик қўшиш дейилади. Қўшиш натижаси эса геометрик йиғинди дейилади.

Векторларни қўшишнинг юқорида кўрилган иккала усули ҳам бир хил натижа беради. Бироқ иккитадан кўпроқ векторларни қўшиш учун учбурчак усули осонроқ ва қулайроқдир. Масалан, тўртта \vec{a} , \vec{b} , \vec{c} ва \vec{d} векторларни қўшишни кўрайлик (2-а расм). Бу ҳолда иккинчи векторнинг боши биринчи векторнинг охири билан, учинчи векторнинг боши иккинчи векторнинг охири билан ва ҳоказо устма-уст туширилади (2-б расм). Биринчи векторнинг бошини энг сўнгги векторнинг охири билан бирлаштирувчи \vec{e} вектор



2- расм.

берилган векторларнинг йиғиндисига тенг бўлиб натижавий векторни ифодалайди:

$$\vec{e} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}.$$

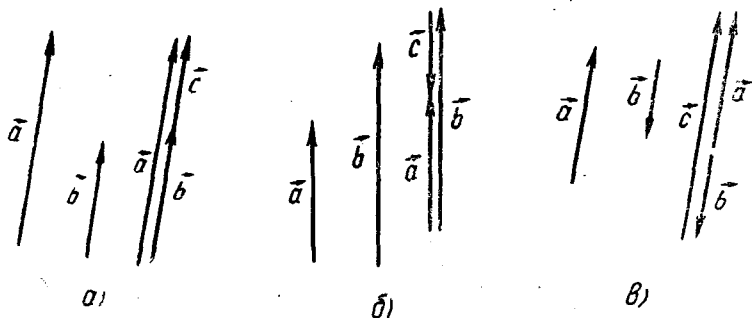
Бу натижавий вектор векторларнинг қўшилиш кетмакетлигига боғлиқ эмас, бунга тегишли яшашлар орқали ишонч ҳосил қилиш мумкин (2-в расм).

б) Векторларни айириш. Икки \vec{a} ва \vec{b} векторнинг (3-а расм) айирмаси деб шундай \vec{c} векторга айтиладики, уни \vec{b} вектор билан қўшганда \vec{a} вектор ҳосил бўлсин (3-б расм). $\vec{a} - \vec{b}$ айирмани

$$\vec{a} - \vec{b} = \vec{a} + (-\vec{b})$$

кўринишида ёзиш мумкин. Шу сабабли $\vec{c} = \vec{a} - \vec{b}$ векторни \vec{a} векторга катталиги \vec{b} векторга тенг, аммо йўналиши унга тескари бўлган векторни қўшиб ҳосил қилиш мумкин. 3-б расмдан \vec{a} ва \vec{b} векторларнинг айирмасини топиш учун уларни бир нуқтадан чиқадиган қилиб жойлаштириш ва бу векторларнинг охириларини иккинчи \vec{b} вектордан биринчи \vec{a} векторга (айирилувчидан камаювчига) қаратиб йўналган кесма билан туташтириш кераклиги кўриниб турибди. Йўналишга эга бўлган бу кесма векторлар айирмасига тенг бўлади.

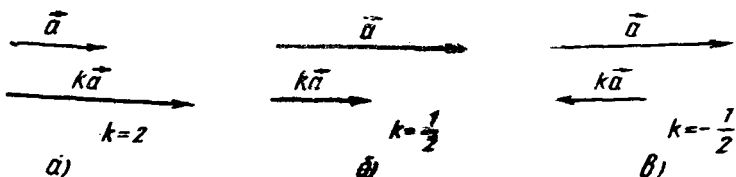
Параллел векторларни ҳам мана шу қоида бўйича айириш мумкин (4-а, б, в расмлар). Бу ҳолни кўриб чиқишни китобхонларнинг ўзларига ҳавола қиламиз.



4- расм.

4-§. Векторни скаляр катталиққа кўпайтириш ва бўлиш

Бирор \vec{a} вектор ва k скаляр берилган бўлсин, \vec{a} векторни k скалярга кўпайтирганда унинг модули k марта ўзгаради ва катталиғи $k\vec{a}$ га тенг бўлган вектор ҳосил бўлади. Бу k скаляр катталиқ турли (бутун, каср, мусбат ва манфий) қийматларга эга бўлиши мумкин.



5-расм.

Шунинг учун бу қонда аynи вақтда векторни скалярга бўлиш қондаси ҳам бўла олади. Агар $k > 1$ бўлса, \vec{a} векторнинг модули ортади (5-а расм), $k < 1$ бўлса, унинг модули камаяди (5-б расм). Агар k скаляр мусбат бўлса, $k\vec{a}$ векторнинг йўналиши \vec{a} векторнинг йўналиши билан бир хил бўлади (5-а, б расмлар). Агар k скаляр манфий бўлса, $k\vec{a}$ вектор \vec{a} векторга қарама-қарши йўналади (5-в расм).

5-§. Векторларнинг скаляр ва вектор кўпайтмаси

Иккита векторни бир-бирига икки усул — скаляр ва вектор усуллари билан кўпайтириш мумкин: биринчи усул натижада скаляр катталиққа олиб келади, иккинчи усулда эса бирор янги вектор ҳосил қилинади.

\vec{a} ва \vec{b} иккита векторнинг скаляр кўпайтмаси деб, бу векторлар модулларининг улар орасидаги бурчак косинусига кўпайтмасига айгилади. Скаляр кўпайтма $\vec{a} \cdot \vec{b}$ кўринишида ифодаланади.

Демак, таърифга кўра \vec{a} ва \vec{b} векторларнинг скаляр кўпайтмаси қуйидагича ёзилади:

$$\vec{a} \cdot \vec{b} = a \cdot b \cos(\widehat{a, b}) = a \cdot b \cos \varphi,$$

бу ерда $\varphi = \widehat{a, b}$ бурчак \vec{a} ва \vec{b} векторлар орасидаги бурчакни ифодалайди.

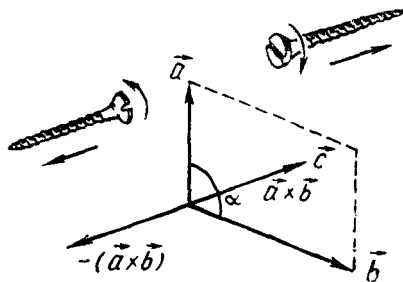
Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси скаляр катталиқ бўлиб, $\cos \varphi$ нинг ноқадан катта ёки кичик бўлишига, яъни \vec{a} ва \vec{b} векторлар ҳосил қилган бурчакнинг ўткир ёки ўтмас бўлишига қараб мусбат ёки манфий бўлади.

Агар векторлар параллел бўлса, у ҳолда скаляр кўпайтма $\vec{a} \cdot \vec{b} = \pm a \cdot b$ га тенг бўлади, чунки $\cos 0^\circ = 1$, $\cos 180^\circ = -1$.

Агар векторлар перпендикуляр бўлса, $\cos 90^\circ = 0$ бўлгани учун векторларнинг скаляр кўпайтмаси $\vec{a} \cdot \vec{b} = 0$ бўлади.

Вектор кўпайтманинг асосий қондаси қуйидагича: \vec{a} ва \vec{b} векторларнинг вектор кўпайтмаси деб қуйидаги хоссаларга эга бўлган \vec{c} векторга айтилади:

1) \vec{c} векторнинг модули кўпайтирилаётган векторларнинг модуллари билан улар орасидаги α бурчак синусининг кўпайтмасига тенг: $c = a \cdot b \sin \alpha$; 2) \vec{c} вектор \vec{a} ва \vec{b} векторлар ётган текисликка нормал бўлиб, унинг йўналиши ўнг винт қондасига кўра танланади: агар винтни \vec{a} ва \vec{b} векторлар текислигида маҳкамланган гайкада \vec{a} дан \vec{b} томонга энг қисқа йўл билан айлантирсак, у ҳолда винт \vec{c} вектор бўйича силжийди (6-расм).



6-расм.

Вектор кўпайтма қуйидагича белгиланади:

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}.$$

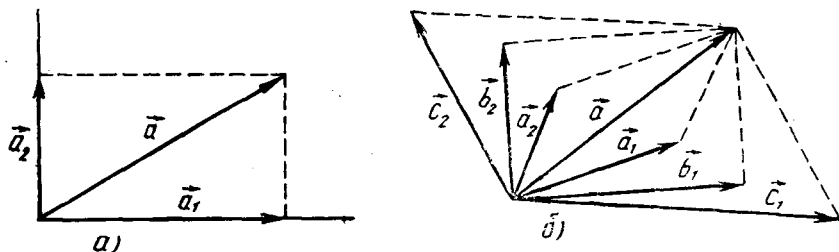
Вектор кўпайтманинг йўналиши биринчи (\vec{a}) кўпайтувчидан иккинчи (\vec{b}) га қараб бурилиш йўналишига боғлиқ бўлганлиги учун иккита векторнинг бир-бирига кўпайтириш натижаси кўпайтувчи ҳадлар тартибига боғлиқ бўлади. Кўпайтувчилар тартибининг ўзгариши натижавий вектор йўналишининг ўзгаришига олиб келади (6-расмга қ.), вектор кўпайтма нокоммутативдир, яъни

$$\vec{b} \times \vec{a} = -(\vec{a} \times \vec{b}).$$

Вектор кўпайтма таърифида \vec{c} векторнинг модули сон жиҳатидан \vec{a} ва \vec{b} векторлардан ясалган параллелограммнинг юзига тенглиги келиб чиқади.

6 §. Векторни ташкил этувчиларга ажратиш

Ҳар қандай \vec{a} векторни йиғиндиси \vec{a} векторни ҳосил қилувчи бир нечта: \vec{a}_1, \vec{a}_2 ва ҳоказо векторлар билан алмаштириш мумкин. Бу ҳолда \vec{a}_1, \vec{a}_2 ва ҳоказо векторлар \vec{a} векторнинг ташкил этувчилари дейилади. \vec{a} векторни бир нечта векторлар билан алмаштириш векторни ташкил этувчиларга ажратиш дейилади.



7- расм.

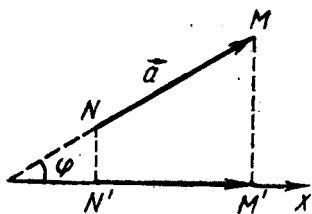
\vec{a} векторни ташкил этувчиларга ажратиш учун унинг бошидан вертикал ва горизонтал йўналишда бир-бирига перпендикуляр бўлган иккита кесишувчи тўғри чизиқ ўтказамиз (7-а расм). Сўнгра векторнинг учидан берилган чизиқларга параллел бўлган пунктир чизиқлар чизамиз. Пунктир чизиқлар туташ чизиқлар билан кесишиб, унда горизонтал a_1 ва вертикал a_2 ташкил этувчи векторларга сон қиймати жиҳатидан тенг бўлган кесмалар ажратади. 7-а расмдан векторни ташкил этувчиларга ажратиш векторларни қўшиш амалига тескари амал эканлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин. Шундай экан, берилган ҳар қандай векторни томонлари ҳар хил бўлган жуда кўп параллелограммларнинг диагонали сифатида тасвирлаш мумкин (7-б расм). Расмдан кўринишича, $\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2$, $\vec{a} = \vec{b}_1 + \vec{b}_2$ ва $\vec{a} = \vec{c}_1 + \vec{c}_2$ бўлади.

Амалда векторни бир-бирига перпендикуляр бўлган икки векторга ажратиш ҳоллари кўп учрайди. Бизга \vec{a} вектор ва фазодаги бирор йўналиш, масалан, X ўқ берилган бўлсин (8-расм). \vec{a} векторнинг боши билан охири орқали X ўққа NN' ва MM' перпендикулярлар ўтказамиз. Бу перпендикулярларнинг X ўқ билан кесишган N' ва M' нуқталари \vec{a} вектор боши билан охирининг проекциялари деб аталади. Перпендикулярлар орасидаги кесманинг катталиги \vec{a} векторнинг X йўналишдаги (ёки ўқдаги) a_x проекцияси деб аталади. Векторнинг проекцияси скаляр катталиқ бўлади. 9-расмдан \vec{a} векторнинг X ўқдаги проекцияси унинг ўша ўқдаги $N'M'$ ташкил этувчиси узунлигига сон жиҳатидан тенг бўлган скаляр катталиқ эканлиги кўриниб турибди. Агар векторнинг мазкур ўқдаги ташкил этувчиси шу ўқ билан бир хил йўналган бўлса, проекция мусбат бўлади, акс ҳолда — проекция манфий бўлади. \vec{a} векторнинг X ўқ билан ҳосил қилган бурчагини φ билан белгилаб, a_x проекцияни қуйидагича ҳисоблаш мумкин:

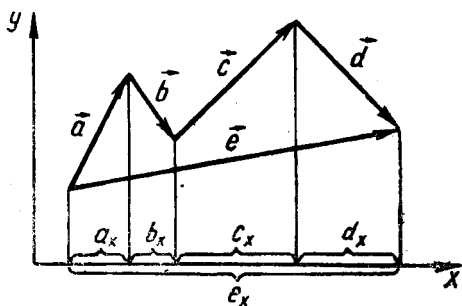
$$a_x = a \cos \varphi, \quad (1)$$

бу ерда a — вектор \vec{a} нинг модули.

Агар вектор берилган йўналиш билан ўткир бурчак ташкил



8- расм.



9- расм.

қилса, y ҳолда бу бурчакнинг косинуси мусбат, демак, векторнинг проекцияси ҳам мусбат бўлади. Агар вектор ўқ билан ўтмас бурчак ҳосил қилса, y ҳолда бу бурчакнинг косинуси ва векторнинг проекцияси манфий бўлади. Агар вектор берилган ўққа перпендикуляр бўлса, унинг проекцияси нолга тенг бўлади.

Агар вектор X , Y ва Z ўқлари билан мос равишда α , β ва γ бурчаклар ҳосил қилса, y ҳолда унинг проекциялари қуйидагича ифодаланади:

$$a_x = a \cos \alpha, a_y = a \cos \beta, a_z = a \cos \gamma. \quad (2)$$

Векторнинг учта ўққа проекциялари берилган бўлса, векторнинг ўзини ҳам яшаш мумкинлигини тушуниб олиш қийин эмас. Демак, ҳар қандай вектор катталики учта сон қиймат — координата ўқларидаги проекциялари билан берилиши мумкин экан. Аммо скаляр катталик эса фақат битта сон қиймат билан аниқланади.

Бир нечта векторнинг $\vec{e} = \vec{a} + \vec{b} + \vec{c} + \vec{d}$ йиғиндисининг бирор йўналишга проекцияси қўшилаётган векторларнинг ўша йўналишга проекциялари йиғиндиси $e_x = a_x + b_x + c_x + d_x$ га тенг эканлиги 9-расмдан кўриниб турибди.

Такрорлаш учун саволлар

1. Физик катталиклар деб қандай катталикларга айтилади?
2. Бирликлар системаси нима?
3. Асосий ва ҳосилавий бирликларни тушунтиринг.
4. Вектор ва скаляр катталикларни тушунтиринг.
5. Векторларни қўшиш ва айириш қондалари нимадан иборат?
6. Векторни скалярга кўпайтириш ва бўлишни тушунтиринг.
7. Берилган ўқ йўналишида вектор проекцияси қандай олинади?
8. Векторларни ташкил этувчиларга қандай ажратилади?
9. Векторларнинг скаляр кўпайтмаси қандай катталик ва у қандай аниқланади?
10. Векторларнинг вектор кўпайтмасини тушунтиринг. Вектор кўпайтма нокоммутатив деганда нимани тушунасиз?

1-б о б. КИНЕМАТИКА

7-§. Механик ҳаракатнинг нисбийлиги ва санок системаси

Материя ҳаракатининг энг содда тури механик ҳаракатдир. Жисмларнинг ёки жисм қисмларининг фазода бир-бирига нисбатан вақт ўтиши билан силжиши *механик ҳаракат* деб аталади. Механик ҳаракатда бир жисмнинг вазияти бошқа жисмларга нисбатан ўзгаради. Масалан, пароход қирғоққа нисбатан, поезд темир йўл изига нисбатан, трамвай, троллейбус, автобуслар дарахтларга нисбатан ҳаракат қилади ва ҳоказо. Аммо қирғоқ, темир йўл рельси ва дарахтларнинг ўзи ҳам Ер билан бирга ҳаракатланиб туради. Табиатда мутлақо ҳаракатсиз жисм йўқ.

Табиатдаги ҳамма жисмлар ҳаракатда бўлганлигидан ҳар қандай тинчлик нисбийдир.

Ҳар қандай тинчлик нисбий бўлгани каби, ҳар қандай ҳаракат ҳам нисбийдир.

Физиканинг жисмлар механик ҳаракатини ва нисбий тинчлик шароитларини ўрганадиган бўлими *механика* дейилади. Механика уч қисмга бўлинади: кинематика, динамика ва статика.

Механиканинг механик ҳаракатни уни юзага келтирган сабабларга боғлиқ бўлмаган ҳолда ўрганадиган бўлими *кинематика* дейилади.

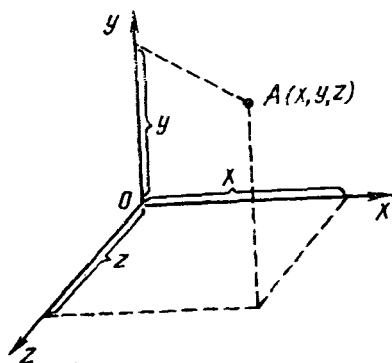
Механиканинг жисмларнинг ҳаракат қонунларини ҳаракатланаётган жисм массаларига ва таъсир этувчи кучларга боғлиқ ҳолда ўрганадиган бўлими *динамика* дейилади.

Механикада жисмни механик ҳаракатга келтира оладиган кучлар мавжуд бўлганда ҳам қузатилаётган жисм ўзининг нисбий тинч ёки мувозанат ҳолатини сақлайдиган ҳодисалар ҳам ўрганилади. Механиканинг куч таъсирида жисмларнинг мувозанат ҳолатларини сақлаш шартларини ўрганадиган бўлими *статика* дейилади.

Бир ҳаракатнинг ўзи турли жисмларга нисбатан қаралса, турлича бўлиб кўриниши мумкин. Мисол учун ҳаракатдаги автобус салонда ўтирган йўловчи ҳақида кондуктор «йўловчи ҳаракатсиз ўтирибди»,— деб айтади. Ўтиб кетаётган автобусни кузатувчи эса «йўловчи мендан узоқлашиб бормоқда»,— дейди. Йўловчи ҳаракатсиз ўтирибди, деб айтаётган кондуктор йўловчининг вазиятини салондаги нарсаларга нисбатан қарайди, кузатувчи эса йўловчининг вазиятини ўзига нисбатан ёки

ёнида турган жисмларга нисбатан кўзатади. Иккала кузатувчи йўловчининг вазиятини бошқа-бошқа икки жисмга нисбатан кўзатаётгани учун турлича хулосага келадилар. Аслини олганда, уларнинг иккаласи ҳам ҳақдир. Шунинг учун жисмнинг ҳаракатини тасвирлашда, яъни унинг вазиятининг ўзгаришини кўрсатишда, берилган жисмнинг ҳаракати қайси жисмга ёки жисмлар системасига нисбатан қаралишини танлаб олиш керак. Мазкур жисмнинг ҳаракати қандай жисм ёки жисмлар системасига нисбатан қаралаётган бўлса, ўша жисм ёки жисмлар системаси *саноқ боши системаси* ёки *саноқ системаси* деб аталади.

Ерда жисмларнинг ҳаракатини текширганда саноқ системаси қилиб одатда Ер ёки Ерга нисбатан ҳаракатсиз бўлган турли жисмлар олинади. Саноқ системаси қилиб олинган жисмга бирор координаталар системаси боғланади ва бунга нисбатан жисмлар ҳаракати ўрганилади. Одатда тўғри бурчакли Декарт координаталар системаси қўлланилади (10-расм). Бу ҳолда жисм турган A нуқтанинг вақтнинг исталган пайтидаги вазияти бирор шартлашиб олинган масштабда Ox ўқ бўйича ўлчанган x , Oy ўқ бўйича ўлчанган y ва Oz ўқ бўйича ўлчанган z масофалар билан тўлиқ аниқланади. x , y , z кесмалар A нуқтанинг координаталари бўлади.



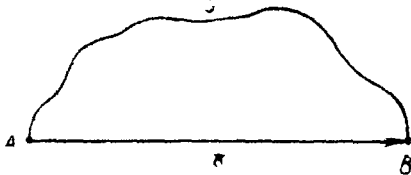
10-расм.

8-§. Моддий нуқта. Траектория. Кўчиш ва йўл

Жисмларнинг ҳаракати ҳақидаги кўпгина амалий масалаларда берилган жисмларнинг ўлчами ва шакли роль ўйнамасдан, балки уларнинг фақат массаси муҳим аҳамиятга эга бўлади. Бу ҳолда реал жисмни шун жисм массасига тенг массага эга бўлган нуқта деб қараш мумкин. *Кўриляётган ҳаракатда шакли ва ўлчамларини эътиборга олмас ҳам бўладиган жисм моддий нуқта* деб аталади. Масалан, Ернинг Қуёш атрофидаги ҳаракатини ўрганишда Ер ва Қуёшни моддий нуқталар деб олиш мумкин. Ернинг ўз ўқи атрофидаги ҳаракатини ўрганишда эса Ерни моддий нуқта деб қараш мумкин эмас, чунки Ернинг шакли ва ўлчамлари унинг айланма ҳаракати харақтирига анча таъсир кўрсатади.

Моддий нуқта ҳаракати фазода маълум қизиқ бўйлаб содир бўлади, бу қизиқнинг шакли турли-туман бўлиши мумкин.

Моддий нуқтанинг ўз ҳаракати давомидаги фазода чизган



11-расм.

чизиғи (қолдирган изи) траектория дейилади. Моддий нуқтанинг бирор вақт оралиғида ўтган траекториясининг узунлиги шу вақт ичида ўтилган йўл дейилади. Агар траектория тўғри чизиқдан иборат бўлса, тўғри чизиқли ҳаракат ёки аксинча, траектория эгри

ри чизиқдан иборат бўлса, эгри чизиқли ҳаракат деб аталади.

Фараз қилайлик, моддий нуқта бирор траектория бўйлаб A нуқтадан B нуқтага кўчган бўлсин (11-расм). Бу вақтда траектория бўйлаб ҳисобланган A ва B нуқталар орасидаги масофа ўтилган йўлни ифодалайди. Бу йўлни s билан белгилаймиз. Агар вақтнинг бошланғич пайтида жисм турган нуқта маълум бўлса, у ҳолда босиб ўтилган s йўлни ҳаракат траекторияси бўйлаб ётқизиб, t вақтдан сўнг жисм вазиятини топиш мумкин. Лекин траектория маълум бўлган ҳолдагина масала шунчалик осон ечилади. Жисмнинг ҳаракат траекторияси берилмаган ҳолларда унинг бошланғич вазияти ва босиб ўтган йўлнинг узунлиги маълум бўлганда ҳам жисмнинг охириги вазиятини топиб бўлмайди, чунки жисм бу йўлни исталган йўналишда ва исталган траектория бўйлаб босиб ўтиши мумкин. Бу ҳолда ҳам жисмнинг вазиятини топиш учун босиб ўтилган йўлни эмас, балки жисмнинг кўчиши деб аталадиган катталиқни билиш керак бўлади.

Жисмнинг бошланғич (A) вазиятидан охириги (B) вазиятига ўтказилган ва йўналишга эга бўлган тўғри чизиқ кесмаси моддий нуқтанинг кўчиши дейилади (11-расмга қаранг). Кўчишни s билан белгилаймиз, у вектор катталиқдир.

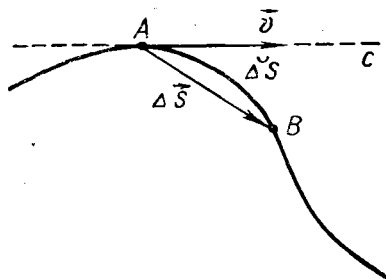
Шундай қилиб, моддий нуқтанинг ихтиёрий пайтдаги вазиятини топиш учун унинг бошланғич вазиятини ва шу пайтгача ўтган вақт давомида кўчишини билиш керак, s кўчишнинг бошини A нуқтага қўйсақ, шу кўчиш векторининг охири моддий нуқтанинг янги B вазиятини кўрсатади.

Тўғри чизиқли ҳаракатда траектория билан кўчиш устма-уст тушади. Бу ҳолда моддий нуқтанинг босиб ўтган йўли кўчишнинг модулига тенг, яъни, $s = |s|$ бўлади.

9-§. Тезлик. Уртача ва оний тезликлар

Кундалик кузатишларимиздан бир жисм иккинчи жисмдан тезроқ ёки секинроқ ҳаракатланишини биламиз. Масалан, поезд самолётдан секинроқ ёки автомобиль велосипеддан тезроқ ҳаракатланади. Жисмларнинг ҳаракати гоҳ секинлашиши, гоҳ тезлашиши мумкин. Масалан, автобус бекатга яқинлашаётганида унинг ҳаракати секинбетади ва, аксинча, бекатдан узоқ-

лашаётганида эса ҳаракати тезлашади. Жисмлар ҳаракатининг жадаллигини характерлаш учун *тезлик* тушунчаси киритилади. *Вақт бирлиги ичида жисмнинг ўтган масофасининг сон қийматига тенг бўлган физик катталиқ тезлик* дейилади. У вектор катталиқ бўлиб, \vec{v} билан белгиланади.



12-расм.

Моддий нуқта A нуқтадан B нуқтага эгри чизиқли траектория бўйлаб ҳаракат қилиб, Δt вақт оралиғида Δs йўлни ўтган бўлсин (12-расм). *Моддий нуқтанинг вақт бирлигида ўтган йўли билан ўлчанадиган физик катталиқ ҳаракатнинг $v_{\text{ўр}}$ ўртача тезлиги* дейилади:

$$v_{\text{ўр}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}. \quad (4)$$

Траекториянинг A нуқтасига AC уринма ва AB ватар ўтказамиз, бу ватар моддий нуқтанинг Δt вақт оралиғидаги Δs кўчишини кўрсатади. Ўртача тезликнинг катталиғи траекториянинг турли қисмларида турлича бўлади. Чунки у Δs йўлнинг катталиғига ёки худди шунинг ўзи Δt вақт катталиғига боғлиқ бўлади. Вақт оралиғини чексиз кичиклаштириб борамиз, яъни $\Delta t \rightarrow 0$ деб оламиз. Бу ҳолда B нуқта A нуқтага, AB ватар Δs ёйга интилади ва уларнинг ҳар иккаласи AC уринма билан устма-уст тушади. Шундай қилиб, кичик Δs ёй бўйлаб эгри чизиқли ҳаракат траекторияга A нуқтада ўтказилган уринманинг чексиз кичик кесмаси бўйлаб тўғри чизиқли ҳаракатга айланади. Шу Δs кичик йўлдаги ўртача тезлик эса A нуқтадаги v *оний ёки ҳақиқий тезликка* интилади. Шунинг учун оний тезликнинг катталиғи қуйидагича ифодаланади:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} v_{\text{ўр}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}. \quad (5)$$

Оний тезлик траекторияга ўтказилган уринма бўйлаб йўналган. $\Delta t \rightarrow 0$ да Δs кўчиш билан Δs йўл (ёй) устма-уст тушишини назарга олиб,

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \vec{v}_{\text{ўр}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{s}}{\Delta t} = \frac{d\vec{s}}{dt} \quad (5a)$$

деб ёзиш мумкин.

Шундай қилиб, траекториянинг ихтиёрий нуқтасида ҳаракатнинг оний тезлиги траекторияга ўтказилган уринма бўйлаб йўналган, катталиғи жиҳатидан эса вақт оралиғи нолга интилганда ўртача тезлик лимитига тенг бўлган вектор катталиқдир.

Тезлик бирлиги қилиб ~~ичидей~~ ҳаракатнинг тезлиги қабул

қилинадик, бунда жисм вақт бирлиги давомида масофа бирлигига тенг йўлни босиб ўтади.

СИ да тезлик борлиги бир секунд ичида бир метр йўл босиладиган ҳаракатнинг тезлигидан иборат бўлади. Тезлик таърифига кўра

$$[v] = \frac{[\Delta s]}{[\Delta t]} = \frac{1 \text{ м}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Амалда тезликнинг $1 \frac{\text{см}}{\text{с}}$, $1 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ ва бошқа бирликлари ҳам қўлланилади. Тезликнинг бу бирликлари орасида қуйидаги боғланиш мавжуд:

$$1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = \frac{10^{-2} \text{ м}}{\text{с}} = 1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad 1 \frac{\text{км}}{\text{соат}} = \frac{10^3 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{10}{36} \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Ҳар қандай жисмнинг ҳаракатини бир нечта содда ҳаракатдан иборат бўлган мураккаб ҳаракат деб қараш мумкин. Мураккаб ҳаракатнинг тезлигини, векторларни қўшиш қоидаларига мувофиқ (3 § га қ.), содда ҳаракатлар тезликларини қўшиш йўли билан топилади.

10-§. Тезланиш. Тезланишнинг нормал ва тангенциал ташкил этувчилари

Вақт ўтиши билан тезликнинг катталиги ва йўналиши ўзгариб борадиган ҳаракат табиатда кўп учрайди. Тезликнинг бундай ўзгаришини характерлаш учун *тезланиш* деган физик катталиқ киритилади.

Вақт бирлиги ичида тезлик вектори ўзгаришининг сон қийматига тенг бўлган физик катталиқ тезланиш дейилади. Тезланиш вектор катталиқ бўлиб, \vec{a} ҳарфи билан белгиланади.

Агар жисмнинг A нуқтадаги \vec{v}_0 бошланғич тезлиги Δt вақт давомида B нуқтада \vec{v} қийматгача ўзгарган бўлса (13-расм), таърифга мувофиқ тезланиш қуйидагига тенг бўлади:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (6)$$

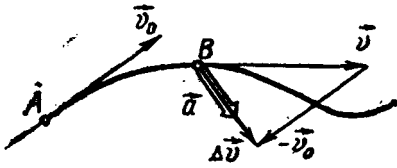
Тезланиш бирлиги қилиб вақт бирлиги ичида тезлиги бир бирликка ўзгарадиган ҳаракатнинг тезланиши қабул қилинади.

СИ да тезланиш бирлиги қилиб тезлиги ҳар секундда 1 м/с га ўзгарадиган ҳаракатнинг тезланиши қабул қилинади, яъни

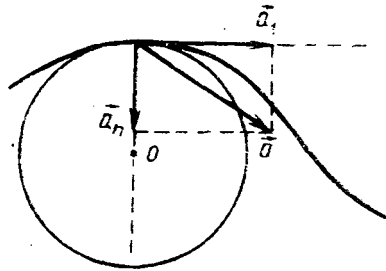
$$[a] = \frac{[\Delta v]}{[\Delta t]} = \frac{1 \text{ м/с}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Амалда тезланишнинг $1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$ бирлигидан ҳам фойдаланилади.

Бу бирликлар орасидаги боғланиш қуйидагича бўлади:



13- расм.



14- расм.

$$1 \frac{\text{см}}{\text{с}^2} = \frac{10^{-2} \text{ м}}{\text{с}^2} = 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Тезланишнинг таърифига биноан моддий нуқта эгри чизиқли траектория бўйлаб катталиқ жиҳатидан ўзгармас тезлик билан ҳаракатланаётганда ҳам тезланиш нолга тенг бўлмайди, чунки бунда тезлик векторининг йўналиши ўзгаради.

Механик ҳаракатларни ўрганишда кўпинча моддий нуқтанинг тезланиш векторини иккита геометрик ташкил этувчиларга ажратиб қабул қилинган, улардан бири траекторияга уринма бўйлаб йўналган бўлиб, уни *уринма* ёки *тангенциал тезланиш* деб аталади ва \vec{a}_t билан белгиланади, иккинчиси траекторияга нормал равишда йўналган бўлиб, уни *нормал* ёки *марказга интилма тезланиш* деб аталади ва \vec{a}_n билан белгиланади (14- расм).

Тезланиш ва унинг ташкил этувчилари ўзаро қуйидаги муносабатлар билан боғланган (14- расмга қ.):

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n, \quad a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2}. \quad (6a)$$

Тангенциал тезланиш тезликнинг миқдор жиҳатидан ўзгаришینی характерлайди. Агар тезлик миқдор жиҳатидан ўзгармаса, у вақтда $\vec{a}_t = 0$ ва $\vec{a} = \vec{a}_n$ бўлади.

Нормал тезланиш тезликнинг йўналиш бўйича ўзгаришینی характерлайди. Агар тезликнинг йўналиши ўзгармаса (ҳаракат тўғри чизиқли), бунда нормал тезланиш нолга ($\vec{a}_n = 0$) тенг ва $\vec{a} = \vec{a}_t$ бўлади.

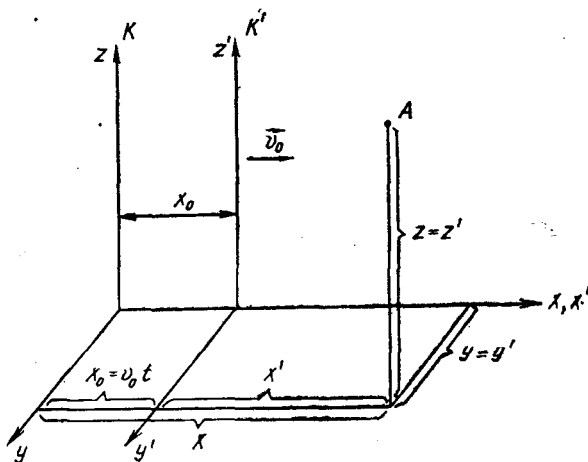
Юқоридагилардан, эгри чизиқли ҳаракат ҳамма вақт тезланишли бўлади, деган хулосага келамиз, чунки бунда тезлик албатта (ҳеч бўлмаганда унинг йўналиши) ўзгаради.

11- §. Тезликларни қўшиш. Ньютон механикасида нисбийлик принципи

Бир-бирига нисбатан тўғри чизиқли текис ҳаракат қиладётган иккита саноқ системасининг бирида динамиканинг биринчи қонунини ўринли бўлса, бундай саноқ системаларини *инерциал саноқ системалари* деб аталади (II боб, 24-§ га қ.).

Инерциал саноқ системаларига нисбатан бирор моддий нуқтанинг ҳаракатини кўриб чиқайлик. Масалан, вагон рельсга нисбатан илгариланма текис ҳаракат ва бирор моддий нуқта — одам вагонга нисбатан ҳаракат қилаётган бўлсин. Саноқ системалардан бирини (рельсга маҳкамланганини) тинч турган, иккинчисини (вагонга маҳкамланганини) ҳаракатланувчи деб қабул қиламиз. Ҳаракатланувчи саноқ системасида (вагонда) моддий нуқта (одам) нинг ҳаракати *нисбий ҳаракат* дейилади; тинч турган (шартли) саноқ системаси (рельс)га нисбатан ҳаракатланувчи система (вагон)даги моддий нуқта (одам)нинг ҳаракати *абсолют ҳаракат* дейилади ва ҳаракатланаётган саноқ системаси (вагон)нинг тинч турган саноқ системаси (рельс)га нисбатан ҳаракати *кўчирма ҳаракат* дейилади.

Тинч турган K саноқ системасида A моддий нуқтанинг координаталарини x, y, z деб, ҳаракатланувчи K' саноқ системасида унинг координаталарини x', y', z' деб белгилаймиз (15-расм).



15- расм.

Иккала саноқ системасида ўлчанган вақт ўзаро тенглигини, яъни $t=t'$ эканлигини тажрибалар кўрсатади. Мулоҳазаларни соддалаштириш учун, фараз қилайлик, $t=t'=0$ да иккала саноқ системаси (K ва K') ўқлари устма-уст тушсин. Шунингдек, K' саноқ системаси тинч турган K саноқ системасига нисбатан v_0 тезлик билан тўғри чизиqli текис ($v_0 = \text{const}$) ҳаракат қилсин (15-расмга қ.).

K ва K' саноқ системаларида ҳаракатланаётган моддий нуқтанинг координаталари орасидаги боғланиш қуйидаги кўринишда бўлади:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + x', & y &= y', & z &= z', \\ x &= v_0 t + x', & x_0 &= v_0 t = v_0 t', & t &= t'. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7) тенглик Галилейнинг координата алмаштиришлари дейилади. Моддий нуқтанинг K ва K' саноқ системаларидаги тезликлари орасидаги боғланишни топиш учун (7) тенгликдан вақт бўйича биринчи тартибли ҳосила оламиз:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \frac{dx_0}{dt} + \frac{dx'}{dt} & \text{ёки} & & v_x &= v_0 + v'_x, \\ \frac{dy}{dt} &= \frac{dy'}{dt}, & & & v_y &= v'_y, \\ \frac{dz}{dt} &= \frac{dz'}{dt}, & & & v_z &= v'_z. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

(8) тенгликлар Галилейнинг тезликлар алмаштириши дейилади. Бу тенгликларни ҳадма-ҳад қўшсак,

$$v = v_0 + v' \quad (9)$$

ҳосил бўлади. Бу тезликларни қўйиши қонунидир*.

(8) ва (9) ни вақт бўйича дифференциалласак, моддий нуқтанинг K ва K' саноқ системаларидаги тезланишлари орасидаги боғланишни топамиз:

$$a_x = a'_x, \quad a_y = a'_y, \quad a_z = a'_z, \quad a = a'. \quad (10)$$

(9) ва (10) тенгламаларни вектор кўринишда ёза оламиз:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_0, \quad (11)$$

$$\vec{a} = \vec{a}'. \quad (12)$$

Моддий нуқтанинг K системага нисбатан кузатилаётган \vec{v} тезлиги абсолют тезлик, K' системага нисбатан \vec{v}' тезлиги нисбий тезлик, v_0 эса K' системанинг K системага нисбатан кўчиш тезлиги бўлади. (11)дан кўринадики, биринчидан, ҳаракатланаётган моддий нуқтанинг \vec{v} абсолют тезлиги \vec{v}' нисбий ва v_0 кўчиш тезликларининг вектор йиғиндисига тенг бўлади. Масалан, Сиз чиққан транспортнинг йўлнинг текис ва тўғри қисмидаги текис ҳаракат тезлиги, яъни унинг Ерга нисбатан тезлиги v_0 кўчиш тезлик бўлади. Шу вақтда Сиз транспорт ичида ҳаракатланаясиз, дейлик. Сизнинг транспортга нисбатан тезлигиниз v' нисбий тезлик, Сизнинг Ерга нисбатан шу вақтдаги v тезлигингиз абсолют тезлик бўлиб, у юқоридаги кўчиш ва нисбий тезликларнинг йиғиндисига тенгдир; иккинчидан, моддий нуқтанинг K системага нисбатан тезланиши, яъни a абсолют тезланиш K' системага нисбатан тезланишига, яъни a' нисбий тезланишга тенг бўлади. Хулоса қилиб айтганда, инерциал саноқ системалари бир-бирига нисбатан тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган бўлса, бу саноқ системаларида моддий

нуқтанинг тезланиши кичик вақт оралиқларида бир хил бўлади.

(10) ёки (12) тенгликка асосан механиканинг нисбийлик принципини қуйидагича таърифлашимиз мумкин: биринчидан, *инерциал саноқ системаси ичида ўтказилган механик тажрибалар ёрдамида у тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётганлигини аниқлаш мумкин эмас ёки механика қонунлари ҳамма инерциал саноқ системалар учун ўринлидир.*

Иккинчидан, *ёруғлик тезлигининг инвариантлик принципи ўринлидир, яъни барча инерциал саноқ системаларида ёруғлик тезлиги бўшлиқ (вакуум) да энг катта бўлиб, у ўзгармас $c = 3 \times 10^8$ м/с га тенгдир.*

1905 йилда Эйнштейн ёруғлик ёрдамида ўтказган тажрибалари асосида механиканинг нисбийлик принципини таҳлил қилиб, шундай хулосага келди: *нисбийлик принципи бу табиатнинг энг фундаментал қонунларидан бири бўлиб, уни фақат механик ҳодисаларгагина эмас, балки иссиқлик, электромагнит, ёруғлик ва бошқа ҳодисаларга ҳам қўллаш мумкин.*

Барча инерциал саноқ системаларида физика қонунлари бир хилда бўлиши инвариантлик принципи дейилади. Бир инерциал саноқ системасидан иккинчи инерциал саноқ системасига ўтганда барча физика қонунлари ҳаракатнинг тезлиги ёруғлик тезлигидан жуда кичик бўлганда инвариант бўлади.

12- §. Тўғри чизиқли текис ҳаракат ва унинг ҳаракат тенгламаси. Тезлик ва йўл графиклари

8- § да айтиб ўтганимиздек, жисм ҳаракатининг траекторияси тўғри чизиқли ва эгри чизиқли бўлиши мумкин. Шунга кўра жисмнинг ҳаракати тўғри чизиқли ва эгри чизиқли ҳаракатларга бўлинади.

Агар жисм тўғри чизиқли ҳаракатида тенг вақт оралиқларида тенг масофаларни босиб ўтса, жисмнинг бундай ҳаракати тўғри чизиқли текис ҳаракат дейилади. Бундан тўғри чизиқли текис ҳаракатда жисмнинг тезлиги катталиқ ва йўналиш жиҳатидан ўзгаришсиз қолади, деган хулосага келамиз.

Жисмнинг текис ҳаракат тезлиги босиб ўтилган йўлнинг шу йўлни босиб ўтиш учун кетган вақтга нисбати билан ўлчанади. Агар t вақт давомида жисм s йўлни босиб ўтган бўлса, у ҳолда ҳаракат тезлиги

$$v = \frac{s}{t} \quad \text{ёки} \quad \vec{v} = \frac{\vec{s}}{t} \quad (13)$$

бўлади, бунда \vec{s} — жисмнинг t вақт ичидаги кўчишини билдиради. (Тўғри чизиқли ҳаракатда кўчиш билан траектория устма-уст тушишини ва ўтилган йўл сон жиҳатдан кўчиш катталигига тенг бўлишини эслатиб ўтамиз.)

(13) формуладан тўғри чизиқли текис ҳаракатда кўчиш векторининг тезлик вектори билан бир хил йўналган эканлигини кўриш қийин эмас, чунки t вақт скаляр катталиқдир.

Текис ҳаракат тезлиги маълум бўлса t вақт давомида босиб ўтилган йўл

$$s = vt \quad (14)$$

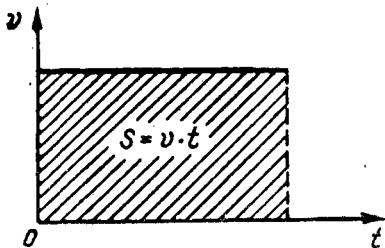
формулага биноан аниқланади. Бу формула текис ҳаракат тенгламаси деб аталади. Демак, жиҳснинг тўғри чизиқли текис ҳаракатида ўтган йўли ҳаракат вақтига тўғри мутаносибдир.

Бирор катталиқнинг ўзгаришига боғлиқ ҳолда ўзгарадиган иккинчи катталиқ функция деб, эркин ўзгарувчи катталиқ эса аргумент деб аталади. Текис ҳаракатда s йўл — функция, t вақт — аргумент, тўғри чизиқли текис ҳаракатнинг тенгламаси (14) формула эса s функциянинг аналитик ифодаси бўлади.

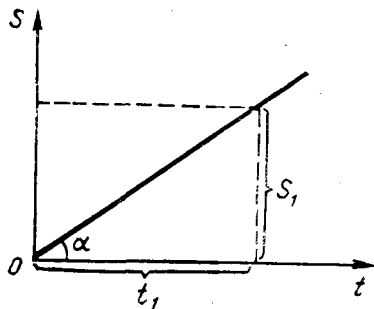
Икки катталиқнинг ўзаро боғланишини чизмада бирор чизиқ кўринишида ҳам тавсифлаш мумкин, бу чизиқ функциянинг графиги деб аталади.

Функциянинг графигини яшаш учун аргументнинг қийматлари (унинг олиши мумкин бўлган қийматлар оралиғида) ихтиёрли олинади, аргументнинг бу қийматларига мос келадиган функциянинг қийматларини эса функциянинг аналитик ифодасидан фойдаланиб, ҳисоблаб топилади.

16-расмда тўғри чизиқли текис ҳаракати тезлик графиги тасвирланган. Бу графикни ҳосил қилиш учун абсцисса ўқи бўйича вақтни, ордината ўқи бўйича тезликни танлаб олинган масштабда қўямиз. У вақтда абсцисса ўқиға параллел бўлган тўғри чизиқдан иборат тезлик графиги ҳосил бўлади, чунки текис ҳаракатда тезлик ўзгармас катталиқдир, унинг қиймати вақтга боғлиқ эмас. (14) формулани эътиборга олиб, тўғри чизиқли текис ҳаракатда жиҳс босиб ўтган s йўл 16-расмдаги штрихланган тўғри тўртбурчакнинг юзига сон жиҳатдан тенг бўлади, деб айта оламиз.



16- расм.



17- расм.

Иўл графигини яшашда абсцисса ўқини вақт ўқи, ордината ўқини йўл ўқи қилиб оламиз (17-расм). Натижада, координаталар бошидан ўтувчи тўғри чизиқдан иборат бўлган йўл графигини ҳосил қиламиз. Бу тўғри чизиқнинг вақт ўқининг мусбат йўналиши билан ҳосил қилган α бурчакнинг тангенсига v тезликка тенг бўлади, яъни

$$v = \operatorname{tg} \alpha = \frac{s_1}{t_1}.$$

Тўғри чизиқли текис ҳаракатнинг тезлиги қанча катта бўлса, йўл графиги вақт ўқи билан шунча катта бурчак ташкил қилади.

13-§. Тўғри чизиқли ўзгарувчан ҳаракат. Тезлик графиги

Табиатда вақт ўтиши билан тезлиги ўзгариб турадиган ҳаракат кўп учрайди. Масалан, трамвай, троллейбус ва автобусларнинг ҳаракатини кузатар эканмиз, йўлнинг баъзи қисмларида секинроқ ҳаракатланишини, тўхташ жойларида эса тезлик нолга тенг бўлишини кўрамиз. Бундай ҳаракат *нотекис ҳаракат* ёки *ўзгарувчан ҳаракат* дейилади.

Вақт ўтиши билан тезлиги ўзгарадиган ҳаракат ўзгарувчан ҳаракат дейилади.

Ҳаракат траекторияси тўғри чизиқдан иборат бўлган ўзгарувчан ҳаракат тўғри чизиқли ўзгарувчан ҳаракат деб аталади.

Ўзгарувчан ҳаракатнинг энг содда тури текис ўзгарувчан ҳаракатдир. Бундай ҳаракатда ҳар қандай тенг вақт оралиқлари давомида тезлик айни бир катталиқка ўзгаради, бинобарин, тезланиш ўзгармас ($a = \text{const}$) бўлади.

Текис ўзгарувчан ҳаракатни текис тезланувчан ва текис секинланувчан ҳаракатларга ажратилади.

Ҳар қандай тенг вақт оралиқларида тезлиги бир текис ортиб борадиган ҳаракат текис тезланувчан ҳаракат дейилади. Текис тезланувчан ҳаракат ўзгармас мусбат тезланишли ($a > 0$) ҳаракатдир, бунда тезланиш йўналиши тезлик (ёки ҳаракат) йўналиши билан бир хил бўлади.

Ҳар қандай тенг вақт оралиқларида тезлиги бир текис камийиб борадиган ҳаракат текис секинланувчан ҳаракат деб аталади. Текис секинланувчан ҳаракатда тезланиш манфий ($a < 0$) бўлиб, бунда тезланиш тезлик йўналишига қарама-қарши йўналган бўлади.

Текис ўзгарувчан ҳаракатда тезланиш ҳаракат давомида ўзгармас бўлгани учун уни ҳисоблашда ихтиёрий вақт оралигини, масалан, бутун вақт оралигини олиш мумкин. Агар жисмнинг v_0 бошланғич тезлиги t вақт давомида v қийматгача ўзгарган бўлса, тезланиш таърифига кўра,

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

бўлади, бундан

$$v = v_0 + at \quad (15)$$

эканини топамиз. Бу формуладан текис ўзгарувчан ҳаракат учун вақтнинг ихтиёрий қийматидаги ёки траекториянинг ихтиёрий нуқтасидаги тезлигини, яъни оний тезлигини ҳисоблаш мумкин.

(15) формула v_0 бошланғич тезликка эга бўлган текис тезланувчан ҳаракатнинг тезлигини ифодалайди. Бундай ҳаракат ҳар доим қандайдир ҳаракатнинг (масалан, текис ҳаракатнинг) давоми бўлади.

Тинч ҳолатдан бошланган текис тезланувчан ҳаракатда $v_0 = 0$ бўлгани учун (15) формуладан

$$v = at \quad (16)$$

келиб чиқади. Бу формула бошланғич тезликка эга бўлмаган текис тезланувчан ҳаракатнинг тезлигини ифодалайди.

Текис секинланувчан ҳаракатда $\vec{a} < 0$ эканини назарга олсак, у ҳолда (15) формула

$$v = v_0 - at \quad (17)$$

кўринишга келади. Бу формула охириги тезлиги ноль бўлмаган текис секинланувчан ҳаракатнинг тезлигини ифодалайди. Охириги тезлиги ноль бўлган ($v = 0$) текис секинланувчан ҳаракатнинг бошланғич тезлигини

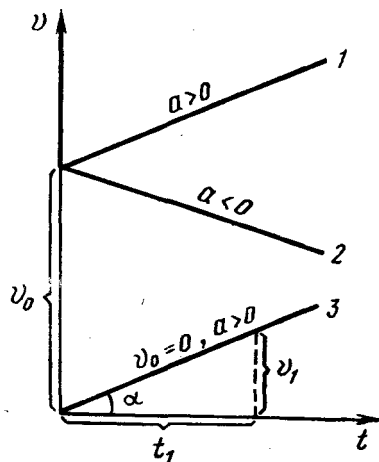
$$v_0 = at$$

формуладан ҳисоблаб топиш мумкин.

Барча ўзгарувчан ҳаракатларнинг ўртача тезлиги каби, текис ўзгарувчан ҳаракатнинг ўртача тезлигини ҳам (4) формула ёрдамида аниқлаш мумкин. Лекин бундай ҳаракатда тезлик бир текис ортиб ёки камайиб бораётганлигидан фойдаланиб, ўртача тезликни оsonгина топиш мумкин. Бунинг учун v_0 бошланғич ва v охириги тезликларни қўшиб, ҳосил бўлган йиғиндини иккига бўлиш лозим, яъни

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_0 + v}{2} \quad (18)$$

18-расмда v_0 бошланғич тезликли текис ўзгарувчан ҳаракатнинг тезлик графиклари келтирилган. Бу расмдаги 1 ва 2 тўғри чизиқлар мос равишда v_0 бошланғич тезликка эга бўлган текис тезланувчан



18- расм.

$(\vec{a} > 0)$ ва текис секинланувчан $(\vec{a} < 0)$ ҳаракатга, 3 тўғри чизиқ эса бошланғич тезликсиз ($v_0 = 0$) текис тезланувчан ҳаракатга тегишлидир. Расмдан кўринадикки, агар $v_0 = 0$ бўлса, тезлик графиги координата бошидан ўтувчи, $v_0 \neq 0$ бўлганда эса, ордината ўқидан v_0 га тенг кесмани ажратувчи тўғри чизиқдан иборат бўлади. Шунингдек, 18-расмдан тезланиш сон жиҳатдан

$$a = \operatorname{tg} \alpha = \frac{v_1}{t_1}$$

га тенг эканини кўриш қийин эмас.

14- §. Текис ўзгарувчан ҳаракатнинг тенгламаси. Йўл графиги

Энди текис ўзгарувчан ҳаракатда t вақт давомида босиб ўтилган йўлни ҳисоблайлик.

Ҳар қандай ўзгарувчан ҳаракатда жисмнинг ўтган йўлини қуйидаги формула бўйича ҳисоблаш мумкин:

$$s = v_{\text{ср}} \cdot t. \quad (19)$$

Текис ўзгарувчан ҳаракат учун ўртача тезликнинг (18) формуладаги ифодасидан фойдаланиб,

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

муносабатни ҳосил қиламиз. Бундаги v ни (15) формула билан алмаштириб ва бу алмаштиришлар устида алгебраик амалларни бажариб, қуйидаги муносабатни оламиз:

$$s = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \cdot t = v_0 t + \frac{at^2}{2}.$$

Шундай қилиб, текис ўзгарувчан ҳаракатда ўтилган йўлни ҳисоблаш формуласи қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}. \quad (20)$$

(20) формула текис ўзгарувчан ҳаракат тенгламаси деб аталади. Тезланиш бу ҳолда мусбат ёки манфий бўлиши мумкин.

Масалалар ечишда кўп ишлатиладиган йўл формуласи ифодасини келтириб чиқарайлик.

(15) формуладан t ни топамиз:

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

ва t нинг бу қийматини ҳамда $v_{\text{ср}}$ нинг (18) формуладаги ифодасини (19) формулага келтириб қўямиз. У ҳолда

$$s = \frac{v_0 + v}{2} \cdot \frac{v - v_0}{a} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} \quad (21)$$

га эга бўламиз.

Шундай қилиб, v_0 бошланғич ва v охириги тезлик ҳамда a тезланиш маълум бўлган ҳолда (21) формуладан босиб ўтилган йўлни ҳисоблаб топиш мумкин. Бу формуладан фойдаланиб жисмнинг охириги тезлигини ҳам аниқлаш мумкин:

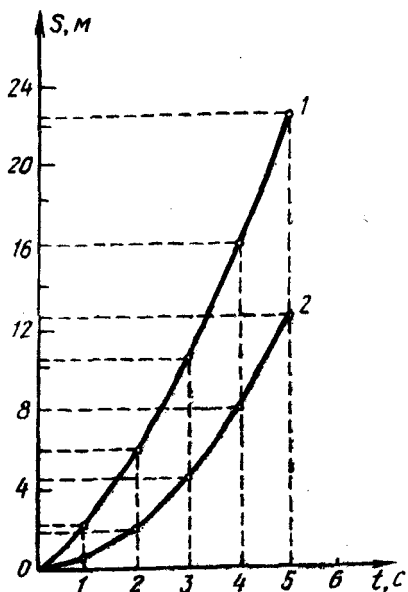
$$v = \sqrt{v_0^2 + 2as}. \quad (22)$$

Агар жисмнинг бошланғич тезлиги $v_0=0$ бўлса, у ҳолда (20), (21) ва (22) формулалардан мос равишда

$$s = \frac{at^2}{2}, \quad s = \frac{v^2}{2a}, \quad v = \sqrt{2as} \quad (23)$$

ҳосил бўлади.

19-расмда текис тезланувчан ҳаракатларнинг йўл графиклари келтирилган. Бунда 1 чизиқ бошланғич тезлиги нолга тенг бўлмаган, чунончи $v_0=2$ м/с ва тезланиши $a=1$ м/с² бўлган текис тезланувчи ҳаракатнинг йўл графиклини ифодалайди. 2 чизиқ эса бошланғич тезлиги ноль ва тезланиши $a=1$ м/с² бўлган текис тезланувчан ҳаракатнинг йўл графиклини ифодалайди. Бу графикларни ҳосил қилиш учун (20) ва (23) формулаларга мувофиқ ҳаракат бошланган пайтдан кейин ўтган биринчи, иккинчи, учинчи ва ҳоказо секундларнинг охиридаги ўтилган йўлни ҳисоблаб топамиз ва олинган натижаларни жадвал кўринишида ёзамиз. Сўнг абсцисса ўқини вақт ўқи, ордината ўқини йўл ўқи деб ҳисоблаб, танлаб олинган масштабда йўл графиклини чизамиз (19-расмга қ.). Чизмадан текис тезланувчан ҳаракатда



19-расм.

$$v_0 = 2 \text{ м/с}, \quad a = 1 \text{ м/с}^2$$

| $t, \text{ с}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|-----|---|------|----|------|
| $s = v_0 t + \frac{1}{2} at^2, \text{ м}$ | 0 | 2,5 | 6 | 10,5 | 16 | 22,5 |

| | | | | | | |
|-----------------------------------|---|-----|---|-----|---|------|
| $s = \frac{1}{2} at^2, \text{ м}$ | 0 | 0,5 | 2 | 4,5 | 8 | 12,5 |
|-----------------------------------|---|-----|---|-----|---|------|

Ўтилган йўл вақт ўтиши билан аввал аста-секин, кейинроқ эса тез ортиб бориши кўриниб турибди. Умуман, текис ўзгарувчан ҳаракатнинг йўл графиги *парабола* деб аталадиган эгри чизиқдан иборат бўлади.

15-§. Жисмларнинг эркин тушиши

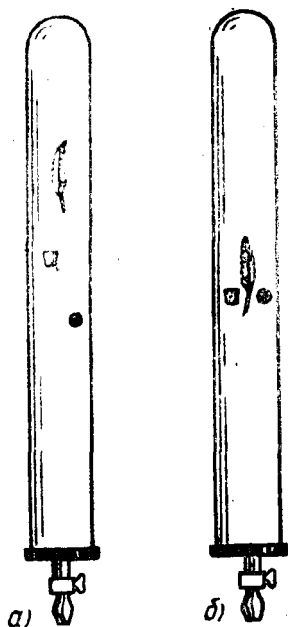
Жисмларнинг эркин тушиши бошланғич тезликсиз тўғри чизиқли текис тезланувчан ҳаракатга мисол бўла олади.

Вакуумда жисмларнинг фақат оғирлик кучи таъсирида Ерга тушиши эркин тушиши дейилади.

Жисмларнинг эркин тушишини биринчи бўлиб тажрибада италиялик олим Галилео Галилей ўрганди ва эркин тушиш қонунларини аниқлади. Бу қонунларни таърифлашдан олдин қуйидаги тажрибани қилиб кўрамиз.

Узунлиги 1,5 м чамасида бўлган ва бир учи кавшарланган, иккинчи учига эса ичидан ҳавони сўриб олиш учун жўмрак маҳкамланган шиша най олиб, унинг ичига турли оғирлик ва ҳар хил шаклдаги жисмларни, масалан, қуш пати, бир бўлак пўкак, қўرғошин питра солайлик. Найни тўнтариб тик вазиятга

келтириб, қуйидаги ҳодисани кузатамиз. Найнинг ичида ҳаво бўлганда ҳар хил жисмлар турли тезлик билан тушади, бунда қуш пати қўрғошин питрадан сезиларли орқада қолади (20-а расм). Найнинг ичидаги ҳавони сўриб олиб, тажрибани такрорласак, барча жисмларнинг, уларнинг оғирлиги ва шаклларида қатъи назар, найнинг тубига бир вақтда тушишини кўрамиз (20-б расм). Демак, *вакуумда ҳамма жисмлар бирдай тезланиш билан тушади.*



20- расм.

Галилей даврида ҳаво насослари бўлмагани учун у ўз тажрибаларини ҳавода ўтказди. Галилей оғма миноралардан турли оғирликдаги жисмларни баравар ташлаб юборганда уларнинг оғир-енгиллигига қарамасдан Ерга деярли бир вақтда тушишини кузатди. Жисмларнинг ҳаракатига ҳавонинг кўрсатадиган қаршилигини назарга олмай, Галилей эркин тушишнинг қуйидаги қонунларини кашф этди:

1. Жисмларнинг эркин тушиши бошланғич тезликсиз тўғри чизиқли текис тезланувчан ҳаракатдир.

2. Ернинг муайян жойида, барча жисмлар бир хил тезланиш билан тушади. Бу тезланиш эркин тушиш тезланиши деб аталади ва g ҳарфи билан белгиланади.

Ернинг аниқ шар шаклида эмаслиги, яъни қутбларда бир оз ясиланганлиги ҳамда Ернинг ўз ўқи атрофида айланиши сабабли, Ернинг турли нуқталарида эркин тушиш тезланиши турли қийматларга эга бўлади. Агар Ер сиртида экватордан қутбга томон борилса, эркин тушиш тезланишининг қиймати ортиб боради. У экваторда $9,780 \text{ м/с}^2$, қутбда эса $9,832 \text{ м/с}^2$ га тенг. $g=9,80665 \text{ м/с}^2$ бўлган эркин тушиш тезланишининг қиймати нормал қиймат деб ҳисобланади. Бу қиймат Ернинг 45° географик кенлигидаги эркин тушиш тезланишининг қиймати-га мос келади.

Амалда Ернинг барча нуқталарида эркин тушиш тезланишини бир хил деб ҳисоблаб, унинг $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 980 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$ қийматидан фойдаланилади.

Эркин тушаётган жисм тезлиги ва йўли формулалари тўғри чизиқли текис тезланувчан ҳаракат формулаларидан ҳеч фарқ қилмайди. Шу сабабли бошланғич тезликсиз текис тезланувчан ҳаракат тенгламалари (16) ва (23) ларда s ни h билан, a ни g билан алмаштириш орқали эркин тушишда тезлик ва йўл формулаларини ҳосил қиламиз:

$$v = gt, \quad (24)$$

$$h = \frac{gt^2}{2}, \quad h = \frac{v^2}{2g} \quad (25)$$

$$v = \sqrt{2gh}. \quad (26)$$

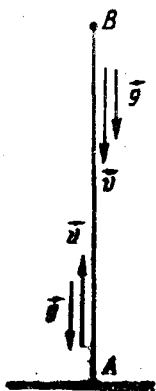
Жисмнинг маълум баландликдан тушишига кетадиган вақтни, тушаётган жисмнинг исталган нуқтадаги ва исталган пайтдаги тезлигини ва бошқа катталикларни юқорида келтирилган (24) — (26) формулалардан фойдаланиб ҳисоблаб топиш мумкин.

16- §. Юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракати

Юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракати тўғри чизиқли текис секинланувчан ҳаракатга мисол бўла олади.

Маълумки, жисмларнинг Ерга тортилиши туфайли, улар ўзидан юқорига қараб ҳаракат қилмайдилар, уларни юқорига отиш керак, яъни уларга юқорига тик йўналган бирор бошланғич тезлик бериш керак.

Тажрибаларда аниқланишича, юқорига тик отилган жисм эркин тушаётган жисмнинг тезланишига сон жиҳатдан тенг ва



21- расм.

унга қарама-қарши йўналишли тезланиш билан ҳаракат қилади. Шунинг учун бу ҳаракатда тезлик камаё боради, бинобарин, ҳаракат текис секинланувчан бўлади. Юқорига тик отилган жисм тезлиги нолга тенг бўлиб қолгунча текис секинланувчан ҳаракат қилиб юқорилашиб боради. Тезлиги нолга тенг бўлган пайтда у энг катта баландликка (21- расм, B нуқта) эришади, сўнгра шу баландликдан пастга қараб бошланғич тезликсиз эркин туша бошлайди. Бу юқори нуқтада отилишнинг охириги ва тушишнинг бошланғич тезлиги ўзаро тенг бўлади ($v = v_0 = 0$).

Агар юқорига тик отилган жисмнинг бошланғич тезлиги v_0 , t секунддан кейинги тезлиги v , шу вақт ичида кўтарилиш баландлиги h ва эркин тушиш тезланиши g бўлса, унда қуйидаги формулаларни ёзиш мумкин:

$$v = v_0 - gt \quad (27)$$

$$h = v_0 t - \frac{1}{2} gt^2, \quad (28)$$

$$h = \frac{v_0^2 - v^2}{2g}. \quad (29)$$

Жисм энг юқори нуқтага етганда унинг тезлиги нолга тенг бўлгани учун (27) формуладан

$$v_0 = gt \quad (30)$$

ва бундан жисмнинг максимал баландликка кўтарилиш вақти

$$t = \frac{v_0}{g} \quad (31)$$

эканлиги келиб чиқади.

Жисмнинг максимал кўтарилиш баландлигини топишда (28) формулага t нинг қийматини (31) формуладан келтириб қўямиз, у ҳолда

$$h_{\max} = v_0 \frac{v_0}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2}{2g} \quad (32)$$

бўлади. Жисмнинг тушишини h_{\max} баландликдан эркин тушиши деб қараш мумкин. Эркин тушишда ўтган йўл [(25) формулага мувофиқ] $h_{\max} = \frac{v^2}{2g}$ бўлади, шунинг учун қуйидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$\frac{v_0^2}{2g} = \frac{v^2}{2g},$$

$$v_0 = v$$

эканлигини кўриш қийин эмас. Демак, жисмни юқорига тик отишда траекториянинг ихтиёрий нуқтасида кўтарилиш ва тушиш тезликлари тенг бўлади (21-расмга қ.), яъни жисм қандай тезлик билан юқорига тик отилган бўлса, шундай тезлик билан отилиш жойига қайтиб тушади

Ҳавода тик отилган жисм ҳавонинг қаршилиги бўлгани сабабли максимал баландликка кўтарилла олмайди ва унинг қайтиб тушгандаги охириги тезлиги отилган вақтдаги бошланғич тезликдан кичик бўлади.

Эркин тушишнинг охириги тезлигини ифодаловчи (24) формуладан эркин тушиш вақтини топамиз:

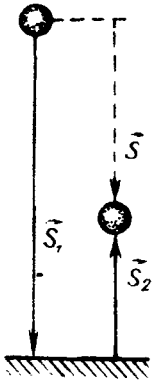
$$t = \frac{v}{g}. \quad (33)$$

(31) ва (33) формулаларни таққослаб ва $v_0 = 0$ эканлигини назарга олиб, қуйидаги хулосага келиш мумкин: жисмнинг тик юқорига кўтарилиш вақти эркин тушиш вақтига тенг бўлади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Механика нимани ўрганади? Кинематика-чи?
2. Саноқ системаси деб нимага айтилади?
3. Моддий нуқта нима?
4. Траектория, кўчиш ва йўл деб нимага айтилади?
5. Қандай ҳаракат механик ҳаракат дейилади?
6. Механик ҳаракатлар траекториянинг шаклига қараб қандай турларга бўлинади?
7. Тезлик деб нимага айтилади? Уртача ва оний тезлик деб қандай тезликка айтилади?
8. Тўғри чизиқли текис ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Ҳаракат тенгламасини ёзинг ва графигини чизинг.
9. Текис ўзгарувчан ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Унинг қандай турларини биласиз?
10. Тезланиш деб нимага айтилади, уни нормал ва тангенциал ташкил этувчиларига қандай ажратиш мумкин?
11. Тезлик ва тезланишнинг СИ да ва системага кирмаган ўлчов бирликларини айтиб беринг.
12. Бошланғич тезлиги нолдан фарқли бўлган текис ўзгарувчан ҳаракат тенгламаларини ёзинг. Бундай ҳаракат учун тезлик ва йўл графикларини чизинг.
13. Бошланғич тезлиги нолга тенг бўлган текис ўзгарувчан ҳаракат тенгламаларини ёзинг. Тезлик ва йўл графикларини чизинг.
14. Жисмларнинг эркин тушиши деганда нимани тушунасиз?
15. Эркин тушиш тезланишининг қиймати географик кенгликка боғлиқ-ми?
16. Жисмнинг эркин тушишида ўтилган йўл ва тезлик вақтга қандай боғланишда бўлади?
17. Нима учун юқорига тик отилган жисм секинланувчан ҳаракат қилади?
18. Бошланғич v_0 тезлик билан юқорига тик отилган жисмнинг максимал кўтарилиш баландлигининг ифодасини ёзинг.
19. Юқорига тик отилган жисмнинг Ерга тушиш пайтидаги охириги тезлигининг отилишидаги бошланғич тезлигига, кўтарилиш вақтининг тушиш вақтига тенг эканлигини исботланг.

Масала ечиш намуналари



22- расм.

1- масала. Копток 3 м баланддан тушади ва полдан қайтиб кўтарилаётганда 1 м баландда тутиб олинади. Коптокнинг йўли ва кўчишининг модулини топинг.

Берилган: $s_1 = 3$ м; $s_2 = 1$ м.

Топиш керак: $s = ?$ $|s| = ?$

Ечилиши. Масаланинг шартига асосан копток ҳаракатининг траекториясини чизамиз (22- расм). Расмдан кўринишича, $s_1 = |s_1|$ ва $|s_2| = s_2$ бўлади. Коптокнинг ўтгач умумий йўли унинг юқоридан тушишдаги ва баландга кўтарилишдаги босиб ўтган йўллариининг йиғиндисига тенг бўлади, яъни $s = s_1 + s_2$. Коптокнинг кўчиши эса \vec{s}_1 ва \vec{s}_2 векторларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади: $s = s_1 + s_2$. s_1 вектор s_2 векторга параллел ва қарама-қарши йўналган бўлгани учун кўчишнинг $|s|$ модули қуйидагига тенг бўлади: $|s| = |s_1| - |s_2|$.

Ҳисоблаш: $s = 3$ м + 1 м = 4 м, $|s| = 3$ м - 1 м = 2 м.

2- масала. Моддий нуқтанинг берилган sanoқ системасидаги ҳаракати $y = 1 + 2t$, $x = 2 + t$ тенгламалар билан характерланади. Траектория тенгламасини топинг. Траекторияни XO текисликда чизинг. Нуқтанинг $t = 0$ даги вазирини, ҳаракатнинг йўналишини аниқланг.

Берилган: $y = 1 + 2t$, $x = 2 + t$, $t = 0$.

Топиш керак: $y = f(x)$? $x_0 = ?$. $y_0 = ?$ $\alpha = ?$

Ечилиши. Моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси тенгламаси $y = f(x)$ функциядан иборат бўлиб, унинг кўринишини топиш учун масаланинг шартини дабирланг

$$y = 1 + 2t, \quad (a)$$

$$x = 2 + t \quad (b)$$

тенгламалардан вақт t ни йўқотиб, y билан x орасидаги боғланишни аниқлаймиз. Бунинг учун (б) тенгламадан t нинг $t = x - 2$ қийматини (а) тенгламага келтириб қўямиз ва ҳосил бўлган ифодани соддалаштирамиз:

$$y = 1 + 2(x - 2) = 1 + 2x - 4 = 2x - 3.$$

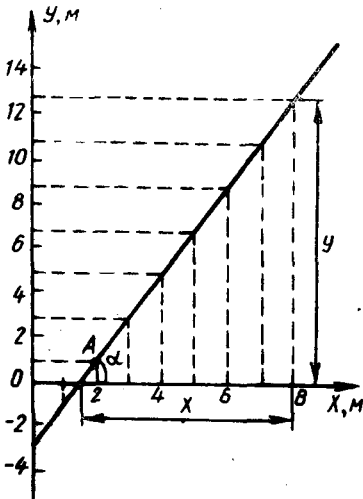
Демак, моддий нуқтанинг ҳаракат тенгламаси

$$y = 2x - 3 \quad (в)$$

кўринишда экан.

XOY текисликда траекторияни чизиш мақсадида x га 0 дан бошлаб бутун сонли қийматларни бериб, (в) тенглама асосида y нинг мос қийматларини ҳисоблаб топамиз ва бу қийматлар асосида жадвал тузамиз. Сўнгра абсцисса ўқига x нинг, ордината ўқига y нинг қийматларини қўйиб, ҳосил қилинган нуқталардан туташ чизик ўтказамиз (23- расм). Расмдан кўринадики, моддий нуқтанинг ҳаракат траекторияси координата бошидан ўтмайдиган тўғри чизикдан иборат экан.

Расмдан $\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} = \frac{13}{6,5} = 2$ ва $\alpha = 64^\circ$ эканни топамиз. Демак, моддий нуқтанинг ҳаракат йўналиши абсцисса ўқи билан 64° бурчак ҳосил қилар экан.



23- расм.

| x | $y=2x-3$ |
|-----|----------|
| 0 | -3 |
| 1 | -1 |
| 2 | 1 |
| 3 | 3 |
| 4 | 5 |
| 5 | 7 |
| 6 | 9 |
| 7 | 11 |
| 8 | 13 |

Моддий нуқтанинг $t=0$ даги вазияти $y_0 = 1 + 2t = 1$ ва $x_0 + 2 + t = 2$ координаталар билан аниқланади, бу координаталар графикда A нуқтанинг вазиятига мос келади.

3-масала. Метро эскалатори ҳаракатланмай турган йўловчини 1 минут давомда кўтаради. Ҳаракатланмаётган эскалатордан йўловчи 3 минутда кўтарилади. Йўловчи ҳаракатланаётган эскалаторда юриб, қанча вақтда кўтарилади?

Берилган: $t_1 = 1$ мин = 60 с; $t_2 = 3$ мин = 180 с.

Топиш керак: t — ?

Ечилиши. Эскалаторнинг узунлигини l орқали белгилаб оламиз. У ҳолда

$$t = \frac{l}{v}$$

бўлади, бу ерда v йўловчининг Ерга нисбатан ҳаракатланаётган эскалатордан юриб кўтарилиш тезлиги бўлиб, бу тезлик эскалаторнинг ҳаракат тезлиги v_1 билан йўловчининг тинч турган эскалатордан юриб кўтарилиш тезлиги v_2 нинг йиғиндисига тенг бўлади: $v = v_1 + v_2$, чунки иккала ҳаракат ҳам бир томонга йўналган. У вақтда тезликларни

$$v_1 = \frac{l}{t_1} \text{ ва } v_2 = \frac{l}{t_2}$$

эканлигини эътиборга олсак, v учун

$$v = \frac{l}{t_1} + \frac{l}{t_2} = l \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2}$$

ифодани ҳосил қиламиз. Демак,

$$t = \frac{l}{l \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2}} = \frac{t_1 \cdot t_2}{t_1 + t_2}$$

бўлади.

Ҳисоблаш:

$$t = \frac{180 \text{ с} \cdot 60}{180 \text{ с} + 60 \text{ с}} = 45 \text{ с.}$$

4-масала. A ва B шаҳарлардан иккита автобус бир вақтда бир-бирига томон йўлга чиқди. Шаҳарлар орасидаги масофа 200 км га тенг. A шаҳардан чиққан автобус B шаҳардан чиққан иккинчи автобус билан учрашгунгача 120 км йўл босиб ўтди. Агар кейинги автобуснинг тезлиги $50 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ бўлса, биринчи автобуснинг тезлиги қанча бўлган? Автобуслар қанча вақтдан сўнг бир-бири билан учрашган?

Берилган: $s = 200 \text{ км} = 2 \cdot 10^5 \text{ м}$, $s_1 = 120 \text{ км} = 12 \cdot 10^4 \text{ м}$,

$$v_2 = 50 \frac{\text{км}}{\text{соат}} \approx 14 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Топиш керак: v_1 —?, t —?

Ечилиши. Иккала автобус бир вақтда йўлга чиққани учун улар учрашувга қадар бир хил вақт ўтган. Биринчи автобуснинг тезлигини v_1 билан, иккинчи автобуснинг босиб ўтган йўлини $s_2 = s - s_1$ билан белгиласак, масаланинг шартига кўра

$$t = \frac{s_1}{v_1} \text{ ва } t = \frac{s_2}{v_2} = \frac{s - s_1}{v_2}$$

ифодаларни ёзиш мумкин, бунда t — автобусларнинг бир-бири билан учрашгунча кетган вақт. Иккала ифодани биргаликда ечиб, v_1 ни топамиз:

$$v_1 = v_2 \cdot \frac{s_1}{s - s_1}$$

$$\begin{aligned} \text{Ҳисоблаш: } v_1 &= 14 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \frac{1,2 \cdot 10^5 \text{ м}}{(2 - 1,2) \cdot 10^5 \text{ м}} = 21 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad t = \frac{1,2 \cdot 10^5 \text{ м}}{21 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \\ &= 5714 \text{ с} \approx 1,6 \text{ соат.} \end{aligned}$$

5-масала. Поезд икки станция орасидаги масофани $72 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ ўртача тезлик билан 20 минутда ўтди. Тезлашиб олиш ва тормозланиш биргаликда 4 минут давом этди, бошқа вақтда эса поезд текис ҳаракат қилган. Текис ҳаракат қилаётган поезднинг тезлиги қанча бўлган?

$$\text{Берилган: } v_{\text{ўр}} = 72 \frac{\text{км}}{\text{соат}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad t = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}; \quad t_1 = 4 \text{ мин} = 240 \text{ с}$$

Топиш керак: v —?

Ечилиши. Икки станция орасидаги s масофани учта s_1 , s_2 ва s_3 масофаларга ажратамиз, у ҳолда $s = s_1 + s_2 + s_3$ деб ёзиш мумкин, бу ерда s_1 — поезднинг тезланувчан, s_2 — текис, s_3 — секинланувчан ҳаракатланганда босиб ўтган йўллари, s_1 ва s_3 масофалар бир-бирига тенг ва поезд бу масофаларнинг ҳар бирини ўтишда бирдай $\frac{1}{2} t$ вақт сарф қилган. s_1 масофа бошланғич тезлиги нолга ва охириги тезлиги v га тенг бўлган текис тезланувчан ҳаракатнинг йўл формуласига асосан аниқланади:

$$s_1 = \frac{a}{2} \left(\frac{t_1}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{2v}{t_1} \cdot \frac{t_1^2}{4} = \frac{vt_1}{4}$$

Демак,

$$s_1 + s_2 = 2s_1 = 2 \frac{vt_1}{4} = \frac{vt_1}{2} \quad (\text{а})$$

s_2 масофани поезд v тезлик билан текис ҳаракатланиб $(t - t_1)$ вақтда ўтади, бинобарин,

$$s_2 = v(t - t_1) \quad (\text{б})$$

Ниҳоят, икки станция орасидаги масофа

$$s = v_{\text{ўр}} \cdot t \quad (\text{в})$$

ифодадан аниқланади. Шундай қилиб, (а), (б) ва (в) муносабатлардан фойдаланиб,

$$v_{\text{ўр}} \cdot t = \frac{vt_1}{2} + v(t - t_1) = v \left(\frac{t_1}{2} + t - t_1 \right) = v \frac{2t - t_1}{2}$$

тенгламани ҳосил қиламиз. Бундан

$$v = \frac{2t}{2t - t_1} v_{\text{ур.}}$$

Ҳисоблаш:

$$v = \frac{2 \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 1200 \text{ с}}{2 \cdot 1200 \text{ с} - 240 \text{ с}} = 22,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

6- масала. Баландлиги h бўлган минорадан иккита шарча: бири v_1 тезлик билан вертикал равишда юқсрига, иккинчиси эса v_2 тезлик билан вертикал равишда пастга ташланади. Уларнинг Ерга тушиш пайтидаги вақт оралиғи қанчага тенг?

Берилган: h, v_1, v_2 .

Топиш керак: Δt —?

Ечилиши. Биринчи шарчанинг ҳаракат вақтини t_1 билан, иккинчи шарчаникини эса t_2 билан белгилаб оламиз, у вақтда

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

бўлади. Координата бошқиси A нуқта билан боғлаймиз (24-расм).

Биринчи шарча AB баландликкача кўтарилади, сўнгра BA ва AO масофаларни бирин-кетин босиб ўтиб пастга тушади. Шарчанинг B нуқтадаги тезлиги 0 га тенг ($v_B = 0$), тушаётганда A нуқтадаги тезлиги эса бошланғич v_1 тезлигига тенг бўлади. Биринчи шарча учун ҳаракат қонунларини (27) ва (28) формулаларга кўра ёзамиз:

$$v_B = v_1 - g\tau_1, \quad v_1 = v_B + g\tau_2, \quad h = v_1\tau_3 + \frac{g}{2} \tau_3^2,$$

бу ерда τ_1 — биринчи шарчанинг AB масофани τ_2 — BA масофани ва τ_3 — AO масофани ўтиши учун кетган вақтлари.

Бу ифодалардан

$$\tau_1 = \frac{v_1}{g}, \quad \tau_2 = \frac{v_1}{g} \text{ ва } \tau_3 = \frac{-v_1 \pm \sqrt{v_1^2 + 2gh}}{g}$$

Маълумки, вақт мусбат қийматларингига олади, шу сабабли

$$\tau_3 = -\frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

бўлади. Бинобарин, биринчи шарчанинг ҳаракатланиш вақти қуйидагига тенг бўлади:

$$t_1 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 = \frac{v_1}{g} + \frac{v_1}{g} - \frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}} = \frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

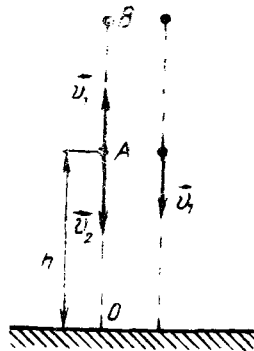
Иккинчи шарча h баландликдан v_2 бошланғич тезлик билан тушади, бинобарин, иккинчи шарчанинг ҳаракат тенгламаси

$$h = v_2 t_2 + \frac{g}{2} t_2^2$$

кўринишга эга бўлади. Бу ифодадан t_2 ни топамиз:

$$t_2 = -\frac{v_2}{g} + \sqrt{\frac{v_2^2}{g^2} + \frac{2h}{g}}$$

Шундай қилиб, шарчаларнинг Ерга тушиш пайтидаги Δt вақт оралиғи



24-расм.

$$\Delta t = \frac{v_1}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g^2}} - \left(-\frac{v_2}{g} + \sqrt{\frac{v_2^2}{g^2} + \frac{2h}{g^2}} \right) = \frac{v_1}{g} + \frac{v_2}{g} + \sqrt{\frac{v_1^2}{g^2} + \frac{2h}{g^2}} - \sqrt{\frac{v_2^2}{g^2} + \frac{2h}{g^2}}$$

ифодадан аниқланади.

Мустақил ечиш учун масалалар

1. Жисм координаталари $x_1=1$ м, $y_1=3$ м бўлган нуқтадан координаталари $x_2=5$ м, $y_2=-2$ м бўлган нуқтага силжиди. Чизма чизиб, нуқтанинг кўчиш векторини ва унинг координата ўқларидаги проекцияларини топинг.

2. Иккита моддий нуқта текисликда 3 м/с ва 5 м/с тезликлар билан ҳаракатланади. Тезлик векторлари орасидаги бурчак 45° . Бир моддий нуқтанинг иккинчи моддий нуқтага нисбатан тезлигини топинг. Вақт ўтиши билан нуқталар орасидаги масофа қандай ўзгаради?

3. Бошланғич тезлиги 15 м/с бўлган жисм $0,5 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан ҳаракатланмоқда. Жисмнинг 0,2 минутда босиб ўтган йўлини ва охириги тезлигини топинг.

4. Жисм 4 с вақт ичида 56 м масофани босиб ўтди, унинг тезлиги ҳаракат давомида 1,5 марта камайди. Ҳаракатни текис секинланувчи деб ҳисоблаб, тезланишнинг катталигини топинг.

5. Поезд станциядан $0,2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ тезланиш билан ҳаракатлана бошлади ва тезлиги $36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ га етганда 2 минут давомида текис ҳаракатланди, сўнг тормозланиб, тўхтагунча 100 м йўлни ўтди. Поезднинг ўртача тезлигини топинг.

6. Автобус *A* қишлоқдан *B* қишлоққа томон $36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ тезлик билан йўлга чиқиб, ҳар 30 минут юргандан кейин 5 минутдан тўхтаб турди. Икки соатдан кейин шу йўналишда *A* қишлоқдан $72 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ тезлик билан автомобиль йўлга чиқди ва тўхтовсиз ҳаракатланди. Автобус ва автомобилларнинг ҳаракат графикларини чизинг. Шу графиклардан автомобиль қачон автобусга етиб олишини аниқланг.

7. Мотоциклчи $0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ўзгармас тезланиш билан ҳаракатланмоқда. У биринчи, еттинчи ва йигирма учинчи секундда қанча йўл ўтади?

8. Чанғичи $0,3 \text{ м/с}^2$ тезланиш билан ҳаракатланиб, узунлиги 100 м бўлган қияликни 20 с ичида ўтди. Чанғичининг қиялик боши ва охиридаги тезликлари қандай?

9. Бола чанада узунлиги 40 м бўлган тепаликдан 10 с да тушди ва тўхтагунча горизонтал участкада яна 20 м масофа ўтди. Тепалик охиридаги тезликни, ҳар қайси участкадаги тезланишни, ҳаракатнинг умумий вақтини ва бутун йўл давомидаги ўртача тезликни топинг.

10. Баландлиги $0,535 \text{ км}$ бўлган Останкино ва Баландлиги $0,375 \text{ км}$ бўлган Тошкент телевизион минораларининг юқори нуқтасидан ташланган жисм қанча вақт эркин тушади? Жисмнинг йўл охиридаги тезлигини топинг. Ҳавонинг қаршилигини ҳисобга олманг.

11. Жисм 2 км баландлиқдан эркин тушмоқда. У охириги 100 м ни қанча вақтда ўтади?

12. Агар жисм 3 с да эркин тушадиган баландлиқдан $9,8 \text{ м/с}$ тезлик билан паства тик ташланса, у Ерга қанча вақтда тушади?

13. Иккита жисм турли баландлиқлардан Ерга бир вақтда эркин тушди. Биринчи жисмнинг ҳаракат вақти 2 с, иккинчисиники эса 1 с га тенг. Иккинчи жисм туша бошлаганда биринчи жисм қандай баландлиқда бўлган?

14. Ердан юқорига тик отилган жисм 8 с да қайтиб тушди? Жисм қандай баландликка кўтарилган? Унинг бошланғич тезлиги қандай бўлган?

17- §. Эгри чизиқли ҳаракат. Айлана бўйлаб текис ҳаракат. Бурчак тезлик

Юқорида (8- § да) қайд қилиб ўтганимиздек, траекторияси эгри чизиқдан иборат бўлган ҳаракат эгри чизиқли ҳаракат деб аталади. Табиатда ва техникада эгри чизиқли ҳаракатлар кўп учрайди. Масалан, сайёра ва сунъий йўлдошлар, самолёт парраги, пароход винти, транспорт воситалари, машиналарнинг қисмлари, иссиқ ва совуқ ҳаво оқимлари ва ҳоказолар эгри чизиқли ҳаракат қилади.

Эгри чизиқли турли-туман ҳаракатлар орасида энг оддийси жисм (моддий нуқта)нинг айлана бўйлаб ҳаракатидир.

Агар жисм айлана бўйича тенг вақтлар ичида тенг ёйларни босиб ўтса, бундай ҳаракат айлана бўйлаб текис ҳаракат дейилади.

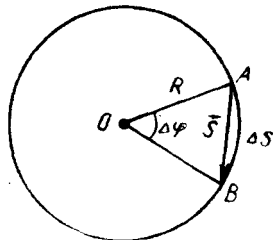
Жисмнинг айлана бўйлаб ҳаракат тезлиги *чизиқли тезлик* дейилади. Айлана бўйлаб текис ҳаракатнинг чизиқли тезлиги жисмнинг вақт бирлигида ўтган ёйининг узунлиги билан ўлча-нади, яъни

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}, \quad (34)$$

бу ерда Δs — жисмнинг Δt вақт давомида босиб ўтган ёйининг узунлиги. Эгри чизиқли ҳаракатда жисмнинг чизиқли тезлиги ҳамма вақт ҳаракат траекториясига уринма бўйлаб йўналганлигини эслатиб ўтади (13- расмга қ.).

Жисм айлана бўйлаб текис ҳаракат қилганда чизиқли тезлик вектори миқдор жиҳатдан ўзгармасдан, бутун ҳаракат давомида ўз йўналишини ўзгартириб туради. Шунинг учун айлана бўйлаб ҳаракатланаётган жисмнинг ҳаракати чизиқли тезликдан ташқари *бурчак тезлик* деб аталадиган катталиқ билан ҳам характерланади.

Бурчак тезлик ҳақида тушунча ҳосил қилиш учун бирор жисмнинг айлана бўйлаб текис ҳаракатини кўриб чиқайлик (25- расм). Айлананинг O марказидан жисмнинг бирор A нуқтасига R радиус ўтказайлик ва жисм билан бирга унга ўтказилган радиуснинг ҳаракатини ҳам кузатайлик. Жисм айлана бўйлаб ҳаракатланганда радиус ҳам бурилади. Масалан, жисм бирор Δt вақт давомида A нуқтадан B нуқтага кўчган бўлса, шу вақт ичида радиус $\Delta\varphi$ бурчакка бурилади. Бу бурчак жисмнинг *бурилиш бурчаги* (*бурчак йўли*) дейилади.



25- расм.

Жисмнинг айлана бўйлаб бирор Δt вақт давомидаги ҳаракати ҳақида қуйидагиларни айтиш мумкин: а) жисм айлананинг AB ёйи бўйлаб Δs йўлни босиб ўтди; б) жисм модули AB ватарнинг узунлигига тенг бўлган \vec{s} векторга кўчди ва ниҳоят, в) жисм траекториясига ўтказилган уринма $\Delta\varphi$ бурчакка бурилди.

Жисмнинг вақт бирлиги ичида бурилиш бурчаги айлана бўйлаб текис ҳаракатнинг бурчак тезлиги дейилади, яъни:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}. \quad (35)$$

Механикада бурчакларни градусларда эмас, радианларда ўлчаш қабул қилинган.

Қаршисидаги ёйининг узунлиги радиусга тенг бўлган марказий бурчак бир радианга тенг бўлади. Δs ёйга мос келувчи марказий бурчакни радианларда ифодалаш учун шу ёйнинг узунлигини радиусга бўлиш керак, яъни:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta s}{R}, \quad (36)$$

$\Delta\varphi$ — ўлчамсиз катталиқ, лекин унинг сон қиймати ёнига *рад* (радиан) деб ёзиб қўйилади.

Жисм айлана бўйлаб бир марта тўлиқ айланиб чиққанда босиб ўтган ёйининг узунлиги $2\pi R$ га тенг бўлади. Демак, марказий бурчак

$$\varphi = \frac{2\pi R}{R} = 2\pi \text{ рад}$$

бўлади. Градус ўлчовида бу бурчак 360° га тенг. Шунинг учун

$$1 \text{ рад} = \frac{360^\circ}{2\pi} = \frac{360^\circ}{6,28} = 57^\circ 18'.$$

СИ да бурчак тезликнинг бирлиги қилиб, бир секундда бир радиан бурчакка буриладиган жисмнинг текис айланма ҳаракатидаги бурчак тезлиги қабул қилинган.

(35) формулага кўра, бурчак тезликнинг бирлиги:

$$[\omega] = \frac{[\Delta\varphi]}{[\Delta t]} = \frac{1 \text{ рад}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 1 \frac{1}{\text{с}}.$$

18- §. Чизиқли тезлик билан бурчак тезлик орасидаги боғланиш. Айланиш даври ва айланиш частотаси

Айлана бўйлаб текис ҳаракат қилаётган жисмнинг ўтган йўлини (36) формула бўйича ҳисоблаб топиш мумкин:

$$\Delta s = \Delta\varphi \cdot R.$$

Бу тенгликнинг иккала томонини Δt га бўлиб, (34) ва (35) формулаларни назарга олсак, чизиқли тезликни бурчак тезлик билан боғловчи муносабатни топамиз:

$$v = \omega R. \quad (37)$$

Бу муносабатдан кўринадики, айлана бўйлаб ҳаракат қилаётган жисмнинг чизиқли тезлиги бурчак тезлик билан айлана радиусининг кўпайтмасига тенг экан.

Жисмнинг айлана бўйлаб ҳаракати яна иккита физик катталик: айланиш даври (T) ва айланиш частотаси ν билан характерланади.

Жисмнинг бир марта тўлиқ айланиб чиқиши учун кетган вақт билан ўлчанадиган катталик айлана бўйлаб ҳаракатнинг айланиш даври дейилади.

Жисмнинг вақт бирлиги ичида тўлиқ айланишлари сони билан ўлчанадиган катталик айлана бўйлаб ҳаракатнинг айланиш частотаси дейилади.

Оқоридаги таърифлардан кўринадики, давр билан частота ўзаро тесқари боғланган катталиклардир. Шунинг учун

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (38)$$

деб ёза оламиз.

Жисм билан боғланган айлана радиуси бир давр ичида 2π радиан бурчакка бурилгани учун (35) ва (38) формулаларга биноан бурчак тезлик

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu. \quad (39)$$

(37) ва (39) формулаларга кўра чизиқли тезлик

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu = \omega R \quad (40)$$

экани келиб чиқади.

Айланма ҳаракат билан боғлиқ бўлган кўпгина масалаларда жисмнинг t вақт давомида n марта айланган ҳоллари учраб туради. Бундай ҳолларда айланиш частотаси

$$\nu = \frac{n}{t} \quad (41)$$

муносабатдан топилади, бунда n — ўлчамсиз катталик, аммо унинг сон қиймати ёнига айл (айланиш) деб ёзиб қўйилади.

СИ да бир секундда бир марта тўла айланадиган жисмнинг айланиш частотаси частота бирлиги қилиб қабул қилинган. Бу бирлик Герц деб аталади.

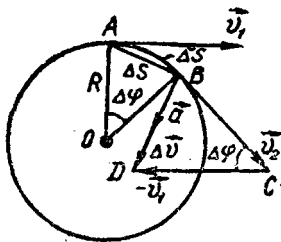
(38) формулага биноан

$$[\nu] = \frac{1}{[T]} = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}.$$

Амалда частотанинг $\frac{\text{сйл}}{\text{с}}$, $\frac{\text{сйл}}{\text{мин}}$ каби бирликларидан ҳам фойдаланилади.

19- §. Жисмнинг айлана бўйлаб текис ҳаракатидаги тезланиши. (Марказга интилма тезланиш.)

Юқорида айтиб ўтилганидек, жисмнинг айлана бўйлаб текис ҳаракатида тезликнинг фақат миқдори ўзгармай қолади, аммо тезликнинг йўналиши ҳамма вақт ўзгариб туради. Мазлумки, тезлик вектори вақт давомида ўзгариб турса, у ҳолда тезланиш пайдо бўлади. Демак, айлана бўйлаб текис ҳаракатда ҳамма вақт тезланиш мавжуд бўлади.



26- расм.

Айлана бўйлаб текис ҳаракатда тезланишнинг тангенциал ташкил этувчиси бўлмайди ($\vec{a}_t = 0$), тезланиш ўзининг нормал ташкил этувчисига тенг бўлади ($\vec{a}_n = \vec{a}$; 10- § га қ.). Шу тезланишнинг катталигини аниқлайлик.

Фараз қилайлик, жисм кичик Δt вақт давомида айлана бўйлаб текис ҳаракатланиб, A ва B нуқталарда мос равишда \vec{v}_1 ва \vec{v}_2 тезликларга эришиб, Δs ёйни босиб ўтсин ҳамда жисм билан боғлиқ бўлган радиус $\Delta \varphi$ бурчакка бурилган бўлсин (26- расм). Векторларнинг анириш қондасидан фойдаланиб, тезликнинг ўзгариш вектори $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ ни ясайлик. Бунинг учун \vec{v}_2 векторнинг охирини модули \vec{v}_1 вектор модулига тенг, аммо қарама-қарши йўналган $-\vec{v}_1$ векторнинг учи деб олиб, \vec{v}_2 векторнинг бошини шу $-\vec{v}_1$ векторнинг охири билан туташтираемиз. Ҳосил бўлган \vec{BD} вектор \vec{v}_1 ва \vec{v}_2 тезлик векторларининг $\Delta \vec{v} = \vec{v}_2 - \vec{v}_1$ геометрик айирмасига тенг бўлади. Бу ерда $\Delta \vec{v}$ векторнинг йўналиши тезланиш векторининг йўналиши бўлади. Шаклдан кўринадики, томонлари ўзаро перпендикуляр ($OA \perp DC$, $OB \perp BC$) $\angle AOB = \angle BCD$ ва тезлик катталик жиҳатидан ўзгармас ($|\vec{v}_2| = |\vec{v}_1| = v$) бўлгани учун AOB ва BCD учбурчаклар ўхшашдир. Бинобарин,

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{R}, \text{ бундан } \Delta v = \frac{\Delta s}{R} \cdot v = \frac{v}{R} \cdot \Delta s.$$

У ҳолда (6) га кўра

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v}{R} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (42)$$

бўлади.

Вақтнинг оний қиймати учун бу формулани қуйидагича ўзгартириб ёза оламиз:

$$\Delta t \rightarrow 0 \text{ да } a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v}{R} \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v}{R} \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

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

Биобарин,

$$a = \frac{v^2}{R}. \quad (43)$$

26-расмдан тезланиш айлана ичига йўналганлиги кўриниб турибди. Жисмнинг ҳаракат вақти камайтирилиб борилса, у ҳолда B нуқта A нуқтага яқинлашиб бориб, $\Delta\phi$ бурчак нолга интилади, натижада BDC учбурчакнинг CB ва BC бурчаклари 90° га яқинлаша боради. Бу эса, ҳаракат вақти қисқара бориши билан тезлик векторларининг айирмаси Δv тезлик векторига нисбатан перпендикуляр равишда, яъни айлананинг радиуси бўйлаб жойлашишга интилишини кўрсатади. Вақт оний қийматгача қисқарганда Δv вектор, биобарин, a тезланиш радиуси бўйлаб айлана марказига томон йўналган эканини тасаввур қилиш қийин эмас.

Шундай қилиб, жисмнинг айлана бўйлаб текис ҳаракатида тезланиш ҳар доим радиус бўйлаб айлана марказига томон йўналган бўлади. Бу тезланишни марказга интилма тезланиш деб аталади ва у $a_{\text{м.п.}}$ билан белгиланади. У вақтда (42) формула марказга интилма тезланишни ифодалаб, қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$a_{\text{м.п.}} = \frac{v^2}{R}. \quad (44)$$

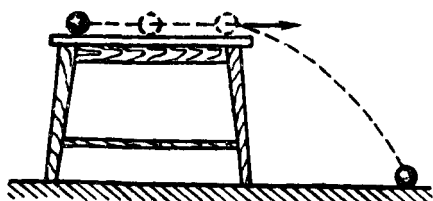
Чизикли тезлик билан бурчак тезлик орасидаги боғланишни ифодаловчи (37) муносабатдан v нинг қийматини (44) формулага келтириб қўйиб, марказга интилма тезланишнинг бурчак тезлик орқали ифодасини ҳосил қиламиз:

$$a_{\text{м.п.}} = \frac{(\omega R)^2}{R} = \omega^2 R. \quad (45)$$

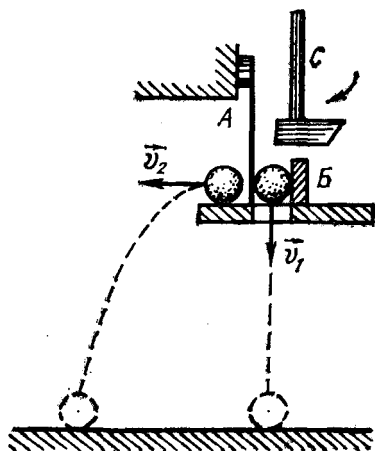
Демак, марказга интилма тезланиш бурчак тезлик (ёки чизикли тезлик)нинг квадратига тўғри мутаносиб экан.

20-§. Ҳаракатларнинг мустақиллик принципи

Кўп ҳолларда бир вақтнинг ўзида бир неча ҳаракатларда иштирок этаётган жисм билан иш кўришга тўғри келади. Жисмнинг бундай ҳаракати мураккаб ҳаракат дейилади. Масалан, юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракати бошланғич тезлик билан юқорига текис секинланувчан ҳаракат қилаётган ва пастга қараб эркин тушаётган (текис тезланувчан ҳаракатланаётган) жисм ҳаракатларидан таркиб топган мураккаб ҳаракатдир. Мураккаб ҳаракат траекторияси ташкил қилувчи ҳаракатларнинг траекториялари орқали аниқланиши мумкин. Бунга ҳаракатларни қўйиш дейилади. Мураккаб ҳаракатнинг траекторияси тўғри чизикли ҳам, эгри чизикли ҳам бўлиши мумкин.



27- расм.



28- расм.

Инерция таъсирида бўладиган тўғри чизиқли текис ҳаракат билан оғирлик кучи таъсирида бўладиган текис тезланувчан ҳаракатнинг қўшилишидан эгри чизиқли мураккаб ҳаракат юзага келишини қуйидаги мисолда кўриш мумкин. Юзи силлиқ бўлган стол устида тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган шарчани кўз олдимизга келтирайлик. Шарча стол четига етиб келгунча тўғри чизиқли текис ҳаракат қилади, бу вақтда шарчанинг оғирлиги столнинг реакция кучи билан мувозанатланган бўлади. Шарча стол четидан думалаб кетган пайдан бошлаб бу мувозанат йўқолади ва шарча ўзининг тўғри чизиқли текис ҳаракатини инерцияси туфайли сақлайди, шу билан бир вақтда оғирлик кучи таъсирида пастга туша бошлайди. Натижада шарча эгри чизиқли ҳаракат қилади (27- расм).

Бу ҳаракатларнинг иккала тури ҳам мустақил равишда содир бўлиши мумкин. Бунга қуйидаги тажриба ёрдамида ишонч ҳосил қила оламиз.

Четида тешиги бўлган стол устига иккита шарчани шундай ўрнатилдики, улардан бирини *A* пружина — пластинка столга маҳкамланган *B* тўсиққа қисиб тешик устида тушириб юбормасдан ушлаб туради (28- расм). Пластинкага *C* болғача билан урилганда, тешикча устидаги шарчанинг \vec{v}_1 тезлик билан эркин тушиши ва иккинчи шарчанинг бир вақтнинг ўзида горизонтал йўналишда \vec{v}_2 тезлик билан ҳаракатланиши ҳамда пастга туша бошлаши кузатилади. Тажрибадан аниқланишича, ҳар иккала шарчанинг полга келиб урилиши бир вақтнинг ўзида содир бўлади. Бундан шарчанинг оғирлик кучи таъсирида қилган ҳаракати унинг дастлабки пайтда тинч турганлигига ёки горизонтал йўналишда ҳаракат қилаётганлигига боғлиқ бўлмас экан, деган хулоса келиб чиқади.

Юқоридаги тажрибалардан кўринадикки, *жисм бир вақтнинг ўзида бир неча ҳаракатда иштирок этса, ҳаракатларнинг ҳар бири мустақил равишда бўлади.*

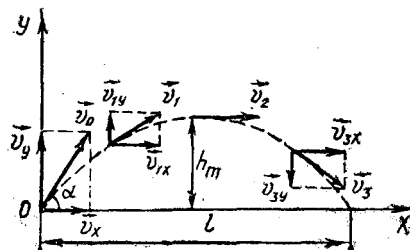
Бу қоида механикада ҳаракатларнинг мустақиллик принципи деб юритилади.

Ҳаракатларнинг мустақиллик принципига асосланиб, қуйида горизонтал ва горизонтга қиялатиб отилган жисмларнинг ҳаракатини кўриб чиқамиз.

21- §. Горизонтга нисбатан бурчак остида отилган жисмнинг ҳаракати

Бирор жисм горизонт билан α бурчак ташкил қилувчи ва сон қиймати v_0 га тенг бўлган бошланғич тезлик билан отилган, деб фараз қилайлик. Шу жисм ҳаракат траекториясининг кўринишини, унинг ҳаракат вақтини, кўтарилиш баландлигини ва учуш узоқлигини аниқлайлик.

Жисмнинг ҳаракатини Ерга нисбатан қараб, Ерни санок боши системаси қилиб оламиз ва унга тўғри бурчакли координаталар системасини жойлаштирамиз (29- расм). Ҳавонинг қаршилигини эътиборга олинмаса, 29- расмда қабул қилинган белгиларга мувофиқ, жисм тезлигининг ташкил этувчилари учун қуйидаги ифодаларни ёза оламиз:



29- расм.

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_0 \cos \alpha, \\ v_y &= v_0 \sin \alpha - gt. \end{aligned} \right\} \quad (46)$$

Охирги формуладан ва 29- расмдан кўринишича, жисм тезлигининг вертикал ташкил этувчиси аввал юқорига тик йўналган бўлади ва вақт ўтиши билан камайиб боради, сўнг эса ўз йўналишини пастга томон тик ўзгартиради. Жисмнинг координаталари вақт ўтиши билан ўзгаради. Шунинг учун уларни вақтнинг функциялари сифатида қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 \cos \alpha t, \\ y &= v_0 \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (47)$$

Жисмнинг ҳаракати горизонтал йўналишда v_x тезликли текис ҳаракат билан v_y бошланғич тезликда юқорига вертикал йўналган текис секинланувчан ҳаракат йиғиндисидан иборат бўлган мураккаб ҳаракатдир. x ва y нинг (47) даги ифодаларидан t вақтни йўқотиб, траектория тенгламасини топамиз:

$$y = \operatorname{tg} \alpha \cdot x - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2 \alpha} \cdot x^2.$$

Бу ерда α —берилган бурчак ва v_0 —бошланғич тезликнинг сон қий-

мати бўлгани сабабли x ва x^2 олдидagi коэффициентлар ўзгармас катталикдир, уларни a ва b билан белгиласак, у ҳолда

$$y = ax - bx^2 \quad (48)$$

бўлади, бу *парабола* тенгламасидир. Демак, *горизонтга нисбатан бурчак остида отилган жисм парабола бўйича ҳаракат қилар экан.*

Траекториянинг энг юқори нуқтасида тезликнинг вертикал ташкил этувчиси нолга тенг ($v_y = 0$). Шунинг учун жисмнинг максимал баландликка кўтарилиш вақти t_1 ни (46- формула)

$$v_0 \sin \alpha - gt_1 = 0$$

тенгликдан аниқлаш мумкин, бундан

$$t_1 = \frac{v_0 \cdot \sin \alpha}{g} \quad (49)$$

бўлади.

Жисмнинг *кўтарилиш баландлиги* фақат тезликнинг вертикал ташкил этувчисига боғлиқ. Максимал кўтарилиш баландлиги h_m ни (47) формуладаги y нинг ифодасига максимал баландликка кўтарилиш вақти (t_1) нинг қийматини қўйиб аниқланади, яъни:

$$h_m = v_y \cdot t_1 - \frac{gt_1^2}{2} = v_0 \sin \alpha \cdot \frac{v_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g}{2} \left(\frac{v_0 \sin \alpha}{g} \right)^2 = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}. \quad (50)$$

Жисмнинг *кўтарилиш вақти* унинг тушиш вақтига тенг эканлиги 16- § да кўрсатилган эди. Шунинг учун жисмнинг учиш вақти

$$t = 2t_1 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} \quad (51)$$

муносабатдан топилади.

Жисмнинг *учиш узоқлиги* тезликнинг фақат горизонтал ташкил этувчисига боғлиқ. Шунинг учун t учиш вақтининг қийматини (47) га x нинг ифодасига келтириб қўйиб, жисмнинг учиш узоқлиги l ни топиш мумкин:

$$l = v_x \cdot t = v_0 \cos \alpha \cdot \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\alpha. \quad (52)$$

Охириги формуладан кўринадики, бошланғич тезликнинг маълум қийматида $\alpha = 45^\circ$ бўлганда жисм энг узоққа бориб тушади.

Юқоридаги формулаларнинг ҳаммаси жисм вакуумда ҳаракат қилгандагина тўғри бўлади. Жисмнинг ҳаводаги ҳаракатига ҳаво қаршилиги анчагина таъсир кўрсатади. Ҳаракат вақтида ҳаво қаршилиги туфайли жисмнинг тезлиги камайиб боради, натижада траектория парабола эмас, балки мураккаб эгри чизиқдан иборат бўлади.

22- §. Горизонтал отилган жисмнинг ҳаракати

Стол устида турган шарчани кўз олдимизга келтирайлик (27-расмга қ.). Агар шу шарчани стол устидан горизонтал йўналишда туртиб юборсак, у стол чеккасига етгач, эгри чизикли ҳаракат билан Ерга туша бошлайди. Шарчанинг бу ҳаракати горизонтал отилган жисм ҳаракатига мисол бўла олади. Бундай ҳаракат мураккаб бўлиб, у горизонтал йўналишда бўладиган v_0 тезликли тўғри чизикли текис ҳаракат билан вертикал йўналишда бўладиган g тезланишли тўғри чизикли текис тезланувчан ҳаракатлар (эркин тушиш) нинг қўшилишидан ҳосил бўлади. Биз бу ўринда ҳавонинг жисм ҳаракатига кўрсатадиган қаршилигини назарга олмаймиз.

Фараз қилайлик, бошланғич пайт ($t=0$) да жисм v_0 тезлик билан горизонтал йўналишда O нуқтадан отилган бўлсин (30-расм). Саноқ боши деб O нуқтани олиб, унга тўғри бурчакли координаталар системасини боғлаймиз. X ва Y ўқлар йўналишида шарчанинг вақт ўтиши билан ҳаракат тенгламаси қуйидагича ифодаланади:

$$\left. \begin{aligned} x &= v_0 t, \\ y &= \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned} \right\} \quad (53)$$

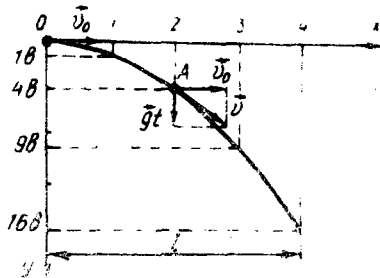
Бу тенгламалар системасидан t ни йўқотиб, жисмнинг ҳаракат траекторияси тенгламасини топамиз:

$$y = \frac{g}{2} \left(\frac{x}{v_0} \right)^2 = \frac{g}{2v_0^2} x^2.$$

Бу ифодада x^2 олдидаги $\frac{g}{2v_0^2}$ ўзгармас катталиқ бўлгани учун уни b орқали белгилаб,

$$y = b x^2 \quad (54)$$

ифодани ҳосил қиламиз. Бу ифода горизонтал отилган жисм ҳаракат траекториясининг тенгламасидир. Унинг кўринишини аниқлаш учун x га ихтиёрий, масалан, 1, 2, 3 ва ҳоказо қийматлар бериб бу қийматларга мос келадиган y нинг қийматларини (54) формула ёрдамида ҳисоблаб топиш ва олинган натижаларга асосланиб, y нинг x га боғланиш графигини чизиш лозим. x ва y нинг қийматлари қуйидаги жадвалда келтирилган:



30-расм.

| | | | | | |
|------------|---|-----|------|------|-------|
| x | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $y = bx^2$ | 0 | b | $4b$ | $9b$ | $16b$ |

(53) формуладан y нинг йўналиши g нинг йўналиши билан мос келиши кўришиб тўрубди (чунки $t_2 > 0$). Шунинг учун Y ўқини O нуқтадан пастка томон йўналтириб (30- расмга қ), координата ўқларига танлаб олинган масштабда жадвалдаги катталикларни қўйиб, олинган нуқталарни бирлаштирамиз. Бу эгри чизиқ горизонтал отилган жисмнинг ҳаракат траекторияси бўлади. Уни 29- расмда тасвирланган парабола билан таққослаб, *горизонтал отилган жисмнинг ҳаракат траекторияси парабола-нинг бир тармоғи эканлигини кўришимиз мумкин.*

Горизонтал отилган жисмнинг учиб вақти.

$$t = \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (55)$$

ва учиб узоқлиги

$$l = x_m = v_0 \cdot t = v_0 \cdot \sqrt{\frac{2y}{g}} \quad (56)$$

формулалардан аниқланади.

Траекториянинг ихтиёрий A нуқтасидаги тезлик \vec{v} жисм тезлигининг горизонтал v_x ва вертикал v_y ташкил этувчилари устида чизилган параллелограмм диагонали сифатида аниқланади:

$$\vec{v} = \vec{v}_x + \vec{v}_y \quad \text{ёки} \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Горизонтал отилган жисм учун $v_x = v_0$ ва $v_y = gt$ бўлганидан

$$v = \sqrt{v_0^2 + g^2 t^2} \quad (57)$$

бўлади.

Такрорлаш учун саволлар

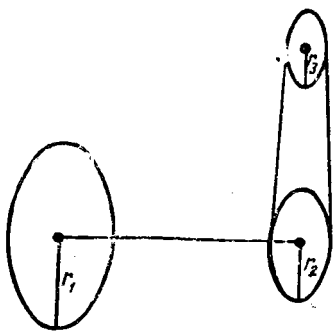
1. Қандай ҳаракат айлана бўйлаб текис ҳаракат дейилади?
2. Айлана бўйлаб текис ҳаракат тўғри чизиқли текис ҳаракатдан нима билан фарқ қилади?
3. Айлана бўйлаб ҳаракатни характерловчи қандай катталикларни биласиз? Уларни таърифланг.
4. Бурчак ва чизиқли тезликлар орасида қандай боғланиш бор?
5. Марказга интилма тезланиш нима? Унинг бурчак тезлик ва чизиқли тезлик орқали ифодаланган формулаларини ёзинг.
6. Қандай ҳаракат мураккаб ҳаракат дейилади? Ҳаракатларни қўшиш деганда нимани тушунасиз?
7. Ҳаракатнинг мустақиллик принципи деганда нимани тушунасиз? Ми-соллар келтиринг.
8. Горизонтга нисбатан бурчак остида отилган жисм ҳаракатининг траекторияси қандай? Траектория тенгламасини келтириб чиқаринг.
9. Горизонтал отилган жисм қандай траектория билан ҳаракатланади? Траектория тенгламасини келтириб чиқаринг.

10. Учиш вақти, учиш узоқлиги ва қўтарилиш баландлиги нима ва улар қандай ҳисобланади?

11. Эгри чизиқли траекториянинг ихтиёрий нуқтасида жисмнинг тезлиги қандай йўналган бўлади? Бу тезлик қандай аниқланади?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Доиравий арранинг диаметри 600 мм. Арра ўқига диаметри 300 мм бўлган шкив ўрнатилган бўлиб, уни двигателъ валига маҳкамланган, диаметри 120 мм бўлган шкив айлантиради (31-расм). Агар арра тишларининг тезлиги 15 м/с бўлса, двигателъ роторининг айланиш частотаси (айл/мин) қандай?



31- расм.

Берилган: $D_1 = 600 \text{ мм} = 0,6 \text{ м}$; $D_2 = 300 \text{ мм} = 0,3 \text{ м}$; $D = 120 \text{ мм} = 0,12 \text{ м}$. $v_1 = 15 \text{ м/с}$.

Топиш керак: $\omega = ?$

Ечилиши. Арранинг ω_1 бурчак тезлиги билан унинг ўқига ўрнатилган шкивнинг бурчак тезлиги бир-бирига ($\omega_1 = \omega_2$) тенг бўлади (31-расмга қ.). Шунингдек, бу шкивнинг v_2 чизиқли тезлиги уни айлантираётган (дигателъ валига ўрнатилган) шкивнинг v чизиқли тезлигига тенг ($v_2 = v$) бўлади. Масалани ечишда чизиқли тезлик билан бурчак тезлик орасидаги боғланиш формуласидан фойдаланамиз:

$$\omega_2 = \frac{v}{r} = \frac{2v}{D} = \frac{2v_2}{D},$$

$$v_2 = \omega_2 r_2 = \omega_1 \cdot \frac{D_2}{2} = \frac{v_1}{r_1} \cdot \frac{D_2}{2} = \frac{2}{D_1} \cdot \frac{v_1 D_2}{2} = \frac{v_1 D_2}{D_1}.$$

Демак,

$$\omega = \frac{2}{D} \cdot \frac{v_1 D_2}{D_1}.$$

$$\text{Ҳисоблаш: } \omega = \frac{2 \cdot 15 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 0,3 \text{ м}}{0,12 \text{ м} \cdot 0,6 \text{ м}} = \frac{15}{0,12} \frac{\text{рад}}{\text{с}} = \frac{15}{0,12} \cdot \frac{60}{2\pi} \frac{\text{айл}}{\text{мин}} = 1190 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}.$$

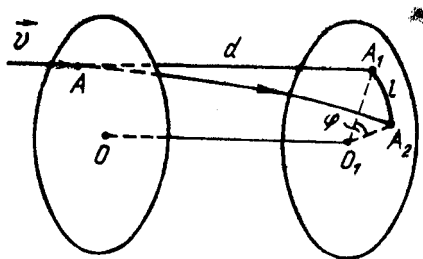
2-масала. Иккита юпка картон диск битта ўққа маҳкамланган ва 50 Гц частотали электр моторча билан айлантиради. Дисклар орасидаги масофа 22,5 см. Дисклардан бирининг олдида, ташқи томондан пистолетдан ўқ узилади. Ўқ тешиги бир-бирига нисбатан айлананинг 1/20 қисмини ташкил этадиган қилиб иккала дискни тешиб ўтади. Ўқнинг тезлигини топинг.

Берилган: $d = 22,5 \text{ см} = 22,5 \times 10^{-2} \text{ м}$; $\nu = 50 \text{ Гц} = 50 \frac{1}{\text{с}}$; $\varphi = \frac{2\pi}{20}$.

Топиш керак: $v = ?$

Ечилиши. Ўқ биринчи дискни тешиб иккинчи дискка етиб келгунча кетган вақт $t = \frac{d}{v}$ га тенг бўлади,

бу ерда v — ўқнинг тезлиги. Шу вақт давомида дисклар φ бурчакка бурилиб қолади (32-расм), бунда дисклар тинч турганда ўқ ҳосил қилиши мумкин бўлган A_1 тешик гўё диск сиргида l ёйга



32- расм.

силжиб, A_2 вазиятни олгандек туюлади. Дискнинг радиуси R чизиқли, тезлиги v_1 бўлса,

$$l = \varphi \cdot R \text{ ва } t = \frac{l}{v_1} = \frac{\varphi}{v_1} \cdot R$$

бўлади. $v_1 = \omega R = 2\pi v R$ эканлигини эътиборга олсак,

$$t = \frac{2\pi}{20} \cdot \frac{R}{2\pi v R} = \frac{1}{20v}$$

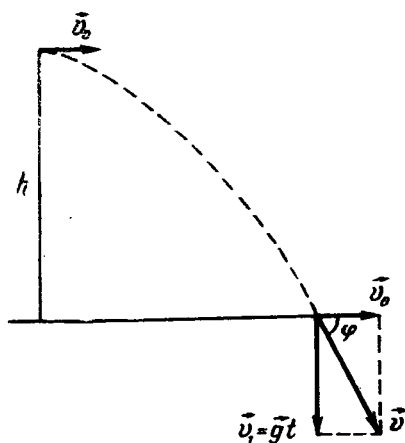
ҳосил бўлади.

Иккинчидан $t = \frac{d}{v}$ бўлгани учун

$$\frac{d}{v} = \frac{1}{20v} \text{ ва бундан } v = 20vd$$

бўлади.

$$\text{Ҳисоблаш: } v = 20 \cdot 50 \frac{1}{c} \cdot 22,5 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 225 \text{ м/с.}$$



33- расм.

3- масала. Бола баландлиги 5 м бўлган қирғоқдан югуриб келиб сувга сакради (шўнғиди). Сувга сакраётганда, яъни учиб бораётганида боланинг горизонтал йўналишдаги тезлиги 6 м/с га тенг бўлган. Бола сув сиртига етганда тезлигининг модули ва йўналиши қандай бўлган?

$$\text{Берилган: } h = 5 \text{ м, } v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Топиш керак: v — ?, φ — ?

Ечилиши: Боланинг сув сиртига етгандаги v тезлиги траекторияга уринма равишда йўналган бўлиб, уни иккита ташкил этувчига ажратиш мумкин (33-расм): горизонтал ташкил этувчиси боланинг сувга сакраётгандаги бошланғич v_0 тезлигига, вертикал ташкил этувчиси эса t вақт оралигида эркин тушишда олган $v_1 = gt$ тезлигига тенг бўлади. Шунинг учун

$$v = \sqrt{v_1^2 + v_0^2} = \sqrt{g^2 t^2 + v_0^2}$$

деб ёзиш мумкин. t вақт ҳаракатларнинг мустақиллик принципига биноан, боланинг h баландликдан эркин тушиш вақтига тенг бўлади:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Демак,

$$v = \sqrt{2gh + v_0^2}$$

Шаклдан

$$\cos \varphi = \frac{v_0}{v} = \frac{v_0}{\sqrt{2gh + v_0^2}}$$

Ҳисоблаш:

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 5 \text{ м} + 36 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 11,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$\cos \varphi = \frac{6 \text{ м/с}}{11,7 \text{ м/с}} = 0,3138, \varphi = 59^\circ.$$

4-масала. Бола ерда турган коптокни тегиб юборган эди, у горизонтга нисбатан 37° бурчак остида $14,4 \text{ м/с}$ тезлик билан учиб кетди. Шу вақтнинг ўзида отиш йўналишида боладан 30 м узоқда турган иккинчи бола коптокни ерга тушмасидан аввал тутиб олиши учун қандай тезлик билан қарама-қарши йўналишда чопиши керак?

Берилган: $v_0 = 14,4 \text{ м/с}$; $\alpha = 37^\circ$, $s = 30 \text{ м}$.

Топиши керак: v — ?

Ечилиши. Коптокнинг учиш вақти давомида иккинчи бола s_1 масофани чопиб ўтган бўлсин, у ҳолда

$$v = \frac{s_1}{t}$$

бўлади, бу ерда t коптокнинг учиш вақти бўлиб, уни (51) ифода

$$t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

дан аниқлаш мумкин. Агар коптокнинг узоққа максимал отилиш масофаси (52) дан

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

эканлигини назарга олсак, у вақтда s_1 учун

$$s_1 = s - s_m = s - \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

муносабатни ҳосил қиламиз. Демак, боланинг чопиш тезлиги қуйидагича ифодаланadi:

$$v = \left(s - \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} \right) \cdot \frac{g}{2v_0 \sin \alpha} = \frac{sg - v_0^2 \sin 2\alpha}{2v_0 \sin \alpha}.$$

$$\text{Ҳисоблаш: } v = \frac{30 \text{ м} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \left(14,4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)^2 \cdot \sin 74^\circ}{2 \cdot 14,4 \frac{\text{м}}{\text{с}} \sin 37^\circ} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

15. Ой Ер атрофида Ер радиусидан 60 марта катта радиусли айлана бўйлаб ҳаракатланади. Ойнинг айланиш дари 27 сутка 7 соат 45 минутга, Ернинг радиуси 6370 км га тенг деб ҳисоблаб, Ойнинг Ерга томон марказга интилма тезланишини топинг.

16. Гилдирак текис тезланувчан айланиб, 10 с да $20 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$ бурчак тезликка эришди. Гилдиракнинг бурчак тезланишини топинг.

17. Ишчи гилдирагининг диаметри 9 м бўлган ГЭС турбинаси бир ми-

нутда 68,2 марта айланади. Турбина кураклари учларининг тезлигини ва марказга интилма тезланишини топинг.

18. $10 \frac{M}{c}$ тезлик билан горизонтал йўналишда отилган жисмнинг учиш узоқлиги отилиш баландлигига тенг. Жисм қандай баландликдан отилган?

19. Жисм $50 \frac{M}{c}$ тезлик билан горизонтал 53° бурчак остида отилди. Ҳавонинг қаршилигини эътиборга олмай ва $g = 10 \text{ м/с}^2$ деб ҳисоблаб, 1) жисмнинг кўтарилиш вақтини ва кўтарилиш баландлигини, 2) жисм ҳаракатининг тўла вақтини ва учиш узоқлигини топинг.

20. Уй тоmidан $15 \frac{M}{c}$ тезликда горизонтал отилган тош Ерга 60° бурчак остида тушди. Тошнинг ерга урилиш пайтидаги тезлиги қанча? Уйнинг баландлиги қанча?

21. Жисм горизонтга 30° бурчак остида $12 \frac{M}{c}$ тезлик билан отилди. Энг юқорига кўтарилиш нуқтасидаги ва ерга урилиш пайтидаги тезлигининг модулини ва йўналишини топинг.

II б о б. ДИНАМИКА

23-§. Куч. Механикада кучларнинг турлари

Кинематикада ҳаракатнинг икки тури: текис ва нотекис ҳаракат қонунлари билан танишган эдик. Текис ҳаракатда жисм ўзгармас тезлик билан ҳаракатланишини, нотекис ҳаракатда эса тезлик вақт ўтиши билан ўзгариб туришини, яъни жисм тезланиш билан ҳаракатланишини кўрган эдик. Жисмларнинг ҳаракатини кузатиб, улардан исталган бирининг ҳаракат тезлигининг ўзгариши бошқа жисм таъсирида юз беради, деб айтиш мумкин. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун қуйидаги мисоллар билан танишиб чиқайлик.

1. Вагонеткани итариб, уни ҳаракатга келтириш, яъни унинг тезлигини ўзгартириш мумкин. Бунда вагонетка одам таъсирида ўз тезлигини ўзгартиради.

2. Аэропортга қўнган самолёт йўлка бўйлаб ҳаракатланаётганда ҳавонинг қаршилиги ва ғилдиракларининг Ерга ишқаланиши натижасида тезлиги камайиб боради ва охири тўхтайтиди.

3. Учиб келаётган коптокни ракета билан тўхтатиш ёки унинг ҳаракат йўналишини ўзгартириш мумкин ва ҳоказо.

Бу келтирилган мисолларда жисм бошқа жисмнинг таъсири остида ҳаракатга келади, тўхтайтиди ёки ҳаракат йўналишини ўзгартиради. Бошқача қилиб айтганда, жисмнинг тезлиги унга бошқа жисмлар таъсир этгандагина ўзгаради.

Бир жисмнинг иккинчи жисмга таъсирини характерловчи ва жисмнинг тезлигини ўзгартирувчи катталиқ куч деб аталади. Табиатда фақат жисмларнинг ўзаро таъсири мавжуддир, лекин ҳамма ҳолда бир жисм иккинчи жисмга таъсир қилди ва унинг ҳаракатини ўзгартирди дейиш ўрнига, соддагина қилиб, жисмга куч таъсир қилди, дейилади.

Жисмларнинг бир-бирига кўрсатадиган таъсирининг тур-

лари жуда кўп бўлганидан кучларнинг ҳам турлари жуда кўпга ўхшаб кўринади. Лекин ҳақиқатда эса табиати турлича бўлган асосан иккита куч мавжуд бўлиб, булар *электромагнит кучлар* ва *бутун олам тортишиш кучлари*дир. Бошқа барча кучлар, масалан, эластиклик кучи, ишқаланиш кучи, электр кучи, магнит кучи ва ҳоказо кучлар шу икки асосий кучнинг турлича намоён бўлишидир.

Жисмларнинг механик ҳаракатини ўрганишда эластиклик кучи, ишқаланиш кучи ва оғирлик кучлари билан иш кўрилади.

Кучнинг жисмга кўрсатадиган таъсири фақат унинг сон қийматига эмас, шунингдек, унинг йўналишига ва қўйилиш нуқтасига ҳам боғлиқ бўлади. Масалан, кучнинг йўналишига қараб пружина чўзилади ёки қисилади, эшик очилади ёки янада зичроқ ёпилади. Биз биламизки, одатда эшик дастасини иложи борича ошиқ-мошиқлардан узоқроқ маҳкамланади, чунки ошиқ-мошиққа яқин жойдаги нуқтага қараганда узоқроқ нуқтадан итариб эшикни очиш анча осон бўлади.

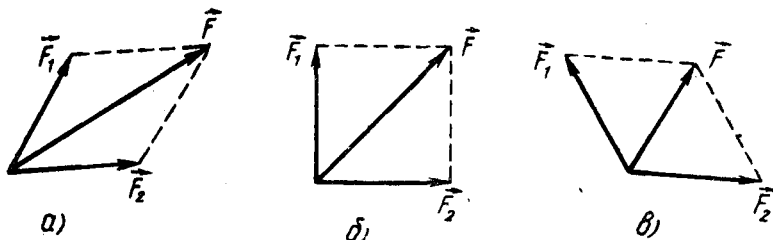
Демак, жисмга таъсир этаётган куч тўғрисида тўла тасаввурга эга бўлиш учун:

- 1) *кучнинг қандай катталиқда эканини;*
- 2) *унинг қандай йўналишда таъсир этишини;*
- 3) *куч жисмнинг қайси нуқтасига қўйилганини билиш керак.*

Шундай қилиб, куч вектор катталиқдир. Жисмнинг фақат битта куч таъсири остидаги ҳаракати камдан-кам учрайди. Кўпгина ҳолларда жисмга бир вақтнинг ўзида бир неча куч таъсир қилади. Бу кучларни ўзининг таъсир натижаси билан ўша кучларга тенг кучли бўлган битта куч билан алмаштириш мумкин. Бу алмаштирилган битта куч шу кучларнинг *тенг таъсир этувчиси* дейилади.

Тенг таъсир этувчи куч билан алмаштирилган кучлар унинг *ташқил этувчилари* дейилади.

Берилган ташқил этувчи кучларга мувофиқ тенг таъсир этувчини топиш *кучларни қўшиш* дейилади. Куч вектор катталиқ бўлгани учун кучларни векторларни қўшиш каби қўшилади (3-§ га қ.) Тенг таъсир этувчи кучнинг йўналиши ва катталиги ташқил этувчи кучларнинг катталигигагина боғлиқ бўлмай, балки уларнинг йўналишига ва қўшилувчи кучлар орасидаги бурчакка ҳам боғлиқ бўлади.



34- расм.

34 а, б, в-расмда кучнинг катталиклари ўзгармас, аммо ораларидаги бурчак ҳар хил бўлган иккита ташкил этувчиларини геометрик қўшишнинг уч ҳоли тасвирланган. Бундан кўринадики, ташкил этувчилар орасидаги бурчакнинг ортиши билан геометрик йиғиндининг катталиги камайиб боради.

Жисмга бир вақтнинг ўзида бир қанча куч таъсир қилганда тезланиш жисмга қўйилган барча кучларнинг геометрик йиғиндиси (тенг таъсир этувчиси) билан аниқланади.

Динамикада жисмларнинг ҳаракати бу ҳаракатни юзага келтирган кучлар билан боғлиқ ҳолда ўрганилади.

Динамиканинг асосий қонунлари учта бўлиб, уларни 1687 йилда инглиз физици Исаак Ньютон кашф қилган ва унинг шарафига *Ньютон қонунлари* деб аталади. Ньютон қонунлари инсониятнинг кўп асрлик тажрибаси натижаларини умумлаштириш йўли билан майдонга келган. Бу қонунларнинг тўғрилиги тажриба натижаларига мос келиши билан тасдиқланади.

24-§. Ньютоннинг биринчи қонуни

Ньютон тажриба ва кузатишларга асосланиб, жисмларнинг қандай ҳолда нисбий тинчликда ва қандай ҳолда тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлишини аниқлаб биринчи қонунини кашф этди. Ньютоннинг биринчи қонуни қуйидагича таърифланади: *ҳар қандай жисм унга бошқа жисмлар таъсир қилмагунча ўзининг тинч ҳолатини ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатини сақлайди.*

Ньютоннинг биринчи қонунидан жисмга куч таъсир қилмаса, у йўналиши ва катталиги жиҳатдан ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилади, деган хулоса келиб чиқади. Тинч ҳолат эса ҳаракатнинг тезлиги нолга тенг бўлган хусусий ҳолидир.

Жисмлар ўзларининг тинч ҳолатини ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатини сақлаш қобилияти *инерция* дейилади. *Инерция материянинг энг умумий хусусиятларидан биридир.* Барча жисмлар, улар қаерда бўлишидан қатъи назар инерцияга эгадир. Ньютоннинг биринчи қонуни *инерция қонуни* деб ҳам юритилади.

Инерциянинг намоён бўлишига биз ҳамма вақт дуч келамиз. Масалан, ҳаракатланаётган вагоннинг тезлиги бирдан ўзгарганида йўловчилар ўзларининг дастлабки ҳолатларини сақлаган ҳолда, агар тезлик камайса — олдинга, тезлик ортса — орқага оғадилар. Елиб бораётган от бирдан тўхтаб қолса, чавандоз ўз ҳаракатини давом эттириб отнинг бошидан ошиб тушади. Инерция туфайли жисмнинг тезлигини бирдан ўзгартириб бўлмайди, бунинг учун маълум муддат керак бўлади.

Ньютоннинг биринчи қонунини тажрибада бевосита текшириш мумкин эмас, чунки атрофдаги барча жисмларнинг таъсирини тўла бартараф қилиш мумкин эмас. Айниқса, бир жисмнинг иккинчи жисмга ишқаланишини бартараф қилиш анча қийин.

Бироқ бир қатор далилларни умумлаштириш орқали Ньютоннинг биринчи қонунининг тўғрилигига ишонч ҳосил қилишимиз мумкин. Жумладан, ҳаракатланаётган жисмга атрофдаги жисмлар томонидан қаршилик кўрсатаётган кучлар қанча қам бўлса, жисмнинг тезлиги шунчалик оз камайишини пайқаш осон. Масалан, бир хил куч билан отилган шарча асфальтланган йўлда қумдагидан кўпроқ думалайди, музнинг устида эса асфальт йўлдагидан ҳам кўпроқ думалайди, чунки шарчага асфальт йўлда қумдагидан кичикроқ, муз устида эса асфальт йўлдагидан янада кичикроқ ишқаланиш кучи таъсир этади.

Атрофимиздаги жисмларнинг одатда кузатиладиган тинч ҳолатда ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлишига жисмга таъсир этаётган барча кучларнинг бир-бири билан ўзаро компенсацияланиши (бир-бирининг таъсирини йўқотиши) сабаб бўлади. Масалан, тинч ҳолатда турган ҳар қандай жисмнинг Ерга тортилиш кучи таянч ёки османинг реакция кучи билан компенсацияланган бўлади; тўғри чизиқли текис ҳаракатланаётган автомобиль двигателининг тортиш кучи гилдираклар ва Ер орасидаги ишқаланиш кучи билан компенсацияланган бўлади ва ҳоказо. Шунинг учун Ньютоннинг биринчи қонунини яна қуйидагича таърифлаш мумкин: *агар жисмга ҳеч қандай куч таъсир этмаса ёки унга таъсир этувчи кучлар бир-бири билан компенсацияланган бўлса, у ҳолда бундай жисм ўзининг тинч ҳолатини сақлайди ёки тўғри чизиқли текис ҳаракатини давом эттиради.*

Ньютоннинг биринчи қонуни ҳар қандай саноқ система-сида ҳам бажарилавермайди. Ҳаракатнинг характери саноқ системасининг танлаб олинishiга боғлиқ эканлиги таъкидлаб ўтилган эди (7-§ га қ.). Бир-бирига нисбатан бирор тезланиш билан ҳаракат қилаётган икки саноқ системасига нисбатан жисмнинг ҳолатини кузатайлик. Агар жисм улардан бирига нисбатан тинч турган бўлса, равшанки, иккинчисига нисбатан у тезланиш билан ҳаракатланади. Демак, Ньютоннинг биринчи қонуни бир вақтнинг ўзида иккала системада қаноатлантирилиши мумкин эмас.

Агар саноқ системасида Ньютоннинг биринчи қонуни қаноатлантирилса, бу системани *инерциал саноқ системаси* дейилади. Ньютон қонуни бажарилмайдиган саноқ системаси *ноинерциал саноқ системаси* деб аталади.

Маркази Қуёш билан устма-уст тушувчи, ўқлари эса мос равишда юлдузларга томон йўналган саноқ системасининг инерциал система эканлиги тажрибаларда аниқланган. Бу система *гелиоцентрик саноқ системаси* дейилади. Гелиоцентрик системага нисбатан текис ва тўғри чизиқли ҳаракатланувчи исталган саноқ системаси инерциал бўлади.

Ер Қуёш ва юлдузларга нисбатан эллипс шаклидаги эгри чизиқли траектория бўйлаб ҳаракатланади. Маълумки, эгри чизиқли ҳаракат доим бирор тезланиш билан содир бўлади. Ундан ташқари, Ер ўз ўқи атрофида айланиб туради. Ана шу

сабабларга кўра Ер сирти билан боғланган саноқ системаси гелиоцентрик саноқ системасига нисбатан тезланиш билан ҳаракат қилади ва инерциал бўлмайди. Бироқ бундай системанинг тезланиши шу қадар кичикки, кўп ҳолларда уни деярли инерциал деб ҳисобласа бўлади. Ньютоннинг учала қонунни фақат инерциал саноқ системаларидагина тўғри бўлади.

25- §. Жисмнинг массаси ва зичлиги

Тажрибаларнинг кўрсатишича, бир хил кучлар билан таъсир қилинганда турли жисмлар ўз тезликларини турлича ўзгартирар экан. Бошқача айтганда, *айни бир хил куч турли жисмларга турлича тезланиш беради*. Бунга қуйидаги мисолда ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Горизонтал йўлда бири юкли, иккинчиси юксиз бўлган икки юк автомобили бир хил тезлик билан келаётган бўлсин. Шу икки автомобилга бир вақтда бирдан тормозлаш кучи таъсир эта бошлаганда юкли автомобилнинг ўз ҳаракатини юксиз автомобилга нисбатан узоқроқ давом эттиришини, бинобарин, камроқ тезланиш олишини кузатамиз. Демак, жисмнинг олган тезланишининг катталиги фақат таъсир этаётган кучнинг катталигига эмас, шу билан бирга жисмларнинг баъзи хусусий хоссасига ҳам боғлиқ бўлар экан. Жисмларнинг бу хоссаси *масса* деб аталадиган скаляр физик катталик билан характерланади ва у m ҳарфи билан белгиланади.

Ўзгармас куч таъсирида кичикроқ тезланиш олган жисмнинг массаси каттароқ ва аксинча, каттароқ тезланиш олган жисмнинг массаси кичикроқ бўлади. Тинч турган (ёки ҳаракатдаги) катта массали жисмни кичик массали жисмга нисбатан ҳаракатга келтириш (ёки ҳаракатини ўзгартариш) учун каттароқ куч қўйиш кераклиги тажрибалардан маълум. Бундан, жисмнинг массаси қанчалик катта бўлса, у ўз ҳаракатининг ўзгаришига шунчалик тўсқинлик қилади, деган хулоса келиб чиқади. Шу маънода, *масса жисмнинг инерция ўлчовидир* дейиш мумкин. Шунинг учун, одатда, *массаси каттароқ бўлган жисм инертроқ* дейилади. Демак, юқорида қайд қилинган мисолда, юкли автомобилнинг массаси юксиз автомобилнинг массасидан кўпроқ бўлади. Бундан, *жисмнинг массаси шу жисмдаги модда миқдорига тўғри мутаносиб бўлади*, деган хулосага келамиз.

Шундай қилиб, жисмнинг массаси унинг қандай ўзаро таъсирларда қатнашишига ва қандай ҳаракат қилишига боғлиқ бўлмаган хоссаси — инертлигини ифодалайди.

Турли жисмларнинг массаларини таққослаш учун *модда зичлиги* тушунчасидан фойдаланилади. *Модданинг ҳажм бирлигидаги массаси билан ўлчанадиган катталик модда зичлиги* деб аталади.

Агар жисмнинг массаси m , ҳажми V бўлса, у ҳолда жисм моддасининг зичлиги, таърифга биноан,

$$\rho = \frac{\pi}{V} \quad (58)$$

ифодадан аниқланади, бу ерда ρ — модданинг зичлиги.

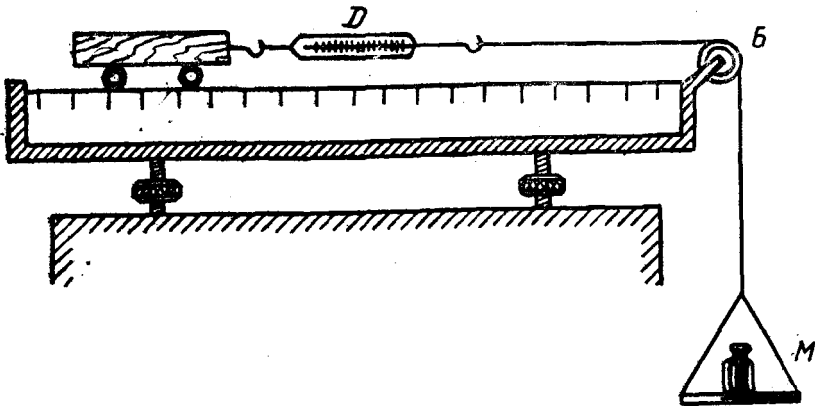
26- §. Ньютоннинг иккинчи қонуни

Ньютоннинг иккинчи қонуни жисмга қўйилган куч, шу куч таъсирида жисмнинг олган тезланиши ва массаси орасидаги боғланишни аниқлайди. Бу боғланишни миқдор жиҳатдан топиш учун Ньютон тажрибалар ўтказиб, ўлчашлар олиб борди. Шу мақсадда у горизонтал стол устида жуда оз ишқаланиш билан ҳаракатланадиган аравачадан фойдаланди (35-расм). Аравачага D динамометр маҳкамланган бўлиб, динамометрнинг иккинчи учига B чиғириқдан ўтказилган ипнинг бир учи боғланган. Ипнинг чиғириқдан ошиб тушган иккинчи учига эса M паллача осилган. Аравачага таъсир этаётган кучни динамометрнинг кўрсатишларига қараб аниқлаш мумкин. Аравачанинг массаси шайинли тарозида ўлчанади. Жисм ўзгармас куч таъсирида текис тезланувчан ҳаракат қилади, шунинг учун аравачанинг ҳаракат вақти t ни секундомер, метроном воситасида, бу вақт оралиғида унинг босиб ўтган йўлини (s) метрлар билан ўлчаб,

$$a = \frac{2s}{t^2}$$

формуладан қўйилган куч таъсирида аравачанинг олган тезланишини ҳисоблаб топиш мумкин.

Ньютон ўз тажрибаларида аввал жисм (аравача)нинг массасини ўзгармас қилиб олди ва унга ҳар хил миқдордаги куч (юк)лар билан таъсир этиб, жисм (аравача)нинг олган тезла-



35- расм.

нишини аниқлади. Сўнг таъсир этувчи куч (юк)ни ўзгартирмай туриб, жисм (аравача)нинг массасини (аравача устига турли юкларни қўйиш йўли билан) ўзгартирган ҳолда тажрибалар ўтказди. Кўплаб ўтказилган тажрибалар асосида Ньютон қуйидаги хулосаларга келди:

1) *Жисм ўзгармас куч таъсирида ўзгармас тезланиш билан ҳаракатланади;*

2) *Жисмнинг массаси ўзгармас бўлганда унинг тезланиши таъсир қилувчи кучга тўғри мутаносиб равишда ўзгаради, яъни*

$$a \sim F.$$

3) *Ўзгармас куч таъсирида жисмнинг олган тезланиши жисм массасига тескари мутаносиб равишда ўзгаради, яъни*

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

Бу хулосаларни бирлаштириб, Ньютон динамиканинг иккинчи қонунини яратди.

Жисм олган тезланиш шу жисмга таъсир этувчи кучга тўғри мутаносиб ва унинг массасига тескари мутаносибдир. Бу қонуннинг математик ифодаси қуйидаги кўринишга эга:

$$a = \frac{F}{m}. \quad (59)$$

Куч ва тезланиш вектор катталиқдир, бинобарин, тезланишнинг йўналиши кучнинг йўналиши билан бир хил бўлади. Шунга асосан (59) ифодани вектор кўринишда қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (60)$$

Бу муносабатни ўзгартириб ёзамиз:

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad (61)$$

Демак, *жисмга таъсир этувчи куч шу жисм массаси билан унинг шу куч таъсирида олган тезланиши кўпайтмасига тенг бўлади.* Бироқ шуни қайд қилиш керакки, кучнинг таъсири фақатгина жисмлар ҳаракатининг тезланишида намоён бўлмайди. Куч таъсирида жисмлар, шунингдек, *деформацияланиши* (шаклини ўзгартириши) ҳам мумкин. Масалан, симга осилган юк симни чўзади. Деформация миқдорига қараб кучнинг катталигини аниқлаш мумкин. Маълумки, кучни пружинали динамометр ёрдамида ўлчаш шу ҳодисага асосланган.

Жисмга ҳеч қандай куч таъсир этмаганда Ньютоннинг биринчи қонунини иккинчи қонунидан хусусий ҳол кўринишида келиб чиқади. Ҳақиқатан ҳам, куч нолга тенг ($F=0$) бўлганда тезланиш ҳам нолга тенг ($a=0$) бўлади, чунки жисмларнинг массаси ҳеч қачон нолга тенг бўлмайди ($m>0$).

27-§. Масса, зичлик ва кучнинг бирликлари

Масса асосий физик катталиклардан бири бўлиб ҳисобланади. Масса бирлиги асосий birlikлардан биридир. Халқаро келишувга мувофиқ масса бирлиги қилиб СИ да килограмм (кг) қабул қилинганлигини эслатиб ўтамыз (2-§ га қ.).

Амалда массанинг бу бирлигидан ташқари бoshқа қуйидаги birlikлари

$$\begin{aligned} 1 \text{ г (грамм)} &= 10^{-3} \text{ кг,} \\ 1 \text{ мг (миллиграмм)} &= 10^{-3} \text{ г} = 10^{-6} \text{ кг,} \\ 1 \text{ мкг (микrogramм)} &= 10^{-6} \text{ г} = 10^{-9} \text{ кг} \end{aligned}$$

ва системага кирмаган birlikлиги

$$1 \text{ т (тонна)} = 10^3 \text{ кг дан ҳам фойдаланилади.}$$

(58) формуладан фойдаланиб, модда зичлигининг birlikлигини аниқлаш мумкин: *зичлик birlikлиги масса birlikлигининг ҳажми birlikлигига нисбатига тенг.*

СИ да зичлик birlikлиги қилиб бир куб метр ҳажмидаги массаси бир килограмм бўлган модданинг зичлиги қабул қилинган. Таърифга асосан:

$$[\rho] = \frac{[m]}{[V]} = \frac{1 \text{ кг}}{1 \text{ м}^3} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Шунингдек, зичликнинг

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \quad 1 \frac{\text{мг}}{\text{мм}^3}, \quad 1 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}, \quad 1 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$$

каби birlikлари ҳам қўлланилади. Бу birlikлар орасидаги боғланиш қуйидагича:

$$1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{10^{-6} \text{ м}^3} = 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$1 \frac{\text{мг}}{\text{м}^3} = \frac{10^{-6} \text{ кг}}{\text{м}^3} = 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$1 \frac{\text{мг}}{\text{мм}^3} = \frac{10^{-6} \text{ кг}}{10^{-3} \text{ м}^3} = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3};$$

$$1 \frac{\text{т}}{\text{м}^3} = \frac{10^3 \text{ кг}}{\text{м}^3} = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Модда зичлиги температура ва босимга боғлиқ, чунки температура ва босим ўзгариши билан жисмларнинг ҳажми ўзгаради. Жадвалларда, одатда, моддаларнинг нормал шароит ($1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га тенг босим ва 0°C температура) даги зичлиги берилади.

(61) формуладан фойдаланиб кучнинг birlikлигини аниқлаш мумкин.

Куч birlikлиги қилиб birlik массали жисмга birlik тезланиш бера оладиган куч қабул қилинган:

$$[F] = [m] \cdot [a].$$

СИ да куч бирлиги қилиб ньютон (Н) қабул қилинган. 1 кг мас-сали жисмга $1 \frac{M}{c^2}$ тезланиш бера оладиган куч 1 ньютон дейилади:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{M}{c^2} = 1 \text{ кг} \cdot \frac{M}{c^2}.$$

Амалда кучнинг қуйидаги birlikларидан ҳам фойдаланилади:

$$\begin{aligned} 1 \text{ МН (мегањютон)} &= 10^6 \text{ Н}; \\ 1 \text{ кН (килоњютон)} &= 10^3 \text{ Н}; \\ 1 \text{ мН (миллињютон)} &= 10^{-3} \text{ Н}; \\ 1 \text{ мкН (микронњютон)} &= 10^{-6} \text{ Н}. \end{aligned}$$

28- §. Кучлар таъсирининг мустақиллик қонуни

Бизга маълумки, жисм тинч ҳолатдан эркин тушаётганда оғирлик кучи таъсирида бўлади ва g тезланиш билан текис тезланувчан ҳаракат қилади. Жисмнинг ўтган йўли

$$s = \frac{gt^2}{2}$$

формула бўйича аниқланади.

Шу жисмни бирор v_0 бошланғич тезлик билан тик пастга ташлаб юборсак, бу ҳолда ҳам жисм g тезланиш билан текис тезланувчан ҳаракат қилади ва унинг ўтган йўли (20) формула бўйича аниқланар эди:

$$s = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Бу формуладаги биринчи ҳад $v_0 t$ жисмнинг инерция бўйича ҳаракатидаги ўтган йўлини, яъни v_0 бошланғич тезлик билан t вақт ичидаги тўғри чизиқли текис ҳаракатидаги ўтган йўлини билдиради. Иккинчи ҳад $\frac{gt^2}{2}$ эса жисмнинг тинч ҳолатдан эркин тушишдаги ўтган йўлини билдиради.

Демак, жисмга куч, масалан, оғирлик кучи таъсир қилса, жисмнинг тезланиши унинг нисбатан тинч ҳолатда туриши ёки ҳаракатда бўлишига боғлиқ бўлмайди.

Бироқ жисмга бир вақтда бир неча куч таъсир қилиши мумкин. Масалан, самолётга бир вақтнинг ўзида моторнинг тортиш кучи, ҳавонинг қаршилик кучи, оғирлик кучи ва қанотнинг кўтариш кучи таъсир этади. Тажрибалардан кўринадики, алоҳида олинган ҳар бир куч жисм ҳаракатда ёки тинч ҳолатда бўлишига боғлиқ бўлмаган ҳолда унга катталиқ жиҳатидан ҳам, йўналиши жиҳатидан ҳам маълум бир тезланиш беради. Ҳақиқатан, агар m массали жисмга \vec{F}_1 куч таъсир этса, унинг олган \vec{a}_1 тезланишини Њютоннинг иккинчи қонунидан фойдаланиб ҳисоблаб топиш мумкин. Шу жисмнинг ўзига бошқа \vec{F}_2 куч таъсир этса, унинг олган янги \vec{a}_2 тезланишини ҳам шу усул билан топиш мум-

кин. Энди шу жисмга бир вақтнинг ўзида бир хил йўналиш бўйича \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучлар таъсир этсин. Бу ҳолда тажриба жисмнинг олган тезланиши \vec{a}_1 ва \vec{a}_2 тезланишларнинг йиғиндисига тенг бўлишини кўрсатади. Агар \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучлар қарама-қарши томонга йўналган бўлса, тажриба жисм катта куч йўналган томонга қараб \vec{a}_1 ва \vec{a}_2 тезланишлар фарқига тенг тезланиш билан ҳаракатланишини кўрсатади.

Демак, ҳар бир куч, бир ўзи ёки бошқа кучлар билан биргаликда таъсир этишидан қатъи назар, ўзининг таъсир йўналиши бўйича тезланиш беради, деб айта оламиз.

Бу ҳолат кучлар таъсирининг мустақиллик қонуни деб аталади ва қуйидагича таърифланади:

Агар жисмга бир неча куч таъсир этаётган бўлса, ҳар бир куч бошқа кучлар билан бирга ёки якка ўзи таъсир қилаётганидан қатъи назар жисмга ҳамма вақт бир хил тезланиш беради.

29-§. Жисм импульси. Куч импульси

Ньютоннинг иккинчи қонунидан фойдаланиб, вақтнинг айна пайти учун жисмнинг ҳаракатлантирувчи кучи, массаси ва тезланиши қийматларини аниқлаш мумкин. Бироқ кўп ҳолларда бу катталикларни вақтнинг олдиндан берилган ихтиёрий пайти учун аниқлаш керак бўлади. Бундай ҳисоблашларда *жисм импульси* ва *куч импульси* деб аталадиган физик катталиклар орасидаги боғланишдан фойдаланилади.

Жисм импульси деб, жисм массасининг унинг тезлигига кўпайтмаси билан ифодаланган $m\vec{v}$ вектор катталиқка айтилади.

Куч импульси деб, жисмга таъсир этаётган кучнинг шу куч таъсир этган вақт оралиғи қийматиغا кўпайтмаси билан ифодаланган $\vec{F}\Delta t$ вектор катталиқка айтилади.

Жисм импульси билан куч импульси орасидаги боғланишни аниқлайлик.

Бирор Δt вақт оралиғида \vec{v}_0 бошланғич тезлик билан ҳаракатланаётган m массали жисмга ўзгармас \vec{F} куч таъсир этаётган бўлсин. Бу куч жисмга доимий \vec{a} тезланиш беради ва натижада жисм \vec{v} тезликка эришади. Тезланишнинг таърифига кўра

$$\vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t}$$

эканини назарга олиб, Ньютоннинг иккинчи қонунини ифодалайдиган (61) формулани қуйидагича ўзгартириб ёзамиз:

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t} = \frac{m\vec{v} - m\vec{v}_0}{\Delta t} \quad (62)$$

Бундан

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0. \quad (63)$$

Бу ифодадан $F \Delta t$ —куч импульси, $m\vec{v}_0$ ва $m\vec{v}$ —мос равишда куч таъсир этмасдан аввалги ва таъсир охиридаги жисм импульслари. (63) формуладан кўринадики, жисм импульсининг ўзгариши билан куч импульси бир хил йўналишга эга экан. Бу формула *импульснинг ўзгариши қонунини* ифодалайди.

Жисм импульсининг ўзгариши куч импульсига тенг. (62) ифодага асосан, вақт бирлигида жисм импульсининг ўзгариши шу жисмга таъсир этаётган кучга тенг.

Демак, жисмнинг бошланғич ва охириги тезликларини ҳамда массасини ўлчаб, унга таъсир этаётган куч катталигини ҳисоблаб топиш мумкин.

Импульс бирлиги қилиб, бирлик массали жисмнинг бирлик тезлик билан ҳаракатлантира оладиган жисм импульси қабул қилинган, яъни

$$[mv] = [m] \cdot [v].$$

СИда жисм импульсининг бирлиги

$$[mv] = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Импульс бирлиги қилиб, бирлик массали жисмни бирлик тезлик билан ҳаракатлантира оладиган жисм импульси қабул қилинган, яъни

$$[F \cdot \Delta t] = [F] \cdot [\Delta t].$$

СИ да куч импульсининг бирлиги

$$[F \cdot \Delta t] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ Н} \cdot \text{с}.$$

(62) формулага биноан

$$1 \text{ Н} = \frac{1 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}}$$

деб ёза оламиз. Демак, ньютон жисмнинг импульсини бир секундда $1 \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ўзгартирадиган кучга тенг экан, деган хулосага келамиз.

30-§ Ньютоннинг учинчи қонуни

Куч тушунчасининг таърифидан (23-§ га қ.) ўзаро таъсир қилаётган жисмлар тенг ҳуқуқли эканлиги келиб чиқади, фақат таъсир этувчи ёки фақат таъсирга дуч келувчи жисмлар бўлмайди. Ҳамма вақт жисмларнинг ўзаро таъсири мавжуд. Масалан, муз устида конькида туриб, чанани итариб юборайлик. Чана олдинга силжиганда биз шу вақтда орқага сирпа-

ниб кетамиз. Дарвоза устуни (штанга)га теккан футбол тўпининг ҳаракатини кузатайлик. Тўп устунга урилгандан сўнг орқага сапчиб кетади. Бинобарин, урилиш пайтида фақат тўп устунга таъсир этмасдан, балки устун ҳам тўпга акс таъсир этади. Жисмларнинг ўзаро таъсирини намоён қилувчи шунга ўхшаш мисолларни жуда кўплаб келтириш мумкин. Ўзаро таъсирлашаётган жисмларга қўйилган кучлар орасидаги муносабатларни Ньютон ўрганиб, *бир жисмнинг иккинчи жисмга ҳар қандай таъсири иккинчи жисмнинг биринчи жисмга кўрсатадиган тенг ва қарама-қарши йўналишдаги таъсири билан мос келади*, деган хулосага келади. Бошқача қилиб айтганда, *ўзаро таъсирлашувчи икки жисм бир-бирига катталиқ жиҳатдан тенг ва йўналиши қарама-қарши бўлган кучлар билан таъсир қилади*, яъни

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (64)$$

бу ерда \vec{F}_1 — иккинчи жисмнинг биринчи жисмга таъсир кучи, \vec{F}_2 — биринчи жисмнинг иккинчи жисмга таъсир кучи.

(64) формула Ньютоннинг учинчи қонунини ифодалайди.

Бу қонунни *таъсир ва акс таъсир қонуни* деб ҳам юритилади.

Таъсир ва акс таъсир кучларининг жисмларга берадиган тезланишлари ҳам қарама-қарши томонга йўналган бўлади. Бундан шу нарса келиб чиқадики, икки жисмнинг фақат бир-бирига ўзаро таъсирининг ўзи иккала жисмни бир йўналишда ҳаракатлантира олмайди, ўзаро таъсир қилаётган икки жисм бир йўналишда ҳаракатга келиши учун улар (ёки улардан бири) бирор учинчи жисм билан ўзаро таъсирлашиши керак. Масалан, электровоз вагонлар билан ўзаро таъсирлашиши туфайли эмас, балки ўзининг рельс (таянч) билан ўзаро таъсиридан юзага келадиган ишқаланиш кучлари (33-§ га қ.) туфайли вагонларни тортади.

Шуни таъкидлаб ўтиш керакки, жисмларнинг ўзаро таъсирида юзага келадиган кучлар бошқа-бошқа жисмларга қўйилган бўлгани учун улар бир-бирини мувозанатлай олмайди, чунки бир жисмга қўйилган кучларгина мувозанатлаша олади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Куч деб нимага айтилади? Механикада қандай кучлар билан иш қўрилади?
2. Куч ҳақида тўла тасаввурга эга бўлиш учун қандай шартлар берилган бўлиши керак?
3. Тенг таъсир этувчи куч деб қандай кучга айтилади?
4. Кучни ташкил этувчиларга ажратиш деганда нимани тушунасиз?
5. Жисмнинг айни бир нуқтасига таъсир қилувчи бир неча кучларнинг тенг таъсир этувчиси қандай топилади?
6. Ньютоннинг биринчи қонунини таърифланг.
7. Нима учун Ньютоннинг биринчи қонунини бевосита текшириб кўриш мумкин эмас?
8. Инерция деб нимага айтилади? Турмушда ва техникада инерция ҳодисаси юз беришига мисоллар келтиринг.
9. Жисмнинг массаси деб нимага айтилади?

10. Иккита жисм массасини ўзаро қандай таққослаш мумкин? Уларнинг қайси бири инертроқ?

11. Модданинг зичлиги деб нимага айтилади? Зичлик қандай аниқланади?

12. Масса, куч ва зичликнинг СИ даги ва бошқа бирликларини айтиб беринг.

13. Ньютоннинг иккинчи қонунини таърифлаб беринг. Тажрибада бу қонуни қандай текшириш мумкин?

14. Ўзгармас куч таъсирида жисм қандай ҳаракат қилиши мумкин? Фикрингизни асослаб беринг.

$$15. \frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2}, \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1}{m_2} \quad \text{ва} \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1} \quad \text{муносабатлар қандай ҳолларда}$$

тўғри бўлади?

16. Кучлар таъсирининг мустақиллик қонунининг моҳияти нимадан иборат?

17. Жисм импульси деб нимага айтилади? Куч импульси деб-чи? Уларнинг СИ даги бирликларини айтиб беринг.

18. Жисм импульсининг ўзгариш қонуни қандай таърифланади?

19. Ньютоннинг учинчи қонунининг моҳияти нимадан иборат? Мисоллар келтиринг.

20. Нима учун жисмларнинг ўзаро таъсирдан юзага келадиган кучлар бир-бирини мувозанатламайди?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Олтин қотишмасининг таркибида 85% олтин ва 15% мис бор. Қотишманинг зичлигини топинг.

Берилган: $\frac{m_1}{m} = 85\%$; $\frac{m_2}{m} = 15\% = 0,15$; $\rho_1 = 19,3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $\rho_2 = 8,9 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Топиши керак: ρ — ?

Ечилиши: Қотишманинг массаси m , ҳажми V бўлса, у ҳолда унинг зичлиги

$$\rho = \frac{m}{V}$$

формуладан аниқланади. Қотишманинг ҳажми $V = V_1 + V_2$ йиғиндига тенг, бу ерда V_1 — олтиннинг, V_2 — эса миснинг ҳажми. Зичлик формуласига кўра

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho_1} \quad \text{ва} \quad V_2 = \frac{m_2}{\rho_2}$$

бўлади, бунда ρ_1 ва ρ_2 — мос равишда олтин ва миснинг зичлиги, уларнинг сон қийматлари жадвалдан олинади.

Демак, қотишманинг ҳажми

$$V = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} = \frac{0,85 m}{\rho_1} + \frac{0,15 m}{\rho_2}$$

ифодага эга бўлади. V нинг бу қийматини қотишма зичлигининг ифодасига қўй-сак, у қуйидаги кўринишга келади:

$$\rho = \frac{m}{0,85 \frac{m}{\rho_1} + 0,15 \frac{m}{\rho_2}} = \frac{\rho_1 \rho_2}{0,85 \rho_2 + 0,15 \rho_1}$$

Ҳисоблаш:

$$\rho = \frac{19,3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{(0,85 \cdot 8,9 \cdot 10^3 + 0,15 \cdot 19,3 \cdot 10^3) \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 16,4 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

2-масала. Иккита шарчанинг ўзаро таъсир қилиши натижасида улардан бирининг тезлиги $10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ га, иккинчисиники $25 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ га ўзгарди. Шарчаларнинг қайси бирининг массаси каттароқ ва неча марта?

Берилган: $\Delta v_1 = 10 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $\Delta v_2 = 25 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Топиш керак: $\frac{m_1}{m_2} = ?$

Ечилиши. Инерция қонунига асосан, жисмларнинг ўзаро таъсир қилишида массаси каттароқ бўлган жисмнинг тезлиги камроқ ўзгаради, ва аксинча, массаси кичикроқ бўлган жисмнинг тезлиги эса кўпроқ ўзгаради. Масаланинг шартига биноан, биринчи шарчанинг массаси иккинчи шарчанинг массасидан каттароқ бўлади. Инерция қонунидан яна шу нарса келиб чиқадики, таъсирлашаётган жисмлар массаларининг нисбати улар тезликларининг ўзгариши нисбатига тескари мутаносиб бўлади. Шунинг учун

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}$$

деб ёзиш мумкин. Бундан $m_1 = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1} \cdot m_2$ бўлади.

Ҳисоблаш: $m_1 = \frac{0,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}} m_2 = 2,5 m_2$; $m_1 > m_2$.

3-масала. 2 мН куч тинч турган 10 г массали жисмга таъсир қилиб, уни тўғри қизиқли текис тезланувчан ҳаракатга келтирди. 5 секунддан кейин жисм қандай тезликка эришган ва бу вақт ичда жисм қанча йўл ўтган?

Берилган: $v_0 = 0$; $F = 2 \text{ мН} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$, $m = 10 \text{ г} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$; $t = 5 \text{ с}$.

Топиш керак: $v = ?$ $s = ?$

Ечилиши. Масаланинг шартига кўра, жисм бошланғич тезликсиз текис тезланувчан ҳаракат қилади. Шунинг учун жисмнинг t вақтнинг охирида эришган тезлиги $v = at$ бўлади, бу ерда a — жисмнинг куч таъсирнда олган тезланиши. Тезланишнинг қийматини Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ топсак,

$$a = \frac{F}{m}$$

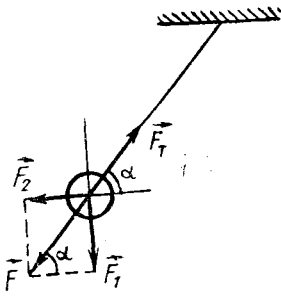
ва жисмнинг тезлиги $v = \frac{F}{m} t$ бўлади.

Жисмнинг t вақтда ўтган йўли эса

$$s = \frac{at^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m}$$

формуладан аниқланади.

Ҳисоблаш: $v = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}}{1 \cdot 10^{-2} \text{ кг}} \cdot 5 \text{ с} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$,



36- расм.

$$s = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ Н}}{2 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \text{ кг}} \cdot 25 \text{ с}^2 = 2,5 \text{ м.}$$

4- масала. Арқонга осилган, оғирлиги 100 Н бўлган юкка горизонтал йўналишда 60 Н куч билан таъсир этилади. Арқоннинг таранглик кучини ва унинг горизонтга нисбатан йўналишини топинг.

Берилган: $F_1 = 100 \text{ Н}$, $F_2 = 60 \text{ Н}$.

Топиш керак: F_T — ? α — ?

Ечилиши. Векторларни параллелограмм қондасига асосан қўшиш усулидан фойдаланиб, \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларнинг тенг таъсир этувчиси \vec{F} ни ясаймиз (36- расм). Бу куч таъсирида ип таранг тортилади ва ипнинг \vec{F}_T таранглик кучи юзга келади. Расмдан кўринишича, F_T таранглик кучи

(Ньютоннинг учинчи қонунига мувофиқ) сон қиймати жиҳатидан \vec{F} тенг таъсир этувчи кучга тенг ва қарама-қарши йўналган. Бинобарин,

$$\vec{F} = -\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad \text{ёки} \quad F_T = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}.$$

\vec{F}_T нинг горизонтга нисбатан йўналиши

$$\text{tg } \alpha = \frac{F_1}{F_2}$$

муносабатдан аниқланади,

$$\text{Ҳисоблаш: } F_T = \sqrt{(10\,000 + 3600) \text{ Н}^2} \approx 117 \text{ Н},$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{100 \text{ Н}}{60 \text{ Н}} = 1,667; \quad \alpha = 59^\circ.$$

5- масала. $200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан ҳаракатланувчи 10 г массали ўқ тахтага келиб тегиб, 4 см ичкари кирган. Ўқнинг тахта ичидаги ҳаракатини текис секинланувчан деб ҳисоблаб тахтанинг ўртача қаршилик кучи ва ўқнинг тахта ичидаги ҳаракат вақти топилсин.

Берилган: $v_0 = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $m = 10 \text{ г} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$, $s = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $v = 0$.

Топиш керак: F — ? t — ?

Ечилиши: Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ, тахтанинг қаршилик кучи

$$F = ma$$

формуладан аниқланади, бунда a — ўқнинг тезланиши масаланинг шартига кўра ҳаракат йўналишига қарама-қарши йўналган. Текис ўзгарувчан ҳаракатнинг йўл формуласи

$$s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

дан ўқнинг тезланиши қуйидагига тенг:

$$a = \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$$

Тезланишнинг бу қийматини куч формуласига келтириб қўйсақ,

$$F = m \frac{v^2 - v_0^2}{2s}$$

муносабат ҳосил бўлади.

Уқнинг тахта ичидаги ҳаракат вақти тахта қаршилиқ кучининг таъсир вақтига тенгдир. Шунинг учун импульснинг ўзгариш қонуни

$$F \cdot t = mv - mv_0$$

дан бу вақтнинг қиймати

$$t = \frac{mv - mv_0}{F} = \frac{m(v - v_0)}{F}$$

бўлади. Бу ифодага кучнинг юқоридаги ифодасини келтириб қўйсак, у ҳолда

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

муносабатдан кучнинг таъсир вақтини ҳисоблаб топиш мумкин.

Ҳисоблаш:

$$F = \frac{10^{-2} \text{ кг} \cdot 4 \cdot 10^4 \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}} = 5 \cdot 10^3 \text{ Н},$$

$$t = \frac{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{2 \cdot 10^2 \frac{\text{М}}{\text{с}}} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ с}.$$

6-масала. Тинч турган 2 кг массали жисмга 1 Н ва 2 Н га тенг иккита куч ўзаро 60° бурчак ҳосил қилиб таъсир этмоқда. Жисм қандай тезланиш билан ҳаракатланади ва ҳаракат бошлангандан кейин ўтган 3 секунд ичида қанча масофага силжийди?

Берилган: $v_0 = 0$, $F_1 = 1 \text{ Н}$, $F_2 = 2 \text{ Н}$, $m = 2 \text{ кг}$, $\alpha = 60^\circ$, $t = 3 \text{ с}$.

Топиш керак: $a = ?$ $s = ?$

Ечилиши: Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан жисмнинг тезланиши

$$a = \frac{F}{m}$$

бўлади, бунда F — жисмга таъсир этувчи кучларнинг тенг таъсир этувчисидир, бинобарин, $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ бўлади (37- расм). F_1 ва F_2 кучлар орасидаги бурчак 90° дан кичик эканлигини эътиборга олиб, косинуслар теоремасига кўра

$$F^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha$$

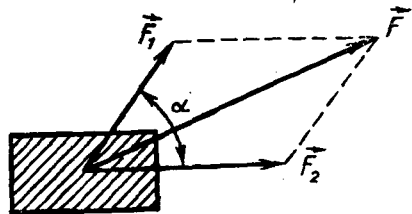
деб ёза оламиз. Бундан F нинг қийматини тезланиш ифодасига келтириб қўй- сак, у ҳолда тезланишни

$$a = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}}{m}$$

формуладан ҳисоблаб топиш мумкин бўлади.

Ўзгармас куч таъсирида жисм текис ўзгарувчан ҳаракат қилади. Шунинг учун бошланғич тазликсиз текис тезланувчан ҳаракатда йўл формуласи

$$s = \frac{at^2}{2}$$



37- расм.

дан фойдаланиб, жисмнинг t вақт ичида ўтган йўлини ҳисоблаб топish мумкин.

Ҳисоблаш:

$$a = \frac{\sqrt{1H^2 + 4H^2 + 2 \cdot 1H \cdot 2H \cdot \cos 60^\circ}}{2 \text{ кг}} = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$s = \frac{1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 9 \text{ с}^2}{2} = 5,85 \text{ м.}$$

Мустақил ечиш учун масалалар

22. 3 л керосиннинг массаси 2,4 кг. Керосиннинг зичлигини ҳисобланг.

23. Радиуслари 2 см дан бўлган пўлат ва алюминий шарларнинг массасини топинг. Пўлатнинг зичлиги $7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ га, алюминийнинг зичлиги эса $2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ га тенг.

24. Қўндаланг кесим юзи 3 мм^2 бўлган мис сим ўрамнинг массаси 1,78 кг. Симнинг узунлигини топинг. Миснинг зичлиги $8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ га тенг.

25. 64% темирдан ва 36% никелдан таркиб топган қотишма инвар деб аталади. Инварнинг зичлигини топинг. Темирнинг зичлиги $7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ га, никелнинг зичлиги эса $8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ га тенг.

26. 100 Н кучни МН, кН, мН ларда ифодаланг.

27. 30 Н куч жисмга $40 \text{ см}/\text{с}^2$ тезланиш беради. Бу жисмга қандай куч $1 \text{ м}/\text{с}^2$ тезланиш бера олади?

28. Массаси 2 т бўлган автомобиль жойидан қўзғалиб, 10 секундда 100 м йўл ўтди. Тортиш кучини топинг.

29. 49 Н куч таъсирида жисмнинг тезлиги 10 секунд давомида $5 \text{ м}/\text{с}$ га ўзгарган бўлса, унинг массаси қанча бўлган?

30. Одам тинч турган қайиққа $5 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ тезлик билан сакраса, бунда қайиқ $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезликда орқага кетади. Қайиқнинг массаси одам массасидан неча марта катта?

31. Массаси 600 г бўлган аравача иккинчи аравача билан тўқнашди. Агар тўқнашиш натижасида иккинчи аравача тезлигининг ўзгариши биринчи аравача тезлигининг ўзгаришига қараганда 3 марта ортиқ бўлса, иккинчи аравачанинг массасини аниқланг.

32. Массаси 5 кг бўлган милтиқдан массаси 10 г бўлган ўқ $600 \text{ м}/\text{с}$ тезликда учиб чиқди. Тепки туфайли милтиқ қандай тезлик олади?

33. Массаси $2 \cdot 10^6 \text{ кг}$ бўлган поезд тўғри қизиқли ҳаракатланиб, 1 минут 40 секундда тезлигини $36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ дан $72 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ гача оширди. Тортиш кучини ва импульснинг ўзгаришини топинг.

34. Массаси $5 \cdot 10^3 \text{ т}$ бўлган поезд $36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ тезлик билан ҳаракатланмоқда.

Агар тормозланиш кучи $2,5 \cdot 10^5 \text{ Н}$ га тенг бўлса, тормозлангандан кейин бир минут ичида поезд қандай масофани ўтади?

31-§. Оғирлик кучи ва жисмнинг оғирлиги

Эркин тушишда ҳамма жисмлар текис тезланувчан ҳаракат қилади, бинобарин, уларга куч таъсир қилади. Бу куч жисмларнинг Ерга тортилиш кучи бўлиб, уни *оғирлик (гравитация) кучи* деб аталади. Оғирлик кучи, одатда P ҳарфи билан белгиланади. Динамиканинг иккинчи қонунидан фойдаланиб, оғирлик кучини ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун (61) формулада a ни эркин тушиш тезланиши g билан, F ни оғирлик кучи P билан алмаштирамиз, у ҳолда жисмга таъсир этаётган оғирлик кучини ҳисоблаш учун қуйидаги формулани ёза оламиз:

$$\vec{P} = m\vec{g}. \quad (65)$$

Физикада оғирлик кучи тушунчасидан ташқари *жисмларнинг оғирлиги* тушунчаси ҳам ишлатилади.

Ерга нисбатан қўзғалмас бўлган ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган ва бўшлиқда турган жисмнинг Ерга тортилиши туфайли горизонтал таянчга ёки осмага таъсир қиладиган кучи жисмнинг оғирлиги деб аталади.

Шуни айтиб ўтиш керакки, оғирлик ва оғирлик кучи ҳамма вақт бошқа-бошқа жисмга қўйилган: оғирлик кучи жисмга, оғирлик эса таянч (таглик, осма ва ҳоказолар) га қўйилган. Шу сабабли жисм таянчга теккандагина оғирлик намоён бўлади. Жисмнинг оғирлигини ҳам P ҳарфи билан белгилаш қабул қилинган.

Таянч ёки осма Ерга нисбатан фақат тинч турганда ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилганда жисмнинг оғирлиги (Ньютоннинг учинчи қонунига биноан) оғирлик кучига тенг бўлади.

Оғирлик жисмнинг Ер сиртидан баландлигига ва жисм турган жойнинг географик кенглигига боғлиқ бўлади (37-§ га қ.).

Икки турли жисмнинг оғирлигини (65) формула ёрдамида

$$P_1 = m_1g, P_2 = m_2g$$

кўринишда ёзиш мумкин. Биринчи тенгликни иккинчисига бўлиб, қуйидаги нисбатни ҳосил қиламиз:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{m_1}{m_2},$$

яъни *Ер сиртининг берилган нуқтасидаги жисмларнинг оғирлиги уларнинг массасига тўғри мутаносиб экан.*

Жисмларнинг оғирлиги куч бирликларида ифодаланади.

32-§. Эластиклик кучи. Гук қонуни

Юқорида қайд қилиб ўтганимиздек, қўйилган куч таъсирида жисм деформацияланиши мумкин. Деформацияланган жисмнинг зарралари бир-бирига нисбатан силжиганлиги сабабли

жисмнинг шакли ва ҳажми ўзгаради. Бунда, Ньютоннинг учинчи қонунига мувофиқ, жисмнинг ичида катталиги деформацияловчи (ташқи) кучга тенг бўлган акс таъсир этувчи куч вужудга келади. Бу куч *эластиклик кучи* деб аталади. Эластиклик кучи деформацияланган жисмни аввалги ҳолатига қайтаришга ҳаракат қилади. Масалан, пўлат пружинанинг бир учини маҳкамлаб, иккинчи учидан тортсак, пружина чўзилади (деформацияланади) ва унда эластиклик кучи юзага келади. Пружинани қўйиб юборсак, бу куч таъсирида у аввалги ҳолатига қайтади.

Эластиклик кучлари жисм зарралари (атомлари ва молекулалари) орасидаги ўзаро таъсирдан юзага келади ва ўз табиати билан электромагнит кучлардир.

Жисмнинг деформацияси унинг моддаси турига ва қўйилган кучга боғлиқ бўлади.

Ташқи кучнинг таъсири тўхташи билан деформация йўқолиб, жисм ўзининг дастлабки ҳолатига тўла қайтса, бундай деформация эластик деформация дейилади.

Жисмга ташқи куч таъсири тўхтатилгандан сўнг деформация бутунлай йўқолмаса ва жисм ўзининг дастлабки ҳолатига тўла қайтмаса, бундай деформация пластик деформация дейилади.

Жисмларда чўзилиш, сиқилиш, букилиш, буралиш, силжиш каби турли деформацияларни кузатиш мумкин. Деформациянинг ҳар бир тури ўзига хос эластиклик кучини юзага келтиради.

Эластиклик кучи таъсирида жисм дастлабки ҳолатига қайтишга интилади, бинобарин, эластиклик кучи, жисм зарраларининг деформация вақтидаги кўчиш йўналишига қарама-қарши йўналган бўлади.

Таъжрибаларнинг кўрсатишича ҳар қандай турдаги кичик деформацияда юзага келадиган $\vec{F}_{эл}$ эластиклик кучи деформация (силжиш) катталиги Δx га мутаносиб бўлади, яъни:

$$\vec{F}_{эл} = -k\Delta x, \quad (66)$$

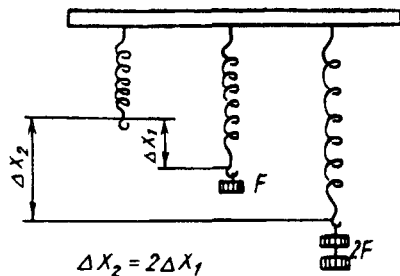
бу ерда «минус» ишораси эластиклик кучи билан силжишнинг қарама-қарши йўналишда эканлигини билдиради; k — деформацияланаётган жисмнинг *бикрлиги* деб аталади ва у катталик жиҳатдан жисмнинг узунлик бирлиги қадар деформацияланишида вужудга келадиган эластиклик кучига тенг бўлади. Бикрлик деформацияланаётган жисм моддасига ва дастлабки шаклига боғлиқ бўлади. (66) формула *Гук қонунини* ифодалайди.

38-расмда пружинага таъсир этувчи \vec{F} кучнинг қиймати икки марта ортганда пружинанинг чўзилиши ҳам икки марта ортганлиги кўрсатилган.

Эластиклик кучи ўзаро таъсир этувчи жисмларнинг бири-бирига урилишида (тегишида) пайдо бўлади. Равшанки, бунда

иккала жисм ҳам деформацияланади. Жисмга таянч ёки осма томонидан таъсир этадиган эластиклик кучи кўпинча таянчнинг реакция кучи ёки османинг реакция кучи (ёки османинг тарангланishi) деб аталади ва у « N » ҳарфи билан белгиланади.

Эластиклик кучи ўзаро таъсир этувчи жисмларнинг урилиш сиртига перпендикуляр равишда йўналади. Агар ўзаро таъсирда таёқча, шнур, спирал пружиналар каби жисмлар иштирок этса, эластиклик кучи шу жисмларнинг ўқи бўйлаб йўналади.



38- расм.

33- §. Ишқаланиш кучлари

Жисмларнинг (ҳавосиз фазодаги ҳаракатидан бошқа) ҳар қандай ҳаракатида ишқаланиш мавжуддир. Мотор ўчирилгандан кейин горизонтал йўл бўйича автомобиль ҳаракатининг секинлашиб бориши, қия новдан ерга думалаб тушган шарчанинг ерда ҳам бир оз думалаб, кўп ўтмай тўхтаб қолиши, қия текислик устига қўйилган ёғоч тахтачанинг пастга сирпаниб тушмай, тинч (қўзғалмай) туриши ва ҳоказолар фақат ишқаланиш туфайли бўлади. Бир-бирига тегиб турган жисмлар орасидаги ишқаланиш ташқи ишқаланиш дейилади. Биз бу ишқаланишлар устида тўхталиб ўтамиз.

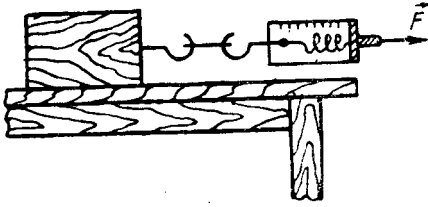
Ишқаланиш туфайли жисмларнинг ҳаракатига тўсқинлик қилувчи куч ҳосил бўлади. Бу куч *ишқаланиш кучи* дейилади. Ишқаланиш кучи жисмларнинг бир-бирига тегиб турувчи сиртларига уринма равишда ҳаракат йўналишига қарама-қарши йўналган бўлади.

Ташқи ишқаланишнинг қуйидаги турлари мавжуд: *тинчликдаги (тинч ҳолатдаги) ишқаланиш, сирпаниш ишқаланиши ва думалаш ишқаланиши*.

Жисм нисбий тинчликда турганда ишқаланиш кучи уни бир жойда ушлаб туради. Бу куч жисмнинг жойидан қўзғалишига тўсқинлик қилади ва уни тинчликдаги ишқаланиш кучи деб аталади.

Тинчликдаги ишқаланиш кучи юз бериши мумкин бўлган ҳаракат йўналишига ҳамма вақт қарама-қарши йўналган бўлади. Бинобарин, тинчликдаги ишқаланиш кучи жисмни сил-жителишда юзага келади.

Юқорида айтилган қия текисликда тинч турган ёғоч тахтачани тинчликдаги ишқаланиш кучи ушлаб туради. Текисликнинг қиялик бурчагини катталаштирсак, тахтача пастга қараб ҳаракатлана бошлайди. Бунда ҳаракатлантирувчи куч катта-



39- расм.

лиги тинчликдаги ишқаланиш кучини енгади. Агар шу тахтачани горизонтал сиртга қўйиб, динамометр билан тортсак (39- расм), динамометрнинг кўрсатишлари катталашиб, маълум катталика етганидан кейингина тахтача ҳаракатга келади. Динамометрнинг кўрсатишига тенг бўлган куч тинч-

ликдаги ишқаланиш кучининг максимал қиймати бўлади.

Тинчликдаги ишқаланишнинг максимал кучи катталики жиҳатдан жисмни сирпантирувчи энг кичик ташқи кучга тенг бўлади.

Тажрибаларнинг кўрсатишича, тинчликдаги ишқаланишнинг максимал кучи $\vec{F}_{\text{т.и.м.}}$ бир-бирига тегиб турган қисмларни нормал равишда сиқиб турган босим кучига (\vec{P}_0) тўғри мутаносиб бўлар экан:

$$\vec{F}_{\text{т.и.м.}} = k\vec{P}_0 \quad (67)$$

бу ерда k — ўлчамсиз катталики бўлиб, *ишқаланиш коэффициентини* деб аталади, унинг қиймати модданинг турига, бир-бирига тегиб турган сиртларга берилган ишловнинг сифатига боғлиқ бўлади.

Тинчликдаги ишқаланишга жисмлар сиртининг ғадир-будурлиги ва бир жисм зарраларининг иккинчи жисм зарраларига тортилиши сабаб бўлади.

Биринчи жисм иккинчи жисмнинг сирти бўйлаб ҳаракатланганда *сирпаниш ишқаланиши* юзага келади. Сирпаниш ишқаланишининг сабаблари ҳам тинчликдаги ишқаланиш сабабларининг ўзгинасидир.

Улчашлар сирпаниш ишқаланиш кучи тинчликдаги максимал ишқаланиш кучига тахминан тенг эканлигини кўрсатади. Сирпаниш ишқаланиши ҳамма вақт уринувчи жисмлар нисбий тезлигининг йўналишига қарама-қарши томонга йўналади.

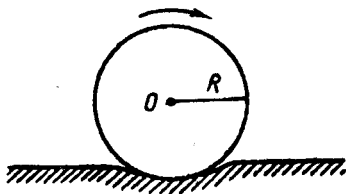
Сирпаниш ишқаланиш кучи ҳам нормал босим кучига тўғри мутаносиб бўлади:

$$\vec{F}_n = k\vec{P}_0 \quad (68)$$

бу ердаги k мутаносиблик коэффициентини тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи формуласи (67) даги коэффициентнинг ўзидир. Ишқаланиш коэффициентининг қиймати ишқаланувчи жисмларнинг қандай материалдан ясалганлигига, уларнинг сиртига берилган ишловга, сиртларнинг тозаллигига ва шу каби омилларга боғлиқдир.

Ишқаланиш кучининг қиймати бир-бирига тегиб турган сиртларнинг катталигига боғлиқ бўлмайди.

Ишқаланиш туфайли ҳосил бўлувчи сирпаниш ишқаланиш кучи ташқи (ҳаракатлантирувчи) куч билан мувозанатлашгандагина жисм тўғри чизиqli текис ҳаракат қилади.



40- расм.

Бир жисм иккинчи жисмнинг сирти бўйлаб думалаганда думалаш ишқаланиши юзага келади. Думалаш ишқаланишига, масалан, темир йўл вағони ғилдиракларининг рельсларга, автомобиль, велосипед ғилдиракларининг йўлга, катта бочкалар, қувурлар, ходаларни думалатишда уларнинг ерда ишқаланиши мисол бўла олади.

Думалаш ишқаланиши ҳосил бўлишининг асосий сабаби думалаётган жисм тегиб турган сиртда жисм оғирлиги туфайли юзага келувчи деформациядир. Босим туфайли сиртда чуқурлик ҳосил бўлади, жисм сиртга урinish нуқтасида бир оз яссиланади (40- расм). Бу ҳол жисмнинг думаланишини қийинлаштиради.

Думалаш ишқаланиш кучи $F_{д.и.}$ нормал босим кучига тўғри муносаб, думалаётган жисмнинг R радиусига тескари муносаб экани тажрибаларда аниқланган, яъни

$$F_{д.и.} = \mu \frac{P_0}{R},$$

бу ерда μ — думалаш ишқаланиши коэффициентини бўлиб, у бир-бирига тегиб турган сиртлар моддасининг хоссаларига боғлиқдир.

Унинг ўлчамлиги узунлик ўлчамлиги билан бир хил эканлиги формуладан кўриниб турибди.

Кўпгина тажрибаларнинг кўрсатишича, бир хил шароитда думалаш ишқаланиш кучи сирпаниш ишқаланиш кучидан анча кичик бўлар экан.

Ишқаланиш табиатда ва техникада жуда катта роль ўйнайди. Ишқаланиш ишчиотларнинг мустаҳкамлигини оширади, ишқаланиш бўлмаса, биноларнинг деворларини қуриш, транспортёр ленталарида ғиштларни ташиш, машина ва механизмларнинг қисмларини болтлар, миҳлар билан маҳкамлаш, ерда пиёда юриш, транспортни ҳаракатга келтириш ва тўхтатиш ҳамда буюмларни қўлда тутиш каби ишларни амалга ошириш бўлмасди. Зарур бўлган ҳолларда ишқаланишни ошириш ҳам, камайтириш ҳам мумкин. Масалан, ер музлаганда йўлларга қум сепиш, автомобилларнинг орқа ғилдиракларига занжир ўраш билан ишқаланишни ошириш мумкин.

Маълумки, ишқаланиш машина ва механизмлар деталларининг ейилишига сабаб бўлади, сарфланган ишнинг бир қис-

ми ишқаланиш кучини енгишга кетади, шу сабабли ишқаланувчи жисмлар исийди. Бундай ҳолларда ишқаланиш зарарли бўлади ва уни бартараф қилишга ҳаракат қилинади. Ишқаланишни камайтириш учун ишқаланувчи сиртлар мойланади ёки сирпаниш ишқаланиши думалаш ишқаланиши билан алмаштирилади.

34-§. Жисмларнинг илгариланма ҳаракатига Ньютон қонунларининг татбиқи

Механиканинг асосий масаласи маълум кучлар ва бошланғич шартларга қараб ҳаракатланаётган жисмнинг тезланишини, тезланишга қараб тезликни ва ниҳоят, жисмнинг исталган пайтдаги вазияти (координаталари) ни аниқлашдан иборатдир. Ньютон қонунларидан фойдаланиб, кучларни ҳисоблаш ва ўлчашни билган ҳолдагина, бундай масалани ҳал қилиш мумкин.

Жисмларнинг фақат битта куч таъсири остидаги, масалан, эластиклик, ишқаланиш ёки оғирлик кучлари таъсири остидаги ҳаракати камдан-кам учрайди. Кўпгина ҳолларда жисмга бир вақтнинг ўзида бир неча куч таъсир қилади. Жумладан, жисмга эластиклик ва оғирлик кучлари билан бир қаторда ҳамма вақт ишқаланиш кучи ҳам таъсир қилади. Бундай ҳолларда Ньютоннинг иккинчи қонунини ифодаловчи

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

тенгламада \vec{F} —жисмга қўйилган барча кучларнинг геометрик йиғиндиси, яъни бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси деб олинади.

Фараз қилайлик, жисмга n та куч таъсир қилаётган бўлсин. Кучлар таъсирининг мустақиллик қонунига мувофиқ ҳар бир куч жисмга

$$\vec{a}_i = \frac{\vec{F}_i}{m}$$

тезланиш беради, бу ерда \vec{a}_i —жисмга \vec{F}_i куч томонидан берилган тезланиш.

Суперпозиция принципи (тезланишларнинг қўшилиш принципи)га асосан барча таъсир этувчи кучлар томонидан жисмнинг олган натижавий тезланиши

$$\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{a}_i = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{F}_i}{m} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

ифодадан аниқланади. Демак, *агар жисмга n та куч таъсир этса, унинг тезланиши барча кучларнинг геометрик йиғиндига тўғри мутаносиб бўлар экан:*

$$a_i = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{F}_i}{m} \quad (70)$$

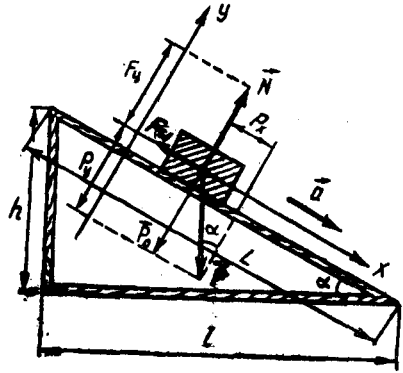
Бу формулани қуйидагича ўзгартириб ёзамиз:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = m\vec{a} \quad (71)$$

(71) формула илгариланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси деб аталади. Бу тенгламадан фойдаланиб, ҳар қандай жисмнинг илгариланма ҳаракатини ўрганиш мумкин.

Қуйидаги мисолни кўрайлик.

Қиялик бурчаги α га тенг бўлган қия текислик бўйича m массали тахтача ҳаракатланаётган бўлсин. Шу тахтача қандай тезланиш билан пастга тушишини аниқлайлик (41-расм).



41-расм.

Ҳаракатланаётган тахтачага учта куч таъсир этади: $\vec{P} = m\vec{g}$ оғирлик кучи, таянч (қия текислик)нинг ўзига перпендикуляр равишда йўналган \vec{N} — реакция кучи, ҳаракатга қарши йўналган $\vec{F}_n = k\vec{P}_0$ — ишқаланиш кучи, бунда \vec{P}_0 — тахтачанинг қия текисликка кўрсатаётган босим кучи бўлиб, у катталиқ жиҳатидан \vec{N} реакция кучига тенг ва қарама-қарши йўналган бўлади (Ньютоннинг учинчи қонунига асосан).

Шартга кўра тахтачанинг \vec{a} тезланиши қия текисликка параллел йўналгандир. Ньютоннинг иккинчи қонунига биноан:

$$m\vec{a} = \sum_{i=1}^n \vec{P}_i = \vec{P} + \vec{N} + \vec{F}_n \quad (a)$$

Энди x ва y координата ўқларини қия текислик бўйлаб ва унга перпендикуляр равишда йўналтирамиз (41-расмга қ.) ва (a) тенгламани векторларнинг шу ўқлардаги проекциялари орқали ёзамиз.

Дастлаб ҳамма векторларнинг X ўқдаги проекцияларини топайлик. Расмдан

$$(\vec{a})_x = \vec{a}, (\vec{N})_x = 0, (\vec{F}_n)_x = -F_n \text{ ва } (\vec{P})_x = P_x = P \sin \alpha.$$

У ҳолда X ўқ учун қуйидаги тенгламани ёза оламиз:

$$ma = P \sin \alpha - F_n. \quad (6)$$

Шунингдек, расмдан фойдаланиб ҳамма векторларнинг Y ўқдаги проекцияларини топайлик:

$$(\vec{a})_y = 0, (\vec{P})_y = -P_y = N = -P \cos \alpha, (\vec{N})_y = N, (\vec{F}_n)_y = 0.$$

Демак, Y ўқ учун

$$0 = -P \cos \alpha + N$$

бўлади. Охири ифодадан қия текислик реакция кучининг катталиги $N = P \cos \alpha$ бўлади. $|\vec{N}| = |\vec{P}_0|$ эканидан $P_0 = P \cos \alpha$, бинобарин, $F_n = kP \cos \alpha$. Ишқаланиш кучининг бу ифодасини (6) тенгламага келтириб қўяйлик, у ҳолда

$$ma = P \sin \alpha - kP \cos \alpha$$

бўлади. $P = mg$ эканини эътиборга олсак,

$$ma = mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha.$$

Бундан тахтачанинг тезланиши учун

$$a = g (\sin \alpha - k \cos \alpha) \quad (72)$$

ифодани ҳосил қиламиз. Демак, қия текислик бўйича ҳаракатланаётган тахтачанинг тезланиши қия текисликнинг қиялик бурчагига ва ишқаланиш коэффициентига боғлиқ экан. Бинобарин, бу катталикларни билган ҳолда a тезланишни ҳисоблаб топиш мумкин.

Агар ишқаланиш коэффициенти нолга тенг бўлса (ишқаланиш кучини эътиборга олмасак), у ҳолда тахтача қия текисликдан

$$a = g \sin \alpha$$

тезланиш билан ҳаракатланиб тушади.

Қия текисликнинг баландлигини h билан, асосини l билан ва узунлигини L билан белгилайлик (41-расмга қ.). У ҳолда

$$\sin \alpha = \frac{h}{L} \text{ ва } \cos \alpha = \frac{l}{L}$$

бўлади. Демак, тезланишнинг ифодаси

$$a = g \left[\frac{h}{L} + k \frac{l}{L} \right] = \frac{g}{L} (h + kl) \quad (73)$$

кўринишга эга бўлади. h , l , L узунликларни ўлчаб, тахтачанинг қия текислик бўйича ҳаракатидаги тезланишини ҳисоблаш мумкин.

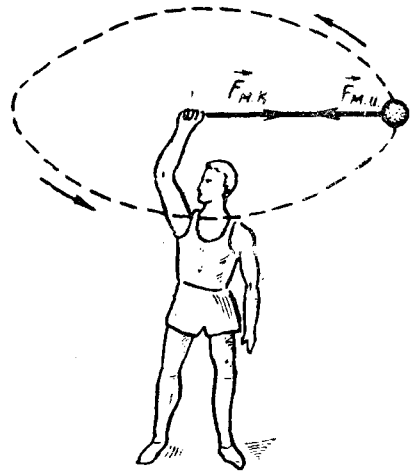
35- §. Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракатига Ньютон қонунларининг татбиқи

Биз 19- § да моддий нуқта айлана бўйлаб текис ҳаракат қилганида радиус бўйлаб айланиш марказига йўналган марказга интилма тезланиш ҳосил бўлишини кўриб ўтдик. Бино-

барин, моддий нуқтага тезликнинг йўналишини ўзгартирадиган ва радиус бўйлаб айлана марказига йўналган куч таъсир қилади. Бу кучни *марказга интилма куч* деб аталади. Жисмларнинг траекторияси ва тезлигига олдиндан ҳеч қандай чеклашлар қўйилмаган ҳолида муайян кучлар таъсиридаги ҳаракатини *эркин* ҳаракат дейилади. Аксинча, жисмнинг траекториясига ва тезлигига олдиндан муайян чеклашлар қўйилган бўлса, жисмнинг ҳаракати *эрксиз* ҳаракат бўлади. Масалан, ипга боғланган шарчанинг горизонтал текисликда айланиши, вагонларнинг рельслар бўйича ҳаракати, жисмнинг қия текисликда сирпаниши каби ҳаракатлар эрксиз бўлади.

Жисмнинг эрксиз ҳаракати-га, унга таъсир қилаётган кучлар катталигидан қатъи назар, бошқа жисмлар томонидан механикада *боғланишлар* деб аталувчи муайян шартлар қўйилган бўлади. Масалан, юқоридаги мисолларда ип томонидан шарчага, рельслар томонидан вагонларга боғланишлар қўйилган бўлади.

Жисмнинг эрксиз ҳаракатида унга ташқи (олдиндан берилган) кучлардан ташқари яна боғланишни юзага келтирувчи жисм томонидан ҳам кучлар таъсир қилади. Бу кучларни *боғланиш реакциялари* деб аталади. Ипга боғланган шарча айлана бўйлаб ҳаракатланганда ипнинг шарчага



42- расм.

кўрсатган таъсир кучи $\vec{F}_{m.и}$ (боғланиш реакцияси) марказга интилма куч бўлади (42- расм).

Марказга интилма кучнинг катталигини Ньютоннинг иккинчи қонуни

$$F = ma$$

дан фойдаланиб аниқлаш мумкин. Бу формулага марказга интилма тезланиш қийматини (44) ва (45) формуладан келтириб қўйиб, марказга интилма куч учун қуйидаги муносабатларни ҳосил қиламиз:

$$F_{m.и.} = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R. \quad (74)$$

Ньютоннинг учинчи қонунига мувофиқ, айлана бўйлаб ҳаракатланаётган жисм ўз навбатида унга боғланиш қўяётган жисмга катталиги марказга интилма кучга тенг, лекин қарама-қарши йўналган куч билан таъсир қилади. Бу кучни *мар-*

каздан қочма куч деб аталади. Марказдан қочма куч радиус бўйлаб айлана марказидан йўналган бўлди (42-расмга қ.).

Марказга интилма куч мавжуд бўлгандагина марказдан қочма куч мавжуд бўлади. Бу кучлар бир-бирини мувозанатламайди, чунки улар бошқа-бошқа жисмларга қўйилган.

Марказга интилма кучнинг ҳосил бўлишини қўйидаги тажрибаларда кўриб чиқайлик.

Бир учи бирор O нуқтага мустаҳкамланган пружинанинг иккинчи учига m массали металл шарчани бириктирайлик ва шарчани туртиб юбориб ҳаракатга келтирайлик (43-расм). Аввал шарча қисқа вақт бўлса-да, тўғри чизик бўйлаб ҳаракат қилади, сўнг шарча билан у маҳкамланган O нуқта ораси орта бориб, пружина чўзила бошлайди. Бунда шарчага чўзилган пружинанинг эластиклик кучи (боғланиш реакцияси) таъсир қилиб, уни эгри чизикли ҳаракатланишга мажбур қилади. Пружинанинг эластиклик кучи марказга интилма кучга тенг бўлиб қолганда шарча айлана бўйлаб ҳаракат қила бошлайди.

Бу тажрибада пружинанинг эластиклик кучи марказга интилма куч сифатида намоён бўлади.

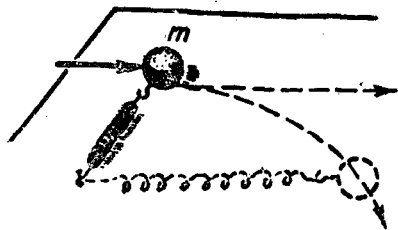
Уз ўқи атрофида айланиш имкониятига эга бўлган диск устига бирор жисм, масалан, шайбани қўйиб, дискни айлантйрайлик (44-расм). Диск билан бирга шайба ҳам айланади. Бунда тинчликдаги ишқаланиш кучи (дискнинг боғланиш реакцияси) шайбани айланада ушлаб туради. Агар дискни тезроқ айлантйрсак, шайба билан диск орасида бўлган тинчликдаги ишқаланиш кучи шайбани айланада ушлаб туриши учун етарли бўлмай, шайба дискдан четга отилиб кетади.

Бу тажрибада тинчликдаги ишқаланиш кучи марказга интилма куч сифатида намоён бўлади.

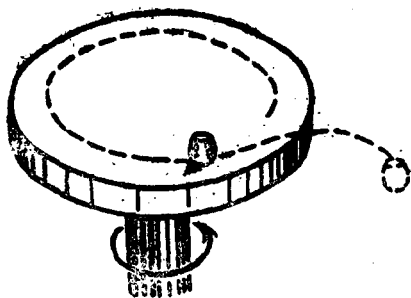
Баъзи ҳолларда жисм айлана бўйлаб текис ҳаракат қилганда ҳосил бўлган марказга интилма куч жисмга қўйилган барча кучларнинг тенг таъсир этувчиси бўлади.

Бир неча шундай мисолларни кўрайлик.

1. Автомобиль қавариқ кўприк устида бирор \vec{v} тезлик билан ҳара-

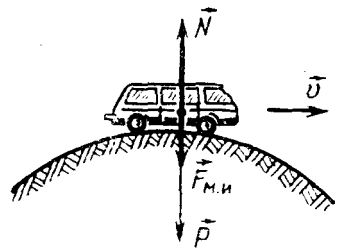


43- расм.



44- расм.

катланаётган бўлсин (45-расм). Автомобиль кўприкнинг ўртасига етганда унга \vec{P} оғирлик кучи ва \vec{N} реакция кучи бир вертикал бўйлаб қарама-қарши йўналишда таъсир қилади. Бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси марказга интилма куч бўлади ва кўприкнинг эгрилик марказига, яъни жисмнинг оғирлик кучи таъсир қилган томонга йўналган бўлади. 45-расмдаги марказга интилма куч оғирлик кучи билан реакция кучи орасидаги айирмага тенглиги, яъни



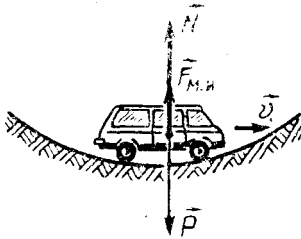
45- расм.

$$\vec{F}_{\text{м.и.}} = \vec{P} - \vec{N}$$

эканлиги кўриниб турибди. Бундан

$$N = P - F_{\text{м.и.}} \quad \text{ёки} \quad N = P - \frac{mv^2}{R} \quad (75)$$

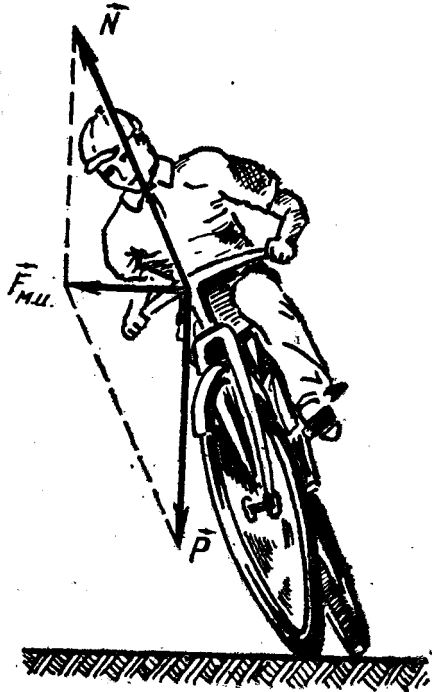
бўлади. Ньютоннинг учинчи қонунига мувофиқ, кўприк автомобилга қандай куч билан босса, автомобиль ҳам кўприкка



46- расм.

шунга тенг куч билан босади, бинобарин, топилган N куч ҳаракат қилаётган автомобилнинг кўприкка кўрсатадиган босим кучи бўлади.

Шундай қилиб, ҳаракатланаётган автомобиль (ёки ҳар қандай бошқа жисм) нинг қавариқ кўприкка бўлган босим кучи автомобил (жисм) оғирлигидан марказга интилма куч қадар кам бўлади.



47- расм.

2. Энди автомобиль ботиқ кўприк устида бирор v тезлик билан ҳаракатланаётган бўлсин (46-расм). Бунда автомобилга таъсир этаётган марказга интилма куч реакция кучи йўналган томонга (юқорига) қараб йўналган бўлади. Шунинг учун

$$\vec{F}_{\text{м.и.}} = \vec{N} - \vec{P}$$

деб ёза оламиз. Бундан

$$N = F_{\text{м.и.}} + P = \frac{mv^2}{R} + P \quad (76)$$

бўлади.

Шундай қилиб, *автомобиль (ёки ҳар қандай бошқа жисм) нинг ботиқ кўприкка бўлган босим кучи автомобиль (жисм) оғирлигидан марказга интилма куч қадар ортиқ экан.*

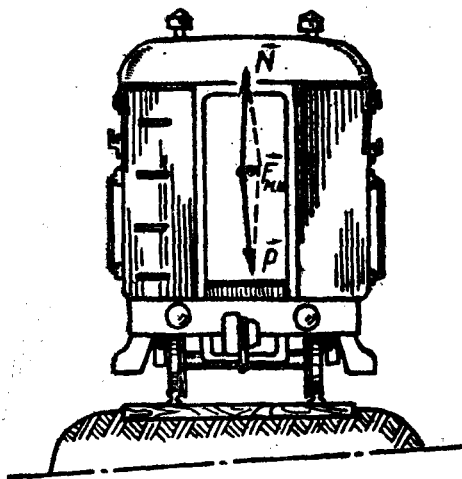
3. Велосипедчининг йўлнинг бурилган жойидаги ҳаракатини кўрайлик (47-расм).

Велосипедчи йўлнинг тўғри қисмида кетаётганида вертикал йўналиш бўйлаб таъсир қилган оғирлик кучи билан йўл (таянч) нинг реакция кучи бир-бирини мувозанатлайди.

Йўлнинг бурилиш жойидаги ҳаракатда марказга интилма куч юзага келади. Бу кучни ҳосил қилиш учун велосипедчи бурилиш ичкараси томон оғади (47-расмга қ.). Бу вақтда унинг P оғирлик кучи билан N таянч реакция кучининг тенг таъсир этувчиси бўлган $F_{\text{м.и.}}$ марказга интилма куч ҳаракатдаги бурилишни ҳосил қилади.

Мотоциклчилар, югурувчилар, конькида учувчилар йўлнинг бурилган жойида ҳаракат қилганда ҳам юқорида айтилган каби ҳоллар рўй беради. Бу ҳолларнинг ҳаммасида ҳам ҳаракат қилаётган одам ўз гавдасини маълум бир томонга оғдирди. Тезлик қанча катта бўлса ва бурилиш радиуси қанча кичик бўлса, гавданинг айлананинг ичкарасига томон оғиш бурчаги шунчалик катта бўлади.

4. Поезд темир йўлнинг бурилган жойида ҳаракат қилганда марказга интилма куч ҳосил қилиш мақсадида ташқи рельс ичкарасидагидан баландроқ қилиб ишланади, яъни йўлнинг бурилган жойида рельслар эгрилик марказига томон оғмароқ қилиб ўрнатилган бўлади (48-расм). Бунда вагоннинг



48-расм.

оғирлик кучи билан рельс (таянч) нинг реакция кучининг тенг таъсир этувчиси марказга интилма куч бўлади. Темир йўлнинг қиялиги, албатта, қандайдир бир ўртача тезликка мўлжалланган бўлади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Механикада қандай кучлар билан иш кўрилади?
2. Оғирлик кучи ва жисмнинг оғирлиги деб нимага айтилади?
3. Эластиклик кучи нима?
4. Эластик деформация деб нимага айтилади? Пластик деформация деб-чи?
5. Гук қонунини таърифланг.
6. Ишқаланиш, ишқаланишнинг турларини тушунтиринг.
7. Ишқаланиш кучи нима? Сирпаниш ва думалаш ишқаланиши кучларининг формуласини ёзиб беринг. Сирпаниш ишқаланиши кучи билан тинчликдаги ишқаланишнинг максимал кучи ўзаро тенглигини қандай исботлаш мумкин?
8. Ишқаланиш коэффициентини нима? Унинг катталиги нималарга боғлиқ?
9. Ишқаланишнинг фойдали ва зарарли томонларини айтиб беринг.
10. Қандай усуллар билан ишқаланишни камайтириш ёки кўпайтириш мумкин?
11. Илгариланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасини ёзинг ва унинг физик маъносини тушунтиринг.
12. Қия текислик бўйича ҳаракатланаётган тахтачага қандай кучлар таъсир қилади? Бу ҳаракат учун Ньютоннинг иккинчи қонунини ёзинг.
13. Қия текислик бўйича ҳаракатланаётган тахтача тезланишининг формуласини келтириб чиқаринг.
14. Марказга интилма куч нима? Унинг катталиги нимага тенг? Марказдан қочма куч-чи?
15. Нима учун марказга интилма куч билан марказдан қочма кучнинг тенг таъсир этувчиси бўлмайди?
16. Механикада қандай кучлар марказга интилма куч сифатида намоён бўлади?
17. Қавариқ кўприкнинг ўртасига таъсир қилувчи босим кучи нимага тенг? Ботиқ кўприкда-чи?
18. Нима учун бурилишларда велосипедчи йўлнинг эгрилик маркази томонига гавдасини оғдиради?
19. Нима учун бурилиш жойларда темир йўл эгрилик марказига томон қиялатиб қурилади?

Масала ечиш намуналари

1- масала. Массаси 4 кг бўлган жисм ҳавода $8,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ тезла-
ниш билан тушмоқда. Ҳавонинг қаршилик кучини топинг.

Берилган: $m = 4 \text{ кг}$, $a = 8,3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Топиш керак. F_k — ?

Ечилиши: Ҳавода тушаётган жисмга \vec{P} оғирлик кучи билан ҳавонинг қаршилик кучи таъсир қилади (49-расм). Жисмнинг ҳаракати текис тезланувчан бўлиб, шу икки кучнинг тенг таъсир этувчиси жисмга a тезланиш беради.

Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ жисмнинг ҳаракат тенгламаси, вектор кўринишда. қуйидагича ифодаланади:



49- расм.

$$\vec{ma} = \vec{P} + \vec{F}_k,$$

бу ерда \vec{P} ва \vec{F}_k кучлар бир вертикал бўйлаб қарама-қарши томонга йўналган бўлгани учун бу тенгламанинг скаляр кўриниши қуйидагича бўлади:

$$ma = P - F_k.$$

$P = mg$ эканлигини эътиборга олиб, ҳавонинг қаршилиқ кучи учун

$$F_k = P - ma = mg - ma = m(g - a)$$

ифодани ҳосил қиламиз.

$$\text{Ҳисоблаш: } F_k = 4 \text{ кг } (9,8 - 8,3) \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 6 \text{ Н.}$$

2-масала. Юк автомобили массаси 2 т бўлган енгил автомобилни тортиб, текис тезланувчан ҳаракат билан 50 секундда 400 м йўл юрди. Агар автомобилларни уловчи пўлат симнинг бикрлиги $2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ бўлса, бу ҳаракатда пўлат сим қанчага чўзилган? Ишқаланишни ҳисобга олманг.

$$\text{Берилган: } m = 2 \text{ т} = 2 \cdot 10^3 \text{ кг}, t = 50 \text{ с}, s = 400 \text{ м}, k = 2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Топиш керак: Δx — ?

Ечилиши: Гук қонунига мувофиқ, чўзилган пўлат симнинг эластиклик кучи $F_{\text{эл}} = -k\Delta x$. Бундан пўлат сим чўзилишининг абсолют катталиги

$$|\Delta x| = \frac{F_{\text{эл}}}{k}$$

бўлади. Пўлат симнинг эластиклик кучи енгил автомобилга тезланиш беради, шунинг учун

$$F_{\text{эл}} = ma$$

деб ёзиш мумкин.

Бошланғич тезликсиз текис тезланувчан ҳаракат тенгламаси

$$s = \frac{at^2}{2}$$

дан тезланишнинг $a = \frac{2s}{t^2}$ қийматини куч формуласига келтириб қўйсақ, у ҳолда

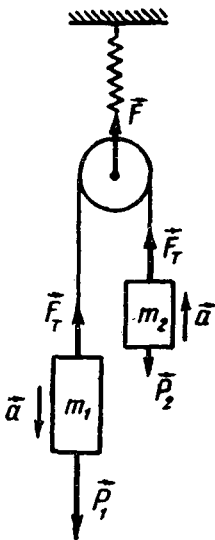
$$F_{\text{эл}} = m \frac{2s}{t^2}$$

бўлади. Бинобарин, пўлат симнинг чўзилиш катталиги қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta x = 2m \frac{s'}{kt^2}.$$

Ҳисоблаш:

$$\Delta x = 2 \cdot 10^3 \text{ кг} \cdot 2 \frac{400}{2 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 2500 \text{ с}^2} = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,2 \text{ мм.}$$



50- расм.

3-масала. Массалари 200 г ва 100 г бўлган иккита юк ипга боғланган бўлиб, чиғриқ орқали ўтказилган ва пружинали тарозига осилган (50-расм). Юкларнинг тезланишини, пружинали тарозининг кўрсати-

шини ва ипнинг таранглигини топинг. Блок ўқидаги ишқаланишни ва унинг массасини ҳисобга олманг.

Берилган: $m_1 = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$, $m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$.

Топиш керак: $a = ?$, $F_T = ?$, $F = ?$

Ечилиши: Ҳар бир юкка оғирлик кучи билан ипнинг таранглик кучи таъсир этади. Чигириқ ўқидаги ишқаланиш ва унинг массаси жуда кичик бўлгани учун ипнинг таранглинишни барча қисмида ўзгармас деб олиш мумкин, $\vec{P}_1 > \vec{P}_2$ бўлгани учун бутун системанинг ҳаракати расмда кўрсатилгандек йўналишда бўлади.

Энди юкларнинг ҳаракат тенгламаларини ёзамиз:

$$m_1 \vec{a} = \vec{P}_1 + \vec{F}_T, \quad m_2 \vec{a} = \vec{P}_2 + \vec{F}_T$$

ёки скаляр кўринишда

$$m_1 a = P_1 - F_T, \quad m_2 a = F_T - P_2 \quad (a)$$

бўлади, бунда a — юкларнинг тезланиши. Бу тенгламаларни биргаликда ечиб, a тезланишни топамиз:

$$a = \frac{P_1 - P_2}{m_1 + m_2} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Тезланишнинг бу қийматини (а) тенгламаларнинг ихтиёрий бирига келтириб қўйиб, ипнинг таранглик кучини топамиз:

$$F_T = P_2 - m_2 a = m_1 g - m_2 \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g = \frac{2m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Юклар осилган чигириқнинг икки томонида ҳосил бўлган таранглик кучи таъсири остида пружина чўзилади. У вақтда пружинани чўзувчи куч

$$F = 2F_T = \frac{4 m_1 m_2}{m_1 + m_2} g.$$

Ҳисоблаш: $a = \frac{0,2 \text{ кг} - 0,1 \text{ кг}}{0,2 \text{ кг} + 0,1 \text{ кг}} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 3,27 \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$

$$F_T = \frac{2 \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 0,1 \text{ кг}}{0,2 \text{ кг} + 0,1 \text{ кг}} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 13,1 \text{ Н}, \quad f = 2F_T = 26,2 \text{ Н}.$$

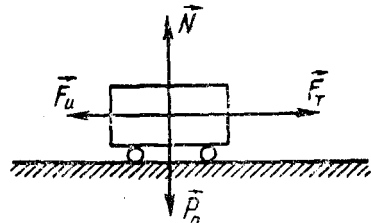
4-масала. Массаси 10 т бўлган троллейбус жойидан қўзғалиб, 50 м масофада $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезликка эришиди. Агар тортиш кучи 14 кН га тенг бўлса, қаршилик коэффициентини топинг.

Берилган: $m = 10 \text{ т} = 10^4 \text{ кг}$, $v_0 = 0$, $s = 50 \text{ м}$, $v = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $F = 14 \text{ кН} = 14 \cdot 10^3 \text{ Н}$.

Топиш керак: $k = ?$

Ечилиши: Троллейбусга учта куч; \vec{F}_T

— тортиш кучи, \vec{F}_H — ишқаланиш кучи ва \vec{N} — йўл (таянч)нинг реакция кучи таъсир қилади (51-расм). \vec{N} реакция кучи троллейбуснинг P_0 нормал босим кучи билан мувозанатлашади (улар бир нуқтага қўйилган, катталиқ жиҳатдан тенг ва қарама-қарши томонга йўналган). Горизонтал текисликда жисмнинг нормал босим



51-расм.

кучи унинг оғирлик кучига тенг бўлади. Ишқаланиш кучи эса $F_H = kP_0$ га тенг бўлади.

Троллейбусга тортиш кучи билан ишқаланиш кучининг тенг таъсир этувчиси тезланиш беради. Бу кучлар ўзгармас бўлгани учун троллейбус текис тезланувчан ҳаракат қилади.

Троллейбуснинг ҳаракат тенгламаси

$$m\vec{a} = \vec{F}_T + \vec{F}_H \text{ ёки } ma = F_T - F_H$$

бўлади. Бошланғич тезликсиз текис тезланувчан ҳаракат тенгламаси

$$s = \frac{v^2}{2a}$$

дан a тезланишни топамиз:

$$a = \frac{v^2}{2s}$$

ва тезланишнинг ҳамда ишқаланиш кучининг қийматларини троллейбуснинг ҳаракат тенгламасига келтириб қўйиб, қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$m \frac{v^2}{2s} = F_T - kmg.$$

Бундан ишқаланиш коэффициентини топсак,

$$k = \frac{F_T - m \frac{v^2}{2s}}{mg} = \frac{2F_T s - mv^2}{2smg}$$

бўлади.

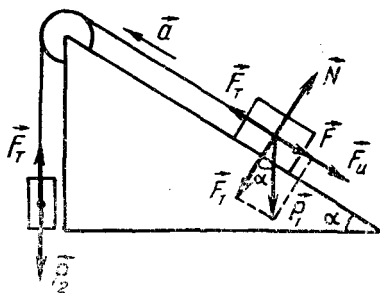
Ҳисоблаш:

$$k = \frac{2 \cdot 14 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot 50 \text{ м} - 10^4 \text{ кг} \cdot 102 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 50 \text{ м} \cdot 10^4 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,04.$$

5-масала. Горизонт билан 30° бурчак ташкил қилган қия текислик устида турган 20 кг массали жисмга ип боғлаб, уни қия текисликнинг энг юқори чўққисига ўрнатилган вазнсиз чиғириқ орқали ўтказилган. Ипнинг иккинчи учига массаси 12 кг бўлган жисм осилган. Жисмнинг қия текисликка ишқаланиш коэффициенти 0,1 га тенг. Жисмларнинг тезланишини ва ипнинг таранглик кучини топинг. Чиғириқдаги ишқаланишни ҳисоба олманг.

Берилган: $\alpha = 30^\circ$, $m_1 = 20$ кг, $m_2 = 12$ кг, $k = 0,1$.

Тоғши керак: $a = ?$ $F_T = ?$



52- расм.

Ечилиши: 3-масаладаги каби, бу масалада ҳам жисмларнинг тезланиши бир хил ва ипнинг барча қисмида таранглиниши ўзгармас деб оламиз.

Масаланинг шартига кўра чизма чизиб, жисмларга таъсир этаётган кучларнинг йўналишини белгилаб оламиз (52- расм).

Қия текисликда турган жисмга тўртта куч: ишқаланиш кучи $\vec{F}_H = k\vec{N} = km_1 g \cos \alpha$, оғирлик кучи, $\vec{P}_1 = m_1 g$, ипнинг таранглик кучи \vec{F}_T ва таянч (қия текислик)нинг реакция кучи $|\vec{F}_1| = |\vec{N}| = P_1 \cos \alpha = m_1 g \cos \alpha$ таъ-

сир қилади. \vec{P}_1 кучнинг $\vec{F} = m_1 \vec{g} \sin \alpha$ ташкил этувчи қия текисликка параллел йўналган. m_2 жисмга $\vec{P}_2 = m_2 \vec{g}$ оғирлик кучи билан F_T — ипнинг таранглик кучи таъсир этади.

Энди ҳар бир жисмнинг ҳаракат тенгламасини ёзамиз. m_1 массали жисм учун:

$$m_1 \vec{a} = \vec{F}_T + \vec{F} + \vec{F}_H \quad \text{ёки} \quad m_1 \vec{a} = \vec{F}_T + m_1 \vec{g} \sin \alpha + km_1 \vec{g} \cos \alpha;$$

m_2 массали жисм учун:

$$m_2 \vec{a} = \vec{P}_2 + \vec{F}_T \quad \text{ёки} \quad m_2 \vec{a} = m_2 \vec{g} + \vec{F}_T.$$

Бу тенгламаларнинг скаляр кўриниши қуйидагича бўлади:

$$m_1 a = F_T - m_1 g \sin \alpha - km_1 g \cos \alpha,$$

$$m_2 a = m_2 g - F_T.$$

Тенгламаларни ҳадма-ҳад қўшиб, жисмларнинг тезланиши учун

$$a = \frac{m_2 - m_1 \sin \alpha - km_1 \cos \alpha}{m_1 + m_2} g$$

ва ҳадма-ҳад айириб, ипнинг таранглик кучи учун

$$F_T = \frac{(m_1 - m_2) a - m_1 g \sin \alpha - km_1 g \cos \alpha - m_2 g}{2}$$

ифодаларни ҳосил қиламиз. Охириги ифодага тезланишнинг юқоридаги ифодасини келтириб қўйиб ва математик амалларни бажариб, F_T учун қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$F_T = \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} (1 + \sin \alpha + k \cos \alpha) g.$$

Ҳисоблаш:

$$a = \frac{(12 \text{ кг} - 20 \text{ кг} \cdot \sin 30^\circ - 0,1 \cdot 20 \text{ кг} \cdot \cos 30^\circ) \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{20 \text{ кг} + 12 \text{ кг}} \approx 0,09 \frac{\text{м}}{\text{с}^2},$$

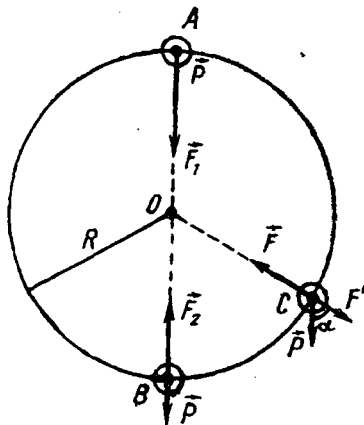
$$F_T = \frac{20 \text{ кг} \cdot 12 \text{ кг}}{20 \text{ кг} + 12 \text{ кг}} (1 + \sin 30^\circ + 0,1 \cos 30^\circ) \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cong 117 \text{ Н}.$$

6- масала. Ипга боғланган тош вертикал текисликда $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ чизиқли тезлик билан айлантирилмоқда. Агар ипнинг максимал ва минимал таранглик кучининг фарқи 9,8 Н га тенглиги маълум бўлса, тошнинг массасини топинг.

Берилган: $v = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}, F_2 - F_1 = 9,8 \text{ Н}.$

Тоғиш керак: $m = ?$

Ечилиши. Траекториянинг иктиёрий нуқтасида тошга иккита куч — оғирлик кучи \vec{P} ва ипнинг таранглик кучи (османинг реакция кучи) \vec{F} таъсир қилади (53-расм). Тошни айлана бўйлаб ҳаракат қилишига мажбурловчи, яъни унга марказга интилма тезланиш берувчи кучнинг қатталиги траекториянинг иктиёрий нуқтасида (масалан C нуқтада) қуйидагига тенг бўлади;



53- расм.

$$m \frac{v^2}{R} = F - F_1 = F - R \cos \alpha,$$

бунда R — айлананинг радиуси.

Траекториянинг энг юқори (A) нуқтасида

$$\frac{mv^2}{R} = F_1 + P = F_1 + mg$$

ва траекториянинг энг қуйи (B) нуқтасида

$$\frac{mv^2}{R} = F_2 - P = F_2 - mg$$

бўлади, бу ерда F_1 ва F_2 лар мос равишда тошининг A ва B нуқталардан ўтаётган вақтдаги ипнинг таранглик кучлари.

Бу икки тенгламадан кўришиб турибдики, $F_1 + mg = F_2 - mg$. Бундан тошининг массасини топсак,

$$m = \frac{F_2 - F_1}{2g}$$

бўлади.

Ҳисоблаш:

$$m = \frac{9,8 \text{ Н}}{2 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,5 \text{ кг.}$$

7-масала. Узунлиги 60 см бўлган ипга осилган юк текис ҳаракатланиб, горизонтал текисликда айлана чизади. Юк айланаётган вақтда ип вертикал билан 30° ли ўзгармас бурчак ташкил қилса, юк қандай тезлик билан ҳаракатланаётган бўлади?

Берилган: $l = 60 \text{ см} = 0,6 \text{ м}$, $\alpha = 30^\circ$.

Топиш керак: $v = ?$

Ечилиши: Юкка \vec{P} оғирлик кучи билан ипнинг \vec{F}_T таранглик кучи таъсир қилади. Бу кучларнинг тенг таъсир

этувчи $\vec{F}_{\text{м.и.}}$ кучи юкка марказга интилма тезланиш береди (54-расм). Ньютоннинг иккинчи қонунига мувофиқ, юкнинг ҳаракат тенгламаси қуйидагича бўлади;

$$m\vec{a} = \vec{F}_T + \vec{P} = \vec{F}_{\text{м.и.}},$$

бу ерда $a = \frac{v^2}{R}$ — марказга интилма тезланиш, R — айлананинг радиуси. Расмдан:

$$F_{\text{м.и.}} = Ptg \alpha = mgtg \alpha, R = l \sin \alpha.$$

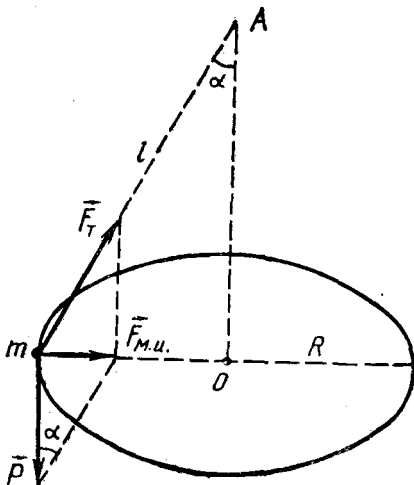
Бинобарин,

$$\frac{mv^2}{l \sin \alpha} = mgtg \alpha$$

бўлади. Бундан юкнинг чизиқли тезлигини топамиз:

$$v = \sqrt{l g \sin \alpha \cdot tg \alpha}.$$

Ҳисоблаш:



54-расм.

$$v = \sqrt{0,6 \text{ м} \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot \sin 30^\circ \cdot \text{tg } 30^\circ} = 1,3 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

8- масала. Поезд радиуси 400 м бўлган бурилишдан $54 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ тезлик билан кетаётганда поезднинг рельсларга босим кучи унга перпендикуляр бўлиши учун ташқи рельсни ички рельсдан қанча баланд кўтариш керак? Рельслар оралигининг кенглиги 152,4 см га тенг.

Берилган: $R=400 \text{ м}$, $v = 54 \frac{\text{км}}{\text{соат}} = 15 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, $l = 152,4 \text{ см} = 1,524 \text{ м}$.

Топиш керак: $h - ?$

Ечилиши: Вагонга \vec{P} оғирлик кучи билан \vec{F} таянч реакцияси кучи таъсир қилади (55-расм). Уларнинг горизонтал йўналган $\vec{F}_{\text{м.и.}}$ тенг таъсир этувчиси поездга марказга интилма тезланиш береди. Расмдан

$$F_{\text{м.и.}} = P \text{tg } \alpha \text{ ва } \text{tg } \alpha = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}$$

эканлигини аниқлаб оламиз. $P = mg$ ва

$$F_{\text{м.и.}} = \frac{mv^2}{R} \text{ эканлигини эътиборга}$$

олиб, қуйидаги муносабатни ҳосил қил амиз:

$$\frac{mv^2}{R} = mg \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}$$

Бу тенгламани изланаётган катталиқка нисбатан ечсак,

$$h = \frac{v^2 l}{\sqrt{v^4 + R^2 g^2}}$$

ифода келиб чиқади.

Ҳисоблаш:

$$h = \frac{\left(15 \frac{\text{М}}{\text{с}}\right)^2 \cdot 1,524 \text{ м}}{\sqrt{\left(15 \frac{\text{М}}{\text{с}}\right)^4 + (400 \text{ м})^2 \cdot \left(9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}\right)^2}} = 8,57 \cdot 10^2 \text{ м}$$

Мустақил ечиш учун масалалар

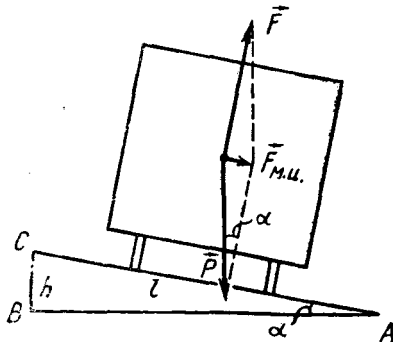
35. Массаси 2,5 кг, 800 г, 1,2 т, 50 г бўлган жисмга таъсир қиладиган оғирлик кучини топинг.

36. Оғирлиги $5 \cdot 10^3 \text{ Н}$ бўлган, вагонча $30 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$ тезланиш билан ҳаракатланмоқда. Ҳаракатлантирувчи кучни топинг.

37. Массаси 70 кг бўлган ишчи, массаси 40 кг бўлган юкни кўтариб турибди. Ишчи ерга қанча куч билан таъсир этмоқда?

38. Сирпанчиқ йўлда юкли автомобилнинг ғилдираги юксиз автомобиль ғилдирагига қараганда нима учун жойидан тезроқ силжиб кетади?

39. Автомобиль горизонтал текисликда $36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ тезлик билан ҳаракатланмоқда.



55-расм.

да. Мотор ўчирилгандан кейин у 125 м масофани ўтиб, сўнг тўхтайти. Ишқаланиш коэффициентини аниқланг.

40. Агар ишқаланиш коэффициенти 0,05 га тенг бўлса, горизонтал йўлда 600 Н куч билан қандай массали юкни текис ҳаракатга келтириш мумкин?

41. Велосипедчи $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан ҳаракат қилмоқда. У педални тўхтатгандан кейин қанча масофани босади? Ишқаланиш коэффициенти 0,05 га тенг.

42. Бикрлиги $10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ бўлган пружинани 10 см чўзиш учун унга қанча юк осиш керак?

43. Массаси 2 т бўлган автомобилни $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ тезланиш билан шатакка олиб кетаётганда бикрлиги $100 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$ бўлган пўлат симнинг чўзилишини топинг. Ишқаланишни ҳисобга олманг.

44. Массаси 10 кг бўлган тахтача горизонтал текисликда ётибди. Агар тахтача билан текислик орасидаги ишқаланиш кучи 5 Н га тенг бўлса, горизонтал йўналишда тахтачага қандай куч билан таъсир этганда, у 2 секунддан кейин $4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезликка эришади?

45. Узунлиги 5 м ва баландлиги 3 м бўлган қия текисликда 50 кг массали юк турибди. Бу юкни тутиб туриш учун текислик бўйлаб йўналган қандай куч қўйиш лозим? Юқорига текис чиқариш учун-чи? $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ тезланиш билан чиқариш учун-чи? Ишқаланиш коэффициенти 0,2.

46. Узунлиги 30 см бўлган резина шнурга боғланган 50 кг массали шарча горизонтал текисликда $3 \frac{\text{айл}}{\text{с}}$ частота билан айланади. Агар шнурнинг бикрлик коэффициенти $980 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ бўлса, бу айланишда шнур қанча чўзилади?

47. Горизонтал турган диск $15 \frac{\text{айл}}{\text{мин}}$ частота билан айланади. Дискда айланиш ўқидан 12 см узоқликда жисм ётибди (44-расмга қ.). Жисмнинг дискдан сирпаниб учиб кетмаслиги учун ишқаланиш коэффициенти қандай бўлиши керак?

48. 60 см узунликдаги ипга осилган 100 г массали тошни горизонтал текисликдан 20 см радиусли айлана бўйлаб айланишга мажбур этувчи кучни топинг. Тошнинг оғирлиги 0,98 Н га тенг.

49. $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан ҳаракатланаётган конькида учувчининг музга нисбатан қиялиги 60° бўлганда, унинг айланиш радиуси қанча?

50. Самолёт $360 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ ўзгармас тезлик билан вертикал текисликда «Нес-терев сартмоғи» (айлана) ни ясапти. Агар учувчининг массаси 70 кг бўлса, траекториянинг энг юқори ва энг қуйи нуқталарида у ўриндиққа қандай куч билан босади?

36-§. Бутун олам тортишиш қонуни

Тажриба ва кузатишлардан маълумки, Ернинг тортиши таъсирида жисмлар Ерга тушади. Ерга тушишга қаршилиқ кўрсатаётган тагликни босади ёки османи чўзади. Кўзга кўринмайдиган жуда майда зарралар ҳам кўзга кўринадиган нарсалар сингари Ерга тортилади. Қисқаси, ҳамма жисмлар,

катта-кичиклигидан қатъи назар Ерга тортилади. Бундай тортишиш кучи оғирлик кучи деб аталишини биз 31-§ да кўрган эдик.

Ер шароитида жисмларнинг тушишини ва осмон жисмларининг ҳаракатини ўрганиб Ньютон, оғирлик кучи фақат Ер сирти яқинида турган жисмгагина таъсир этмасдан, балки жисмлар қаерда турган бўлса ҳам таъсир этади, деган хулосага келади. Бинобарин, барча жисмлар ўзаро бир-бирига тортилади. Жисмлар орасидаги ўзаро тортишиш кучлари *бутун олам тортишиш кучлари* деб аталади. Жисмларнинг Ерга тушиши, Ойнинг Ер атрофида берк орбита бўйлаб ҳаракатланиши, сайёраларнинг Қуёш атрофида ҳаракатланиши ва шунга ўхшаш бошқа ҳаракатлар бутун олам тортишиш кучлари таъсирида бўлади.

Ньютон ўзининг ва ўзигача бўлган олимларнинг кузатишларига асосланиб сайёранинг Қуёш билан тортишиш кучи Қуёш ва сайёранинг массалари кўпайтмасига тўғри пропорционал, улар орасидаги масофанинг квадратига тескари пропорционал бўлишини аниқлади. Ер ва унинг табиий йўлдоши Ой орасидаги тортишиш кучи, шунингдек, Ер ва Ергаги ихтиёрий жисмнинг тортишиш кучини ҳисоблаб, Ньютон жисмнинг оғирлик кучи ҳам Ер ва шу жисмнинг массалари кўпайтмасига тўғри мутаносиб ва уларнинг орасидаги масофанинг квадратига тескари мутаносиб эканлигини аниқлади. Бундан *жисмларнинг Ерга тортишиш кучи* (яъни оғирлик кучи) *тортишиш намоён бўлишининг хусусий ҳоли*, деган хулоса келиб чиқади.

Хулосалар натижасида Ньютон 1697 йили қуйидаги қонунни яратди: *барча моддий нуқталар уларнинг массалари кўпайтмасига тўғри мутаносиб ва улар орасидаги масофанинг квадратига тескари мутаносиб куч билан бир-бирига тортилади.*

Бу қонун *бутун олам тортишиш қонуни* деб аталади.

Моддий нуқталарнинг массаларини m_1 ва m_2 билан, улар орасидаги масофани r билан белгилаб, бутун олам тортишиш қонунини қуйидаги формула орқали ифодалаш мумкин:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (77)$$

бунда F — бутун олам тортишиш кучи, G — табиатдаги барча жисмлар учун бир хил бўлган мутаносиблик коэффициентини бўлиб, бу коэффициентни *тортишиш доимийси* ёки *гравитацион доимий* деб аталади.

Гравитацион доимийнинг физик маъносини аниқлайлик.

Агар, $m_1 = m_2 = 1$ кг ва $r = 1$ м бўлса, у ҳолда (77) формуладан $F = G$ ни ҳосил қиламиз. Демак, гравитацион доимий сон қиймати жиҳатидан бир-биридан бирлик масофада турган бирлик массали икки моддий нуқтанинг ўзаро тортишиш кучига тенг экан. Гравитацион доимийнинг сон қийматини биринчи марта инглиз олими Кавендиш 1798 йилда сезгир бурама тарози ёрдамида аниқлади ва бу қиймат қуйидагига тенг:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}^2} = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}. \quad (78)$$

Жисмларнинг фазода ўзаро тортишиши махсус кўринишдаги моддий боғланиш (воситачи) ёрдамда амалга ошади. Буни қуйидагича тушунтирилади.

Ҳозирги замон физикаси нуқтаи назаридан материянинг яшаш шакли модда ва майдон кўринишида бўлади. Майдоннинг хоссалари модданинг хоссаларидан анча фарқ қилади. Агар модда бирор майдон таъсирга дуч келса, унинг ўзи ҳам шундай майдонни ҳосил қилиши мумкин; модда ва майдон ўзаро диалектик боғланишдадир. Шунинг учун жисмларнинг фазо орқали бўладиган ҳар қандай ўзаро таъсирини шундай тасаввур қилиш мумкин: биринчи жисм ўз атрофида иккинчи жисмга таъсир қиладиган майдон ҳосил қилади ва шу майдон орқали унга таъсир этади; ўз навбатида иккинчи жисм ўз майдони орқали биринчи жисмга таъсир кўрсатади.

Шундай қилиб, жисмларнинг фазо орқали ўзаро таъсири фақат моддий воситачи асосидагина амалга ошади. Жисмларнинг фазо орқали ўзаро тортишишида *гравитацион майдон*, яъни *тортишиш кучлари майдони* моддий воситачи бўлади.

Гравитацион майдон материянинг махсус кўриниши бўлиб, унинг воситасида жисмлар ўзаро тортишишади.

37-§. Ер айланма ҳаракатининг эркин тушиш тезланишига таъсири

Аввалги параграфда оғирлик кучи бутун олам тортишиш кучларининг намоён бўлишининг хусусий ҳоли эканлигини қайд қилиб ўтган эдик. Шундай экан, Ер сиртида бўлган m массали жисмга таъсир этувчи оғирлик кучи, бутун олам тортишиш қонунига мувофиқ,

$$P = G \frac{mM}{R^2}$$

формуладан аниқланиши мумкин, бу ерда M — Ернинг массаси, R — унинг радиуси.

Динамиканинг иккинчи қонунига мувофиқ, $P = mg$ эди, бинобарин,

$$mg = G \frac{mM}{R^2}$$

деб ёзиш мумкин. Бундан эркин тушиш тезланишини топсак,

$$g = G \frac{M}{R^2} \quad (79)$$

бўлади. Бу ифода эркин тушиш тезланиши Ернинг массаси ва унинг радиусига боғлиқ бўлиб, тушаётган жисмнинг массасига боғлиқ бўлмаслигини кўрсатади. Бу Ер сиртининг берилган

нуқтасида эркин тушиш тезланиши барча жисмлар учун бир хил бўлишини билдиради.

Агар Ер айнан шар шаклида бўлиб, ўз ўқи атрофида айланмаганда эди, эркин тушиш тезланиши Ер сиртининг барча нуқталарида ўзгармас ва жисмнинг оғирлиги Ерда тортилиш кучига тенг бўлар эди. Бироқ Ер шари қутблар яқинида бир оз яссироқ эканлигидан ва Ернинг ўз ўқи атрофида суткалик айланишидан эркин тушиш тезланиши Ернинг турли жойларида турли қийматларга эга бўлади.

Дарҳақиқат, Ер шарга айнан ўхшамаслигидан ва қутблари бир оз яссироқ бўлганидан, Ернинг марказидан унинг сиртида турган жисмгача бўлган масофа унинг қутбларида бошқа жойларидагидан кичикроқ, экваторда каттароқ бўлади. Бинобарин, эркин тушиш тезланиши қутбларда энг катта (g тезланиш R^2 тескари мутаносиб эканлигидан (79) формулага қ.) экваторда эса энг кичик қийматга эга бўлади.

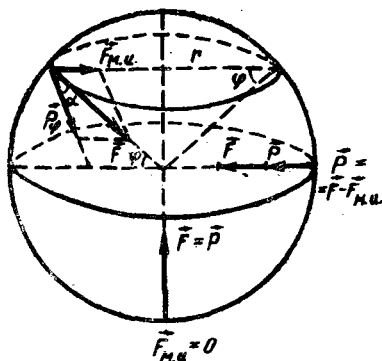
Ернинг суткалик айланиши туфайли турли географик кенгликда ётган нуқталарнинг чизиқли тезликлари хар хил бўлади: у қутбларда нолга тенг, экваторда энг катта бўлади. Шунинг учун Ер нуқталарининг айланма ҳаракатини таъминловчи кучлар хар хил бўлади Бу ҳолда марказга интилма куч тортишиш кучининг ташкил этувчиларидан бири бўлади.

56- расмда Ер сиртида ихтиёрий m массали жисмнинг ўрта географик кенгликдаги, қутб ва экватордаги вазияти схематик тасвирланган. Жисмга таъсир этувчи ва Ернинг марказига томон йўналган \vec{F} тортишиш кучини иккита кучга ажратиш мумкин. Улардан бири жисмнинг Ер билан бирга айланишини таъминловчи $\vec{F}_{м.и.}$ марказга интилма куч бўлса, иккинчиси юк таранг қилиб тортиб турган иннинг йўналиши (у осма йўналиши деб юритилади) бўйича таъсир этувчи P_ϕ оғирлик кучидир. Расмдан кўринишича, оғирлик кучининг йўналиши фақат қутбда ва экваторда Ер радиуси билан устма-уст тушади.

Шундай қилиб,

$$\vec{F} = \vec{P}_\phi + \vec{F}_{м.и.}$$

деб ёзиш мумкин. Бу геометрик йиғиндини скаляр йиғинди билан алмаштириш учун \vec{P}_ϕ ва $\vec{F}_{м.и.}$ векторларни \vec{F} вектор йўналишга проекциялаймиз (56- расмга қ.). Векторлар йиғиндисининг бирор йўна-



56- расм.

лишига проекцияси қўшилаётган векторларнинг ўша йўналишга проекциялари йиғиндисига тенг эканлигидан (5-§ га қ.)

$$F = P_{\varphi} \cos \alpha + F_{\text{м.и.}} \cos \varphi \quad (80)$$

бўлади, бу ерда α — оғирлик кучи билан тортишиш кучи йўналишлари орасидаги бурчак.

Ҳисоблашларга кўра φ географик кенгликка қараб, α бурчак нолдан (экваторда ва қутбларда) то $6'$ гача (45° кенгликда) тебраниб турар экан. Шунинг учун $P_{\varphi} \cos \alpha \approx P_{\varphi}$ деб ҳисоблаш мумкин.

56-расмдан кўринишича $r = R \cos \varphi$, демак, марказга интилма куч

$$F_{\text{м.и.}} = m \omega^2 r = m \omega^2 R \cos \varphi$$

га тенг бўлади. $F = G \frac{mM}{R^2}$ эканини назарга олган ҳолда (80) формулани

$$G \frac{mM}{R^2} = P_{\varphi} + m \omega^2 R \cos^2 \varphi$$

кўринишга келтириш мумкин. Бундан оғирлик кучи учун

$$P_{\varphi} = G \frac{mM}{R^2} - m \omega^2 R \cos^2 \varphi \quad (81)$$

ифодани ҳосил қиламиз. (81) формуладан оғирлик кучи жисм турган жойнинг кенглигига боғлиқ эканлиги келиб чиқади: қутбдан экваторга қараб йўналишда $\cos \varphi$ ва R ларнинг қиймати ортиши туфайли оғирлик кучи камайиб боради. Қутбларда $\varphi = 90^\circ$ бўлгани учун $P = G \frac{mM}{R^2}$ ва экваторда $\varphi = 0^\circ$ бўлгани учун $P = G \frac{mM}{R^2} - mR \omega^2$ бўлади.

Эркин тушиш тезланиши $g = \frac{P}{m}$ бўлгани учун (81) формуладан

$$g = G \frac{M}{R^2} - \omega^2 R \cos^2 \varphi \quad (82)$$

ифода келиб чиқади. Демак, эркин тушиш тезланиши ҳам қутбдан экваторга қараб камайиб боради: қутбларда энг катта ($g = 9,83 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$), экваторда эса энг кичик ($g = 9,78 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$) қийматга эга бўлади. Денгиз сатҳида ва 45° географик кенгликда эркин тушиш тезланишининг қиймати *нормал тезланиш* дейилади. Нормал тезланиш $9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ (аниқроғи $9,80655 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$) га тенг.

38-§. Эркин тушиш тезланишининг баландликка қараб ўзгариши

Берилган географик кенгликда жисмларнинг эркин тушиш тезланиши (79) формула билан аниқланишини кўрдик. Бу формула фақат жисм Ернинг сиртида турган ёки Ернинг сир-

тига яқин жойда бўлиб, у турган баландлик эркин тушиш тезланишининг катталигига деярли таъсир этмаган ҳолдагина ўринлидир. Агар жисм турган баландлик эркин тушиш тезланишининг катталигига етарлича таъсир этса, у ҳолда g ни ҳисоблаш формуласини қандай кўринишда бўлишлигини аниқлайлик.

Фараз қилайлик, жисм Ернинг сиртидан h баландликда турган бўлсин. Бу вақтда жисм билан Ер орасидаги тортишиш кучи, яъни оғирлик кучи, бутун олам тортишиш қонунига мувофиқ, қуйидагича бўлади:

$$F = P_h = G \frac{mM}{r^2} = G \frac{mM}{(R+h)^2} \quad (83)$$

Бундан эркин тушиш тезланишини топсак,

$$g_h = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (84)$$

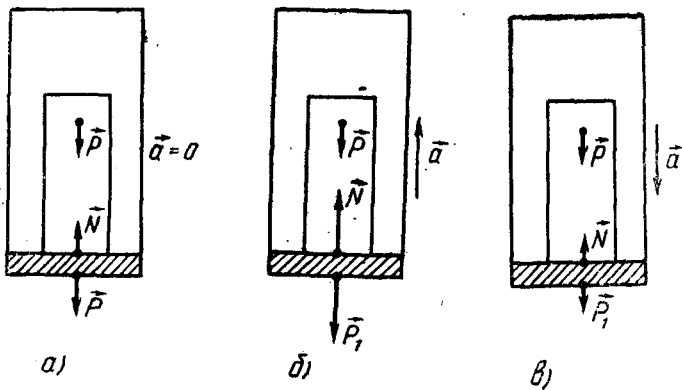
бўлади. (83) ва (84) формулалардан кўринадики, Ер сиртидан жисм узоқлашиб борганда оғирлик кучи ва демак, эркин тушиш тезланиши камайиб боради. Масалан, 300 км юқорига кўтарилганда эркин тушиш тезланиши тахминан $1 \frac{M}{c^2}$ га камаяди. Ернинг радиусига тенг баландликда эса эркин тушиш тезланиши $2,45 \frac{M}{c^2}$ га тенг бўлади.

39- §. Тезланиш билан ҳаракатланаётган жисмнинг оғирлиги. Вазнсизлик

Бизга маълумки, Ернинг тортиши натижасида жисмнинг таянчга ёки осмага кўрсатадиган таъсир кучи шу жисмнинг оғирлиги эди (31- § га қ.). Агар таянч ёки осма Ерга нисбатан тинч турса ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилса, жисмнинг оғирлиги оғирлик кучига тенг бўлади. Бироқ таянч ёки осма вертикал йўналишда юқорига ёки пастга тезланиш билан ҳаракат қилса, жисмнинг оғирлиги оғирлик кучидан фарқ қилади. Бунинг сабабини ҳаракат қонунларидан фойдаланиб қараб чиқайлик.

Фараз қилайлик, лифтнинг полида m массали юк турган бўлсин. Лифт текис ҳаракат қилганда ёки тезланиш билан ҳаракат қилганда юкнинг оғирлиги P_1 қанча бўлишини аниқлайлик (57- расм).

1. Агар лифт текис ҳаракат қилса ёки тинч ҳолатда бўлса (Ерга нисбатан), юкка бир-бирини мувозанатлайдиган иккита: \vec{P} оғирлик кучи ва \vec{N} полнинг (таянчнинг) реакция кучи қўйилган бўлади (57-а расм). Ньютоннинг учинчи қонунига асосан юк лифтнинг полига (таянчга) катталик жиҳатидан \vec{N} га тенг бўлган \vec{P}_1 куч билан босади. Демак, вертикал йўналишда тезланиш бўлмаганда $|\vec{N}| = |\vec{P}_1|$ бўлгани учун жисмнинг оғирлиги оғирлик кучига тенг бўлади:



57- расм.

$$\vec{P}_1 = \vec{P} \text{ ёки } P_1 = P.$$

2. Лифт юқорига \vec{a} тезланиш билан ҳаракат қилаётган ҳолни кўрайлик. Бунда лифт \vec{a} тезланиш билан ҳаракатлана бошлаганда юк ҳали тезланиш олиб улгурмаган бўлади. Шунинг учун таянчнинг ва юкнинг деформацияси ортиб боради, бу эса \vec{N} ва \vec{P}_1 кучларнинг ортишига сабаб бўлади (57-б расм). Юкнинг олган тезланиши лифтнинг олган тезланишига тенг бўлганда кучлар ўзгаришдан тўхтайдди. Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан юкнинг ҳаракат тенгламаси

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N}$$

бўлади. $\vec{N} = -\vec{P}_1$ бўлгани учун бу тенглама

$$m\vec{a} = \vec{P} - \vec{P}_1$$

ёки скаляр кўринишда

$$ma = P_1 - P$$

бўлади. Бундан юкнинг оғирлиги ифодасини ҳосил қиламиз:

$$P_1 = P + ma. \quad (85)$$

Шундай қилиб, юқорига тезланиш билан ҳаракатланаётган жисмнинг оғирлиги оғирлик кучидан жисмга тезланиш берувчи куч катталиги қадар ортар экан.

Жисмнинг тезланиш билан ҳаракат қилиши туфайли жисм оғирлигининг ошуви *юклама* дейилади. Масалан, Ердан кўтарилаётган вақтда учувчилар, космонавтлар, самолётдаги йўловчилар шундай юкламани сезади.

3. Энди лифт \vec{a} тезланиш билан пастга тушаётган ҳолни кўриб чиқайлик (57-в расм). Бунда юк ҳали тезланиш ололмагани учун

лифт полининг (таянчининг) ва юкнинг деформациялари камайиб бо-
ради, бу \vec{N} ва \vec{P}_1 кучларнинг камайишига сабаб бўлади. Юкнинг
тезланиши \vec{a} га тенг бўлганда кучлар ўзгаришдан тўхтайдди. Бу ҳол
учун ҳам юкнинг ҳаракат тенгламасини, Ньютоннинг иккинчи қону-
нига асосан, қуйидагича ёза оламиз:

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N}.$$

$\vec{N} = -\vec{P}_1$ эканини назарга олсак, у ҳолда тенглама

$$m\vec{a} = \vec{P} - \vec{P}_1 \quad \text{ёки} \quad ma = P - P_1$$

кўринишга келади. Бундан юкнинг оғирлиги

$$P_1 = P - ma \quad (86)$$

бўлади.

Шундай қилиб, пастга тезланиш билан ҳаракат қилаётган
жисмнинг оғирлиги оғирлик кучидан жисмга тезланиш берув-
чи куч катталигига қадар кичик бўлар экан. Космик кемалар,
самолётлар Ерга тушаётганда уларнинг ичидаги жисмларга
шундай таъсир юзага келади.

4. Агар лифт $\vec{a} = \vec{g}$ тезланиш билан пастга тушаётган бўлса,
яъни эркин тушаётган бўлса, у ҳолда жисмнинг оғирлиги нолга тенг
бўлишини кўрсатиш қийин эмас. Ҳақиқатан, $a = g$ бўлганда (86)
формуладан

$$P_1 = P - ma = m(g - a) = 0$$

экани келиб чиқади. Бундай шароитда жисм билан таянч (ёки
осма) ўзаро таъсирлашмайди. Тажриба эркин тушиш вақтида
жисмнинг оғирлиги нолга тенг бўлишини кўрсатади. Бу вақтда
жисм (юк) *вазнсизлик ҳолатида* бўлади. Бу ерда жисмларнинг
фақат оғирлик кучи таъсиридагина эркин тушишини ва оғирлик
кучи — бу бутун олам тортишиш кучи эканлигини қайд қилиб
ўтамиз.

Демак, *фақат бутун олам тортишиш кучлари таъсирида*
ҳаракат қиладиган ҳар қандай жисм вазнсизлик ҳолатида
бўлади.

Жисмларнинг вазнсизлик ҳолати космик кемаларнинг бош-
қа сайёраларга ёки юлдузларга учишида, йўлдош кемаларнинг
Ер атрофида ёки бошқа сайёрлар атрофида доиравий орбита
бўйича учишида, шўнғиётган самолётларда вужудга келиши
мумкин. Вазнсизлик ҳолатида космонавт космик кема ўрин-
диғига босим бермайди ва, бинобарин, Ньютоннинг учинчи
қонунига биноан, ўриндиқ ҳам космонавтга таъсир кўрсат-
майди.

40- §. Сайёра ва сунъий йўлдошларнинг ҳаракати. Космик тезликлар

Жисмларнинг Ерга тушиши, маятникларнинг тебраниши, сайёралар ва сунъий йўлдошларнинг ҳаракатлари ва бошқа шу каби мисоллар жисмлар ўртасида тортишиш кучларининг мавжудлигидан далолат беради.

Астроном Т. Брагенинг кузатуви натижаларидан фойдаланиб, И. Кеплер сайёраларнинг қуйидаги ҳаракат қонунларини таърифлаган:

1) барча сайёралар фокусларидан бирида Қуёш жойлашган эллипс бўйича ҳаракатланади (58- расм);

2) Қуёшдан сайёрага ўтказилган радиус-вектор тенг вақт оралиғида бир хил юзларни ўтади (59- расм);

3) сайёраларнинг Қуёш атрофида айланиш давлари квадратларининг нисбати улар орбиталарининг катта ярим ўқлари кубларининг нисбати каби бўлади:

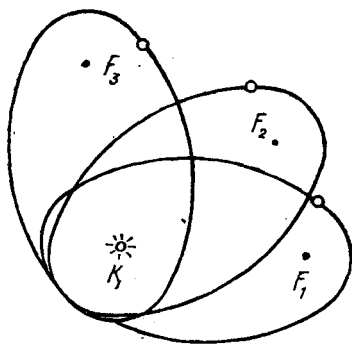
$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R_1^3}{R_2^3},$$

бунда T_1 ва T_2 — сайёраларнинг айланиш давлари, R_1 ва R_2 — мос равишда улар орбиталарининг катта ярим ўқлари.

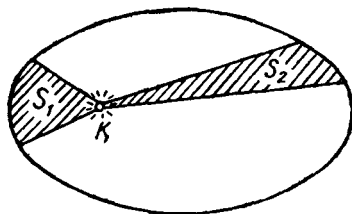
Ернинг сунъий йўлдоши ва барча сайёралар юқоридаги қонунларга бўйсунган ҳолда ҳаракатланадилар.

Сунъий йўлдошларни мўлжалланган орбитага чиқариш учун уларга реактив двигателлар ўрнатилади. Двигателдаги ёнилғи ёниши билан коинот кемаси ҳаракатга келиб, у мўлжалланган орбитага чиққандан сўнг, Ер атрофини айланиш учун етарли бўлган тезликка эришади.

Коинот кемаси орбитага чиқарилгандан сўнг двигатель ўчирилади ва Ер атрофида кеманинг эркин ҳаракати бошланади. Эркин учишда кема ичидаги жисмларга таъсир этувчи



58- расм.



59- расм.

тортишиш кучи марказга интилма кучга тенг, уларнинг кемага бўладиган босим кучи нолга тенг бўлади. Бундай шароитда коинот кемасининг ичидаги барча жисмлар кема ичида эркин учиб юриши мумкин, яъни вазнсизлик ҳолатида бўладилар. Коинот кемаси Ер атрофини айланиши ва сунъий йўлдош бўлиб қолиши учун Ер юзидан уни қандай тезлик билан учуриш керак, деган савол туғилади.

Ер юзидан h баландликда v_0 бошланғич тезлик билан горизонтал йўналишда отилган жисмнинг қандай ҳаракатланишини 22- § да кўрган эдик. Бунда тортишиш кучи таъсирида жисм горизонтал йўналишдан оғиб, парабола бўйича ҳаракатланади ва Ерга тушади. Жисмнинг v_0 бошланғич тезлигини ошира бориб, жисм траекториясининг эгрилигини Ер сиртининг эгрилигига мослаш мумкин, бунда жисм Ерга яқинлашмайди ҳам, узоқлашмайди ҳам. Агар ҳавонинг қаршилиги ва бошқа қаршиликлар ҳисобга олинмаса, жисм ҳаракати давомида Ер сиртидан бирдай h баландликда бўлиб, тезлигини сақлайди ва Ер атрофида айлана бўйлаб ҳаракат қилади.

Модомики, жисм айлана бўйлаб ҳаракат қилар экан, унинг

$$a_{\text{м.и.}} = \frac{v_0^2}{R+h}$$

га тенг марказга интилма тезланиши бўлади. Жисмга бу тезланишни марказга интилма куч

$$F_{\text{м.и.}} = \frac{mv_0^2}{R+h}$$

жисмга таъсир қилувчи оғирлик кучи $P=mg$ га тенг бўлади. Бинобарин,

$$mg = \frac{mv_0^2}{R+h},$$

бундан

$$v_0 = \sqrt{g(R+h)} \quad (87)$$

бўлади ёки (84) формуладан g нинг қийматини бу ифодага келтириб қўйсақ, у ҳолда

$$v_0 = \sqrt{G \frac{M}{R+h}} \quad (88)$$

бўлади. Демак, жисмга горизонтал йўналишда (88) формула билан аниқланувчи тезлик берилса, жисм Ер атрофида унинг сиртидан h баландликда айлана бўйлаб ҳаракат қилади, яъни Ернинг сунъий йўлдоши бўлиб қолади.

h баландлик Ернинг R радиусига қараганда анча кичик, уни ташлаб юборсак, v_0 учун қуйидаги ифодаларга эга бўламиз:

$$v_0 = \sqrt{gR} = \sqrt{G \frac{M}{R}} \quad (89)$$

Бу формулалардан ихтиёрий бирига катталикларнинг $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$,

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}, \quad R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}, \quad M = 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$$

қийматларини қўйиб, v_0 ни топамиз:

$$v_0 = \sqrt{9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}} \approx 7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}},$$

$$v_0 = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \cdot \frac{6 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{6,37 \cdot 10^6 \text{ м}}} \approx 7,9 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$$

Бу тезлик *биринчи космик тезлик* дейилади.

Ҳар қандай массали жисмга биринчи космик тезликка тенг тезлик берилса, бу жисм Ернинг сунъий йўлдоши бўла олади.

v_0 тезликка эга бўлган жисм Ерга тушиб кетмайди. Бироқ бу тезлик жисмнинг Ернинг тортишиш таъсири доирасидан чиқиб кетиши учун етарли эмас. Бунинг учун жисмга зарур бўлган тезлик *иккинчи космик тезлик* дейилади.

Жисм Ер атрофида айланма ҳаракат қилаётгани сабабли у кинетик энергияга эга:

$$K = \frac{mv^2}{2},$$

бу ерда m — ҳаракатланаётган жисм массаси, v — унинг тезлиги.

Ер сиртидан маълум R баландликда бўлгани сабабли жисм тортишиш майдони таъсирида потенциал энергияга ҳам эга:

$$П = mgR.$$

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан

$$П = K.$$

Бу катталиклар ўрнига қийматларини қўйсақ,

$$mgR = \frac{mv^2}{2}, \text{ бундан } v = \sqrt{2gR}. \quad (89a)$$

Бу ҳосил бўлган ифода иккинчи космик тезлик бўлиб, биринчи космик тезликдан $\sqrt{2}$ марта катта бўлар экан. Ерга нисбатан иккинчи космик тезлик билан учирилган жисм Қуёш йўлдошига айланади. Иккинчи космик тезлик тахминан 11,2 км/с га тенг.

Жисм Қуёш системасидан абадий чиқиб кетиши учун унга Ерга нисбатан *учинчи космик тезлик* бериш зарур. Учинчи космик тезликнинг катталиги жисмнинг Ернинг тортиш таъсири доирасидан қандай йўналишда чиқишига боғлиқ. Агар бу йўналиш Ернинг Қуёш атрофидаги орбитал ҳаракати йўналишига тўғри келса, учинчи космик тезлик минимал бўлиб, тахминан 16,7 км/с тенг; бу йўналишлар қарама-қарши бўлса, тезлик максимал бўлиб, тахминан 72,7 км/с тенг эканлигини тегишли ҳисоблашлар кўрсатади.

1957 йил 4 октябрда инсоният тарихида биринчи бўлиб қудратли ракета ёрдамида массаси 85 кг бўлган жисмга биринчи космик тезлик беришга муяссар бўлинди. Бу жисм Ернинг биринчи сунъий йўлдоши бўлиб қолди.

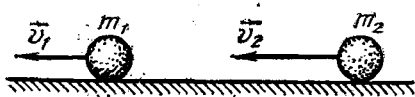
1961 йилнинг 12 апрелида Юрий Алексеевич Гагариннинг «Восток» коинот кемасида Ер атрофини айланиб, Ерга муваффақиятли қўнгани космосни ўзлаштириш тарихида мисли кўрилмаган ғалаба бўлди. Бу мислсиз ғалаба космик фазога инсоннинг учишларини бошлаб берди.

41- §. Ёпиқ система. Импульснинг сақланиш қонуни

Физикада жисмлар гуруҳи *жисмлар системаси* (ёки қисқача *система*) деб аталади. (Шунингдек, молекулалар, атомлар, элементар зарралар тўплами ҳам система бўла олади). Системани ташкил этувчи жисмлар, ҳам ўзаро, ҳам берилган системага тааллуқли бўлмаган жисмлар билан ўзаро таъсирлашиши мумкин. Шунга мос равишда системадаги жисмларга таъсир этувчи кучларни ички ва ташқи кучларга ажратиш мумкин. Кўзатилаётган системадаги жисмларнинг ўзаро таъсир кучини *ички кучлар*, системадан ташқаридаги жисмларнинг системадаги жисмларга таъсир кучини эса *ташқи кучлар* деб аталади.

Системадаги жисмлар фақат бир-бири билан ўзаро таъсирлашса ёки системага ташқи кучлар таъсир қилмаса (яъни ташқи кучлар ўзаро мувозанатлашса), бундай жисмлар системаси ёпиқ (ёки изоляцияланган) система деб аталади.

Жисм импульси фақат сон қиймати билан эмас, балки фазодаги йўналиши билан ҳам арактерланади. Жисм импульсининг йўналиши жисм аракати тезлигининг йўналиши билан мос келади (29- § га қара). Берк системада ўзаро таъсирлашаётган жисмларнинг импульслари орасидаги муносабат аниқлайлик. Шу мақсадда система массаси m_1 ва m_2 бўлган



60- расм.

бир тўғри чизиқ бўйлаб \vec{v}_1 ва \vec{v}_2 тезлик билан айна бир йўналишда ҳаракат қилаётган иккита пўлат шардан иборат деб фараз қилийлик (60- расм). Иккинчи шарнинг тезлиги биринчи шарнинг тезлигидан катта, яъни $v_2 > v_1$ бўлсин. Бирмунча вақтдан кейин иккинчи шар биринчи шарга етиб олади ва шарлар бир-бирига урилади. Натижада уларнинг тезликлари ўзгаради. Шарларнинг урилишдан кейинги тезликларини \vec{v}'_1 ва \vec{v}'_2 билан, шарларнинг ўзаро таъсир вақтини эса Δt билан белгилайлик.

Шарларнинг ўзаро таъсирида, Ньютоннинг учинчи қонунига мувофиқ, уларга сон қиймати жиҳатидан тенг ва йўналиши қарама-қарши бўлган кучлар таъсир қилади, яъни

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

Импульснинг ўзгариши қонуни (63) га мувофиқ, бу кучлар мос равишда қуйидагича ифодаланadi:

$$F_1 = \frac{m_1 \vec{v}_1' - m_1 \vec{v}_1}{\Delta t}, \quad F_2 = \frac{m_2 \vec{v}_2' - m_2 \vec{v}_2}{\Delta t}.$$

Биобарин,

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

ёки

$$m_1 \vec{v}_1' - m_1 \vec{v}_1 = - (m_2 \vec{v}_2' - m_2 \vec{v}_2). \quad (90)$$

(90) формулани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\Delta(m_1 \vec{v}_1) + \Delta(m_2 \vec{v}_2) = \Delta(m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2) = 0,$$

яъни шарлар ўзаро таъсирлашганда шу шарлар импульсларининг умумий ўзгариши нолга тенг. Бундан, бир-бири билан таъсирлашаётган шарларнинг умумий импульси ўзгармас бўлиши келиб чиқади:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const}, \quad (91)$$

яъни шарларнинг ўзаро таъсирлашувигача бўлган импульси шарларнинг ўзаро таъсирлашувидан кейинги импульсига тенг экан. Бу натижа жисмларнинг ҳар қандай ёпиқ системаси ва ихтиёрий вақт оралиғи учун ўринлидир.

Агар система n та жисмдан иборат бўлса, у ҳолда (91) формулани қуйидаги йиғинди билан алмаштириш мумкин:

$$\sum_{i=1}^n (m\vec{v})_i = \text{const}, \quad (92)$$

бу ерда i — системадаги жисмнинг тартиб номери, n — системадаги барча жисмларнинг сони.

Юқоридаги (91) формула импульснинг сақланиш қонуни ифодалайди.

Берк системада барча жисмлар импульсларининг алгебрлик йиғиндиси ўзгармасдир.

Импульснинг сақланиш қонуни физиканинг асосий қонунларидан биридир. Бу қонун фақат макроскопик жисмларнинг ўзаро таъсиригагина эмас, шунингдек, микроскопик жисмлар молекулалар, атомлар, элементар зарраларнинг ўзаро таъсири учун ҳам ўринлидир.

Импульснинг сақланиш қонуни табиатда ва техникада кенг ақс этади.

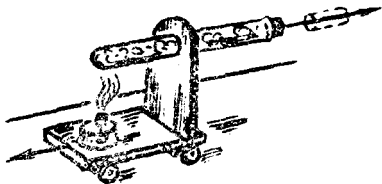
42-§ Реактив ҳаракат. К. Э. Циолковский — реактив ҳаракат асосчиси

Импульснинг сақланиш қонунининг муҳим қўлланишларидан бири *реактив ҳаракат*дир.

Системадан бирор қисми бирор тезлик билан ажралганда бунга қарама-қарши йўналишда вужудга келадиган ҳаракат реактив ҳаракат деб аталади.

Қуйидаги оддий тажрибалар ёрдамида реактив ҳаракатнинг қандай намоён бўлишини кузатиш мумкин.

1. Ичида суви бўлган пробирка (бир томони берк шиша най) ни оғзини тиқин билан беркитиб, аравачага ўрнатайлик (61-расм). Спирт лампа алангасида пробиркадаги сувни қайнаш даражасигача иситсак, тиқиннинг шовқин билан бир томонга отилишини, аравачанинг эса пробирка билан биргаликда иккинчи (қарама-қарши) томонга ҳаракатланишини кузатамиз. Бунда тиқинни пробиркадан отиб чиқарувчи буғнинг босим кучидан ташқари аравачани қарама-қарши томонга ҳаракатлантирувчи яна бир куч пайдо бўлади. Бу куч буғ жараёнининг реакцияси бўлиб, уни *реактив куч* деб аталади.



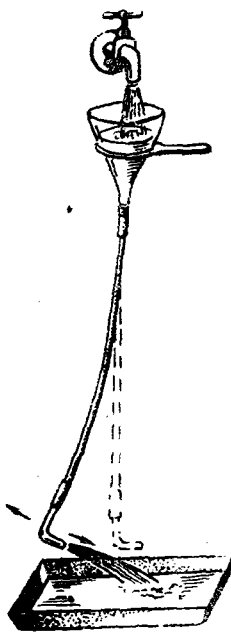
61-расм.

2. Учига резина найча кийдирилган воронкани штативга ўрнатиб, резина найчанинги иккинчи учига букилган шиша найча ўрнатайлик (62-расм). Шиша найчанинги оғзини тиқин билан беркитиб, воронкани сувга тўлдирайлик. Сўнг тиқинни олиб ташлаб, сувни найчадан оқиб чиқишига имкон берсак, сув жараёнининг реактив кучи резина найчани шиша найчанинги букилиш томонига қараб оғдиради.

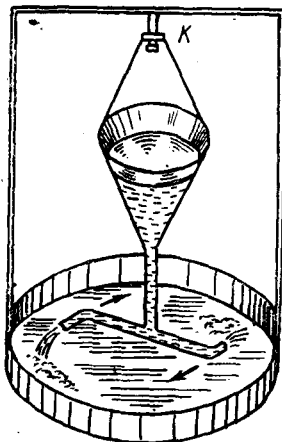
3. 63-расмда Сегнер парраги тасвирланган. Унинг тузилиши қуйидагича: стерженга кийдирилган К ҳалқага шиша воронка осилган. Воронканинги учига учларида қарама-қарши томонга букилган шиша найча горизонтал равишда пайвандланган. Агар воронкага сув солсак, сув найчалардан оқиб чиқариларди ва найчани оқим йўналишига қарама-қарши томонга букиларди. Натижада горизонтал шиша найчага таъсир этаётган (5-§ га қ.) кучлар Сегнер паррагини найчанинги букилишларига қарама-қарши томонга айлантиради.

4. Реактив двигателларнинг ва ракеталарнинг ишлаш принципини ҳам шундай тушунтириш мумкин. Ҳар қандай ракета ўзининг кўп қисмдан — қобиқ ва унинг ичидаги ёнилғи бўлган системадан иборатдир. Қобиқ бир учи берк най шаклида бўлади. Унинг иккинчи учига махсус тешиги бўлган найчадан иборат реактив сопло ўрнатилади.

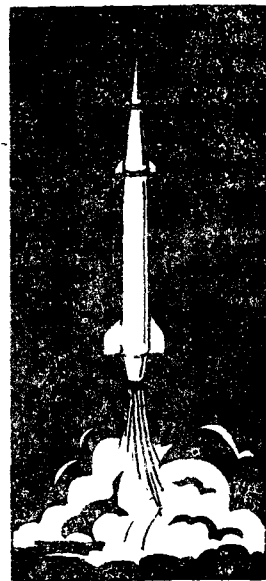
Ракетани учуриш учун ундаги ёнилғи ёндирилади, бунда юқори босимли ва юқори температурали газ ҳосил бўлади.



62- расм.



63- расм.



64- расм.

Газ юқори босим таъсирида ракетанинг сопласидан катта тезлик билан отилиб чиқа бошлайди, бунинг натижасида ракета қобиғи газ оқимиға қарама-қарши томонға ҳаракатланади (64- расм).

Импульснинг сақланиш қонунидан фойдаланиб ракетанинг тортиш кучини ҳисоблайлик. Ракета — газ системасини берк система деб қараб, вақтнинг бирор t пайтида ракетанинг ёнилғи билан биргаликда массасини m билан белгилайлик. Ракетанинг Ерга нисбатан тезлиги v бўлсин, бинобарин, ракетанинг импульси mv бўлади. Кичик Δt вақт давомида соплодан ракетага нисбатан u тезлик билан Δm массали газ чиқарилади, деб фараз қилайлик. У ҳолда ракетанинг Ерга нисбатан тезлиги $v + \Delta v$, массаси $m - \Delta m$ бўлади. Вақтнинг $t + \Delta t$ пайтида газнинг Ерга нисбатан тезлиги эса $(v + \Delta v) - u$ бўлади. Шу $t + \Delta t$ вақтда ракета — газ системасининг йиғинди импульси қуйидагига тенг бўлади:

$$(m - \Delta m)(v + \Delta v) + \Delta m(v + \Delta v - u).$$

Импульснинг сақланиш қонунига мувофиқ,

$$mv = (m - \Delta m)(v + \Delta v) + \Delta m(v + \Delta v - u).$$

Қавсларни очиб, соддалаштиришдан сўнг қуйидаги ифодани оламиз:

$$m \cdot \Delta u - u \cdot \Delta m = 0 \quad \text{ёки} \quad m \cdot \Delta v = u \cdot \Delta m.$$

Бу ифоданинг икки томонини Δt га бўлиб,

$$m \frac{\Delta v}{\Delta t} = u \frac{\Delta m}{\Delta t} \quad (93)$$

ифодани ҳосил қиламиз. Бунда $m \frac{\Delta v}{\Delta t} = ma = F$ — ракетанинг тортиш кучи, $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ — вақт бирлигида ёнилғининг сарфланиши.

Демак, *ракетанинг тортиш кучи вақт бирлиги ичида ёнаётган ёнилғининг массасига ва газнинг ракетага нисбатан оқим тезлигига мутаносиб экан.*

Ракета таянчсиз (ташқи муҳит воситасисиз) ҳаракатга кела оладиган ва ўз ҳаракатини ўзгартира оладиган ягона аппаратдир. Шунинг учун реактив двигателъ космик снарядлар ва космик кемалар учун ишлатиш мумкин бўлган ягона двигателдир.

Биринчи реактив учувчи аппарат лойиҳаси 1881 йилда рус олими Н. И. Кибальчич томонидан тузилган эди. Реактив двигателлар ва ракеталарнинг учиш назарияси биринчи бўлиб улуғ рус олими К. Э. Циолковский томонидан ишлаб чиқилган. Сайёралараро учишларнинг тўла илмий асосини ҳам К. Э. Циолковский ишлаб чиқди ва сайёралараро учиш учун суюқлик билан ишлайдиган ракетанинг биринчи лойиҳасини яратди. Ҳозирги даврда К. Э. Циолковскийнинг орзу ва умидлари, тадқиқотларининг улуғлиги намоён бўлмоқда. Коинотни забт этишда эришилган муваффақиятларнинг чеки йўқ.

43-§. Классик механиканинг қўлланиш чегараси

Механиканинг юқорида баён қилинган қонунлари ёруғлик тезлигига нисбатан жуда кичик тезликлар билан ҳаракатланадиган кўп сонли атомлардан иборат бўлган жисмлар — макроскопик жисмларнинг ҳаракатларини кузатишларга асосланиб яратилган. Макроскопик жисмларнинг механикаси классик механика (Ньютон механикаси) деб юритилади.

Ньютон механикаси яратилгандан кейин икки юз йил ичида, фан шундай катта муваффақиятларга эришдики, XIX асрнинг кўп физиклари бу механиканинг мислсиз куч-қудратига тўла ишонган эдилар. Улар исталган физик ҳодисани тушунтириш — уни Ньютон қонунларига бўйсунувчи механик жараёнга келтиришдан иборат, деб ҳисоблар эдилар. Бироқ, фан ривожланиши билан бизнинг асримизда классик механиканинг қонун ва тасавзуллари билан мос келмайдиган бир қанча ҳодисалар очилди. Масалан, осмон жисмлари устида ўтказилган жуда кўп ва аниқ кузатишлар классик механика хулосаларидан четланишлар бор эканини кўрсатади. Атомлар ва молекулалар таркибига кирувчи зарраларнинг ҳаракати ва ўзаро таъсири ҳамда фазонинг жуда кичик соҳасида ($\sim 10^{-10}$ м) содир бўлувчи ҳаракатларнинг қонунлари классик механика қонунларидан жуда катта фарқ қилади. Бу четланишларнинг келиб чиқиш сабабларини аниқлаш мақсадида Эйнштейн классик ме-

ханика тушунчалари (фазо ва вақт тушунчалари) ни қайта қараб чиқди ва шу асосда 1905 йилда *махсус* (хусусий) *нисбийлик назариясини* яратди. Бу назария ёруғлик тезлигидан кичик ҳар қандай тезлик билан ҳаракатланаётган жисмларнинг ҳаракат қонунларини ўз ичига олувчи механика қонунларининг умумлашмасидан иборат бўлиб, уни *релятивистик механика* («катта тезликлар механикаси») деб юритилади. Янги механика эски Ньютон механикасини бутунлай инкор қилмайди. Релятивистик механика тенгламалари ёруғлик тезлигига нисбатан жуда кичик тезликлар учун классик механика тенгламаларига айланади. Шундай қилиб, классик механика релятивистик механикага унинг хусусий ҳоли сифатида киради ва кичик тезликлар билан содир бўладиган ҳаракатларни тавсифлашда ўзининг аввалги аҳамиятини сақлаб қолади.

Асримизнинг 20-йилларида атом, физикаси тараққиёти жараёнида *квант механикаси* (тўлқин механикаси) юзага келди. Квант механикаси микрозарраларнинг ҳаракатини ва ўзаро таъсирини, атомлар ва молекулалар ичидаги ҳодисаларни ўрганadi. Квант механикаси тенгламалари ҳам макроскопик жисмлар учун классик механика тенгламаларига айланади. Бинобарин, классик механика квант механикасига ҳам унинг хусусий ҳоли сифатида киради.

Шундай қилиб фаннинг тараққиёти, нисбийлик назарияси ва квант механикаси классик механиканинг қонун ва тасаввурларини йўққа чиқармасдан, балки аниқлаштиради, классик механиканинг қўлланиш чегараси чекланганлигини кўрсатади.

Юқорида кўриб ўтилганлардан, *Ньютон қонунларига асосланувчи классик механика ёруғлик тезлигига нисбатан жуда кичик тезлик билан ҳаракатланувчи* (атомлар массасига нисбатан) *катта массали жисмларнинг механикаси*дир, деган хулоса келиб чиқади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Бутун олам тортишиш қонунининг моҳияти нима?
2. Гравитацион доимийнинг физик маъносини айтиб беринг.
3. Жисмларнинг фазо орқали ўзаро таъсирини сиз қандай тасаввур қиласиз?
4. Эркин тушиш тезланиши географик кенгликка боғлиқ равишда қандай ўзгаради?
5. Эркин тушиш тезланиши Ер сиртидан кўтарилиш баландлигига боғлиқ равишда қандай ўзгаради?
6. Қандай шароитда жисмнинг оғирлиги оғирлик кучига тенг бўлади?
7. Қандай шароитда жисмнинг оғирлиги оғирлик кучидан катта ва қанча катта бўлади?
8. Қандай шароитда жисмнинг оғирлиги оғирлик кучидан кичик ва қанча кичик бўлади?
9. Вазнсизлик нима? Қандай шароитда жисмлар вазнсизлик ҳолатида бўлади?
10. Биринчи космик тезлик деб қандай тезликка айтилади? Формуласини келтириб чиқаринг.
11. Епиқ система деб қандай системага айтилади?

12. Импульснинг сақланиш қонунининг моҳияти нимадан иборат? Бу қонуни техникада қандай қўлланилади?

13. Реактив ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Мисоллар келтиринг.

14. Ракетанинг тузилиши ва ишлаш принципини тушунтиринг.

15. Классик механика нимани ўрганади? Унинг қўлланиш чегарасини тушунтиринг.

16. Квант механикаси нимани ўрганади?

17. Релятивистик механика нимани ўрганади?

Масала ечиш намуналари

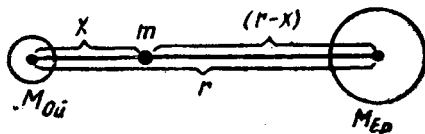
1-масала. Ер ва Ой марказлари орасидаги масофа ўртача 60 Ер радиусига тенг. Ой массаси эса Ер массасидан 81 марта кичик. Ер билан Ойнинг бирлаштирувчи тўғри чизиқнинг қайси нуқтасида жисм Ерга ҳам, Ойга ҳам бир хил куч билан тортилади?

Берилган: $r = 60 R$, $M_{\text{Ер}} = 81 M_{\text{Ой}}$, $F_{\text{Ер}} = F_{\text{Ой}}$.

Топиш керак: x — ?

Ечилиши: Жисмнинг массасини m билан, жисмдан Ойгача бўлган масофани x билан ва жисмдан Ергача бўлган масофани $r-x$ билан белгилаймиз (65-расм).

Бутун олам тортишиш қонунига мувофиқ, жисмнинг Ерга тортилиш кучи



65-расм.

$$F_{\text{Ер}} = G \frac{m M_{\text{Ер}}}{(r-x)^2}$$

ва Ойга тортилиш кучи

$$F_{\text{Ой}} = G \frac{m M_{\text{Ой}}}{x^2}$$

бўлади. Масаланинг шартига кўра бу кучлар тенг. Демак,

$$G \frac{m M_{\text{Ер}}}{(r-x)^2} = G \frac{m M_{\text{Ой}}}{x^2}$$

Бундан

$$(r-x)^2 = \frac{M_{\text{Ер}}}{M_{\text{Ой}}} x^2 \quad \text{ёки} \quad r-x = x \sqrt{\frac{M_{\text{Ер}}}{M_{\text{Ой}}}}$$

Бу ифодадан x ни топсак, у ҳолда

$$x = \frac{r}{1 + \sqrt{\frac{M_{\text{Ер}}}{M_{\text{Ой}}}}}$$

$$\text{Ҳисоблаш: } x = \frac{60 R}{1 + \sqrt{81}} = 6 R.$$

Демак, жисм Ой марказидан олтига Ер радиусига тенг масофадаги нуқтада туради.

2-масала. Қосмик кема Ер сиртидан қанча масофага узоқлашганда унинг Ерга тортилиш кучи Ер сиртидагига қараганда 100 марта кичик бўлиб қолади?

Берилган: $\frac{P}{P_h} = 100$, $R = 6400 \text{ км} = 64 \cdot 10^5 \text{ м}$.

Топиш керак: h — ?

Ечилиши: Қосмик кеманинг Ер сиртида Ерга тэртилиш кучи

$$P = mg = G \frac{mM}{R^2}$$

бўлади, бунда m — космик кеманинг массаси. Қосмик кеманинг Ер сиртидан h баландликда Ерга тортилиш кучи эса

$$P_h = mg_h = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

бўлади. Биринчи ифодани иккинчи ифодага ҳадма-ҳад бўлсак, у ҳолда

$$\frac{P}{P_h} = \frac{(R+h)^2}{R^2} \quad \text{ёки} \quad \sqrt{\frac{P}{P_h}} = \frac{R+h}{R}$$

муносабатни ҳосил қиламиз. Охириг теңгламани h га нисбатан ечамиз:

$$h = \left(\sqrt{\frac{P}{P_h}} - 1 \right) R.$$

Ҳисоблаш: $h = (\sqrt{100} - 1) \cdot 64 \cdot 10^5 \text{ м} = 5,76 \cdot 10^7 \text{ м}$.

3-масала. Ер сатҳидан 600 км баландликда сунъий йўлдош доиравий орбита бўйича айланиши учун қандай тезликка эга бўлиши лозим? Унинг айланиш даври қандай? Ернинг радиуси 6400 км.

Берилган: $h = 600 \text{ км} = 6 \cdot 10^5 \text{ м}$, $R = 6400 \text{ км} = 64 \cdot 10^5 \text{ м}$, $M_{\text{Ер}} = 5,96 \times 10^{24} \text{ кг}$, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$.

Топиш керак. v — ? T — ?

Ечилиши: Бизга маълумки, биринчи космик тезликка эга бўлган жисм Ернинг сунъий йўлдоши бўлиб қолади. Бинобарин, сунъий йўлдош Ер сиртидан h баландликда доиравий орбита бўйича айланиши учун

$$v = \sqrt{G \frac{M_{\text{Ер}}}{R+h}}$$

тезликка эга бўлиши керак.

Сунъий йўлдошнинг айланиш даври

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{v} (R+h)$$

формуладан топилади, бу ерда $\omega = \frac{v}{R+h}$ — сунъий йўлдошнинг доиравий частотаси.

Ҳисоблаш:

$$v = \sqrt{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \cdot \frac{5,96 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{(64+6) \cdot 10^5 \text{ м}}} = 7,5 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$
$$T = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot (64+6) \cdot 10^5 \text{ м}}{7,5 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 5861 \text{ с} = 97,7 \text{ мин.}$$

4-масала. Автомобиль ичидаги йўловчи бирор дақиқа вазнсиз ҳолатда бўлиши учун радиуси 40 м бўлган қавариқ кўприкнинг ўртасидан у қандай тезлик билан ўтиши лозим?

Берилган: $R=40$ м, $N=0$.

Топиш керак: $v=?$

Ечилиши. Қавариқ кўприкдан ўтаётган автомобилнинг кўприк ўртасидаги босим кучи автомобилнинг оғирлик кучидан марказдан интилма куч қадар кам бўлади, яъни

$$N = P - \frac{mv^2}{R},$$

бу ерда $P=mg$ автомобилнинг оғирлик кучи, m — массаси. Масаланинг шартига кўра, вазнсизлик ҳолатида $N=0$ бўлади, бинобарин,

$$mg - \frac{mv^2}{R} = 0.$$

Бундан автомобилнинг тезлигини топсак, у ҳолда

$$v = \sqrt{Rg}$$

бўлади.

$$\text{Ҳисоблаш: } v = \sqrt{40 \text{ м} \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}} \approx 20 \frac{\text{М}}{\text{с}}.$$

5-масала. Муз устида турган 700 Н оғирликдаги конькичи горизонтал йўналишда 30 Н оғирликдаги тошни $8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$ тезлик билан улоқтирган. Агар конькиларнинг музга ишқаланиш коэффициенти 0,02 га тенг бўлса, конькичининг қанча масофага сирганиб бориши топилсин.

Берилган: $P_1 = 700$ Н, $P_2 = 30$ Н, $v_2 = 8 \frac{\text{М}}{\text{с}}$, $k = 0,02$, $v = 0$.

Топиш керак: $s = ?$

Ечилиши. Тошни улоқтириш натижасида пайдо бўлган реактив куч таъсирида конькичи бирор v_1 тезлик билан орқага томон ҳаракатланади ва бирор s масофани ўтиб тўхтайдди, бинобарин, конькичининг охириги тезлиги $v=0$ бўлади. Ҳаракатни текис секинланувчан ҳаракат деб ҳисоблаб, s масофани қуйидаги формула ёрдамида ҳисоблаб топиш мумкин:

$$s = \frac{v^2 - v_1^2}{2a} = -\frac{v_1^2}{2a},$$

бу ерда a конькичининг тезланиши, минус ишора тезланиш билан ҳаракат қарама-қарши йўналганлигини кўрсатади.

a тезланишни Ньютоннинг иккинчи қонунидан фойдаланиб топамиз:

$$a = \frac{F_u}{m} = g \frac{F_u}{P_1}.$$

Ишқаланиш кучи $F_u = kP_1$ эканлигини эътиборга олсак, у ҳолда

$$a = g \frac{F_u}{P_1} = g \frac{kP_1}{P_1} = kg$$

бўлади.

Энди конькичининг бошланғич v_1 тезлигини топайлик. Импульснинг сақланиш қонунига мувофиқ,

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$$

бўлади, бундан

$$v_1 = -\frac{m_2}{m_1} v_2 = -\frac{P_2}{P_1} v_2.$$

а билан v_1 нинг қийматларини йўл формуласига келтириб қўямиз ва қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$s = \frac{\left(-\frac{P_2}{P_1} v_2\right)^2}{2kg} = \frac{P_2^2 v_2^2}{2kgP_1^2}.$$

Ҳисоблаш:

$$s = \frac{(30 \text{ Н})^2 \cdot 64 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0,02 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} (700 \text{ Н})^2} = 0,3 \text{ м}.$$

6- масала. Самолётнинг ҳаво-реактив двигателидан ҳар бир секундда 25 кг ҳаво ва ёнилги ўтади. Киришдаги тезлик $250 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, чиқишдаги тезлик эса $500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Реактив кучни топинг.

Берилган: $\frac{\Delta m}{\Delta t} = 25 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, $v_1 = 250 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $v_2 = 500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Топиш керак: F — ?

Ечилиши: Реактив кучни (93) формула

$$F = u \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

дан фойдаланиб топиш мумкин, бунда $\frac{\Delta m}{\Delta t}$ — ёнилғининг сарфланиши, яъни вақт бирлиги ичида ёнаётган ёнилғининг массаси, u — газнинг ракетага нисбатан тезлиги бўлиб, унинг катталиги $u = v_2 - v_1$ га тенг бўлади. Демак, $F = \frac{\Delta m}{\Delta t} (v_2 - v_1)$.

Ҳисоблаш: $F = 25 \frac{\text{кг}}{\text{с}} (500 - 250) \frac{\text{м}}{\text{с}} = 6250 \text{ Н} \approx 6,3 \text{ кН}$.

Мустақил ечиш учун масалалар

51. Иккита бир хил шар орасидаги ўзаро тортқиш кучи 0,01 Н. Агар уларнинг марказлари орасидаги масофа 10 м бўлса, шарларнинг массалари қанча?

52. Зухра сайёрасининг ўртача зичлиги $4900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, радиуси 6200 км. Зухра сиртида эркин тушиш тезланишини топинг.

53. Агар космик кеманинг кўтарилишида ўлчоёв асбоблар эркин тушиш тезланишининг $4,9 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ гача камайганини кўрсатса, у Ердан қанча баланд кўтарилган бўлади?

54. Қуёшнинг радиуси Ернинг радиусидан 109 марта катта, Ернинг зичлиги эса Қуёшнинг зичлигидан 3,9 марта катта эканлиги маълум бўлса, Қуёшда эркин тушиш тезланиши Ердагидан қанча катта эканини аниқланг.

55. Лифтдаги одамнинг массаси 70 кг: 1) одамнинг лифт кўтарилмасдан олдинги; 2) лифт $3 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ тезланиш билан кўтарилган бошлагандаги; 3) лифт $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилгандаги оғирлигини топинг.

56. Велосипедчи эгрилик радиуси 10 м бўлган қавариқ кўприк ўртасидан кўприкка босим бермасдан ўтиши учун қандай тезлик билан ҳаракат қилиши керак?

57. Ойнинг сунъий йўлдоши Ой сиртидан 20 км масофада доиравий орбита бўйлаб ҳаракатланади. Бу йўлдош ҳаракатининг чизиқли тезлиги ҳамда унинг Ой атрофида айланиш даври топилин.

58. $10 \frac{M}{c}$ тезлик билан учиб кетаётган граната портлаб иккига парчала-нади. Граната оғирлигининг 60% ни ташкил қилган каттароқ парча дастлаб-ки йўналишда, аммо $25 \frac{M}{c}$ га тенг тезлик билан ўз ҳаракатини давом этти-ради. Кичик парчанинг тезлиги топилин.

59. Горизонтал йўлда $0,2 \frac{M}{c}$ тезлик билан гилдираб келаётган 800 кг массали вагонеткага тепасидан 200 кг майдаланган тош тўкилди. Бунда ва-гонетканинг тезлиги қанчага камайди?

60. Массаси 650 г бўлган ракетада 400 г ёнувчи модда бор. Агар ёнувчи модда дарҳол ёниб, ҳосил бўлган газ $400 \frac{M}{c}$ тезлик билан отилиб чиқса ва ҳавонинг қаршилиги кўтарилиш баландлигини 5 марта камайтирса, ракета қандай баландликка кўтарила олади?

III боб. ИШ, ҚУВВАТ ВА ЭНЕРГИЯ

44-§. Механик иш ва унинг бирликлари

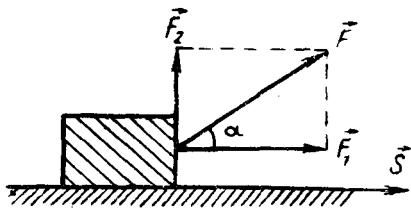
Биз ўзимизни ўраб олган шароитда бир-бирига қандайдир кучлар билан таъсир қилаётган жисмларга дуч келамиз. Ма-салан, юриб кетаётган аравачага ишқаланиш кучи, юқорига кўтарилаётган юкка оғирлик кучи, чўзилаётган пружинага эластиклик кучи таъсир этади. Бинобарин, куч қўйиб биз ара-вачани юргизамиз, юкни кўтарамиз ёки пружинани чўзиб уч-ларини силжитамиз. Бу мисоллардан кўринадик, жисмларнинг кўчиши кучларнинг таъсири остидагина содир бўлади. Бундан табиий равишда кучларнинг жисмлар кўчиши билан боғлиқ бўлган таъсирини характерлаш зарурияти келиб чиқади. Меха-никада бундай характеристика сифатида *иш* деб аталадиган физик катталиқ қабул қилинган.

Қўйилган куч таъсирида жисмнинг кўчиши натижасида ме-ханик иш бажарилади.

Турли ҳолларда кучнинг бажарган иши турлича бўлади. Табиийки, куч қанча катта бўлса ва шу куч қўйилган нуқта қанча узоқ масофага кўчса, иш ҳам шунча кўп бўлади.

Бажарилган ишнинг миқ-дори кучнинг шу куч йўнали-шида босиб ўтилган йўлга кў-пайтмаси билан ўлчанади.

Фараз қилайлик, ўзгармас \vec{F} куч таъсирида жисм бирор s масофага кўчган бўлсин. Бу куч-ни иккита ташкил этувчига: кў-чиш йўналиши бўйлаб кетган \vec{F}_1 куч — уринма ташкил этувчи-



66- расм.

сига ва кўчиш йўналишига перпендикуляр \vec{F}_2 куч — нормал ташкил этувчисига ажратамиз (66-расм). Жисмнинг кўчиши фақат \vec{F}_1 куч таъсири остида бўлади, бу кучни *ҳаракатлантирувчи куч* деб юритилади. \vec{F}_2 куч таъсирида жисм s йўл бўйлаб кўчмайди.

F_1 куч таъсири остида бажарилган ишни A ҳарфи билан белгилаб,

$$A = F_1 \cdot s$$

деб ёза оламиз. Расмдан кўринишича, $F_1 = F \cos \alpha$, бундан α — жисмга қўйилган куч йўналиши билан кўчиш йўналиши орасидаги бурчак, у ҳолда

$$A = F s \cos \alpha \quad (94)$$

бўлади.

Куч ҳам, кўчиш ҳам вектор катталиқ. Икки векторнинг скаляр кўпайтмаси скаляр катталиқ бўлишини биз 6-§ да кўриб ўтган эдик. Демак, (94) формуладан кўринадики, иш скаляр катталиқдир, бинобарин, иш фақат сон қиймати билангина характерланади.

Шундай қилиб, *иш жисмнинг кўчиш катталиғини кучга ҳамда кўчиш билан куч йўналишлари орасидаги бурчак косинусига кўпайтмаси билан ўлчанади.*

$\alpha < 90^\circ$ бўлганда бажарилган иш мусбат бўлади, бунда куч йўналишида жисм кўчади, масалан, оғирлик кучининг бажарган иши мусбат иш бўлди. $\alpha \geq 90^\circ$ бўлганда бажарилган иш манфий бўлади, бунда куч жисмнинг ҳаракатланишига тўсқинлик қилади; масалан, ишқаланиш кучининг бажарган иши манфий иш бўлади. $\alpha = 90^\circ$ бўлганда механик иш бажарилмайди, чунки куч жисмни керакли йўналишда ҳаракатлантира олмайди, масалан, марказга интилма кучнинг бажарган иши, босим кучининг бажарган иши ҳам нолга тенг.

$\alpha = 0^\circ$ бўлганда куч ва кўчиш йўналишлари устма-уст тушади, у ҳолда

$$A = F \cdot s \quad (95)$$

бўлиб, иш энг катта қийматга эга бўлади.

Агар жисм бир неча кучлар таъсири остида кўчаётган бўлса, у ҳолда бу кучлар бажарган иш шу барча кучлар бажарган ишларнинг йиғиндисига тенг, яъни натижавий кучнинг бажарган ишига тенг бўлади.

(95) формуладан фойдаланиб, ишнинг ўлчов бирликларини аниқлайлик.

Иш бирлиги қилиб куч бирлигига тенг кучнинг куч йўналиши билан бир хил йўналишда жисмни йўл бирлигига тенг масофага кўчиришда бажарган иши қабул қилинади.

СИ да иш бирлиги қилиб бир ньютон куч таъсири остида жисмни бир метр масофага кўчиришда бажарган иши қабул қилинади ва бу бирлик жоуль (Ж) деб аталади:

$$1 \text{ Ж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Амалда ишнинг МЖ (мегажоуль), кЖ (киложоуль) МЖ (миллижоуль), мкЖ (микрожоуль) ва шу каби бирликлари ҳам ишлатилади. Бу бирликлар билан жоуль орасида қуйидагича боғланиш мавжуд.

$$1 \text{ МЖ} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ж}, \quad 1 \text{ кЖ} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ж}, \quad 1 \text{ мЖ} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Ж}, \\ 1 \text{ мкЖ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Ж}.$$

45-§. Қувват ва унинг бирликлари

Турмушда бизга маълумки, бир хил механик ишни турли машиналар турлича вақтда бажаради.

Амалда, кўпинча, кучлар бажарган ишни билишгина эмас, балки шу ишни бажариш учун сарфланган вақтни ҳам ҳисобга олиш жуда муҳимдир.

Машина, двигател ва турли хил механизмларнинг иш бажара олиш қобилиятини таққослаш учун қувват деб аталадиган физик катталиқ киритилади. Равшанки, бир хил ишни бажарувчи машиналардан қайси бири шу ишни қисқароқ вақт ичида бажарса, шуниси қувватлироқ бўлади. Механизмнинг қуввати унинг вақт бирлиги ичида бажарган иши билан характерланади.

Вақт бирлиги ичида бажарилган ишга сон жиҳатдан тенг бўлган катталиқ қувват деб аталади.

Қувватни N билан белгилаб, таърифга мувофиқ,

$$N = \frac{A}{t} \quad (96)$$

деб ёза оламиз, бу ерда t — ишни бажариш учун сарфланган вақт.

Агар бир хил вақт оралиқлари ичида бажарилган ишлар бир хил бўлмаса, у ҳолда қувват вақт бўйича ўзгарувчан бўлади. Бундай ҳолларда ўртача қувват, шунингдек, оний қувват тушунчаси киритилади.

Δt вақт давомида бажарилган иш ΔA га тенг бўлса, ўртача қувват

$$N_{\text{ўр}} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (97)$$

ифодадан, оний қувват эса

$$N_{\text{оний}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \quad (98)$$

ифодадан аниқланади.

Агар жисм қўйилган куч таъсирида тўғри чизиқли текис ҳаракат қилса, у ҳолда қувватни таъсир этувчи куч ва текис ҳаракат тезлиги орқали ифодалаш мумкин. Бунинг учун (95) формуладан ишнинг ифодасини (96) формулага келтириб қўйлик. У ҳолда

$$N = \frac{A}{t} = F \frac{s}{t} = F \cdot v \quad (99)$$

бўлади, бу ерда $v = \frac{s}{t}$ — текис ҳаракат тезлиги.

Текис ўзгарувчан ҳаракатда ўртача қувватни ўртача тезлик орқали аниқлаш мумкин: $N_{\text{ур}} = F \cdot v_{\text{ур}}$.

(99) формула двигателнинг қуввати ўзгармагани ҳолда тезликни ўзгартириш билан автомобиль, тепловоз, кўтаргич кран ва шу каби механизмларнинг тортиш кучини ўзгартириш мумкинлигини кўрсатади.

(96) формуладан кўринадики, механизмнинг t вақт ичида бажарган ишини

$$A = N \cdot t \quad (100)$$

формулага мувофиқ аниқлаш мумкин.

Қувватнинг бирлигини аниқлайлик.

Қувват бирлиги қилиб вақт бирлиги ичида бир бирлик иш бажара оладиган механизмнинг қуввати қабул қилинади.

СИ да қувват бирлиги қилиб бир секундда бир жоуль иш бажара оладиган механизмнинг қуввати қабул қилинади ва бу бирлик *ватт* (Вт) деб аталади. Демак,

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Ж}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Ж}}{\text{с}}$$

Ватт — қувватнинг унча катта бўлмаган бирлигидир, шунинг учун амалда қувватнинг қўшимча бирликлари: гектоватт (гВт), киловатт (кВт), мегаватт (МВт) дан фойдаланилади.

1 гектоватт = 100 Вт = 10^2 Вт,

1 киловатт = 1000 Вт = 10^3 Вт,

1 мегаватт = 1 000 000 Вт = 10^6 Вт.

(100) формуладан фойдаланиб, ҳозирги вақтда амалда кўп ишлатиладиган ватт-соат (Вт-соат), гектоватт-соат (гВт-соат), киловатт-соат (кВт-соат) каби иш бирликлари орасидаги муносабатни аниқлайлик.

Ватт-соат иш деб қуввати ўзгармас бир ватт бўлган механизмнинг бир соатда бажарган ишига айтилади:

1 Вт-соат = 1 Вт · 3600 с = 3600 Ж = $3,6 \cdot 10^3$ Ж.

Гектоватт-соат иш деб қуввати ўзгармас бир гектоватт бўлган механизмнинг бир соатда бажарган ишига айтилади:

1 гВт-соат = 100 Вт · 3600 с = $3,6 \cdot 10^5$ Ж.

Киловатт-соат иш деб қуввати ўзгармас бир киловатт бўлган механизмнинг бир соатда бажарган ишига айтилади:

1 кВт-соат = 1000 Вт · 3600 с = $3,6 \cdot 10^6$ Ж.

46- §. Механик энергия. Кинетик ва потенциал энергия

Бирор иш бажара олиш қобилиятига эга бўлган ҳар қандай жисм ёки жисмлар системаси энергияга эга бўлади. Масалан, думалаётган шар бирор жисм билан тўқнашиб, уни силжитади, яъни иш бажаради. Демак, думалаётган шарнинг энергияси бор. Чўзилган пружина қисқариб, ўзининг аввалги ҳолатига қайтар экан, ўз қисмлари (ўрамлари) ни ёки бошқа жисмларни

силжитиб, иш бажаради. Бинобарин, чўзилган пружина энергияга эга бўлади. Ердан бирор баландликда турган жисм ҳам энергияга эга, чунки жисмни баландликда ушлаб турувчи боғланиш йўқотилса, бу жисм туша бошлайди (ҳаракат қила бошлайди) ва иш бажаради.

Бу мисоллардан кўринадики, жисмлар иш бажараётганида уларнинг ҳолати ўзгаради: думалаётган шарнинг тезлиги камаяди ва бора-бора тўхтайти, чўзилган пружина қисқариб, аввалги нормал (деформацияланмаган) ҳолатига қайтади, кўтарилган жисм тинч турган ҳолатидан ҳаракатга келиб, Ер сиртига яқинлаша боради ва ҳоказо.

Энергия жисмнинг ёки жисмлар системасининг ҳолатини, унинг бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтишда иш бажариш қобилиятини характерлайди.

Жисмларнинг механик ҳолатига боғлиқ бўлган энергия *механик энергия* дейилади.

Ташқи кучлар берилган жисмлар системаси устида иш бажарса ёки жисмлар системасининг ўзи ташқи кучларга қарши иш бажарса, системанинг ҳолати, бинобарин, энергияси ўзгаради. Энергиянинг ўзгариши системанинг маълум шароитда бажариши мумкин бўлган ишни билан ўлчанади, яъни *энергия ўзгаришининг ўлчови иш ҳисобланади*. Шунинг учун иш қандай бирликларда ўлчанса, энергия ҳам шундай бирликларда ўлчанади. Агар системанинг бошланғич ҳолат деб олиш мумкин бўлган қандайдир бирор ҳолатидаги энергиясини E_1 билан, системанинг кейинги охириги ҳолатидаги энергиясини E_2 билан ва системанинг шу бошланғич (биринчи) ҳолатдан охириги (иккинчи) ҳолатга ўтганда бажарган ишини A билан белгиласак, у ҳолда

$$A = E_2 - E_1 \quad (101)$$

деб ёза оламиз. Агар $E_1 > E_2$ бўлса, у ҳолда системанинг энергия запаси ҳисобига системанинг ўзи ташқи кучларга қарши иш бажаради, унинг энергияси камаяди. Агар $E_1 < E_2$ бўлса, у ҳолда ташқи кучлар система устида иш бажаради, натижада бу бажарилган иш ҳисобига системанинг энергияси ортади.

Механик энергия икки турга — *потенциал ва кинетик энергияларга* бўлинади.

Жисмларнинг ўзаро жойлашишига ёки айна бир жисм қисмларининг ўзаро жойлашишига боғлиқ бўлган ўзаро таъсир энергияси *потенциал энергия* деб аталади.

Масалан, Ерга нисбатан юқорига кўтарилган жисмнинг, соатларда кўтарилган тошнинг, гидростанция тўғонидаги сувнинг, деформацияланган пружинанинг, кўтарилган болғанинг, қисилган газнинг энергиялари потенциал энергияга мисол бўла олади. Жисмлар орасида уларнинг бир-бирларига нисбатан вазиятлари орқали бир қийматли аниқланадиган ўзаро таъсир этувчи кучлар таъсир этган вақтдагина жисмлар потенциал энергияга эга бўла олади. Бошқача қилиб айтганда, ўзаро

таъсир этувчи жисмлар ёки жисм қисмлари бўлгандагина потенциал энергия ҳақида гапириш мумкин. Жисмлар ёки жисм қисмлари орасидаги ўзаро таъсир қанча кучли бўлса, потенциал энергия ҳам шунча катта бўлади.

Жисмларнинг ҳаракат қилиши туфайли эга бўладиган энергияси кинетик энергия деб аталади.

Масалан, ишқаланиш кучини энгиб ҳаракатланаётган автомобилнинг энергияси, учиб кетаётган самолётнинг энергияси, қия новдан думалаб тушаётган металл шарнинг энергияси, электр станциялар турбиналарини айлантирадиган сув энергияси, шамол тегирмонларини ёки шамол электр станцияларини ишга туширувчи шамол энергияси, тушаётган болға энергияси кинетик энергияга мисол бўла олади.

Ҳамма ҳолларда, энергия катталиги ҳақида бажарилган иш катталигига қараб фикр юритилади. Болға қанча вазли бўлса ва қанча катта тезлик билан миҳга урилса, миҳни тахтага шунча кўпроқ киритиши мумкин ва бунда шунча кўп иш бажарилади. Бинобарин, жисм қанча массив бўлса ва у қанча тез ҳаракатланса, кинетик энергия катталиги шунча кўп бўлади.

Жисмнинг кинетик ва потенциал энергияларининг йиғиндисини жисмнинг *тўла механик энергияси* деб аталади.

47- §. Жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши билан кинетик энергия ўзгариши орасидаги боғланиш

Фараз қилайлик, ўзгармас F куч таъсирида m массали жисм s масофада тўғри чизиқли ҳаракат қилиб, t вақт ичида ўзининг тезлигини v_1 дан v_2 га ўзгартирсин. У ҳолда жисмнинг ишқаланиш кучига қарши бажарган иши қуйидагига тенг бўлади:

$$A = F \cdot s = ma \cdot s_1$$

Жисмнинг ҳаракати текис секинланувчан бўлгани учун тезланиш ва ўйилган масофанинг тезликлар билан ўзаро боғланиши қуйидагича бўлади:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t} \quad \text{ва} \quad s = \frac{v_1 + v_2}{2} t.$$

Тезланиш ва йўлнинг бу ифодаларини иш формуласига қўйиб, соддалаштиришлардан сўнг,

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \quad (102)$$

формулани ҳосил қиламиз. (101) ва (102) формулаларни таққосласак,

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (103)$$

катталиқ жисмнинг кинетик энергиясини ифодалайди. (103) формуладан кўринадик, *жисмнинг кинетик энергияси жисмнинг массаси билан тезлиги квадрати кўпайтмасининг ярмига тенг экан.*

(102) формула жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши билан жисмнинг кинетик энергияси ўзгариши орасидаги боғланишни ифодалайди.

Агар кўрилаётган йўл охирида жисм тезлиги $v_2 < v_1$ бўлса, у ҳолда жисмнинг бажарган иши унинг кинетик энергиясининг камайишига тенг бўлади. Бунда ташқи кучга қарши иш бажаради. Агар $v_2 > v_1$ бўлса, у ҳолда бажарилган ишнинг ҳисобига жисмнинг кинетик энергияси ортади. Бунда ташқи кучлар жисм устида иш бажаради.

Шундай қилиб, *жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши жисм кинетик энергиясининг ўзгаришига тенг бўлар экан.*

48- §. Оғирлик кучининг бажарган иши билан потенциал энергия ўзгариши орасидаги боғланиш

Ерга нисбатан кўтарилган жисмнинг потенциал энергияси бўлади, чунки жисмнинг энергияси жисм билан Ернинг ўзаро ҳолатига ва ўзаро таъсирига боғлиқдир.

Одатда Ер сиртида ётган жисмнинг потенциал энергиясини нолга тенг деб олинади. Бу ҳолда бирор баландликка кўтарилган жисмнинг потенциал энергияси бу жисмнинг Ерга тушишида оғирлик кучининг бажарган иши билан ўлчанади.

Жисм вертикал бўйлаб пастга ҳаракатланганда оғирлик кучининг йўналиши кўчиш йўналиши билан бир хил бўлади. Ер сиртидан h баландликдаги B нуқтадан Ер сатҳидан ҳисобланган h_2 баландликдаги C нуқтада ўтишда жисмнинг кўчиши $h_1 = h - h_2$ тенг (67- расм). Бунда оғирлик кучининг бажарган иши

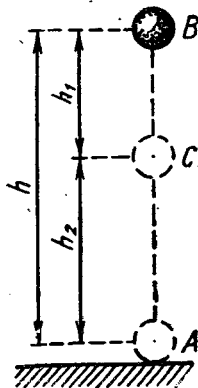
$$A = Ph_1 = mgh_1 = mgh - mgh_2 \quad (104)$$

ифодадан аниқланади. Бу формулани (101) формула билан таққосласак,

$$E_p = mgh \quad (105)$$

катталиқ Ер сиртидан h баландликка кўтарилган, яъни оғирлик кучи (гравитация) майдонидаги жисмнинг потенциал энергиясини ифодалайди. Демак, *бирор баландликка кўтарилган жисмнинг потенциал энергияси жисм оғирлигининг шу баландликка кўпайтмасига тенг экан.*

(104) формула оғирлик кучининг бажарган иши билан жисм потенциал энергиясининг ўзгариши орасидаги боғланишни ифодалайди.



67- расм.

Агар $h > h_2$ бўлса, у ҳолда $mgh_1 > mgh_2$ ва $A > 0$ бўлади, бинобарин, оғирлик кучи жисмнинг потенциал энергияси камайиши ҳисобига иш бажаради. Агар $h_1 < h_2$ бўлса, у ҳолда $mgh_1 < mgh_2$ ва $A < 0$ бўлади. Бунда оғирлик кучига қарши бажарилган иш ҳисобига жисмнинг потенциал энергияси ортади.

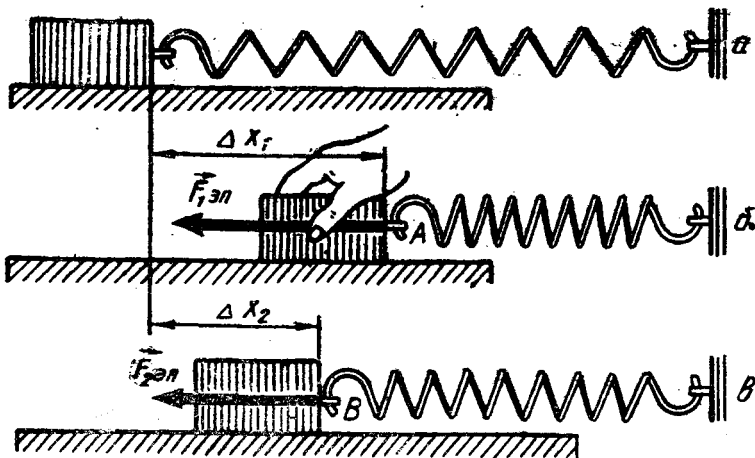
Шундай қилиб, оғирлик кучининг бажарган иши жисм потенциал энергиясининг камайишига тенг бўлади.

(104) формуладан кўринадики, гравитацион майдонда бажарилган ишнинг катталиги босиб ўтилган йўлнинг шаклига боғлиқ бўлмай, фақат йўлнинг охиригича нуқтага бошланғич нуқтага нисбатан қандай баландликда жойлашганлигига боғлиқ бўлади. Бажарган иши йўл шаклига боғлиқ бўлмайдиган кучлар потенциал (ёки консерватив) кучлар, бу кучлар майдони эса потенциал майдон дейилади. Бинобарин, оғирлик кучи потенциал куч, унинг майдони эса потенциал майдон бўлади.

4 §. Эластиклик кучининг бажарган иши.

Эластик деформацияланган жисмнинг потенциал энергияси

Эластиклик кучининг бажарган ишини аниқлайлик. Бунинг учун пружинанинг бир учини маҳкамлаб қўйиб, иккинчи учига бирор жисм бириктирайлик (68-а расм). Агар пружинанинг жисм бириктирилган учини Δx_1 масофага суриб, пружинани сиқсак (68-б расм), у ҳолда жисмга пружина томонидан таъсир қиладиган эластиклик кучи пайдо бўлади. Пружина ўрамларини кўчиришда эластиклик кучи бажарган ишни аниқлаш учун пружинанинг жисм бириктирилган учи A вазиятдан B вазиятга кўчди деб фараз қилайлик (68-в, расм). Бу вазиятда пружинанинг чўзилиши Δx_2 га тенг бўлади. Демак, пружинанинг



68- расм.

учи $\Delta x_2 - \Delta x_1$ масофага кўчади. Ишни ҳисоблашда эластиклик кучининг ўзгарувчан куч эканлигини назарга олиш керак: $y \Delta x$ деформацияга чизиқли боғлиқ бўлиб, чўзилиш нолдан Δx гача ўзгарганда куч нолдан $F_{эл} = -k \Delta x$ гача ўзгаради, бунда k — пружинанинг бикрлиги. Бинобарин, A нуқтада эластиклик кучи $F_1 = -k \Delta x_1$ га тенг бўлса, B нуқтада бу куч $F_2 = -k \Delta x_2$ га тенг бўлиб қолади. Шунинг учун $\Delta x_2 - \Delta x_1$ га тенг кўчишда

$$F_{\text{ўр}} = \frac{F_1 + F_2}{2} = -k \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2}$$

ўртача эластиклик кучи таъсир қилади деб ҳисоблаш мумкин. У ҳолда бу кучнинг $\Delta x_2 - \Delta x_1$ кўчишда бажарган иши

$$\begin{aligned} A &= F_{\text{ўр}} (\Delta x_2 - \Delta x_1) = -k \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2}{2} (\Delta x_2 - \Delta x_1) = \\ &= \frac{k}{2} (\Delta x_1^2 - \Delta x_2^2) = \frac{k}{2} \Delta x_1^2 - \frac{k}{2} \Delta x_2^2. \end{aligned} \quad (106)$$

Эластиклик кучининг бажарган иши жисм бикрлиги билан бошланғич ва охириг узайишлари квадратлари айирмаси кўпайтмасининг ярмига тенг.

Агар пружинанинг охириг узайиши нолга тенг бўлса, яъни пружина деформацияланмаган ҳолатига қайтиб келса,* у

$$A = k \frac{\Delta x^2}{2} \quad (107)$$

га тенг иш бажаради, бу ерда Δx — пружинанинг бошланғич узайиши.

46-§ да айтиб ўтганимиздек, эластик деформацияланган пружина потенциал энергияга эга бўлади. Эластик деформацияланган пружинанинг потенциал энергияси бу пружинанинг деформацияланмаган ҳолатга ўтишида эластиклик кучининг бажарган ишига тенг бўлиши керак. Бинобарин, (107) формулага мувофиқ, деформацияланган пружинанинг потенциал энергияси қуйидагича ифодаланади:

$$E_p = \frac{k \Delta x^2}{2}. \quad (108)$$

Эластик деформацияланган ҳар қандай жисмнинг потенциал энергияси (108) формула билан аниқланади.

(106) формулани қуйидагича ўзгартириб ёзамиз:

$$A = \frac{k \Delta x_1^2}{2} - \frac{k \Delta x_2^2}{2} = E_{p_1} - E_{p_2}. \quad (109)$$

Бу формулани (101) формула билан таққослаб, бу ҳолда ҳам худди оғирлик кучининг ёки жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши каби, *эластиклик кучининг бажарган иши пружина потенциал энергиясининг камайишига тенг бўлишини кўраимиз.*

50- §. Механик энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуни

Энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуни кўп асрлик тажрибаларнинг якунидир. Қонуннинг ғояси биринчи марта 1748 йилда рус олими М. В. Ломоносовнинг материя ва ҳаракатнинг сақланиш қонунда ифодаланган эди. Деярли юз йилдан сўнг турли жараёнлар (механик ва иссиқлик, кимёвий ва электр, механик ва электр, кимёвий ва иссиқлик, иссиқлик ва электр жараёнлари) нинг боғлиқлигини ўрганишга доир ишларнинг умумлаштирувчи тадқиқотлари туфайли энергиянинг сақланиши, бир турдан иккинчи турга айланишининг умумий қонуни яратилди. Бу қонун қуйидагича таърифланади.

Епиқ системадаги барча ҳодисаларда энергия ҳеч вақт бордан йўқ бўлмайди ва йўқдан бор бўлмайди. У фақат бир турдан иккинчи турга ёки бир жисмдан иккинчи жисмга ўтиб, миқдор жиҳатдан ўзгаришсиз қолади.

Бу қонунни механик ҳодисаларга татбиқ қилиб қуйидагича ифодалаш мумкин: *механик ҳодисаларда энергия ҳеч вақт бордан йўқ бўлмайди ва йўқдан бор бўлмайди, балки тенг миқдорда Потенциал энергия кўринишидан кинетик энергия кўринишига ва, аксинча, ўтиб туради.*

Умумий ҳолда жисм бир вақтда ҳам кинетик энергияга, ҳам потенциал энергияга эга бўлиши мумкин. Бу энергияларнинг йиғиндисини *тўла механик энергияни* ташкил қилади. Масалан, Ер сиртидан h баландликда Ерга нисбатан v тезлик билан ҳаракатланаётган m массали жисмнинг тўла энергияси

$$E = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + mgh$$

га тенг бўлади.

Аниқроқ айтганда, бу ифода E_p — жисм системасининг тўла энергиясини ифодалайди: mgh — системанинг ўзаро потенциал энергияси, $\frac{mv^2}{2}$ — системанинг кинетик энергияси, Ернинг кинетик энергияси эса биз текшираётган санок системаси (E_p билан боғланган санок системаси) да нолга тенг бўлади.

Энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуни табиатнинг ҳеч истисносиз энг умумий қонунидир; янгидан очиладиган жараён ва ҳодисалар уни тасдиқлайди, холос. Бироқ, бу қонун энг умумий бўлгани учун ҳам унинг умумий назарий исботи йўқ ва фақат хусусий ҳоллар (конкрет жараёнлар) учун назарий исбот қилиниши мумкин.

Мисол тариқасида жисмнинг эркин тушишида механик энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонунининг хусусий исботини кўрайлик.

Оғирлиги $P = mg$ бўлган жисм Ер сиртидан h баландликдаги B нуқтага кўтарилган бўлсин (69- расм). Жисмнинг бу ҳолатида

потенциал энергия $E_p = mgh$ га, кинетик энергияси $E_k = 0$ га тенг бўлади, чунки бу нуқтада жисмнинг тезлиги нолга тенг бўлиб, у тинч ҳолатда турибди. Жисмнинг B нуқтадаги тўла энергияси қуйидагига тенг бўлади:

$$E_B = E_k + E_p = 0 + mgh = mgh.$$

Демак, Ер сиртидан маълум баландликда тинч турган жисмнинг тўла энергияси потенциал энергиядан иборат бўлар экан.

Жисмнинг шу h баландликдан эркин тушишида тушишнинг охирига келиб (A нуқтада) жисмнинг тезлиги $v = \sqrt{2gh}$ га ва демак, кинетик энергияси

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} (\sqrt{2gh})^2 = mgh$$

га тенглашади, бироқ $h=0$ баландликда потенциал энергия нолга тенг бўлади. Шундай қилиб, жисмнинг A ҳолатида тўла энергияси

$$E_A = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + 0 = mgh.$$

Демак, тушиб келаётган жисмнинг Ерга урилиш пайтидаги тўла энергияси кинетик энергиядан иборат бўлар экан.

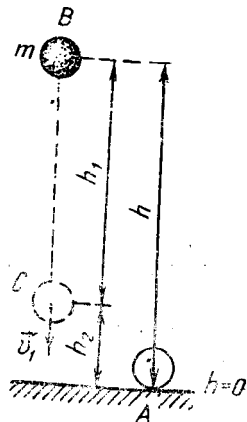
Энди жисмнинг $h-h_1$ баландликдаги ихтиёрий C нуқтада тўла энергиясини ҳисоблайлик. Бу ҳолатда жисмнинг потенциал энергияси $E_p = mg(h-h_1)$ га, кинетик энергияси $E_k = \frac{mv_1^2}{2}$ га тенг бўлади, бунда v_1 жисмнинг C нуқтадан ўтиш пайтидаги тезлиги бўлиб, унинг катталиги $v_1 = \sqrt{2gh_1}$ ифодадан аниқланади.

Демак, жисмнинг C нуқтадаги тўла энергияси

$$E_C = E_p + E_k = mg(h-h_1) + \frac{m}{2} (\sqrt{2gh_1})^2 = mgh - mgh_1 + mgh_1 = mgh.$$

Шундай қилиб, $E_B = E_A = E_C$, яъни жисмнинг учала ҳолатидаги тўла энергияси бир хил экан. C ҳолат ихтиёрий танлаб олингани учун бу жисмнинг тўла энергияси умуман ўзгармай қолади ва кинетик энергия тенг миқдорда потенциал энергияга ва аксинча, потенциал энергия тенг миқдорда кинетик энергияга айланади, деб хулоса чиқариш мумкин. Бундай хулоса энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонунига мос келади.

Бундай натижа жисмга фақат потенциал куч таъсир этганлиги сабаблигина келиб чиқди. Агар ёпиқ системада потенциал кучлардан ташқари бошқа кучлар, масалан, ишқаланиш кучлари таъсир кўрсатаётган бўлса, у вақтда юқорида биз кўриб



69- расм.

Ўтган энергиянинг сақланиш қонуни ўринли бўлмайди. Ишқаланиш кучлари таъсирида механик энергия бошқа номеханик турдаги (масалан, иссиқлик) энергияга айланади. Бундай ҳолларда энергиянинг умумийроқ бўлган сақланиш қонуни бажарилади. *Епиқ системада энергиянинг барча турларининг (номеханик турларининг ҳам) йиғиндиси ўзгармайди.*

Энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуни энергия ва иш тушунчаларининг физик маъносини очиб беради. Материя ҳаракати кенг маънода ҳар қандай жараён, материянинг ҳар қандай ўзгаришидан иборатдир. Шундай экан, *энергия материя ҳаракатининг миқдорий ва сифат хараактеристикаси, иш эса материянинг бир ҳаракат шаклининг бошқа ҳаракат шаклига айланишининг миқдорий хараактеристикасидир.* Шундай қилиб, иш ва энергиянинг бирликлари бир хил бўлишига қарамай, улар турли физик катталиклардир.

51-§. Механизмларнинг фойдали иш коэффиценти

Маълумки, ҳар бир машина ёки механизм маълум ишни бажаради. Машиналарнинг фойдали қаршиликларни, масалан, токарлик станогида деталларга ишлов беришда металлнинг қаршилигини, оғир юкни кран билан кўтаришда оғирлик кучини, автомобиль ҳаракатланганда унинг ғилдираклари ва йўл орасида юзага келадиган ишқаланиш кучини ва ҳоказо қаршиликларни енгиб бажарадиган иши *фойдали иш* ҳисобланади. Аммо машина бу фойдали ишни бажаришда бу ишдан ташқари зарарли қаршиликларга қарши фойдасиз, лекин бажарилиши шарт бўлган ишларни ҳам бажаради. Масалан, машиналарнинг ҳаракатланувчи қисмлари орасидаги ишқаланиш кучига, ҳавонинг қаршилиқ кучига қарши бажарилган иш фойдасиздир. Шунинг учун машина ёрдамида бажарилган *тўлиқ иш* (у сарфланган *умумий иш* деб ҳам аталади) фойдали ишдан ҳамма вақт фойдасиз иш миқдорича ортиқ бўлади. Механизм ишлаганда фойдасиз ишлардан бутунлай ҳоли бўлиш мумкин эмас, аммо уни анчагина камайтириш мумкин. Сарфланган ишнинг қанча кўп қисмини фойдали иш ташкил қилса, машина шунча тежамли бўлади. Машинанинг тежамлилиги *фойдали иш коэффиценти* (қисқача ФИК) деб аталадиган катталиқ билан характерланади.

Машинанинг фойдали иш коэффиценти деб, умумий ишнинг қанча қисми фойдали ишга айланганлигини ифодаловчи катталикка айтилади.

ФИК η харфи билан белгиланади. Демак, таърифга мувофиқ,

$$\eta = \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{ум}}} \quad (110)$$

бўлади.

ФИК ҳар доим бирдан кичик бўлади. ФИК бирга қанча яқин бўлса, машина шунча тежамли бўлади.

ФИК кўпинча фоииз ҳисобида ифодалаёнади. У вақтда (110) формула қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\eta = \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{ум}}} \cdot 100 \% \quad (111)$$

Фойдали ва умумий ишлар бир вақтда бажарилгани учун (111) формулага $A_{\text{ф}}$ ва $A_{\text{ум}}$ ларнинг (100) формула орқали ифодаланган қийматларини келтириб қўйиб, ФИК нинг $N_{\text{ф}}$ фойдали ва $N_{\text{ум}}$ сарфланган умумий қувватлар орқали ҳисоблаш формуласини ҳосил қиламиз:

$$\eta = \frac{N_{\text{ф}} \cdot t}{N_{\text{ум}} \cdot t} \cdot 100 \% = \frac{N_{\text{ф}}}{N_{\text{ум}}} \cdot 100 \% \quad (112)$$

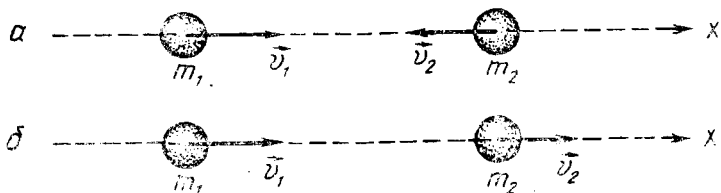
52- §. Эластик ва ноэластик урилишга энергия ва импульснинг сақланиш қонунларининг татбиқи

Жисмлар бир-бирларига урилганда деформацияланади, уларнинг урилиш сиртлари босилади ва деформация туфайли юзага келган босим (эластиклик) кучи жисмларнинг тезликларини ўзгартиради. Бунда жисмларнинг урилишидан олдинги кинетик энергияси қисман ёки тўла равишда эластик деформация потенциал энергияси билан жисмларнинг *ички энергияси* деб аталадиган номеханик энергиясига айланади (ички энергия ҳақида 101- § да батафсил тўхтаб ўтилади).

Жисмлар бир-бирига *эластик урилиши* ёки *ноэластик урилиши* мумкин. Эластик урилиш деб шундай урилишга айтиладики, бунда жисмларнинг механик энергияси ички энергияга айланмайди. Бундай урилиш вақтида кинетик энергия батамом ёки қисман эластик деформация потенциал энергиясига айланади. Кейин эса жисмлар бир-бирини итариб дастлабки шаклига қайтади. Натижада эластик деформация потенциал энергияси қайтиб кинетик энергияга айланади ва жисмлар маълум тезликлар билан қарама-қарши йўналишда ҳаракатланади. Бу тезликларнинг катталиги билан йўналиши жисмлар системасининг тўла энергиясининг ҳамда тўла импульсининг сақланишига боғлиқ бўлади.

Ноэластик урилишда жисмларнинг кинетик энергияси батамом ёки қисман деформация потенциал энергиясига ва ички энергияга айланади. Бунда фақат импульснинг сақланиш қонунигина бажарилади, механик энергиянинг сақланиш қонуни эса бажарилмайди, аммо барча турдаги механик ва номеханик энергиялар йиғиндисининг сақланиш қонуни ўринли бўлади. Буларни қуйидаги мисолларда кўриб чиқайлик.

1. Иккита шарнинг марказий эластик урилиши. Агар урилишга қадар шарлар уларнинг марказлари орқали ўтувчи тўғ-



70- расм.

ри чизиқ бўйлаб ҳаракатланаётган бўлса, бундай урилиш *марказий урилиш* дейилади. *Марказий* урилиш қуйидаги ҳолларда рўй бериши мумкин: 1) агар шарлар бир-бирига қараб йўналаётган бўлса (70-а расм) ва 2) агар шарлардан бири иккинчисини қувиб етаётган бўлса (70-б, расм).

Шарлар ёпиқ система ҳосил қилади, деб фараз қилайлик. Шарларнинг массаларини m_1 ва m_2 билан, урилишга қадар тезликларини \vec{v}_1 ва \vec{v}_2 билан ва, ниҳоят, урилишдан кейинги тезликларини \vec{u}_1 ва \vec{u}_2 билан белгилаймиз. Шарларнинг биринчи ҳолдаги урилишида тўқнашгандан кейинги тезликларини топайлик.

Урилишдан олдин биринчи шарнинг кинетик энергияси $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ ва импульси $m_1 \vec{v}_1$ га, иккинчи шарнинг кинетик энергияси $\frac{m_2 v_2^2}{2}$ ва импульси $m_2 \vec{v}_2$ га тенг бўлади. У ҳолда системанинг тўла энергияси ва тўла импульси қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}, \quad m \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Урилишдан кейин системанинг тўла энергияси ва тўла импульси эса қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}, \quad m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2.$$

Энергиянинг ва импульснинг сақланиш қонунига мувофиқ,

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} &= \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \\ m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 &= m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 \end{aligned} \right\} \quad (113)$$

тенгламалар системасини ёза оламиз. Бу иккита тенгламадан иккита: \vec{u}_1 ва \vec{u}_2 тезликларни топиш мумкин.

Тенгламалар системасини ечишдан аввал (113) формуладаги иккинчи тенгламани скаляр кўринишда ёзиб олиш керак. Бунинг учун тенгламани \vec{v}_1 векторнинг йўналиши билан бир хил йўналишли x ўқида проекциясини оламиз (70-а расмга қ.). Расмдан кўринадики, $(\vec{v}_1)_x = v_1$, $(\vec{v}_2)_x = -v_2$, бинобарин,

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2.$$

Шундай қилиб, қуйидаги системага эга бўламиз:

$$\left. \begin{aligned} m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 &= m_1 u_1^2 + m_2 u_2^2, \\ m_1 v_1 - m_2 v_2 &= m_1 u_1 + m_2 u_2. \end{aligned} \right\} \quad (114)$$

Бу тенгламалар системасидан u_1 ва u_2 ни топиш учун уни қуйидаги кўринишга келтирамиз:

$$\left. \begin{aligned} m_1 v_1^2 - m_1 u_1^2 &= m_2 v_2^2 - m_2 u_2^2, \\ m_1 v_1 - m_1 u_1 &= m_2 u_2 + m_2 v_2 \end{aligned} \right\}$$

ёки

$$\left. \begin{aligned} m_1 (v_1^2 - u_1^2) &= m_2 (u_2^2 - v_2^2), \\ m_1 (v_1 - u_1) &= m_2 (u_2 + v_2). \end{aligned} \right\}$$

Биринчи тенгламани иккинчисига ҳадма-ҳад бўлсак, у ҳолда

$$v_1 + u_1 = u_2 - v_2$$

тенгламани ҳосил қиламиз. Бундан u_2 тезлигининг $u_2 = v_1 + u_1 + v_2$ қийматини (114) тенгламалар системасидаги иккинчи тенгламага келтириб қўйиб, ҳосил бўлган тенгламани u_1 тезликка нисбатан ечамиз:

$$\begin{aligned} m_1 v_1 - m_2 v_2 &= m_1 u_1 + m_2 (v_1 + u_1 + v_2), \\ m_1 v_1 - m_2 v_2 &= m_1 u_1 + m_2 v_1 + m_2 u_1 + m_2 v_2. \end{aligned}$$

Соддалаштирсак:

$$(m_1 + m_2) u_1 = -2m_2 v_2 + (m_1 - m_2) v_1.$$

Бундан u_1 ни топамиз:

$$u_1 = \frac{-2m_2 v_2 + (m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2}. \quad (115)$$

Худди шу йўл билан u_2 тезликни топиш мумкин (буни китобхонларга мустақил ечиш учун ҳавола қиламиз):

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1 - (m_2 - m_1) v_2}{m_1 + m_2}. \quad (116)$$

Агар шарлар бир томонга (иккинчи ҳол) ҳаракатланаётган бўлса, у ҳолда тўқнашгандан кейин уларнинг тезликлари қуйидагича бўлади:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \frac{2m_2 v_2 + (m_1 - m_2) v_1}{m_1 + m_2}, \\ u_2 &= \frac{2m_1 v_1 + (m_2 - m_1) v_2}{m_1 + m_2}. \end{aligned} \right\} \quad (117)$$

Агар $m_1 = m_2$ бўлса, у ҳолда (117) формуладан $u_1 = v_2$ ва $u_2 = v_1$ келиб чиқади, яъни шарлар марказий эластик тўқнашувда тезлик «алмашадилар». Хусусан, агар бир хил массали шарлардан бири, масалан, иккинчиси урилишига қадар тинч турган бўлса ($v_2 = 0$), у ҳолда $u_1 = 0$ ва $u_2 = v_1$ бўлади. Демак, у ҳолда биринчи шар иккинчисига тўқнашиб, ўз тезлигини унга беради, ўзи эса тўхтаб қолади.

Шундай қилиб, жисмларнинг тўқнашишдан олдинги тезликлари маълум бўлса, энергиянинг, импульсининг сақланиш қонуларидан фойдаланиб жисмларнинг тўқнашишдан кейинги тезликларини аниқлаш мумкин. 2) Юқорида қаралган берк системани ташкил этган m_1 ва m_2 массали шарлар марказий ноэластик урилишга учраган бўлсин. Урилишга қадар уларнинг тезликлари

мос равишда v_1 ва v_2 . Ноэластик урилишдан сўнг бу шарлар бир хил тезлик билан ҳаракатланадилар. Бу тезликни u билан белгилаймиз.

Шарларнинг урилишдан олдинги кинетик энергиялари мос равишда $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ ва

$\frac{m_2 v_2^2}{2}$, импульслари эса $m_1 \vec{v}_1$ ва $m_2 \vec{v}_2$ бўлади. У вақтда системанинг тўла энергияси ва импульси қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \quad \text{ва} \quad m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2.$$

Урилишдан кейинги системанинг энергия ва импульси қуйидагича тенг бўлади:

$$\frac{m_1 + m_2}{2} u^2 \quad \text{ва} \quad (m_1 + m_2) \vec{u}.$$

Кузатилаётган система учун импульснинг сақланиш қонуни

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u} + m_2 \vec{u} \quad (118)$$

дан иборат бўлади.

Шарларнинг ноэластиклик урилишда системанинг энергияси ўзгаради ва қуйидагича аниқланади:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \frac{m_1 + m_2}{2} u^2 - \left(\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} \right).$$

Бу ифодага урилишдан кейинги тезлик ўрнига унинг (118) формуладаги қийматини келтириб қўйсақ, энергиянинг ўзгариш ифодаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\Delta E = - \frac{m_1 m_2 (v_1 - v_2)^2}{2 (m_1 + m_2)}. \quad (119)$$

Бу ифодадан кўринадики, системанинг кинетик энергияси ноэластик урилишдан сўнг камайар экан: чунки урилиш натижасида шарлар деформацияланиши туфайли уларнинг механик энергияси тўлиқ тикланмайди, бунда энергиянинг бир қисми шарларнинг ички энергиясига айланади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Механик иш нима ва у қандай бирликларда ўлчанади?
2. Қувват нима ва у қандай бирликларда ўлчанади?
3. Энергия деб нимага айтилади?
4. Механик энергия нима ва унинг қандай турлари мавжуд? Уларнинг таърифини беринг.
5. Жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши билан кинетик энергияси орасида қандай боғланиш бор?
6. Потенциал майдонда бажарилган иш нимага тенг? Иш билан потенциал энергия орасида қандай боғланиш бор?
7. Эластиклик кучининг бажарган иши нимага тенг?
8. Эластик деформацияланган жисмнинг потенциал энергияси нимага тенг?
9. Энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуни қандай таърифланади?
10. Жисмнинг эркин тушишида механик энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунини исботланг.
11. Механик энергиянинг сақланиш қонунининг бажарилиши учун зарур бўлган шартларни айтиб беринг.

12. Фойдали иш деб қандай ишга айтилади? Мисоллар келтиринг.
13. Фойдасиз иш деб қандай ишга айтилади? Мисоллар келтиринг.
14. Механизмнинг фойдали иш коэффициенти деб нимага айтилади?
15. Жисмларнинг эластик ва ноэластик урилишларини тушунтиринг.
16. Марказий урилиш деб қандай урилишга айтилади?
17. Жисмларнинг эластик тўқнашганларидан кейинги тезликларини ҳисоблаш формулаларини келтириб чиқаринг.

Масала ечиш намуналари

1-масала. Икки ишчи полда оғир яшикни текис силжитмоқда. Ишчилардан бири яшикни орқасидан полга нисбатан пастга йўналган 30° бурчак остида 300 Н куч билан итармоқда, иккинчиси эса худди шундай катталикидаги куч билан полга нисбатан 45° бурчак остида арқон билан тортмоқда. Ишчилар яшикни 20 м масофага кўчирсалар, улар қанча иш бажаради?

Берилган: $F_1 = F_2 = 300$ Н,
 $\alpha_1 = 30^\circ$, $\alpha_2 = 45^\circ$, $s = 20$ м.

Топиш керак: $A = ?$

Ечилиши: Чизмада яшикка таъсир қилувчи F_1 ва F_2 кучларни тасвирлаймиз (71-расм). Ишчиларнинг яшикни силжитишда бажарган иши қуйидаги формуладан аниқланади:

$$A = F \cdot s,$$

бунда F куч F_1 ва F_2 кучларнинг яшикни кўчиш йўналишидаги проекцияларининг йиғиндисига тенг, яъни:

$$F = F_1^1 + F_2^1 = F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 = F_1 (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2).$$

Демак, бажарилган иш

$$A = F_1 \cdot s (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)$$

га тенг бўлади.

Ҳисоблаш: $A = 300 \text{ Н} \cdot 20 \text{ м} (\cos 30^\circ + \cos 45^\circ) = 9440$ Ж.

2-масала. 150 кН тормозловчи куч таъсири остида массаси 1500 т бўлган поезд тормозлаш бошлангандан то тўхтагунча 500 м йўлни ўтган бўлса, у қандай тезлик билан ҳаракатланаётган эди?

Берилган: $F = 150 \text{ кН} = 15 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $s = 500 \text{ м}$, $v_t = 0$, $m = 1500 \text{ т} = 15 \cdot 10^3 \text{ кг}$.

Топиш керак: $v_0 = ?$

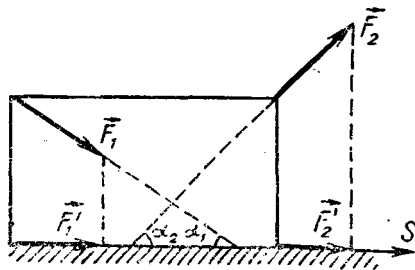
Ечилиши: Тормозловчи кучга қарши поезднинг бажарган иши $A = F \cdot s$ формуладан аниқланади. Бу ишни бажаришда поезднинг кинетик энергияси камаяди. Жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши билан жисмнинг кинетик энергияси орасидаги муносабатни ифодаловчи.

$$A = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_t^2}{2}$$

формуладан фойдаланиб, поезднинг тормозлашдан аввалги v_0 тезлигини топиш мумкин. $v_t = 0$ бўлгани учун

$$F \cdot s = \frac{mv_0^2}{2}$$

бўлади. Бундан



71-расм.

$$v_0 = \sqrt{\frac{2Fs}{m}}$$

Ҳисоблаш:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot 15 \cdot 10^4 \text{ Н} \cdot 500 \text{ м}}{15 \cdot 10^3 \text{ кг}}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

3-масала. Оғирлиги $49 \cdot 10^5$ Н бўлган электр поезде текис ҳаракат қилиб 5 минутда 3 км йўлни ўтади. Йўлнинг қиялиги 1 км га 4 м. Ишқаланиш коэффициенти 0,002 га тенг бўлса, поезднинг бажарган ишини ва қувватини топинг.

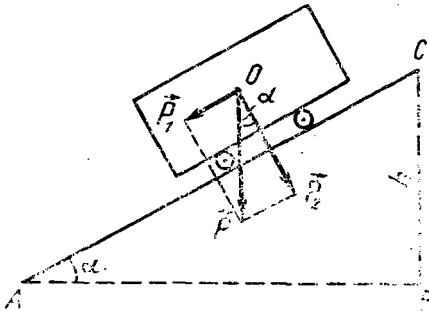
Берилган: $P = 49 \cdot 10^5 \text{ Н}$, $t = 5 \text{ мин} = 300 \text{ с}$, $s_1 = 3 \text{ км} = 3 \cdot 10^3 \text{ м}$, $s_2 = 1 \text{ км} = 10^3 \text{ м}$, $h = 4 \text{ м}$, $k = 0,002$.

Топиш керак: A — ? N — ?

Ечилиши: P оғирлик кучини иккита: йўлга параллел бўлган P_1 ва перпендикуляр бўлган P_2 ташкил этувчиларига ажратамиз (72-расм). Поезд F ишқаланиш кучига ва оғирлик кучининг P ташкил этувчисига қарши иш бажаради. Демак, изланаётган иш қуйидагига тенг бўлади:

$$A = (F_u + P_1) \cdot s_1.$$

72-расмдан фойдаланиб, $P_1 = P \sin \alpha$ ва $P_2 = P \cos \alpha$ эканлигини топамиз, бунда α — йўлнинг горизонтга нисбатан қиялиги. Ишқаланиш кучи $F_u = kP_2 = kP \cos \alpha$ га тенг бўлади. $\sin \alpha$ ва $\cos \alpha$ катталикларни топиш учун s_2 йўлга қўтарилиш ба-



72- расм.

ландлиги h эканлигидан фойдаланамиз. $\triangle ABC$ да $AC = s_2$ ва $BC = h$ бўлгани учун:

$$\sin \alpha = \frac{h}{s_2} = \frac{4 \text{ м}}{1000 \text{ м}} = 0,004;$$

$$\cos \alpha = \frac{\sqrt{s_2^2 - h^2}}{s_2} = \frac{\sqrt{(1000 \text{ м})^2 - (4 \text{ м})^2}}{1000 \text{ м}} = 0,9999 \approx 1.$$

Шундай қилиб,

$$A = (kP \cos \alpha + P \sin \alpha) \cdot s_1 = P (k \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot s_1.$$

Электropоезднинг қуввати қуйидагига тенг бўлади:

$$N = \frac{A}{t} = P (k \cos \alpha + \sin \alpha) \frac{s_1}{t}.$$

Ҳисоблаш: $A = 49 \cdot 10^5 \text{ Н} (0,002 \cdot 1 + 0,004) \cdot 3 \cdot 10^3 \text{ м} = 8,82 \cdot 10^7 \text{ Ж} = 8,82 \cdot 10^4 \text{ кЖ}$,

$$N = \frac{8,82 \cdot 10^7 \text{ Ж}}{300 \text{ с}} = 2,94 \cdot 10^5 \text{ Вт} = 294 \text{ кВт}.$$

4-масала. Тош юқорига вертикал равишда $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан отилди. Қан-

дай баландликда тошнинг кинетик энергияси унинг потенциал энергиясига тенг бўлади?

$$\text{Берилган: } v_0 = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}; E_K = E_P.$$

Топиш керак: h —?

Ечилиши: Маълумки, юқорига тик отилган жисм текис секинланувчан ҳаракат қилади. Шунинг учун

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

бўлади, бунда v жисмнинг h баландликдаги тезлиги бўлиб, унинг катталигини масаланинг шартидан фойдаланиб топиш мумкин. Жисмнинг массасини m билан белгилаб, масаланинг шартига мувофиқ,

$$\frac{mv^2}{2} = mgh$$

деб ёза оламиз. Бундан v^2 ни топамиз: $v^2 = 2gh$.

Демак,

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

бўлади. Бундан қидирилатган баландлик учун $h = v_0^2/4g$ ифодани ҳосил қиламиз.

$$\text{Ҳисоблаш: } h = \frac{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{4 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 2,55 \text{ м.}$$

5-масала. Оғирлиги 19,6 Н бўлган юкни 1 м баландликка ўзгармас куч билан вертикал кўтаришда 39,2 Ж иш бажарилган. Юк қандай тезланиш билан кўтарилган?

Берилган: $P = 19,6\text{Н}; h = 1\text{м}; A = 39,2\text{Ж}.$

Топиш керак: a —?

Ечилиши: A иш оғирлик кучига қарши бажарилган $P \cdot h$ иш билан жисмга a тезланиш берувчи кучнинг h йўлда бажарган $m a h$ ишнинг йиғиндисига тенг бўлади. Ph иш жисмнинг потенциал энергиясини ошириш учун сарфланади.

Шундай қилиб,

$$A = Ph + mah = Ph + \frac{P}{g} ah.$$

Бундан жисмнинг тезланиши

$$a = \frac{A - Ph}{Ph} g$$

га тенг бўлади.

$$\text{Ҳисоблаш: } a = \frac{39,2\text{Ж} - 19,6\text{Н} \cdot 1\text{м}}{19,6\text{Н} \cdot 1\text{м}} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

6-масала. Пружинани 4 мм чўзиш учун 0,02 Ж иш бажариш керак. Шу пружинани 4 см чўзиш учун қанча иш бажариш керак?

Берилган: $\Delta x_1 = 4\text{мм} = 4 \cdot 10^{-3}\text{м}; A_1 = 0,02\text{Ж}; \Delta x_2 = 4\text{см} = 4 \cdot 10^{-2}\text{м}.$

Топиш керак: A_2 —?

Ечилиши: Пружинани Δx_2 га чўзиш учун эластиклик кучига қарши

$$A_2 = \frac{k \Delta x_2^2}{2}$$

иш бажарилди, бу ерда k — пружинанинг бикрилиги бўлиб, уни пружинани Δx_1 га чўзишда бажарилган иш

$$A_1 = \frac{k \Delta x_1^2}{2}$$

формуласидан фойдаланиб топамиз:

$$k = \frac{2A_1}{\Delta x_1^2}$$

У вақтда изланаётган иш

$$A_2 = \frac{2A_1}{\Delta x_1^2} \cdot \frac{\Delta x_2^2}{2} = A_1 \frac{\Delta x_2^2}{\Delta x_1^2}$$

бўлади.

Ҳисоблаш:

$$A_2 = 0,02 \text{ Ж} \frac{16 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2}{16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2} = 2 \text{ Ж}$$

7-масала. Агар насос моторининг қуввати 14,7 кВт, қурилманинг ФИК 80% бўлса, 7 соат давомида чуқурлиги 500 м бўлган қудуқдан қанча нефтни чиқариш мумкин?

Берилган: $N = 14,7 \text{ кВт} = 147000 \text{ Вт}$,

$\eta = 80\% = 0,8$; $t = 7$ соат = 25200 с; $h = 500$ м.

Топиш керак: m — ?

Ечилиши: Нефтни қудуқдан чиқаришда бажарилган фойдали иш $A_{\text{ф}} = mgh$ га, насос моторининг t вақт ичида бажарган умумий иши $A_{\text{ум}} = N \cdot t$ га тенг бўлади. Бинобарин қурилманинг ФИК

$$\eta = \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{ум}}} = \frac{mgh}{N \cdot t}$$

Бундан қудуқдан чиқарилган нефтнинг массаси

$$m = \frac{\eta N t}{gh}$$

га тенг бўлади.

$$\text{Ҳисоблаш: } m = \frac{0,8 \cdot 147000 \text{ Вт} \cdot 25200 \text{ с}}{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 500 \text{ м}} \approx 6,04 \cdot 10^4 \text{ кг}$$

$$9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 500 \text{ м}$$

8-масала. Массаси 3кг бўлган шар $4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан ҳаракатланиб, худди шундай массадаги қўзғалмас шар билан тўқнашади. Урилишни марказий ва ноэластик деб ҳисоблаб, система кинетик энергиясининг урилишдан кейинги ўзгаришини топинг.

$$\text{Берилган: } m_1 = m_2 = 3 \text{ кг}; v_1 = 4 \frac{14}{\text{с}}; v_2 = 0.$$

Топиш керак: ΔE_k — ?

Ечилиши: Шарлар бир-бирига урилмасдан олдин системанинг тўла кинетик

энергияси $\frac{m_1 v_1^2}{2}$ га тенг бўлади. Урилишдан сўнг шарлар биргаликда бирор u тезлик билан ҳаракатланәдилар, бинобарин, системанинг тўла кинетик энергияси $\frac{(m_1 + m_2) u^2}{2}$ га тенг бўлади. Шунинг учун урилишдан сўнг система кинетик энергиясининг ўзгариши қуйидагича бўлади:

$$\Delta E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1 + m_2}{2} u^2.$$

Шарлар биргаликда ҳаракатининг u тезлигини импульснинг сақланиш қонунидан фойдаланиб топиш мумкин. Бу қонунга мувофиқ

$$m_1 v_1 = (m_1 + m_2) u$$

бўлади, бундан

$$u = \frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$$

Демак,

$$\Delta E_k = \frac{m_1 v_1^2}{2} - \frac{m_1 + m_2}{2} \left(\frac{m_1 v_1}{m_1 + m_2} \right)^2.$$

Соддалаштиришдан сўнг

$$\Delta E_k = \frac{m_1 m_2 v_1^2}{2(m_1 + m_2)}$$

ифодани ҳосил қиламиз.

$$\text{Ҳисоблаш: } \Delta E_k = \frac{3\text{кг} \cdot 3\text{кг} \cdot 16 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2(3 + 3)\text{кг}} = 12 \text{ Ж}.$$

9- масала. Қиялик бурчаги 30° бўлган қия текисликда массаси 400 кг бўлган юкни 0,3 ишқаланиш коэффициентида 2 м баландликка чиқариш учун қанча иш бажариш лозим? Қия текислигининг ФИҚ қанча?

Берилган: $\alpha = 30^\circ$, $m = 400$ кг, $h = 2$ м, $k = 0,3$.

Топиш керак: $A = ?$ $\eta = ?$

Ечилиши: Юкни қия текислик бўйича қўтаришда оғирлик кучининг қия текисликка параллел бўлган P_1 ташкил этувчиси ва F_u ишқаланиш кучини енгишда бажарилган умумий иш

$$A_{\text{ум}} = (F_u + P_1) \cdot s$$

га тенг бўлади, бу ерда s — қия текислигининг узунлиги (69- расмга қ.); расмдан

$$P_1 = P \sin \alpha; P_2 = P \cos \alpha \text{ ва } s' = \frac{h}{\sin \alpha}$$

эгани кўришиб турибди. Бинобарин,

$$F_u = kP_2 = kP \cos \alpha$$

ва бажарилган умумий иш

$$A_{\text{ум}} = (kP \cos \alpha + P \sin \alpha) \cdot \frac{h}{\sin \alpha}$$

га тенг бўлади. Соддалаштиришдан сўнг

$$A_{\text{ум}} = mgh (k \operatorname{ctg} \alpha + 1)$$

ифодага эра бўламин.

Қия текислигининг ФИК қуйидагига тенг бўлади:

$$\eta = \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{ум}}} \cdot 100 \% = \frac{mgh \cdot 100 \%}{mgh (k \operatorname{ctg} \alpha + 1)} = \frac{100 \%}{k \operatorname{ctg} \alpha + 1}$$

Ҳисоблаш:

$$A_{\text{ум}} = 400 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2 \text{ м} (0,3 \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ + 1) \approx 11,9 \cdot 10^3 \text{ Ж.}$$

$$\eta = \frac{100 \%}{0,3 \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ + 1} = 65 \%$$

Мустақил ечиш учун масалалар

61. 20 см йўлда қандай куч 100 Ж иш бажариши мумкин?

62. Бола чанани 100 Н куч билан тортиб бормоқда. Бунда арқон горизонтал йўналиш билан 30° бурчак ҳосил қилади. Бола чанани 50 м масофага силжитишда қанча иш бажаради?

63. Ўқ мийтиқдан $1000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ бошланғич тезликда отилиб чиқди ва ерга $50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан тушди. Агар ўқнинг массаси 10 г бўлса, ўқнинг учиб пайтида ҳаво қаршичилигини енгиш учун қанча иш сарфлаган?

64. Кран 20 кН юкни кўтармоқда. Краннинг кўтариш тезлиги $30 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$ бўлганда 5 секундда бажарилган ишни топинг.

65. 20 кг массали жисм 6 секунд давомида эркин тушади. Оғирлик кучининг бажарган ишини топинг.

66. Йўлнинг узунлиги 3 км бўлган горизонтал қисмида автомобилнинг тезлиги $36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ дан $72 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ гача оради. Автомобилнинг массаси 3т. Ишқаланиш коэффициентини 0,01. Автомобиль двигателининг бажарган ишини ва ўртача қувватини аниқланг.

67. Локомотивнинг тортиш кучи 250 кН га, қуввати $3 \cdot 10^3$ кВт га тенг. Агар поезд текис ҳаракатланаётган бўлса, 10,8 км масофани қанча вақтда ўтади?

68. Агар пружинага таъсир қилувчи кучнинг деформацияга мутаносиблиги ва уни 1 см сиқиш учун 29,4 Н куч кераклиги маълум бўлса, бу пружинани 20 см сиқишда қанча иш бажарилади?

69. Жисм горизонт билан 45° бурчак ташкил қилган қия текисликдан сирпаниб тушмоқда. Жисм 36,4 см масофани ўтганда $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезликка эришади. Жисмининг текисликка ишқаланиш коэффициентини топинг.

70. Электрпоезд $54 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$ тезлик билан ҳаракатланаётганда унинг моторлари 900 кВт қувватга эришади. Мотор ва узатувчи механизмларнинг фойдали иш коэффициентини 80 %. Моторнинг тортиш кучини аниқланг.

71. Фойдали иш коэффициентини 75% бўлган кўтариш крани $2,75 \cdot 10^4$ Н юкни кўтаради. Кран двигателининг қуввати 1,25 кВт бўлса, юк 25 секундда қандай баландликка кўтарилади?

72. Агар моторнинг қуввати 2,94 кВт, қурилманинги ФИК 70% бўлса, 20 м чуқурликдаги қудуқдан 2 соат давомида қанча сув чиқариш мумкин?

73. $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик билан ҳаракатланаётган 2 кг массали жисм $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ тезлик

билан ҳаракатланаётган 3 кг массали жисми қувиб етиб, унга марказий урилади. Урилиш эластик ва ноэластик бўлганда жисмларнинг тўқнашишдан кейинги тезликлари топилсин.

74. Массаси 5 кг бўлган жисм 2,5 кг оғирликдаги қўзғалмас жисм билан тўқнашгандан кейин, бу икки жисм системасининг кинетик энергияси 5 Ж га тенг бўлиб қолган. Урилишни марказий ва эластикмас ҳисоблаб, биринчи жисмнинг урилишдан олдинги кинетик энергияси топилсин.

IV б о б. СТАТИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ

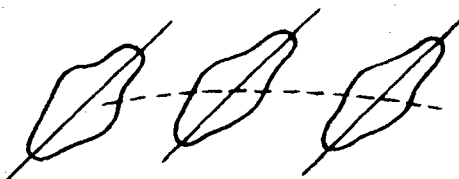
53- §. Абсолют қаттиқ жисм ҳақида тушунча

Қаттиқ жисмнинг ҳаракати. Жисмларнинг масса маркази

Маълумки, куч таъсирида жисмлар деформацияланади. Кўп ҳолларда бундай деформациялар шу қадар заиф бўладики, жисмларнинг ҳаракатини тавсифлашда уларни эътиборга олмас ҳам бўлади. Агар қаралаётган масаланинг шартларига биноан жисмнинг деформациясини эътиборга олмаслик мумкин бўлса, бундай жисм *абсолют қаттиқ жисм* дейилади. Шунинг назарда тутиш керакки, табиатда абсолют қаттиқ (яъни мутлақо деформацияланмайдиган) жисмлар йўқ. Фақат жисмлар маълум шароитларда ҳаракатланган вақтда деформацияни ҳисобга олмас ҳам бўладиган даражада кичиклиги уларни абсолют қаттиқ жисм деб қабул қилишга имкон беради.

Қаттиқ жисмнинг ҳар қандай ҳаракатини иккита асосий ҳаракат турига — илгариланма ва айланма ҳаракатларга ажратиш мумкин.

Илгариланма ҳаракат — бу шундай ҳаракатки, бунда ҳаракатланаётган жисм билан боғланган исталган тўғри чизиқ ҳаракат давомида ўзига параллеллигича қолади (73-расм). Бошқача қилиб айтганда, илгариланма ҳаракатда жисмнинг барча нуқталарининг бир хил вақт

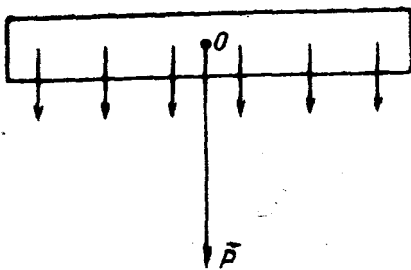


73- расм.

оралиқларида кўчиши катталиқ ва йўналиш жиҳатидан бир хил бўлади, шу сабабли барча нуқталарнинг тезлиги ва тезланиши вақтнинг ҳар бир momentiда бир хил бўлади. Шунинг учун илгариланма ҳаракат жисмнинг битта нуқтасининг — унинг *масса марказининг ҳаракати* деб қаралиши мумкин. Бунда биз жисмнинг бутун массаси унинг масса марказида тўпланган деб ҳисоблашимиз керак.

Барча жисмларнинг масса марказлари уларнинг *оғирлик марказлари* билан устма-уст тушади.

Жисмларнинг оғирлик марказини қуйидагича усул билан аниқлаш мумкин. Маълумки, ҳар қандай жисм жуда кўп майда қисмлардан иборат. Шундай қисмларнинг ҳар бирига Ернинг



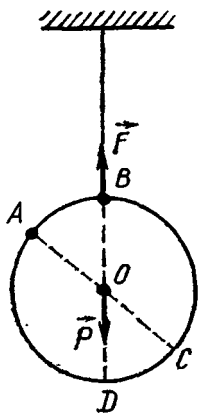
74- расм.

таъсир этувчисини топиш мумкин (57- § га қ.)

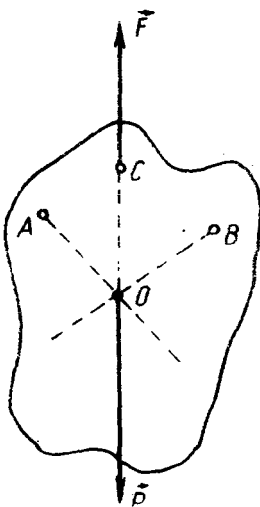
Жисмнинг ҳар бир айрим қисмига таъсир этувчи оғирлик кучларининг тенг таъсир этувчиси қўйилган нуқта оғирлик маркази бўлади. Бинобарин, *оғирлик кучи қўйилган нуқта жисмнинг оғирлик маркази* дейилади.

74- расмда бир жинсли (яъни бутун узунлиги бўйича кўндаланг кесими бир хил бўлган ва бир хил моддадан ясалган) металл таёқчанинг айрим қисмларига таъсир этувчи параллел кучлар ва уларнинг тенг таъсир этувчиси бўлган \vec{P} оғирлик кучи қўйилган O нуқта (оғирлик маркази) кўрсатилган.

Симметрия марказига эга бўлган бир жинсли жисмларнинг оғирлик маркази уларнинг геометрик (симметрия) маркази билан устма-уст тушади. Масалан, бир жинсли учбурчак шаклидаги пластинканинг оғирлик маркази учбурчак медианалари кесишган нуқтада, бир жинсли параллелограмм шаклидаги



75- расм.



76- расм.

марказига томон йўналган оғирлик кучи таъсир қилади. Ернинг ўлчами катта бўлгани учун бу кучларни бир-бирига параллел деб ҳисоблаш мумкин. Бинобарин, ҳар қандай жисмга жуда кўп параллел кучлар таъсир қилади. Бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси жисмнинг бутун оғирлигини ифодалайди. Параллел кучларни қўшиш қонидасидан фойдаланиб, кучларнинг тенг

пластинканинг оғирлик маркази унинг диагоналлари кесишган нуқтада бўлади ва ҳақозо. Оғирлик маркази жисмдан ташқарида ҳам мавжуд бўлиши мумкин. Масалан, ҳалқанинг оғирлик маркази унинг геометрик маркази билан мос келади.

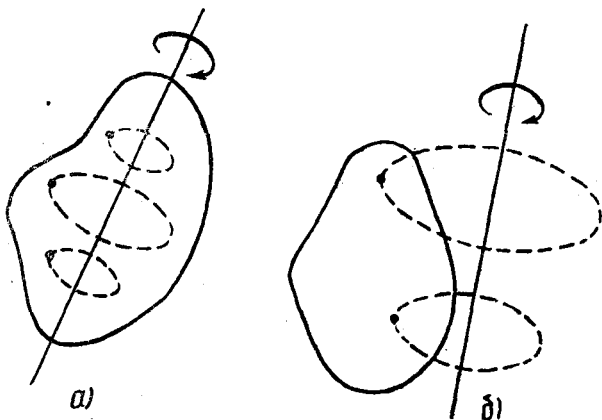
Агар жисм бир жинслимас (ёки симметрия марказига эга бўлмаса) ва ясси бўлса, унинг оғирлик марказини тажриба йўли билан аниқлаш мумкин. Бунинг учун жисмнинг икки нуқтасидан

навбатма-навбат осилади ва бу нуқталардан вертикаллар ўтказилади (75-расм). Вертикалларнинг кесиши нуқтаси яси жисмининг оғирлик маркази бўлади.

Осиш усулидан фойдаланиб, исталган шаклдаги яси жисмининг оғирлик марказини амалий равишда топиш мумкин. 76-расмда ихтиёрий шаклдаги фанер бўлагининг оғирлик маркази A , B ва C осиш нуқталаридан ўтказилган вертикал чизиклар кесишган O нуқтада ётиши тасвирланган.

Жисмларнинг масса марказлари оғирлик марказлари билан устма-уст тушгани туфайли, жисмга таъсир этувчи оғирлик кучи масса марказига қўйилган дейиш мумкин.

Масса марказининг ҳаракати массаси жисмнинг массасига тенг бўлган моддий нуқтанинг ҳаракати каби бўлади.



77-расм.

Айланма ҳаракат вақтида жисмининг барча нуқталари марказлари *айланиш ўқи* деб аталувчи бирдан-бир чизикда ётувчи айланалар бўйлаб бир хил бурчак тезлик билан ҳаракатланади (77-а расм). Айланиш ўқи жисмдан ташқарида ётиши ҳам мумкин (77-б расм). Айланма ҳаракатни тавсифлаш учун айланиш ўқининг фазодаги вазиятини, жисмининг вақтнинг ҳар бир пайтидаги бурчак тезлигини билиш керак бўлади.

54-§. Кучлар таъсирида жисмининг мувозанат шартлари

24-§ да қайд қилиб ўтганимиздек, кўп ҳолларда жисмга бир вақтда бир неча куч таъсир қилишига қарамай, у нисбатан тинч ҳолатда бўлади ёки тўғри чизикли текис ҳаракат қилади, яъни жисмининг тезланиши нолга тенг бўлади.

Кучлар таъсирида тезланиш олмайдиган жисмлар *мувозанат ҳолатидаги жисмлар* дейилади.

Механиканинг кучлар таъсирида жисмларнинг мувозанатда бўлиш шартларини ўрганадиган бўлими *статика* деб аталади.

Маълумки, ҳар қандай жисм илгариланма ҳаракат қилиши ва ундан ташқари бирор ўқ атрофида айланиши ёки бурилиши мумкин. Жисмларнинг ана шу икки турли ҳаракатда бўлиши мумкин бўлган мувозанат шартларини кўриб чиқайлик.

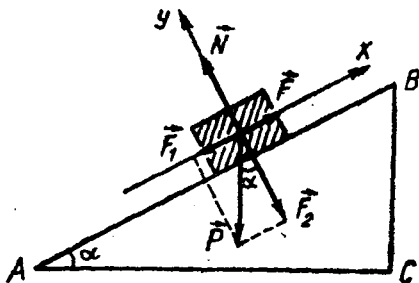
Авалло, айланиш бўлмаган ҳолда (яъни илгариланма ҳаракатда) жисмнинг мувозанат шартини аниқлайлик. Бу ҳолни парашютчининг ҳаракати мисолида кўриб чиқайлик.

Парашютчи тушаётганида унга бир вақтнинг ўзида бир тўғри чизиқ бўйича пастга йўналган оғирлик кучи ва юқорига йўналган ҳавонинг қаршилиқ кучи таъсир қилади. Тушиш бошлангандан парашют очилгунча оғирлик кучи ҳавонинг қаршилиқ кучидан катта бўлгани учун парашютчи тезланувчан ҳаракат билан тушади. Парашют очилгандан сўнг ҳавонинг қаршилиқ кучи оғирлик кучидан катта бўлгани учун парашютчи секинланувчан ҳаракат қилади. Аммо бирор вақтдан кейин оғирлик кучи ҳавонинг қаршилиқ кучига тенг бўлиб қолади ва парашютчи шу вақтдаги тезлиги билан тўғри чизиқли текис ҳаракат қилиб туша бошлайди. Бу вақтда оғирлик кучи билан ҳавонинг қаршилиқ кучи бир-бирини компенсациялайди, бинобарин, парашютчининг тезланиши нолга тенг бўлади. Демак, парашютчи мувозанат ҳолатида бўлади.

Жисмга бир тўғри чизиқ бўйича таъсир қилувчи иккита тенг ва қарама-қарши йўналган кучлар ўзаро *мувозанатланувчи кучлар* дейилади.

Амалда бир-бирини мувозанатловчи кучлар фақат иккита бўлмасдан бир нечта кучлардан иборат бўлган ҳоллар кўпроқ учрайди. Ньютоннинг иккинчи қонунидан шундай хулоса келиб чиқадики, агар жисмга таъсир этувчи барча кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлса, бу жисмнинг тезланиши ҳам нолга тенг бўлади, демак, жисм мувозанат ҳолатида бўлади. Агар тенг таъсир этувчи куч нолга тенг бўлмаса, у ҳолда жисмни мувозанатга келтириш учун бу тенг таъсир этувчи кучни аниқлаб, сўнгра уни мувозанатлайдиган қўшимча куч қўйиш керак.

Тенг таъсир этувчи кучга миқдор жиҳатидан тенг бўлган ва бу куч билан бир тўғри чизиқда ётган, лекин қарама-қарши томонга йўналган куч мувозанатловчи куч дейилади.



78- расм.

Шундай қилиб, айланиш бўлмаган ҳолда жисмнинг мувозанатда бўлиши учун жисмга қўйилган кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлиши зарур.

Агар кучларнинг геометрик йиғиндиси нолга тенг

бўлса, у ҳолда бу кучлар векторларининг ҳар қандай ўқдаги проекцияларининг йиғиндиси ҳам нолга тенг бўлади. Шунинг учун жисмнинг мувозанат шартини яна қуйидагича ифодалаш мумкин: *айланиш бўлмаган ҳолда жисм мувозанатда бўлиши учун жисмга қўйилган кучларнинг ҳар қандай ўқдаги ташкил этувчилари йиғиндиси нолга тенг бўлиши зарур.*

Мисол сифатида қия текисликдаги жисмнинг ишқаланиш бўлмаган ҳолдаги мувозанат шартини кўриб чиқайлик.

Узунлиги $l=AB$, баландлиги $h=BC$ бўлган ABC қияликда оғирлиги \vec{P} бўлган юк турган бўлсин (78-расм). \vec{P} кучни иккита ташкил этувчига — қия текисликка параллел бўлган \vec{F}_1 кучга ва унга перпендикуляр йўналишдаги \vec{F}_2 кучга ажратамиз. \vec{F}_2 куч билан юк қия текисликни босади, натижада деформацияланган текислик миқдор жиҳатдан F_2 кучга тенг, лекин қарама-қарши томонга йўналган \vec{N} куч (текисликнинг реакция кучи) билан юкка таъсир қилади. \vec{F}_1 куч таъсирида юк қия текисликдан пастга қараб туша бошлайди. Ишқаланишни ҳисобга олмасак, юкни қия текисликда мувозанатда сақлаб қолиш учун унга қия текисликка параллел равишда юқорига йўналган ва сон қиймати $|\vec{F}_1|$ га тенг бўлган қўшимча \vec{F} куч қўйиш керак. У ҳолда юкка учта куч: \vec{P} оғирлик кучи, қия текисликнинг \vec{N} реакция кучи ва қўшимча қўйилган \vec{F} кучлар таъсир қилади.

78-расмдан кўринадики, оғирлик кучининг \vec{F}_1 ташкил этувчиси қуйидагига тенг: $\vec{F}_1 = P \sin \alpha = P \frac{h}{l}$, бунда α — текисликнинг қиялиги. Демак, қия текисликдаги жисмнинг мувозанат шarti $F = P \cdot \sin \alpha = P \frac{h}{l}$ кўринишда ифодаланади. Агар бу шарт бажарилса, у ҳолда юкка таъсир қилаётган барча кучларнинг геометрик йиғиндиси нолга тенг бўлади, яъни

$$\vec{F}_1 + \vec{F} + \vec{F}_2 + \vec{P} = 0.$$

Расмдан бу кучларнинг X ўққа проекциялари

$$(\vec{F}_1)_x = -F_1; (\vec{F})_x = F; (\vec{N})_x = 0, (\vec{F}_2)_x = 0$$

ва Y ўққа проекциялари

$$(\vec{F}_1)_y = 0; (\vec{F})_y = 0; (\vec{N})_y = N; (\vec{F}_2)_y = -F_2$$

эканига ишонч ҳосил қилиш қийин эмас. $|\vec{F}_1| = |\vec{F}|$ ва $|\vec{F}_2| = |\vec{N}|$ эканидан, кучларнинг X ўққа проекцияларининг йиғиндиси

$$-F_1 + F = 0$$

ва Y ўққа проекцияларининг йиғиндиси ҳам

$$-F_2 + N = 0$$

экани келиб чиқади.

Демак, жисмга таъсир этувчи кучлар йиғиндисини нолга тенг бўлса, жисм мувозанатда бўлар экан.

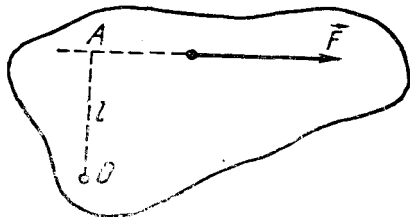
55-§. Куч моменти. Жуфт кучлар моменти

Куч таъсирида жисмлар фақат айланма ҳаракат қилаётган бўлсин. Масалан, уй эшиги, маховик гилдираклари, радиола пластинкаси, руль чамбараклари, чарх тоши ва шу кабилар куч таъсирида айланма ҳаракат қилишларини биз кузатишлардан биламиз. Кучнинг айлантирувчи таъсири қандай катталик билан ифодаланишини аниқлайлик.

Тажрибалардан маълумки, уй эшигини унинг айланиш ўқиغا (ошиқ-мошиққа) яқин жойидан итариб очиш учун анча куч керак. Аксинча, айланиш ўқидан анча нари жойдан итарсак, эшик осонгина очилади. Радиола пластинкасини қўл билан айлантириб кўрайлик. Бунда ҳам қўл бармоғимизни пластинканинг айланиш ўқиغا яқинроқ жойига босиб пластинкани айлантириш учун анча куч қўйиш кераклигини кўрамиз. Агар айланиш ўқидан узокроқдан босиб айлантурсак, у осон айланади.

Шунга ўхшаш тажрибалардан айланиш ўқи бўлган жисмга кучнинг таъсири фақат кучнинг катталигига эмас, шунингдек кучнинг қўйилиш нуқтасидан айланиш ўқиғача бўлган масофага ҳам боғлиқ бўлиши кўриниб турибди.

Айланиш ўқидан кучнинг таъсир чизиғигача бўлган энг қисқа масофа куч елкаси деб аталади.



79- расм.

Куч елкасининг узунлигини аниқлаш учун O айланиш ўқидан кучнинг таъсир чизиғига OA перпендикуляр туширилади (79- расм). Айланиш ўқидан кучнинг таъсир чизиғи йўналишига туширилган перпендикулярнинг кесишган A нуқтасигача бўлган $l = OA$ масофа куч елкасини ифодалайди. Куч ва кучнинг елкаси қанча катта бўлса, кучнинг ай-

лантирувчи таъсири шунча катта бўлади, яъни кучнинг айлантирувчи таъсири кучнинг катталигига ва елканинг узунлигига тўғри пропорционалдир. Кучнинг бундай таъсири *куч моменти* деб аталадиган катталик билан характерланади.

Кучнинг унинг елкасига кўпайтмаси билан ўлчанадиган катталик кучнинг айланиш ўқиға нисбатан олинган айлантирувчи моменти ёки қисқача куч моменти деб аталади.

Куч моментини M ҳарфи билан белгиласак, у ҳолда таърифга мувофиқ

$$M = F \cdot l$$

(120)

бўлади.

Айланиш ўқидан ўтган тўғри чизиқ бўйлаб йўналган кучнинг momenti нолга тенг бўлади, чунки куч елкаси нолга тенг бўлади, куч ҳеч қандай айлантирувчи таъсир кўрсатмайди.

(120) формуладан кўринишича, куч моментининг бирлиги қилиб таъсир чизиғи айланиш ўқидан бир бирлик масофада турган бир бирлик кучнинг моментини олиши керак.

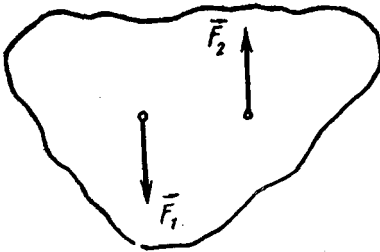
СИ да куч моментининг бирлиги қилиб таъсир чизиғи айланиш ўқидан бир метр масофада турган бир ньютон кучининг momenti қабул қилинган. Бу бирлик ньютон-метр (Н·м) деб аталади:

$$[M] = [F] \cdot [l] = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

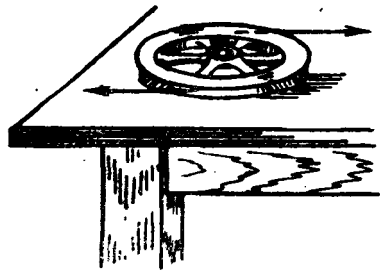
Амалда кўпинча жисмга *жуфт кучлар* деб аталадиган кучларнинг таъсирига дуч келамиз. Масалан, шофёр қўллари ёрдамида жуфт кучлар ҳосил қилиб руль чамбарагини буради, Ернинг магнит майдони магнит стрелкасига жуфт кучлар билан таъсир этиб, унинг бир учини шимолга, иккинчи учини жанубга томон буради ва ҳоказо.

Жуфт кучлар деб бир тўғри чизиқда таъсир қилмаётган иккита бир-бирига тенг ва параллел, қарама-қарши йўналган кучларга айтилади.

80-расмда \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 жуфт кучлар тасвирланган. Жуфт кучларни



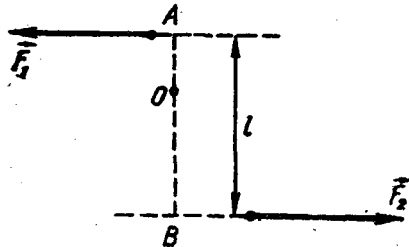
80- расм.



81- расм.

бир куч билан алмаштириб бўлмайди, яъни уларнинг тенг таъсир этувчиси бўлмайди. Шунинг учун жуфт кучлар жисмга илгариланма ҳаракат бера олмайди, жуфт кучлар жисмни айлантиради. 81-расмда айланиш ўқидан чиқариб олинган ғилдирак жуфт кучлар таъсирида айланма ҳаракат қилиши кўрсатилган.

Жуфт кучларнинг жисмни



82- расм.

айлантирувчи таъсири ҳам куч momenti билан характерланади. Жуфт кучларнинг таъсир чизиқлари орасидаги энг қисқа масофа *жуфт кучнинг елкаси* дейилади (82- расм). Кучлардан бирининг куч елкасига қўпайтмаси жуфт кучларнинг momenti деб аталади. Жуфт кучлар momentининг катталиги айланиш ўқининг вазиятига боғлиқ бўлмайди.

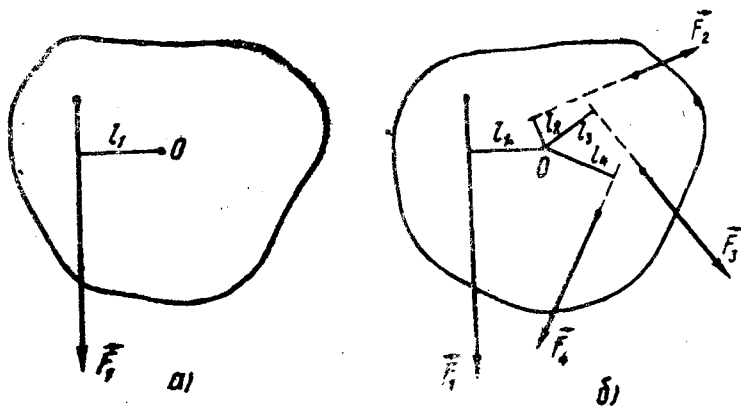
56- §. Куч momentларини қўшиш. Айланиш ўқига бириктирилган жисмнинг мувозанат шартлари

23- § да биз жисмга бир вақтда таъсир этувчи бир неча кучни битта тенг таъсир этувчи куч билан алмаштириш мумкинлиги ҳақида тўхтаб ўтган эдик. Шу каби бир неча куч momentларини ҳам шундай битта куч momentи билан алмаштириш мумкинки, бунда унинг таъсирида жисмнинг айланма ҳаракати ўзгармаслигини тажрибалар кўрсатади. Масалан, O нуқтадан ўтувчи қўзғалмас айланиш ўқига эга бўлган жисмга таъсир этувчи \vec{F}_1 кучни (83- а расм) \vec{F}_2 , \vec{F}_3 ва \vec{F}_4 кучлар билан шундай алмаштирамлики натижада жисм мувозанат ҳолатига ўтсин (83- б расм). Демак, \vec{F}_2 , \vec{F}_3 ва \vec{F}_4 кучларнинг жисмга айлантириш таъсири битта \vec{F}_1 кучнинг таъсирига тенг бўлади, яъни \vec{F}_2 , \vec{F}_3 ва \vec{F}_4 кучлар momentларининг алгебраик йиғиндиси \vec{F}_1 кучнинг momentига тенг бўлади:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 + F_3 l_3 + F_4 l_4.$$

Бу шуни кўрсатадики, жисмни бир томонга айлантирувчи барча кучларнинг умумий momentи шу кучлар momentларининг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади.

Бир неча кучлар momentларини битта (нативий) куч momentи билан алмаштириш куч momentларини қўшиш дейилади.



83- расм.

Моменти $M_1 = F_1 l_1$ га тенг бўлган \vec{F}_1 куч жисмни O ўқ атрофида соат миля ҳаракатига қарши йўналишда айлантиради. Моментлари $M_2 = F_2 l_2$, $M_3 = F_3 l_3$ ва $M_4 = F_4 l_4$ га тенг бўлган \vec{F}_2 , \vec{F}_3 ва \vec{F}_4 кучлар эса жисмни соат миля ҳаракати йўналишида айлантиради.

Бинобарин, жисм

$$M_1 = M_2 + M_3 + M_4$$

шарт бажарилгандагина мувозанатда бўла олади.

Қарама-қарши томонга айланиш ҳосил қиладиган кучлар моментини фарқ қилиш учун, жисмни соат миля ҳаракатига тескари йўналишда айлантирувчи куч моментини мусбат, жисмни соат миля ҳаракати йўналишида айлантирувчи куч моментини манфий деб олиш шартлашилган. Жисмга таъсир этувчи куч моментларининг ишораларини эътиборга олиб, айланиш ўқиға эға бўлган жисмнинг мувозанатда бўлиш шартини шундай ёзиш мумкин:

$$\vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \vec{M}_3 + \vec{M}_4 = 0. \quad (121)$$

Кўзғалмас айланиш ўқиға эға бўлган жисм мувозанатда бўлиши учун жисмни айлантираётган барча кучлар моментларининг алгебраик йиғиндиси нолға тенг бўлиши керак.

Бу қонда кучлар моментлари қондаси деб аталади ва у айланиш ўқи маҳкамланган жисмнинг мувозанат шартини ифода далайди.

Моментлар қондасини қисқача

$$\sum_{i=1}^n (F \cdot l)_i = 0 \quad \text{ёки} \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0 \quad (122)$$

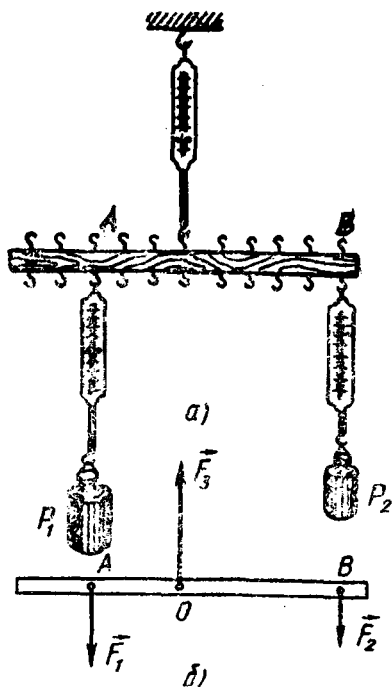
кўринишда ёзиш мумкин.

Шуни қайд қилиб ўтамизки, жисмларнинг илгариланма ҳаракатида куч қандай роль ўйнаса, уларнинг айланма ҳаракатларида куч momenti ҳам худди шундай роль ўйнайди.

57-§. Параллел кучларни қўшиш

Жисмға таъсир қилувчи бир томонга йўналган параллел кучларнинг тенг таъсир этувчиси нимаға тенг эканлигини ва унинг қўйилиш нуқтаси қандай аниқланишини қараб чиқайлик. Бунинг учун тажрибаға мурожаат қиламиз.

Илгақлари бир-биридан бир хил оралиқда жойлашадиган қилиб қоқилган линейка-ричағни динамометр воситасида кўзғалмас осмага осамиз ва унинг A ва B илгақларига P_1 ва P_2 юкларни илиб қўямиз (84-а расм). (Айланиш ўқи бўлган ҳар қандай жисм *ричағ* деб аталади. Одатда ричағ деганда таянч атрофида худди айланиш ўқи атрофида айлангандек бурилла оладиган металл таёқча тушунилади.) Бу юкларнинг катталиги уларға бириктирилган динамометрлар кўрсатишларидан



84- расм.

аниқланади. Ричагнинг айлиниш ўқи унинг O осилиш нуқтасидан ўтади, деб ҳисоблаш мумкин. Шундай қилиб ричагга бир вақтнинг ўзида осилган P_1 ва P_2 юкларнинг \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 оғирлик кучлари ҳамда юқорида динамометр пружинасининг \vec{F}_3 таранглик кучи таъсир этади. Ричагнинг оғирлиги юкларнинг оғирлигига нисбатан анча кичик деб ҳисоблаб, унинг оғирлигини назарга олмаймиз. У ҳолда ричаг учта \vec{F}_1 , \vec{F}_2 ва \vec{F}_3 кучларнинг таъсирида мувозанат ҳолатида турибди, дейиш мумкин. Мувозанат ҳолатида динамометр пружинаси вертикал йўналишда жойлашгани учун \vec{F}_3 куч \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларга параллел ва қарама-қарши йўналган бўлади. Демак, ричагнинг бу ҳолати учун

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

деб ёза оламиз, яъни \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларни мувозанатлайдиган \vec{F}_3 куч уларнинг йиғиндисига тенг бўлиб, юқорига қараб йўналади (84-б расм). Бинобарин, бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси ҳам уларнинг йиғиндисига тенг ва мувозанатловчи \vec{F}_3 кучга тескари томонга, яъни пастга қараб йўналган бўлади.

Ричагнинг O осилиш нуқтаси билан юкларнинг A ва B қўйиلىш нуқталари орасидаги масофаларни ричагнинг мувозанат шарти

$$F_1 \cdot OA = F_2 \cdot OB$$

дан аниқлаш мумкин. Бундан

$$\frac{OB}{OA} = \frac{F_1}{F_2} \text{ ёки } \frac{l_2}{l_1} = \frac{F_1}{F_2} \quad (123)$$

экани келиб чиқади, бу ерда $l_1 = OA$ масофа \vec{F}_1 кучнинг елкаси, $l_2 = OB$ масофа эса \vec{F}_2 кучнинг елкаси.

(123) формуладан, мувозанатловчи кучнинг қўйилиш нуқтаси AB масофани кучлар нисбатига тескари нисбатда бўлган қисмларга ажратиши кўринади.

Шундай қилиб:

1) бир томонга йўналган икки параллел кучнинг тенг таъсир этувчиси шу кучларнинг йиғиндисига тенг, уларга параллел ва улар билан бир томонга йўналган бўлади;

2) икки параллел куч тенг таъсир этувчисининг қўйилган нуқтаси шу икки кучнинг қўйилган нуқталари орасидаги масофани шу кучларга тескари мутаносиб қисмларга бўлади.

Бир томонга йўналган ҳар қандай параллел кучларни икита-иккитадан қўшиб, пировардида икки кучга келтириш мумкинлигидан, бир томонга йўналган ҳар қанча параллел кучларнинг тенг таъсир этувчиси уларнинг йиғиндисига тенг, деган хулоса келиб чиқади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Қандай жисм абсолют қаттиқ жисм дейилади?
2. Жисмнинг оғирлик маркази деб нимага айтилади ва уни тажриба йўли билан қандай аниқлаш мумкин?
3. Жисмнинг масса маркази деб нимага айтилади?
4. Қандай вазиятда жисм мувозанатда бўлади?
5. Мувозанатловчи куч деб қандай кучга айтилади? Мисоллар келтиринг.
6. Айланиш бўлмаганда жисмнинг мувозанат шартлари қандай бўлади?
7. Кучнинг жисми айлантирувчи таъсири нималарга боғлиқ? Мисоллар келтиринг.
8. Куч momenti нима ва у қандай birlikларда ifodalanaди?
9. Қандай кучлар жуфт кучлар дейилади?
10. Жуфт кучнинг momenti нимага тенг?
11. Куч momentларини қўшиш деганда сиз нимани тушунасиз?
12. Momentлар қондаси нима?
13. Параллел кучларни қўшишни тушунтиринг.

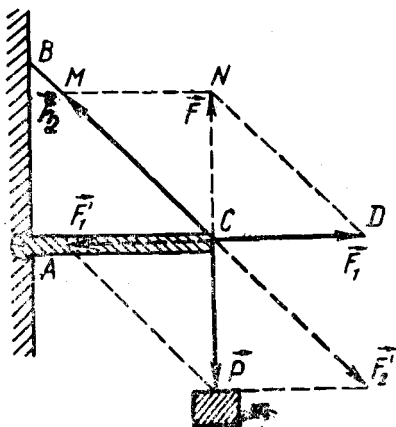
Масала ечиш намуналари

1-масала. Бир учи билан деворга шарнирли маҳкамланган, узунлиги 2 м бўлган AC пўлат симга 120 кг массали юк осилган ва узунлиги 2,5 м бўлган пўлат сим билан тутиб турилади (85-расм). Пўлат симга ва пўлат таёқчага таъсир этувчи кучларни топинг.

Берилган: $AC = 2$ м, $BC = 2,5$ м, $m = 120$ кг.

Топиш керак: F'_1 —? F'_2 —?

Ечилиши: C нуқтага m массали юкнинг P оғирлиги таъсир қилади. Натижада AC металл таёқча қисилади ва C нуқтага \vec{F}_1 куч билан таъсир қилади. BC пўлат сим эса чўзилади, шунинг учун C нуқтага \vec{F}_2 куч билан таъсир қилади. \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларнинг \vec{F} тенг таъсир этувчиси \vec{P} оғирлик кучига тенг ва қарама-қарши йўналган, яъни \vec{P} кучни мувозанатловчи куч бўлади. \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларни яшаш учун \vec{P} кучни AC ва BC йўналишлар бўйича ташкил этувчиларга ажратамиз (85-расмга қ.)



85- расм.

ABC ва CDN учбурчакларнинг ўхшашлигидан

$$\frac{P}{F_1} = \frac{AB}{AC}, \text{ бундан, } F_1 = P \frac{AC}{BA}$$

бўлади. $P = mg$ ва $AB = \sqrt{(BC)^2 - (AC)^2}$ эканидан

$$F_1 = mg \frac{AC}{\sqrt{(BC)^2 - (AC)^2}}$$

ифодани ҳосил қиламиз.

Тўғри бурчакли CMN учбурчакдан

$$CM = \sqrt{(MN)^2 + (CN)^2} \text{ ёки } F_2 = \sqrt{F_1^2 + P^2}$$

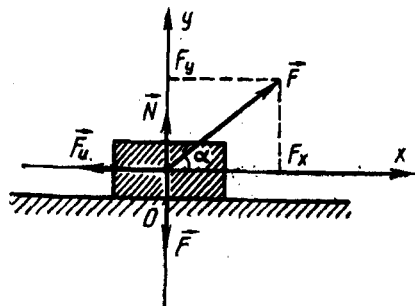
эканини топамиз.

Изланаётган \vec{F}'_1 ва \vec{F}'_2 кучлар катталиқ жиҳатидан \vec{F}_1 ва \vec{F}_2 кучларга тенг, йўналиш жиҳатидан уларга қарама-қарши бўлиб, мос равишда металл таёқча ва пўлат симга қўйилган.

$$\text{Ҳисоблаш: } F'_1 = 120 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \frac{2 \text{ м}}{\sqrt{(6,25 - 4) \text{ м}^2}} = 1,6 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$F'_2 = \sqrt{(1,6 \cdot 10^3 \text{ Н})^2 + \left(120 \cdot 9,8 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)^2} = 2 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

2-масала. Массаси 100 кг бўлган юк горизонтал текисликда горизонтга нисбатан 30° бурчак остида қўйилган куч таъсирида текис силжимоқда. Агар ишқаланиш коэффициентини 0,3 га тенг бўлса, юкка қўйилган кучнинг катталигини топинг.



86- расм.

Берилган: $m = 100 \text{ кг}$, $\alpha = 30^\circ$
 $k = 0,3$.

Топиш керак: $F - ?$

Ечилиши: Жисмга $\vec{P} = m\vec{g}$ оғирлик кучи, горизонтга нисбатан α бурчак остида қўйилган \vec{F} куч, горизонтал текисликнинг \vec{N} реакция кучи ва \vec{F}_u ишқаланиш кучи таъсир қилади (86-расм). Юк текис ҳаракатланаётгани учун, яъни у мувозанат ҳолатида бўлгани учун бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлиши керак. Шунингдек, бу кучларнинг ихтиёрий танлаб олинган координата ўқиغا, жумладан, OY ва OX ўқларга бўлган проекциялари ҳам нолга тенг бўлиши керак. Шунинг учун

$$F_x - F_u = 0, \quad (a)$$

$$F_y + N - P = 0 \quad (b)$$

деб ёза оламиз. $F_x = F \cos \alpha$, $F_y = F \sin \alpha$, $F_n = kN$ бўлганлигидан ҳамда (б) тенгламадан $N = P - F_y$ эканидан (а) тенглама қуйидаги кўринишга келади:

$$F \cos \alpha - k(mg - F \sin \alpha) = 0.$$

Бундан

$$F = \frac{kmg}{\cos \alpha + k \sin \alpha}$$

бўлади.

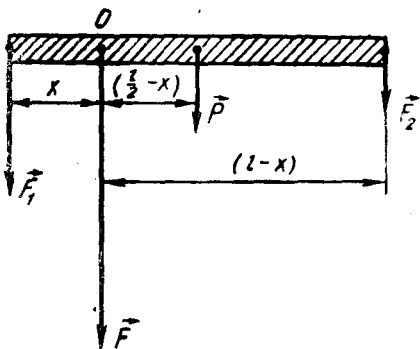
$$\text{Ҳисоблаш: } F = \frac{0,3 \cdot 100 \text{ кг} \cdot 9,8}{0,866 + 0,3 \cdot 0,5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \approx 294 \text{ Н.}$$

3-масала. Массаси 10 кг, узунлиги 40 см бўлган металл таёқчанинг учларига массалари 40 кг ва 10 кг бўлган юклар осилган. Металл таёқча мувозанатда туриши учун унинг қаеридан таянчга қўйиш лозим?

Берилган: $m = 10 \text{ кг}$; $l = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$; $m_1 = 40 \text{ кг}$; $m_2 = 10 \text{ кг}$.

Топиш керак: x — ?

Ечилиши: металл таёқча мувозанатда туриши учун катта юк қўйилган учига яқинроқ жойидан таянчга қўйилиши керак. Металл таёқчанинг бу учидан таянчга қўйилган нуқтасигача бўлган узунлигини x билан белгилайлик (87-расм). Металл таёқчанинг айланиш ўқи таянч қўйилган O нуқтадан ўтади, деб ҳисоблаш мумкин. Шунинг учун x масофа \vec{F}_1 кучнинг, $\left(\frac{l}{2} - x\right)$ ма-



87-расм.

софа \vec{P} кучнинг ва $l - x$ масофа эса \vec{F}_2 кучнинг елкаси бўлади. Металл таёқча мувозанатда бўлиши учун бу кучларнинг O айланиш ўқи-га нисбатан олинган куч моментларининг йиғиндиси нолга тенг бўлиши зарур. Куч моментларининг ишораларини назарга олиб, металл таёқчанинг мувозанатда бўлиш шартини қуйидагича ёзамиз:

$$F_1 x - P \left(\frac{l}{2} - x \right) - F_2 (l - x) = 0.$$

Тенгламани x га нисбатан ечсак,

$$x = \frac{l \left(\frac{P}{2} + F_2 \right)}{F_1 + P + F_2} \quad \text{ёки} \quad x = \frac{l \left(\frac{m}{2} + m_2 \right)}{m_1 + m + m_2}$$

ифодага эга бўламиз.

$$\text{Ҳисоблаш: } x = \frac{0,4 \text{ м} (5 \text{ кг} + 10 \text{ кг})}{40 \text{ кг} + 10 \text{ кг} + 10 \text{ кг}} = 0,1 \text{ м.}$$

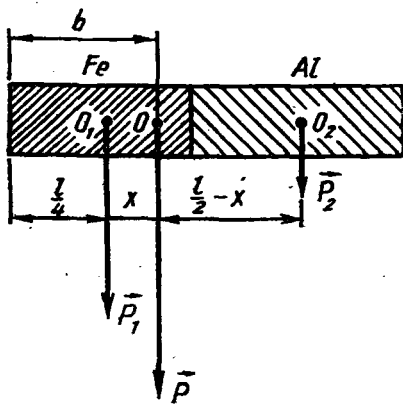
4-масала. Цилиндрик металл таёқчанинг ярми пўлатдан, ярми алюминийдан иборат. Агар бутун металл таёқчанинг узунлиги 30 см бўлса, унинг оғирлик марказининг вазиятини аниқланг.

Берилган: $l = 30 \text{ см} = 0,3 \text{ м}$, $\rho_1 = 7,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_2 = 2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Топиш керак: b — ?

Ечилиши: Масаланинг шартига биноан металл таёқчанинг шаклини чизиб, унинг пўлатдан ясалган қисмининг оғирлигини P_1 билан, алюминийдан ясалган қисмининг оғирлигини P_2 билан белгилаб оламиз (88-расм). Равшанки $P_1 > P_2$. Бу кучлар параллел бўлгани учун бутун стержоннинг оғирлиги шу иккала кучнинг тенг таъсир этувчисига, яъни уларнинг йиғиндисига тенг ва улар билан бир томонга йўналган бўлади. Демак, $\vec{P} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$ ёки $P = P_1 + P_2$.

Металл таёқчанинг оғирлик марказининг вазиятини, масалан, пўлат стержоннинг учидан O оғирлик марказигача бўлган b масофани аниқлайлик. Бун-



88- расм.

да оғирлик маркази пўлат стерженнинг учига яқинроқ бўлган нуқтада эканини қайд қилиб ўтаемиз.

\vec{P} куч қўйилган O нуқта \vec{P}_1 ва \vec{P}_2 кучлар қўйилган O_1 ва O_2 нуқталар орасидаги масофани шу кучларга тесқари мутаносиб қисмларга бўлишини биз биламиз (57- § га қ.). Металл таёқча цилиндрик шаклда ва иккала қисми тенг ва бир жинсли бўлгани учун \vec{P}_1 ва \vec{P}_2 кучлар қўйилган нуқталар орасидаги O_1O_2 масофа $l/2$ га тенг бўлади, l — металл таёқчанинг узунлиги (88- расмга қ.). OO_1 масофани x билан белгилаймиз, у ҳолда $OO_2 = \frac{l}{2} - x$ бўлади.

Шундай қилиб,

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{l}{2} - x}{x}$$

деб ёза оламиз. Модданинг оғирлиги унинг зичлигига тўғри мутаносиблигидан фойдаланиб, юқоридаги ифодани пўлатнинг ρ_1 ва алюминийнинг ρ_2 зичликлари орқали қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{l - 2x}{2x}$$

Бу ифодадан x ни топсак,

$$x = \frac{\rho_2 l}{2(\rho_1 + \rho_2)}$$

бўлади. Изланаётган b масофа

$$b = \frac{l}{4} + x = \frac{l}{4} + \frac{\rho_2 l}{2(\rho_1 + \rho_2)} = \frac{l}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2} \right]$$

бўлади.

Ҳисоблаш:

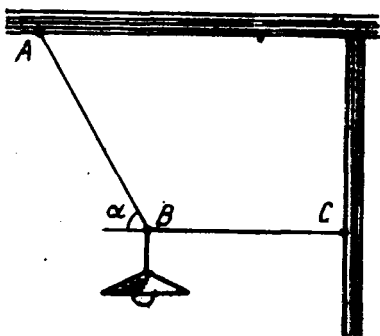
$$b = \frac{0,3 \text{ м}}{2} \left[\frac{1}{2} + \frac{2,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{(7,8 + 2,7) \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right] = 0,11 \text{ м.}$$

Мустақил ечиш учун масалалар

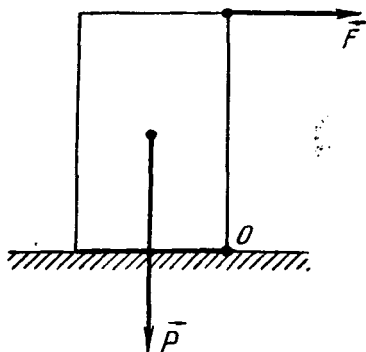
75. Пўлат сим билан боғлаб қўйилган катерга сувнинг 400 Н оқим кучи ва шамолининг оқим йўналишига перпендикуляр бўлган 300 Н босим кучи таъсир қилмоқда. Катерни ушлаб турган пўлат сим қандай куч билан тарангланган?

76. Ҳар бири 200 Н дан бўлган учта кучнинг натижаловчисини топинг. Биринчи билан иккинчи ва иккинчи билан учинчи кучлар орасидаги бурчаклар 60° га тенг.

77. Оғирлиги 100 Н бўлган юк горизонтга нисбатан 30° бурчак остидаги



89- расм.



90- расм.

қия текисликда турибди. Юкни мувозанатда сақлаш учун унга текисликка параллел ҳолда қандай куч билан таъсир қилиш мумкин? Текисликнинг реакция кучи қанчага тенг?

78. Электр лампа шнурга осилган ва горизонтал тортқич билан тортиб қўйилган (89- расм). Агар лампанинг массаси $m=1$ кг, бурчак $\alpha=60^\circ$ бўлса, AB шнурнинг ва BC тортқичнинг таранглик кучини топинг.

79. Уртасида таянчи бўлган 6 м ли тахтанинг учларида оғирликлари 400 Н ва 300 Н бўлган иккита бола ўтирибди. Тахта мувозанатда қолши учун оғирлиги 200 Н бўлган бола тахтанинг қайси жойига ўтириши керак?

80. Массаси 10 кг бўлган тахтачани O қирра орқали ағдариб ташлаш керак (90- расм). Агар тахтачанинг кенглиги 50 см, баландлиги эса 75 см бўлса, ағдариб ташлаш учун керак бўладиган кучни топинг.

81. Икки ўқувчи оғирлиги 600 Н ва узунлиги 6 м бўлган бир жинсли тахтани кўтариб кетмоқда, бунда тахтанинг учи биринчи ўқувчининг елкасидан 1 м, иккинчисининг елкасидан 2 м чиқиб турибди. Ҳар бир ўқувчининг елкасига тахта қандай куч билан босмоқда?

82. Бир жинсли валнинг учидан 40 см қирқиб ташланди. Бунда оғирлик маркази қаерга ва қанчага кўчади?

V боб. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАР СТАТИКАСИ

Маълумки, қаттиқ жисмлар ўз ҳажмларининг ва шаклларининг ўзгаришига қаршилиқ кўрсатади, улар эластиклик хусусиятига эга.

Суюқлик ва газлар қаттиқ жисмлардан шакл эластиклигига эга эмаслиги билан, улар ўзлари солинган идишнинг шаклини олишлари билан фарқ қиладилар. (Бундан, албатта, вазнсизлик ҳолатида бўлган суюқликлар мустаснодир. Чунки вазнсизлик ҳолатидаги суюқлик сирт таранглиги туфайли шар шаклини олади. Шунингдек, зичликлари бир хил бўлган бир суюқлик иккинчи суюқлик ичига киритилганда шар шаклидаги ҳажмни эгаллайди).

Суюқлик ва газларнинг молекулалари ҳаракатчан бўлади, шунинг учун улар *оқувчанлик* хоссасига эга. Суюқлик ва газларнинг ҳажм эластиклиги катта бўлгани сабабли, ташқи, си-

қувчи кучларнинг таъсири тўхтатилгандан сўнг улар ўзларининг бошланғич ҳолатларига қайтади.

Жуда кам сиқиладиган суюқликлар алоҳида аҳамиятга эга. Тажрибаларнинг кўрсатишича, сув сиртининг ҳар бир квадрат метр юзасига шу юзага тик равишда 10^7 Н куч таъсир қилганда, сув ўзининг бошланғич ҳажмининг фақат 0,005 фоизигагина сиқилар экан. Бошқа суюқликлар ҳам сиқувчи кучлар таъсирида ўз ҳажмини деярли ўзгартирмасликлари аниқланган. Шу сабабли, амалда суюқликларни сиқилмайди деб ҳисоблаш мумкин.

Суюқлик ва газлар тинч ҳолатда (мувозанатда) ёки ҳаракатда бўлиши мумкин. Масалан, ёпиқ идишлардаги газлар, цистерналар, бочкалар ёки бутилкалардаги суюқликлар мувозанатда бўладилар.

Суюқлик ва газ мувозанат ҳолатида турибди деганимиз улар ўзининг бутун массаси билан ҳаракатланмай турганини, уларнинг алоҳида қисмларида сезиларли ҳаракат йўқлигини ва, умуман, суюқлик ёки газнинг оқмаслигини билдиради. Моддадаги молекуляр ҳаракатлар бундай мувозанатга халақит бермайди.

Амалда сиқилмайдиган суюқликларнинг мувозанат шартлари физика курсининг *гидростатика* бўлимида, газларнинг мувозанат шартлари *аэро­статика* бўлимида ўрганилади. Қуйидаги параграфларда суюқлик ва газларнинг мувозанат шартларини ҳамда суюқлик ёки газга ботирилган жисмларнинг мувозанат шартларини кўриб чиқамиз.

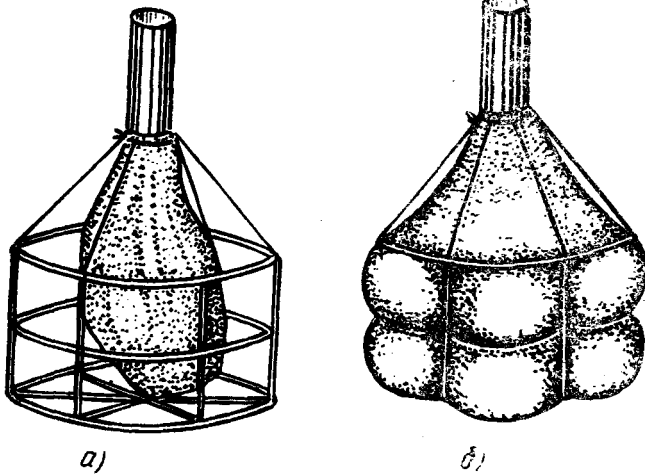
58- §. Суюқлик ва газларнинг босими

Суюқлик ўзи тегиб турган қаттиқ жисм сиртига маълум куч билан таъсир қилиши кундалиқ тажрибалардан маълум. Бу куч суюқликнинг *босим кучи* деб аталади.

Очиқ водопровод жўмраги тешигини бармоғимиз билан ёпиб, сувнинг унга кўрсатаётган босим кучини сезишимиз мумкин. Босим кучи суюқлик тўлдирилган идишнинг тубига ҳам, деворларига ҳам таъсир қилади. Симдан ясалган қобирғага ўрнатилган ичи бўш резина стаканни олиб (91-а расм), уни симобга тўлдирилса, стаканнинг туби ва деворлари ташқарига бўртиб чиқишини кузатиш мумкин (91-б расм).

Бир-бирига бевосита тегиб турган жисмлар орасидаги ўзаро таъсир кучлари — эластиклик кучлари жисмларнинг деформацияланишидан юзага келишини биз биламиз. Суюқликлар ҳажм ўзгаришига нисбатан эластикликка молик бўлгани учун суюқликнинг сиқилишида эластиклик кучлари пайдо бўлади. Бу кучлар *суюқликнинг босим кучидир*. Суюқлик қанча кўп сиқилса, босим кучи ҳам шунча катта бўлади.

Кучнинг таъсири унинг катталигига боғлиқ. Аммо баъзи ҳолларда кучнинг таъсири шу куч таъсир қилаётган жисм сирти юзининг катталигига ҳам боғлиқ бўлади. Бундай ҳол-



91- расм.

ларда кучнинг таъсирини тўла тавсифлаш учун *босим* деб ата-
ладиган физик катталиқдан фойдаланилади.

*Жисм сиртининг бирлик юзига перпендикуляр равишда таъсир қилувчи кучга сон жиҳатдан тенг бўлган физик катта-
лик босим дейилади.*

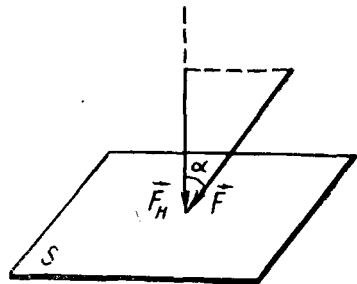
Агар ΔS юзга нормал йўналишда $\Delta \vec{F}$ куч таъсир этаётган бўл-
са, у ҳолда p босим

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S} \quad (124)$$

бўлади. Агар босим сирт бўйича текис тақсимланган бўлса, у
ҳолда

$$p = \frac{F}{S} \quad (125)$$

бўлади. p босим билан $F = p \cdot S$ босим кучини бир-биридан фарқ
қила билиш лозим. Масалан, одам-
нинг горизонтал сиртга босим кучи
 F , таянч юзининг катталиги қандай
бўлишидан қатъи назар, унинг
оғирлигига тенг. Одамнинг горизон-
тал сиртга кўрсатган босими p эса
унинг оғирлигидан ташқари яна
таянч юзасининг катталигига ҳам
боғлиқ бўлади. Масалан, конькида
турган одамнинг горизонтал сиртга
кўрсатадиган босими оёқ кийимида
турган одамнинг кўрсатадиган бо-
симидан катта бўлади, чанғида



92- расм.

турган одамнинг босимидан эса анча катта бўлади.

Агар куч жисм сиртига тик йўналишда таъсир қилмаётган бўлса (92-расм), у ҳолда босимни ҳисоблашда кучнинг шу сиртга нисбатан нормал ташкил этувчисини, яъни нормал босим кучини олиш керак. F_n нормал босим кучининг катталиги $F_n = F \cos \alpha$ га тенг, шунинг учун

$$p = \frac{F_n}{S} = \frac{F}{S} \cos \alpha \quad (126)$$

бўлади, бунда α — таъсир этаётган \vec{F} куч билан жисм сиртига ўтказилган нормал орасидаги бурчак.

Босим суюқлик ва газларнинг асосий характеристикаларидан бири бўлиб ҳисобланади. Босимнинг физик табиати ҳақида шу китобнинг молекуляр физика бўлимида батафсил тўхтаб ўтилади.

59-§. Босим бирликлари

Босим бирлиги қилиб куч бирлигининг юз бирлигига кўрсатган босими олинади.

СИ да босим бирлиги қилиб бир ньютон кучнинг бир квадрат метр юзга кўрсатадиган босими қабул қилинган. Бу бирлик паскаль (Па) деб аталади.

$$[p] = \frac{[F]}{[S]} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па.}$$

Босимнинг қуйидаги бирликларидан ҳам фойдаланилади:

- 1 ГПа (гигапаскаль) = 10^9 Па;
- 1 МПа (мегапаскаль) = 10^6 Па;
- 1 кПа (килопаскаль) = 10^3 Па;
- 1 мПа (миллипаскаль) = 10^{-3} Па;
- 1 мкПа (микрпаскаль) = 10^{-6} Па.

Шунингдек,

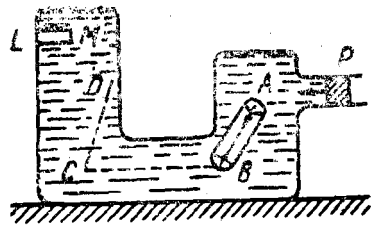
- 1 бар (бар) = 10^5 Па.
- 1 мм снм. уст = 133,3 Па.

60-§. Суюқлик ва газлар учун Паскаль қонун

Суюқлик оғирлик кучи (хусусий оғирлиги) остида ҳам ёки суюқлик ҳажмини чегаралаб турувчи сиртга таъсир қилувчи ташқи кучлар (сиртий кучлар) остида ҳам сиқилиши мумкин. Суюқлик ичида сиртий кучлар ҳосил қиладиган босимни кўриб чиқайлик.

Поршенли цилиндр уланган ихтиёрий шаклдаги берк идишга суюқлик (ёки газ) солинган бўлсин (93-расм). Поршенни цилиндр ичига итарсак, суюқликнинг сиқилиши натижасида суюқлик ичида босим ҳосил бўлади. Идишнинг турли жойларида босим ўлчанганда, уларнинг катталиги деярли бир хил бўлиши аниқланган. Бу ҳолни назарий йўл билан ҳам исботлаш

мумкин. Бунинг учун, аввало, суюқлик ичидаги ихтиёрий иккита, масалан, A ва B нуқталардаги босим ўзаро тенг эканлигига ишонч ҳосил қиламиз. Шу мақсадда суюқликнинг ичида ўқи A ва B нуқталардан ўтувчи ингичка цилиндрни фикран ажратиб оламиз. Цилиндрнинг асослари AB чизиққа перпендикуляр бўлсин. Цилиндр ҳажмидаги суюқлик



93- расм.

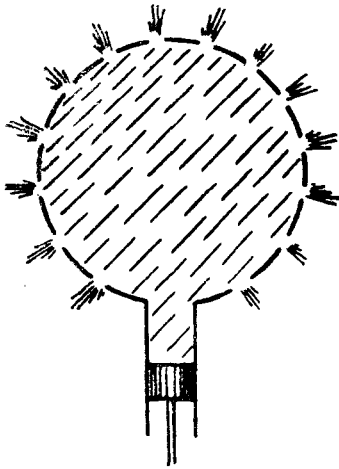
идишда тинч (мувозанатда) турган суюқликнинг бир қисмини ташкил қилади, бинобарин, цилиндр сиртига босим кучлари таъсир қилаётган бўлса ҳам, унинг ичидаги суюқлик тинч туради. Цилиндрга бошқа кучлар таъсир қилмайди, оғирлик кучини эса назарга олмаймиз. Суюқлик мувозанатда бўлиши учун унга таъсир қилаётган босим кучларининг ихтиёрий йўналишга бўлган проекцияларининг йиғиндиси нолга тенг бўлиши керак. Босим кучларининг AB ўққа проекцияларининг йиғиндисини кўриб чиқайлик:

Цилиндрнинг ён сиртига таъсир қилаётган босим кучларининг AB ўққа бўлган проекциялари нолга тенг, чунки бу кучлар AB ўққа перпендикуляр равишда йўналган. Цилиндрнинг асосларига таъсир қилувчи кучлар мос равишда $p_A \cdot S$ ва $p_B \cdot S$ га тенг бўлади, бунда, p_A ва p_B лар A ва B нуқталардаги босим, S — цилиндр асосининг юзи. Бу кучлар AB ўқ бўйлаб қарама-қарши томонга йўналган. Демак, цилиндр мувозанат ҳолатида бўлгани сабабли, $p_A S = p_B S$ бўлади, бундан $p_A = p_B$ экани келиб чиқади, яъни A ва B нуқталардаги босимлар ўзаро тенг бўлади. Бундай мулоҳазани суюқлик ичидаги бошқа ихтиёрий икки, масалан, C ва D нуқта учун ҳам юритиб, бу нуқталардаги босимлар ҳам ўзаро тенг эканлигини исбот қилиш мумкин.

Шундай қилиб, *суюқлик (ёки газ) га ташқи кучлар таъсир қилганда суюқлик ичидаги барча нуқталарда босим бир хил бўлади*, деган хулосага келамиз. Бу фикр француз олими Б. Паскалга тегишли бўлиб, унинг номи билан Паскаль қонуни деб юритилади.

Энди суюқлик ичида фикран ажратиб олинган LM цилиндрни қараб чиқайлик (93-расмга қ.). Бу цилиндрнинг L асоси идиш деворида ётади. Юқорида юритилган мулоҳазани бу цилиндр учун ҳам қўллаб, идиш деворидаги босим суюқлик ичидаги босимга тенг эканига ишонч ҳосил қилиш мумкин. Худди шунингдек, поршеннинг суюқликка тегиб турган сиртидаги босим ҳам суюқлик ичидаги босимга тенг бўлиши равшан. Шундай қилиб, поршеннинг суюқлик сиртига кўрсатган босими p бўлса, суюқликнинг ичидаги барча нуқталарда ва идиш деворларида ҳам босим p га тенг бўлади.

Шунинг учун Паскаль қонунини яна қуйидагича таърифлаш мумкин:



94- расм.

Берк идишда турган суюқлик (ёки газ) га таъсир этаётган босим суюқлик (ёки газ)нинг ҳар бир нуқтасига ўзгаршсиз узатилади.

Паскаль қонунининг бундай таърифи умумий ҳол учун, яъни оғирлик кучи назарга олинандиган ҳол учун ҳам тўғри бўлади. Агар тинч турган суюқлик ичидаги оғирлик кучи маълум (умуман олганда турли нуқталарда турлича бўлган) босимни ҳосил қилса, суюқлик сиртига қўйилган ташқи кучлар суюқликнинг ҳар бир нуқтасида босимни бир хил қийматга оширади.

Паскаль қонунини оддий тажрибаларда текшириб кўриш мумкин.

94- расмда турли жойларида тор тешиклари бўлган ичи бўш шарча тасвирланган. Шарча ичига поршень киритилган най билан уланган. Агар шарни сувга тўлдириб олиб, поршенни най ичига итарсак, шарнинг ҳамма тешикларидан сув тизиллаб бир хилда отилиб чиқади.

Бу тажрибада поршень найдаги сув сиртига босади. Поршеннинг босими шардаги сувнинг ҳамма молекулаларига узатилади. Натижада сувнинг бир қисми шар ичидан ҳамма йўналишда чиқувчи оқим шаклида отилиб чиқади.

Агар шар тутунга тўлдирилса, бу ҳолда поршенни най ичига итарганда шарнинг ҳамма тешикларидан тутун оқими чиқа бошлайди. Бу газлар ҳам ўзига бўлган босимни ҳамма томонга бир хил узатишини тасдиқлайди.

61- §. Гидравлик пресснинг ишлаш принципи

Паскаль қонунига асосланиб ишлайдиган механизмларни *гидравлик машиналар* дейилади. Жисмларни пресслаш (сиқиш) мақсадида ишлатиладиган гидравлик машина *гидравлик пресс* деб аталади. Гидравлик пресснинг асосий қисми бир-бири билан най орқали туташтирилган турли диаметрли иккита цилиндрдан иборат бўлиб, бу цилиндрлар ичида деворларга жипс тегиб юрадиган поршенлар ҳаракатланади (95- расм).

Кичик поршеннинг юзини S_1 билан, каттасининг юзини эса S_2 билан белгилайлик. Агар S_1 поршенга \vec{F}_1 куч таъсир қилса, у ҳолда бу поршенга кўрсатиладиган босим $p = \frac{F_1}{S_1}$ бўлади. Паскаль қонунига кўра бу босим суюқликнинг ҳар бир нуқтасига ўзгаршсиз узатилади. Бинобарин, катта поршень ҳам худди шундай босим таъсирида бўлади. Шунинг учун катта поршенга таъсир этаётган бо-

сим ифодасини $p = \frac{F_2}{S_2}$ кўриниш-
да ёзиш мумкин. Бу иккала
ифодадан қуйидаги муносабатни
ҳосил қиламиз:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}, \text{ бундан } \frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}. \quad (127)$$

Бу муносабатдан поршен-
ларга таъсир қилувчи кучлар
улар сиртларининг юзига тўғ-
ри муносиб эканлиги келиб
чиқади. Гидравлик пресснинг
ишлаш принципи ана шунга
асосланган. Гидравлик пресс катта поршенининг юзи кичик
поршенининг юзидан неча марта катта бўлса, гидравлик пресс
кучдан шунча марта катта ютуқ беради.

Гидравлик прессларда суюқлик сифатида сув ёки мой иш-
латилади. Прессланадиган C жисм катта поршенга бирикти-
рилган A платформа устига қўйилади. Бу поршень кўтарил-
ганда жисм қўзғалмас устки B платформага тақалади ва си-
қилади (95-расмга қ.).

Гидравлик пресснинг иши тугагандан сўнг суюқлик катта
цилиндрдан кичик цилиндрга қайта ўтади. (Бу ҳол расмда
кўрсатилмаган.)

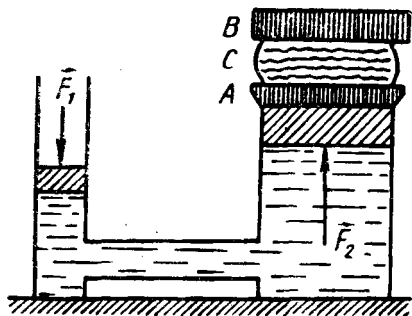
Гидравлик пресслар катта куч талаб қиладиган жойларда,
масалан, ёғ заводларида уруғ (кунжут, зиғир, ловия, чигит,
писта) дан ёғ сиқиб чиқаришда, мевалардан шарбат ажратиб
олишда, фанер, картон, пахта, пичан ва шу кабиларни пресс-
лашда қўлланилади. Заводларда кучли гидравлик пресслардан
металл ва пластмасса деталлар штамплашда кенг фойдала-
нилади.

62- §. Суюқликнинг идиш туби ва деворларига босими

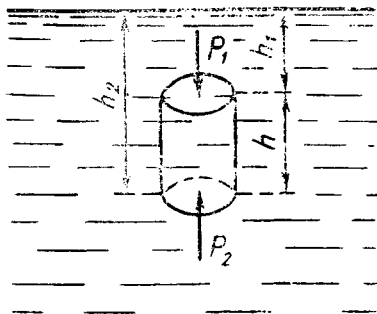
Гравитацион майдонда суюқликнинг ҳар бир заррасига
оғирлик кучи таъсир этади. Шу сабабли суюқлик идишнинг
туби ва деворларига, шунингдек, унинг ичидаги жисмга ҳам
босим беради.

Суюқликнинг оғирлиги туфайли бўладиган босим *гидроста-
тик босим* дейилади.

Гидростатик босимни аниқлаш мумкин. Мувозанат ҳолатида
турган суюқлик ичида асос юзлари суюқликнинг эркин сир-
тига параллел бўлган цилиндр шаклидаги суюқлик ҳажмини
фикран ажратиб олайлик (96-расм). (Суюқликнинг идиш девор-
ларига тегмай турган сирти *суюқликнинг эркин сирти* деб ата-
лади.) Ажратилган суюқликнинг ҳажмига цилиндриг ўқи
бўйлаб йўналган учта куч таъсир этади: улардан бири цилиндр-



95- расм.



96- расм.

нинг суюқлик эркин сиртидан h_1 чуқурликда бўлган юқори асосига таъсир этувчи $F_1 = p_1 \cdot \Delta S$ куч, иккинчиси h_2 чуқурликда бўлган пастки асосига таъсир этувчи $F_2 = p_2 \Delta S$ куч ва н-ҳоят, шу цилиндр ҳажмидаги суюқликнинг оғирлик кучи $P = \rho g (h_2 - h_1) \Delta S$, бу ерда p_1 ва p_2 лар мос равишда цилиндрнинг юқори ва пастки асосларига кўрсатилаётган босимлар, ΔS — шу асосларнинг юзи, ρ — суюқликнинг зичлиги. Суюқлик мувозанат ҳолатида бўлгани учун

қуйидаги шарт бажарилади:

$$p_1 \cdot \Delta S + \rho g (h_2 - h_1) \Delta S = p_2 \Delta S.$$

Бундан

$$p_2 - p_1 = \rho g (h_2 - h_1) = \rho g h \quad (128)$$

бўлади, бу ерда h — кўриладиган цилиндр шаклидаги суюқлик устунининг баландлиги. (128) формуладан кўринадики, оғирлик кучи таъсирида суюқлик ичида босим турли чуқурликларда турлича бўлади. Бироқ суюқликнинг ихтиёрий сатҳида босим барча йўналишлар бўйича бир хил бўлади. Бу *гидростатик босимдир*.

Шундай қилиб, суюқликнинг идиш тубига ва деворга кўрсатадиган босими суюқлик зичлиги билан суюқлик устуни баландлигига тўғри мутаносиб бўлади.

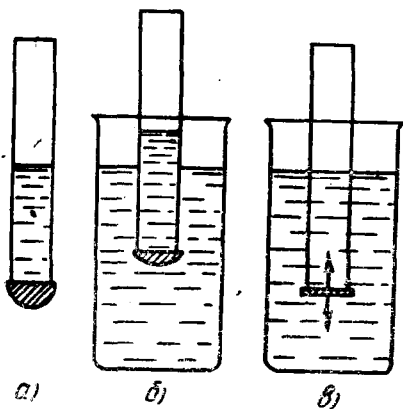
Агар суюқликка p_0 ташқи босим (масалан, ҳавонинг босими) таъсир қилаётган бўлса, у ҳолда суюқликнинг ичида h чуқурликдаги босим

$$p = p_0 + \rho g h \quad (129)$$

га тенг бўлади.

Паскаль қонунига асосан исталган сатҳда суюқликнинг ҳамма йўналишлари бўйича, яъни юқоридан пастга, пастдан юқорига ва ён томонига бўлган босими бир хил бўлишини тажриба ёрдамида яна бир бор ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Пастки тешиги юпқа резина билан беркитилган шиша най олиб, унга сув қуяйлик.



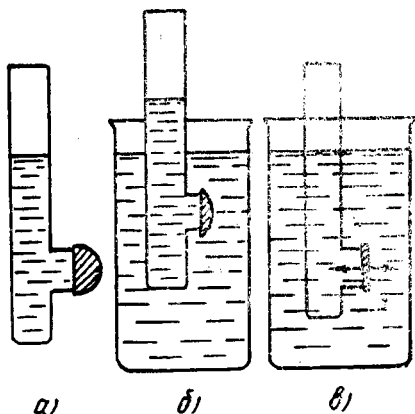
97- расм.

Бунда идиш тубига сувнинг босим кучи таъсирида найнинг туби қавариб чиқади (97- а расм). Сўнг найни бирмунча кенг бўлган сувли бошқа идишга туширайлик. Найни пастга сувга чуқурроқ туширган сари резина парданинг қавариғи аста-секин тўғрилана боришини (97- б расм) ва найнинг ичидаги сувнинг сатҳи идишдаги сувнинг сатҳига етганда резина парда бутунлай тўғриланганини кўрамиз (97- в расм). Бу эса пардага юқоридан ва пастдан бўлган босимларнинг бир хил бўлишини кўрсатади. Демак, суюқликларда пастдан юқорига йўналган босим бўлади ва бу босим берилган чуқурликда юқоридан пастга йўналган босимга тенг бўлади.

Ён девордаги тешиги резина парда билан қопланган най билан ҳам худди шундай тажриба ўтказиб, суюқликнинг резина пардага ён томондан берадиган босими ҳам иккала томондан бир хил бўлишини кўрсатиш мумкин (98- а, б, в расмлар).

Шундай қилиб, суюқлик ичидаги босим айни бир сатҳда ҳамма йўналишлар бўйича бир-бирига тенг (ўзгармас) эканини тажрибалар тасдиқлайди.

Юқорида юритилган мулоҳазаларнинг ҳаммаси газлар учун ҳам ўринли бўлади. Бироқ газнинг зичлиги суюқлик зичлигидан бир неча юз марта кичик бўлгани сабабли идишдаги газнинг оғирлиги жуда оз ва унинг оғирлик кучи туфайли кўрсатадиган босимини кўпчилик ҳолларда ҳисобга олмаса ҳам бўлади.

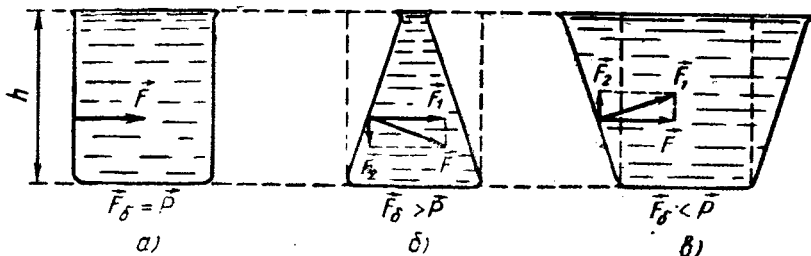


98- расм.

63- §. Гидростатик парадокс

Гидростатик босим ифодасидан кўринадики [(128) формулага қ.], бу босимнинг катталиги суюқлик солинган идишнинг шаклига, тубининг юзасига боғлиқ эмас. Бинобарин, гидростатик босим идишга қўйилган суюқликнинг оғирлигига боғлиқ бўлмайди.

Цилиндр шаклидаги идишга қўйилган суюқликнинг идиш тубига кўрсатадиган босим кучи \vec{F}_0 шў идишдаги суюқликнинг \vec{P} оғирлигига тенг бўлиши тушунарли (99- а расм). Бироқ асос юзлари бир хил бўлган, лекин цилиндр шаклида бўлмаган идишлар олиб, уларга бир хил сатҳгача суюқлик қўйсақ, идиш тубига кўрсатиладиган



99- расм.

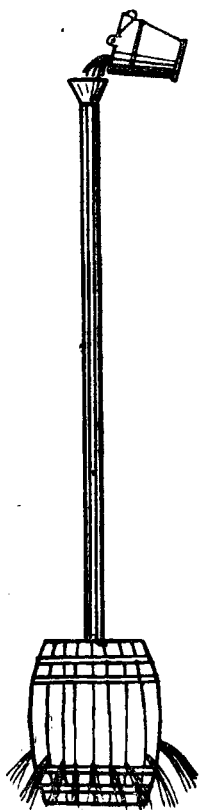
гидростатик босим кучи \vec{F}_6 шу идишдаги суюқликнинг \vec{P} оғирлигига тенг бўлмасдан, ундан катта (99-б расм) ёки кичик (99-в расм) бўлиши мумкин. Бу ҳол *гидростатик парадокс* деб юрнтилади.

Гидростатик парадоксни қуйидагича тушунтириш мумкин. Мувоzanат ҳолатидаги суюқликка идиш деворлари томонидан шу деворларга перпендикуляр бўлган ва миқдор жиҳатидан

суюқликнинг босим кучига тенг бўлган \vec{F} куч таъсир қилади. 99-а расмда тасвирланган цилиндр шаклидаги идишда бу куч суюқликни сиқади. 99-б расмда тасвирланган шаклдаги идишда эса суюқлик \vec{F} кучнинг горизонтал ташкил этувчиси \vec{F}_1 куч таъсирида сиқилади, вертикал ташкил этувчиси \vec{F}_2 куч эса пастга томон йўналган бўлиб, идиш тубига бўлган босим кучини кўпайтиради. 99-в расмда тасвирланган идишда эса \vec{F} кучнинг вертикал ташкил этувчиси \vec{F}_2 куч юқорига йўналган бўлиб, суюқлик оғирлигининг бир қисмини компенсациялайди ва идиш тубига бўлган босим кучини камайтиради.

Шундай қилиб, идишнинг шакли ҳар қандай бўлганда ҳам, суюқликнинг идиш тубига босим кучи суюқликнинг шундай вертикал устуни оғирлигига тенгики, бу устуннинг асоси идиш туби юзига, баландлиги эса суюқлик устуни баландлигига тенг бўлади.

Суюқлик устунининг баландлиги қанча катта бўлса, суюқликнинг идиш тубига ва деворларига босими ҳам шунча катта бўлишини Паскаль томонидан амалга оширилган қуйидаги тажрибада ишонч ҳосил қилиш мумкин. Ичига сув тўлдириб, ҳамма томони мустаҳкам бекитилган бочкага Паскаль узун ингичка най ўрнатди. Най сувга тўлғазилганда сувнинг бочка деворларига босими шунча ортиб кетганки, натижада сув бочка тахталарининг уланиш оралиқларидан отилиб чиқа бошлаган (100-расм).



100- расм.

Гидростатик босим ρgh суюқлик устунининг баландлигига қараб ўзгариб боргани учун (суюқлик сиртида $h=0$, тубида $h=H$) идишнинг ён деворларига кўрсатиладиган босим кучини топишда босимнинг ўртача қиймати

$$p_{\text{ур}} = \frac{0 + \rho gH}{2} = \frac{1}{2} \rho gH$$

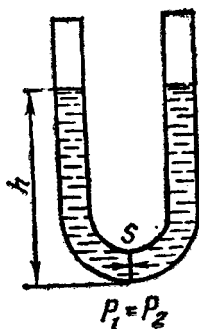
ни деворнинг S юзига кўпайтириш лозим, яъни

$$F = p_{\text{ур}} \cdot S = \frac{1}{2} \rho gHS. \quad (130)$$

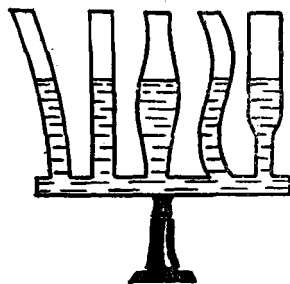
64- §. Туташ идишлар қонуни

Пастки қисмлари ўзаро най орқали уланган ва биридан иккинчисига суюқлик оқиб ўта оладиган икки ёки ундан ортиқ идишлар системаси *туташ идишлар* деб аталади. Масалан, лейка, чойнак, кофейник туташ идишларга мисол бўла олади. U -симон найлар энг содда туташ идишлар ҳисобланади (101-расм).

Тажрибаларнинг кўрсатишича, туташ идишларнинг бир тирсагига бир жинсли суюқлик қуйилса, унинг барча тирсақларида суюқлик сирти бир хил баландликка эришгунча бир тирсақдан бошқасига оқиб ўтади (102-расм). Бу ҳодисани суюқликнинг мувозанатда бўлиш шarti асосида тушунтириш мумкин. Масалан, U -симон найда бир жинсли



101- расм.



102- расм.

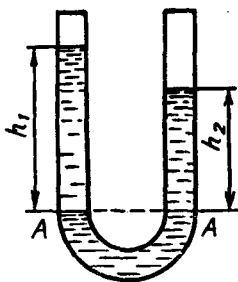
ли суюқлик тинч ҳолатда бўлсин (101-расмга қ.). Найларнинг туташган еридаги кесимидан бирор S юзни кўз олдимизга келтирайлик. Бу юзга бир томондан p_1 , иккинчи томондан p_2 га тенг бўлган гидростатик босим таъсир қилади. Суюқликнинг мувозанатда бўлган вақтида юзнинг тинч ҳолатда бўлишини ва ҳар бир найдаги суюқлик устунига таъсир қилаётган ташқи босимлар бир-бирини компенсациялашни эътиборга олсак, гидростатик босим ифодасига кўра

$$\rho gh_1 = \rho gh_2$$

ни ёзиш мумкин.

Бундан, $h_1 = h_2$ экани келиб чиқади.

Ҳар қандай шаклдаги туташ идишларда тинч ҳолатда бўл-



103- расм.

ган бир жинсли суюқликнинг эркин сирти бир хил баландликда бўлади.

Агар туташ идишларга бир-бири билан аралашмайдиган, зичликлари ρ_1 ва ρ_2 турлича бўлган суюқликлар солинса, бу суюқликлар мувозанатда бўлган вақтда сатҳлари бир хил баландликда бўлмайди. Чунки суюқликнинг гидростатик босими-суюқлик устуни баландлигига ва зичлигига тўғри мутаносиблигидан, босимлар тенг бўлганда зичлиги катта бўлган суюқлик устунининг баландлиги зичлиги кичик бўлган суюқлик устунининг баландлигига қараганда кичик бўлади.

103- расмда бир-бирига аралашмайдиган турли суюқликлар солинган U-симон идиш тасвирланган. Бу суюқликлар устунининг баландлиги суюқликларни ажратиб турувчи AA сатҳдан бошлаб ўлчанади. Бу сатҳдан пастда турган суюқлик бир жинслидир, шунинг учун шу сатҳда иккала тирсакдаги гидростатик босим бир хил бўлади, яъни

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2.$$

Бундан қуйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (131)$$

(131) муносабат туташ идишлар қонунининг математик ифодасидир. Бу қонун қуйидагича таърифланади: *туташ идишлардаги турли суюқликларнинг мувозанат ҳолатида суюқликларни ажратиб турувчи сатҳдан бошлаб ўлчанган устунлар баландликлари суюқликларнинг зичликларига тескари мутаносиб бўлади.*

Техникада туташ идишлар кенг қўлланилади. Масалан, канал ва дарёлардаги шлюзлар, сув миноралари, водопровод тармоқлари ва ҳоказолар туташ идишлар принципига асосланиб қурилади. Туташ идишлар хоссаларидан берк идишларда, масалан, буғ қозонида суюқлик сатҳи баландлигини аниқлашда ишлатиладиган шиша найларда фойдаланилади.

65- §. Атмосфера босими. Торричелли тажрибаси

Ерни ўраб турган ҳаво қатлами *атмосфера* дейилади.

Ер атмосфераси ўзининг ҳозирги тарзида айти бир вақтда икки сабабнинг борлиги туйфайли мавжуддир: 1) ҳамма жисмлар каби ҳавонинг таркибига кирувчи газ молекулалари ҳам Ерга тортилади; 2) газ молекулалари узлуксиз ва тартибсиз (хаотик) ҳаракатда бўлади (90- § га қ.). Агар оғирлик кучи бўлмай, фақат молекуляр ҳаракат мавжуд бўлганда эди, молекулалар бутун олам фазоси бўйлаб тарқалиб кетган бўлар эди.

Агар молекулаларнинг тартибсиз ҳаракати бўлмаганда эди, уларнинг ҳаммаси оғирлик кучи таъсирида Ерга «қулаб тушар» ва бутун ҳаво Ер сирти яқинида юпқа қатлам ҳосил қилиб тўпланган бўлар эди.

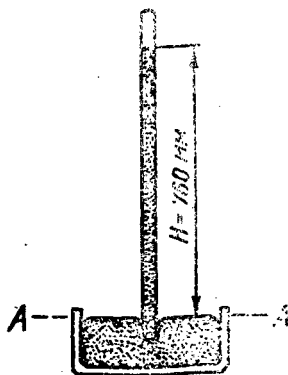
Молекулаларнинг тартибсиз ҳаракати ва уларга оғирлик кучининг таъсири қилиши натижасида газ молекулалари Ер атрофидаги фазода атмосфера қатламини ҳосил қилади.

Ўлчашлар атмосферани ҳосил қилган газлар унда Ер сиртидан юқорига кўтарилган сари зичлиги тобора камайиб борадиган ҳолда тақсимланишини кўрсатади. Энг юқори қатламларда (Ер сиртидан минглаб километр баландликда) атмосфера аста-секин ҳавосиз фазога ўтади. Атмосферанинг аниқ чегараси йўқ.

Атмосфера ҳам Ер сиртига ва ундаги жисмларга босим кўрсатади. Атмосфера босимини биринчи бўлиб 1643 йилда итальян олими Е. Торричелли тажриба йўли билан аниқлаган. Торричелли ўз тажрибасини қуйидагича ўтказган. Бир учи кавшарланган узунлиги бир метр, кўндаланг кесими 1 см^2 бўлган шиша най олиб, уни симоб билан тўлдирган. Сўнгра найнинг очиқ учини бармоғи билан қаттиқ беркитиб, уни симобли косага тўнкарган ва симоб ичида найнинг учини очган. Бунда найдаги симобнинг бир қисми косага оқиб тушади ва найнинг юқори ўчида *Торричелли бўйлиғи* деб аталадиган ҳавосиз фазо ҳосил бўлади (104- расм).

Косадаги симоб сиртига кўрсатилаётган атмосфера босими найда қолган симоб устуни босими билан мувозанатлашган вақтда найдан симобнинг оқиб чиқиши тўхтайтиди. Демак, Паскаль қонунига биноан, косадаги симобнинг AA_1 сатҳида найдаги симобнинг босими ҳам атмосфера босимига тенг бўлади. Аммо найнинг юқори қисмида ҳаво йўқ. (Аслида бундай эмас: бу соҳада симоб буғлари мавжуд, лекин буғнинг зичлиги жуда оз бўлгани учун унинг босимини ҳисобга олмасан ҳам бўлади). Шунинг учун найдаги симобнинг AA_1 сатҳидаги босими фақат найдаги шу симоб устуни оғирлиги туфайли юзага келади. Бинобарин, симоб устуни баландлигини ўлчаб, атмосфера босимини ҳисоблаш мумкин.

Кузатишлар денгиз сатҳи баландлигидаги жойларда атмосфера босими ўрта ҳисобда баландлиги 760 мм бўлган симоб устунининг босимига тенг бўлишини кўрсатади. Жой денгиз сатҳидан қанча баланд бўлса, у ерда босим шунча кам бўлади. Чунки ҳаво қатлами Ер сиртидан қанча баланд жойлашган сари, у шунча кам сиқилган ва зичлиги ҳам шунча кичик бўлади.



104- расм.

Атмосфера босими ҳам босим бирликларида ўлчанади (59-§ га қ.).

0°C температурада баландлиги 760 мм га тенг бўлган симоб устунининг босими га тенг атмосфера босимини *нормал атмосфера босими* дейилади. Бу босим неча Па эканини аниқлаш учун баландлиги $h=760$ мм=0,76 м ва асос юзи $S=1$ см²== 10^{-4} м² бўлган симоб устунининг оғирлигини ҳисоблайлик:

$$P = mg = V \rho g = h S \rho g,$$

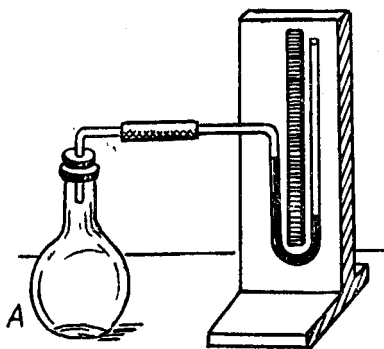
бунда $V = hS$ — симобнинг ҳажми, ρ — зичлиги, $\rho = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ га тенг, бинобарин,

$$P = 0,76 \text{ м} \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

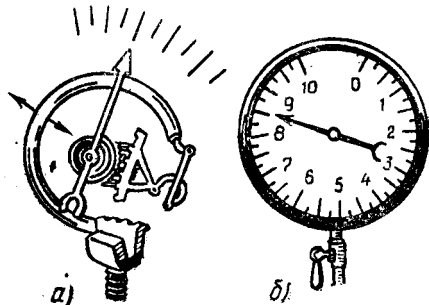
Демак, нормал атмосфера босими $p = 1,013 \cdot 10^5$ Па га тенг экан.

66-§. Босимни ўлчаш

Берк идишлардаги босимни ўлчашга мўлжалланган асбоблар *манометрлар* дейилади. Сууюқликли манометрлар ва металл манометрлар мавжуд. Сууюқликли манометрларнинг асосида туташ идишларнинг хоссалари ва сууюқликнинг оғирлик кучи таъсиридаги гидростатик босими ётади. Сууюқликли манометрлар маълум бир сатҳгача бир жинсли сууюқлик (одатда симоб ёки сув) билан тўлдирилган U-симон найдан иборат бўлиб, найнинг бир учи буғ ёки газнинг босими ўлчанаётган A идишга туташтирилган бўлади (105-расм). Найлардаги м ёки см ларда ўлчанган сууюқлик устунлари босимларининг фарқи идишдаги босим атмосфера босимидан қанча катталikka кўп ёки кам эканини билдиради. Сууюқликнинг зичлигини билган ҳолда бу босимлар фарқини босимнинг бирликларида ифодалаш мумкин. Масалан, баландлиги 1 мм бўлган сув устунининг



105- расм.



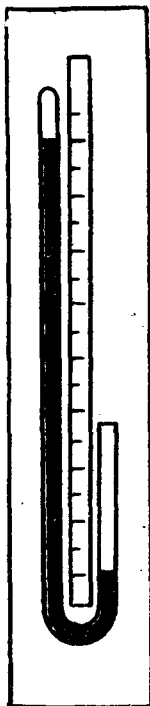
106- расм.

босимга тенг бўлган босимни Па ларда қандай ифодаланишини кўрайлик. Сувнинг зичлиги $\rho = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

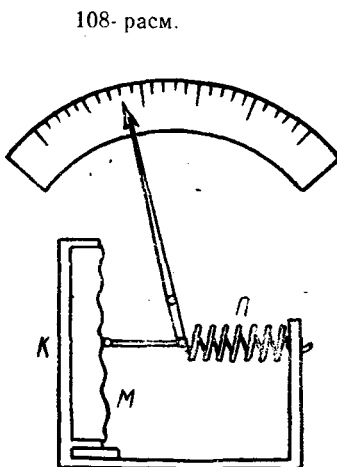
$$P = \rho gh = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 10^{-3} \text{ м} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 9,8 \text{ Па.}$$

Суюқликли манометрлар кичик босимларни ўлчашда ишлатилади. Катта босимларни ўлчаш учун турли металл манометрлардан фойдаланилади. 106-расмда металл манометрлардан бирининг тузилиши (а) ва тащқи кўриниши (б) тасвирланган. Бундай манометрнинг муҳим қисми ёй шаклида эгилган металл (жез) най бўлиб, унинг бир учи беркитиб қўйилган. Найнинг иккинчи учи жўмрак орқали босими ўлчанадиган идишга туташтирилади. Босим ортганда най тўғрилана бошлайди ва унинг берк учининг ҳаракати рычаг ва тишли ғилдирак орқали босим бирликларида даражаланган асбоб шкаласи устида ҳаракатланувчи стрелкага узатилади. Босим камайганда най эластиклиги туфайли ўзининг дастлабки вазиятига, стрелка эса шкаланинг нолинчи чизиғига қайтади.

Атмосфера босимини ўлчашда ишлатиладиган асбоблар барометрлар деб аталади. Симобли ва металл барометрлар мавжуд. Торричелли найи энг содда барометр бўлиб, унга симоб устунининг баландлигини ўлчаш учун шкала ўрнатилган.



107- расм.



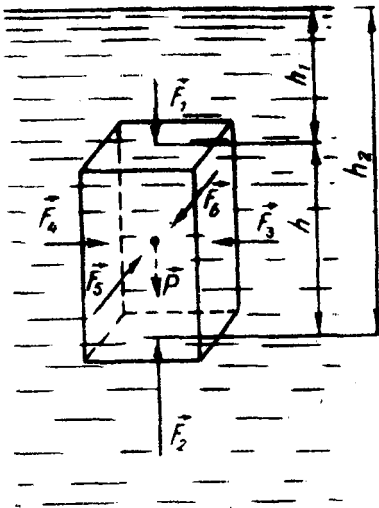
108- расм.

Баъзи барометрларда симоб устунининг баландлигини аниқ ҳисоблаш учун найнинг кўриниши турлича қилиб ясалади. 107-расмда ана шундай барометрлардан бири тасвирланган. Атмосфера босимини мувозанатловчи симоб устунининг баландлиги барометрнинг очиқ ва берк тирсақларидаги симоб сатҳларининг фарқи билан аниқланади.

Атмосфера босимини ўлчаш учун ишлатиладиган металл барометрларни *анероидлар* деб аталади. Анероиднинг асосий қисми K қутича бўлиб, у юпқа эластик металл пластинка — M мембрана билан маҳкам беркитилган ва ичидан ҳавоси сўриб олинган (108-расм). Мембрананинг эластиклигини ошириш учун учи тўлқинсимон қилиб тайёрланади. Атмосфера босими қутичани эзиб юбормаслиги учун мембрана стрелка бириктирилган Π пружина воситасида ташқарига тортиб қўйилган. Атмосфера таъсирида мембрана букилади ва пружинани тортади, стрелка ўнгга ёки чапга бурилади. Агар бундай асбобнинг шкаласи баландлик бўйича метрларда даражаланган бўлса, у ҳолда атмосфера босимининг камайиши бўйича баландликни ўлчайдиган асбоб — *альтиметрга* эга бўламиз.

67- §. Суюқлик ва газлар учун Архимед қонуни

Агар суюқлик ичига бирор қаттиқ жисм ботирилса, унинг сиртларига суюқликнинг босим кучлари таъсир қилади. Чуқурлик ортиб борган сари босим ҳам ортиб бориши сабабли жисмнинг пастки қисмига юқори қисмига нисбатан каттароқ кучлар таъсир қилади. Бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси юқорига қараб йўналган бўлади. Суюқликка ботирилган жисмга



109- расм.

таъсир этувчи босим кучларининг тенг таъсир этувчиси суюқлик ичидан жисмни итариб чиқарувчи куч бўлади. Газ ичида турган жисмларга ҳам уларни газ ичидан итариб чиқарувчи куч таъсир қилади. Жисмни суюқлик ёки газ ичидан итариб чиқарувчи кучни уни қандай ҳисоблаш мумкин эканини кўрсатиб берган қадимги юнон олими Архимед шарафига *Архимед кучи* деб аталади. Бу кучнинг катталигини аниқлайлик.

Масалани соддалаштириш мақсадида параллелепипед шаклидаги жисм суюқликка ботирилган, деб олайлик. Бу жисмнинг асослари суюқлик сиртига параллел бўлсин (109- расм). Жисм-

нинг ён сиртларига таъсир қилувчи $\vec{F}_3, \vec{F}_4, F_5$ ва \vec{F}_6 босим кучлари жуфт-жуфти билан ўзаро тенг ва бир-бирини мувозанатлайди. Уларнинг таъсирида жисм фақат сиқилади.

Жисмнинг юқори сиртига h_1 баландликка эга бўлган суюқлик устуни \vec{F}_1 куч билан, пастки сиртига эса h_2 баландликка эга бўлган суюқлик устуни \vec{F}_2 куч билан босади. $h_2 > h_1$. Бўлгани сабабли, $\vec{F}_2 > \vec{F}_1$ бўлади. Демак, суюқлик жисмга кучларнинг $\vec{F}_A = \vec{F}_2 - \vec{F}_1$ айирмасига тенг Архимед кучи билан таъсир кўрсатади. Бу айирмани ҳисоблаш учун гидростатик босим формуласидан фойдаланамиз.

Агар параллелепипед асоси юзининг катталиги S бўлса, у ҳолда $F_1 = \rho S$ ва $F_2 = \rho_2 S$ бўлади, бунда $\rho = \rho_c g h_1$ ифода h_1 баландликдаги (жисмнинг юқори сиртига кўрсатилаётган) гидростатик босим, $\rho_2 = \rho_c g h_2$ эса h_2 баландликдаги (жисмнинг пастки сиртига кўрсатиладиган) гидростатик босим, ρ_c — суюқликнинг зичлиги. У ҳолда жисмга таъсир этувчи Архимед кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$F_A = \rho_c g S (h_2 - h_1) = \rho_c g S h = \rho_c g V,$$

бу ерда $V = S h$ — жисмнинг ҳажми, $\rho_c g V$ — жисм ҳажмига тенг ҳажмли суюқликнинг оғирлиги. Шундай қилиб, *суюқлик (ёки газ) га ботирилган жисм ўзи сиқиб чиқарган суюқлик (ёки газ) оғирлигига тенг бўлган куч билан юқорига томон итарилади.*

Бу таъриф *Архимед қонуни* деб аталади.

Архимед «Сузувчи жисмлар ҳақида» номли асарида бу қонунни қуйидагича таърифлаган:

«Суюқликдан оғир жисм суюқликка туширилганда унинг тубига етгунча борган сари чуқурроқ тушади ва суюқлик ичида турганда жисм ҳажмича суюқликнинг оғирлигича ўз оғирлигидан йўқотади».

68- §. Жисмларнинг сузиш шартлари

Архимед кучи F_A билан жисмнинг P оғирлиги орасидаги $F_A - P$ айирма *кўтарувчи куч* дейилади. Кўтарувчи кучнинг катталигига ва йўналишига боғлиқ ҳолда суюқликка ботирилган жисм уч ҳолатда бўлиши мумкин:

1) Архимед кучи оғирлик кучидан кичик бўлсин, яъни $F_A - P < 0$, $P = \rho g V$ (ρ — жисмнинг зичлиги) эканлигидан

$$F_A - P = \rho_c g V - \rho g V = g V (\rho_c - \rho) < 0, \text{ бундан } \rho_c < \rho.$$

Бу ҳолда жисм суюқлик тубига тушади, яъни чўқади.

2) Архимед кучи сон жиҳатидан жисмнинг оғирлигига тенг бўлсин, яъни $F_A - P = 0$. Бинобарин,

$$F_A - P = gV(\rho_c - \rho) = 0, \text{ бундан } \rho_c = \rho.$$

Бу ҳолда жисм суюқликнинг исталган жойида мувозанатда бўла олади.

3) Архимед кучи жисмнинг оғирлигидан катта бўлсин, яъни $F_A - P > 0$, бинобарин,

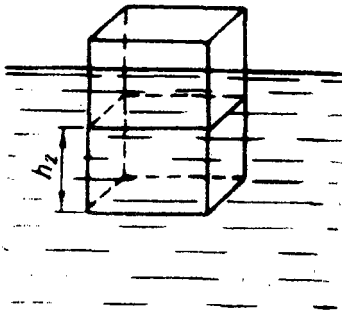
$$F_A - P = gV(\rho_c - \rho) > 0, \text{ бундан } \rho_c > \rho.$$

Бу ҳолда жисм суюқлик сиртига кўтарила бошлайди ва суюқлик сиртига «қалқиб чиқади».

Шу учинчи ҳолни кўриб чиқайлик. Жисм суюқлик ичидан юқорига, суюқлик сиртига томон кўтарилаётганида унга таъсир қилаётган Архимед кучи ўзгармайди, чунки

$$F_A = \rho_c gS(h_2 - h_1)$$

формулада берилган суюқлик ва жисм учун ρ_c , S ўзгармас катталиклар, h_1 ва h_2 лар эса камайиб боради, бироқ уларнинг айирмаси $h = h_2 - h_1$ жисмнинг баландлигига тенг ва ўзгармайди. Жисмнинг



110- расм.

юқори сирти суюқлик сирти билан бир сатҳда бўлганда $F_1 = 0$ бўлади, чунки $h_1 = 0$. Бу вақтда Архимед кучи $F_A = F_2 = \rho_c gSh_2$ га тенг бўлиб қолади. Бироқ жисмнинг кўтарилиши давом этаверади, h_2 эса камайиб боради, демак, Архимед кучи ҳам камайиб боради. Шу сабабли $F_A - P = \rho_c gSh_2 - P$ кўтарувчи куч камайиб боради. Кўтарувчи куч нолга тенг бўлганда жисмнинг қалқиб чиқиши тўхтайди ва жисм суюқлик сиртида сузиб юради. Демак, жисмнинг суюқлик

сиртида сузиб юриш шarti қуйидагича бўлади:

$$\rho_c gSh_2 = P \text{ ёки } \rho_c gV_2 = P, \quad (133)$$

бунда $Sh_2 = V_2$ жисмнинг суюқликка ботиб турган қисмининг ҳажми (110- расм).

Шундай қилиб, (133) ифодадан кўринадики, сузиб юрувчи жисмнинг оғирлиги ҳамма вақт шу жисм сиқиб чиқарган суюқлик оғирлигига тенг бўлар экан.

Такрорлаш учун саволлар

1. Босим кучи деб нимага айтилади? Босим деб-чи? Уларнинг фарқи нимада?
2. Босимнинг birlikларини ва улар орасидаги боғланишни айтинг.
3. Паскаль қонунини таърифланг.
4. Гидравлик пресснинг тузилишини ва ишлаш принципини тушунтиринг.

5. Гидростатик босим деганда нимани тушунасиз ва унинг формуласини келтириб чиқаринг.
6. Гидростатик парадоксини сиз қандай тушунтирасиз?
7. Туташ идишлар қонунини таърифланг.
8. Атмосфера нима?
7. Туташ идишлар қонунини таърифланг.
10. Суюқликли ва металл манометрларнинг тузилишини ва қўлланишини тушунтиринг.
11. Симобли ва металл барометрларнинг тузилишини ва қўлланишини тушунтиринг.
12. Архимед қонунини таърифланг.
13. Жисмларнинг сузиш шартларини тушунтиринг.

Масала ечиш намуналари

1-масала. Тўғри бурчакли параллелепипед шаклидаги идишга бир хил оғирликда симоб ва сув солинган. Симоб қатламининг баландлиги 12 см га тенг. Сув қатламининг баландлигини, идиш тубига ва идиш тубидан 6 см баландликда идиш деворига бўлган босимни топинг.

Берилган: $P_1 = P_2$, $\rho_1 = 13.6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_2 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $h_1 = 12 \text{ см} = 0,12 \text{ м}$,
 $h = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$.

Топиш керак: $h_2 = ?$ $p = ?$ $p' = ?$

Ечилиши: 1) Симоб қатламининг идиш тубига кўрсатаётган босим кучи симоб оғирлигига тенг, яъни

$$F_1 = P_1 = \rho_1 g V_1 = g S \rho_1 h_1,$$

бу ерда S — идиш тубининг юзи, V_1 — симобнинг ҳажми.

Сув қатламининг идиш тубига кўрсатаётган босим кучи сувнинг оғирлигига тенг, яъни

$$F_2 = P_2 = \rho_2 g V_2 = g S \rho_2 h_2.$$

бу ерда V_2 — сувнинг ҳажми, h_2 — сув сатҳининг баландлиги. Масаланинг шартига биноан $P_1 = P_2$ бинобарин,

$$g S_1 \rho_1 h_1 = g S_2 \rho_2 h_2$$

деб ёза оламиз. Бундан сув қатламининг қалинлиги

$$h_2 = \frac{\rho_1}{\rho_2} h_1$$

бўлади.

2) Идиш тубига кўрсатилаётган умумий босим ҳар бир суюқлик кўрсатаётган босимларнинг йиғиндисига тенг бўлади. Масаланинг шартига асосан симобнинг босими сувнинг босимига тенглиги келиб чиқади.

$\left[\frac{F_1}{S} = \frac{F_2}{S} \right]$, демак, умумий босим битта суюқлик, масалан, симоб босимининг иккиланган қийматига тенг бўлади, яъни

$$p = 2 \rho_1 = 2 \rho_1 g h_1.$$

3) Идиш тубидан h баландликда идиш деворига бўлган босим h_2 баландликдаги сув қатламининг босими билан $h_1 - h$ ($h_1 > h$) баландликдаги симоб қатламининг босими йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$p' = \rho_2 g h_2 + \rho_1 g (h_1 - h);$$

бу ифодага h_2 нинг ифодасини келтириб қўйсак, у ҳолда

$$p' = \rho_1 g (2h_1 - h)$$

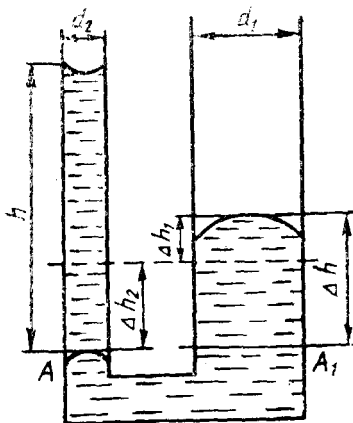
экани келиб чиқади.

Ҳисоблаш:

$$1) h_2 = \frac{13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}}{1 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}} \cdot 0,12 \text{ м} = 1,63 \text{ м};$$

$$2) p' = 2 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{С}^2} \cdot 0,12 \text{ м} = 0,33 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$3) p' = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{М}}{\text{С}^2} (2 \cdot 0,12 - 0,06) \text{ м} = 0,24 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$



111-расм.

2-масала. Бирининг диаметри иккинчисиникидан 4 марта катта бўлган иккита туташ идишга симоб солинган. Агар кичик диаметрли идишга баландлиги 70 см бўлган сув солинса, симоб сатҳлари қанча ўзгаради?

Берилган: $d_1 = 4d_2$, $\rho_1 = 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$,

$\rho_2 = 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}$, $h = 70 \text{ см} = 0,7 \text{ м}.$

Топиш керак: Δh_1 — ? Δh_2 — ?

Ечилиши: Сув солингандан сўнг кичик диаметрли идишдаги симобнинг сатҳи Δh_2 га пастга, катта диаметрли идишдаги симобнинг сатҳи эса Δh_1 га юқорига томон силжийди (111-расм). Сатҳлар орасидаги фарқ $\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2$ га тенг бўлади. Суюқликлар мувозанатда турганда AA_1 сатҳда иккала идишда ҳам босим бир хил бўлади, бинобарин,

$$\rho_1 g \Delta h = \rho_2 g h$$

деб ёза оламиз. Бундан

$$\Delta h = \frac{\rho_2}{\rho_1} h \quad (a)$$

бўлади. Суюқликларнинг деярли сиқилмаслигини назарга олсак,

$$S_1 \Delta h_1 = S_2 \Delta h_2 \quad (б)$$

деб ёзиш мумкин, бу ерда

$$S_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 \text{ ва } S_2 = \frac{\pi}{4} d_2^2 \quad (в)$$

лар биринчи ва иккинчи идишларнинг кўндаланг кесими юзлари. Масаланинг шар тига кўра $d_1 = 4d_2$ эканини эътиборга олиб, (а), (б) ва (в) тенгламаларни бирга ликда ечсак, у ҳолда

$$\Delta h_1 = \frac{\rho_2 h}{17\rho_1} \text{ ва } \Delta h_2 = \frac{16\rho_2 h}{17\rho_1}$$

ифодаларни ҳосил қиламиз.

$$\text{Ҳисоблаш: } \Delta h_1 = \frac{1 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot 0,7 \text{ м}}{17 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}} = 0,003 \text{ м},$$

$$\Delta h_2 = \frac{16 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,7 \text{ м}}{17 \cdot 13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0,048 \text{ м.}$$

3-масала. Рухдан ичи говак қилиб ясалган ва ташқи ҳажми 300 см^3 бўлган шар сувда ярми ботган ҳолда сузиб юрибди (112-расм). Шарнинг ички қисми (говак) нинг ҳажмини топинг.

Берилган: $V_1 = 300 \text{ см}^3 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$,

$$\rho_1 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}, \rho_2 = 7,1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3},$$

Топиш: керак: V_2 — ?

Ечилиши: Шарга $p = \rho_2 g (V_1 - V_2)$ га тенг бўлган оғирлик кучи ва $F_A = \rho_1 \times g \frac{V_1}{2}$ га тенг бўлган Архимед кучи таъ-

сир қилади, бу ерда V_2 — говакнинг ҳажми, $(V_1 - V_2)$ — шарнинг рух эгаллаган қисмининг ҳажми, $\frac{V_1}{2}$ — шар сиқиб чиқарган сўвнинг ҳажми (говакдаги ҳавонинг оғирлигини ҳисобга олмаймиз).

Шар сувда мувозанатда бўлгани сабабли

$$F_A = P \text{ ёки } \rho_1 g \frac{V_1}{2} = \rho_2 g (V_1 - V_2)$$

деб ёза оламиз. Бу муносабат шарнинг сувда сузиш шартини ифодалайди. Ундан V_2 ни топсак,

$$V_2 = V_1 \left(1 - \frac{\rho_1}{2\rho_2} \right)$$

ифода ҳосил бўлади.

Ҳисоблаш:

$$V_2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 \left(1 - \frac{10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{2 \cdot 7,1 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} \right) = 2,79 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

83. Гидравлик прессда кичик поршеннинг юзи 6 см^2 , катта поршеннинг юзи эса 600 см^2 . Кичик поршенга 400 Н куч, каттасига 36000 Н куч таъсир этади. Бу пресс кучдан қанча ютуқ беради? Ишқаланиш бўлмаганда-чи?

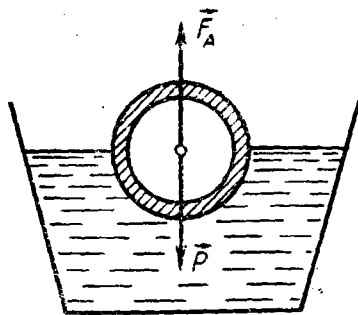
84. Юзи 250 см^2 бўлган насос поршенига сууюқликнинг кўрсатаётган босими $12 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га тенг бўлса, босим кучини мувозанатловчи куч қандай бўлади?

85. Сув, спирт ва симобда $0,5 \text{ м}$ чуқурликда босимни аниқланг. (Спиртнинг зичлиги $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ га тенг).

86. Сувнинг эркин сиртига бўлган атмосфера босими баландлиги 760 мм бўлган симоб устунининг босимига тенг бўлса, сувда қандай чуқурликда босим $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ бўлади?

87. Сув ҳавзасида сув сиртидан 10 м чуқурликкача ораликда босимнинг тақсимланиш графигини чизинг. Атмосфера босими $0,973 \cdot 10^5 \text{ Па}$ га тенг деб олинг.

88. Идишдаги босим $266,6 \text{ Па}$ га ўзгарса, унга уланган сувли манометрнинг очиқ тирсагидаги сув сатҳи қанчага силжийди?



112-расм.

89. Туташ идишларда баландлиги 10,35 см бўлган сув устуни баландлиги 11,5 см бўлган минерал мой устуни билан мувозанатлашиб турибди. Шу мойнинг зичлигини аниқланг.

90. Туташ идишларга дастлаб симоб қуйилди, сўнгра идишлардан бирига 48 см баландликда мой, иккинчисига эса 20 см баландликда керосин қуйилди. Туташ идишларда симоб сатҳлари орасидаги фарқни аниқланг.

91. Барометр тоғ этагида $1,013/10^5$ Па ни, тоғ чўққисига эса $0,962/10^5$ Па ни кўрсатади, Тоғнинг баландлиги қанча?

92. Массаси 140 г бўлган шиша парчасининг сувдаги оғирлиги 0,82 Н га тенг. Шишанинг зичлиги қандай?

93. Агар оғирлиги 7,8 Н бўлган металл парчасининг сувдаги оғирлиги 6,8 Н га, бензиндаги оғирлиги 7,1 Н га тенг бўлса, бензиннинг зичлиги қандай?

94. Сувдаги ҳажми $0,5 \text{ м}^3$ бўлган қарағай бўласи 70 кг массали одамни кўтариб тура оладими? Қарағайнинг зичлиги $440 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ га тенг.

95. Оғирлиги 750 Н бўлган одамни кўтариб тура оладиган 50 см қалинликдаги ясси музнинг сирти энг камида қандай бўлиши мумкин? Музнинг зичлиги $0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ га тенг.

II қисм. МЕХАНИК ТЕБРАНИШЛАР ВА ТҮЛҚИНЛАР

VI боб. МЕХАНИК ТЕБРАНИШЛАР

69-§. Тебранишлар ҳақида умумий маълумотлар

Турли хил механик ҳаракатлар орасида такрорланиб турадиган ҳаракатлар ҳам учрайди. Масалан, 16-§ да қараб чиқилган моддий нуқтанинг айлана бўйлаб текис ҳаракати такрорланувчи ҳаракатдир: текис айланаётган моддий нуқта ҳар бир янги айланишида бир хил вазиятлардан ўтади, шу билан бирга аввалги тартибда ва ўшандай тезлик билан ўтади. Ана шундай такрорланувчанлик хоссасига соат маятнигининг тебраниши, кўприкларнинг, мусиқа асбобларида торларнинг титраши, юрак уриши ва нафас олиш, пароходларнинг сув тўлқинларида тебраниши, ўзгарувчан ток ва унинг электромагнит майдони, атомда электронларнинг ҳаракати, қаттиқ жисм кристалл панжараси тугунларидаги ионларнинг ҳаракати ва ҳоказолар эгадир.

Тенг вақтлар ичида такрорланиб турадиган ҳаракатлар даврий ҳаракат дейилади.

Ҳаракати ўрганилаётган жисмлар гуруҳи механикада *жисмлар системаси ёки оддийгина система* деб юритилади. Системада жисмлар орасидаги ўзаро таъсир кучларини *ички кучлар* дейилади. Системадаги жисмларга шу системадан ташқаридаги жисмларнинг таъсир кучи *ташқи кучлар* деб аталади.

Тебранма ҳаракат қила оладиган система шундай бир вазиятга эгаки, у ўз ҳолича бу вазиятда қолдирилганда исталганча узоқ вақт давомида бўла олади. Бу мувозанат вазиятдир.

Система тўғри чизиқ ёки ёй бўйлаб ҳаракатланиб ўзининг мувозанат вазиятидан гоҳ бир томонга, гоҳ қарама-қарши томонга чиқишидан иборат даврий ҳаракат *тебранма ҳаракат ёки тебранишлар* дейилади.

Тебранаётган системага кўрсатилаётган таъсирнинг харақтерига қараб, тебранишлар *эркин* (ёки *хусусий*) ва *мажбурий* тебранишларга бўлинади.

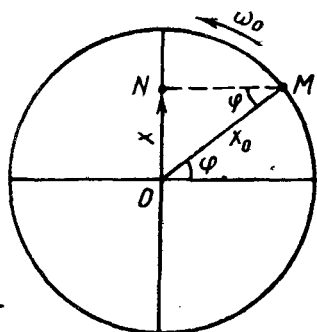
Бир марта туртки берилгандан ёки мувозанат вазиятидан чиқарилгандан сўнг ички кучлар таъсирида юзага келадиган тебранишлар эркин тебранишлар дейилади. Бунга мисол қилиб ипга осиб қўйилган шарча (маятник) нинг тебранишини олиш мумкин. Тебранишлар вужудга келиши учун шарчани туртиб юбориш ёки уни мувозанат ҳолатидан четга чиқариб қўйиб юбориш кифоя.

Даврий равишда ўзгарувчан ташиқи кучларнинг таъсири остида бўладиган тебранишлар мажбурий тебранишлар деб аталади. Бунга ички ёнув двигатели цилиндридаги поршеннинг тебранишлари, тикув машинаси игнасининг ва моксининг тебранишлари, устидан одамлар тартибли қадам ташлаб ўтаётган кўприкнинг тебранишлари мисол бўла олади.

Тебранишлар физик табиати ва мураккаблик даражаси жиҳатидан механик, электромагнит, электромеханик ва ҳоказо тебранишларга бўлинади. Бу тебранишларнинг ҳаммаси умумий қонуниятлар асосида рўй беради. Энг содда тебраниш бу гармоник тебранишдир. Гармоник тебраниш шундай ҳодисаки, унда тебранувчи катталиқ (масалан, маятникнинг оғиши) вақтга боғлиқ равишда синус ёки косинус қонуни бўйича ўзгаради. Бу турдаги тебраниш қуйидаги икки сабабга кўра жуда муҳимдир: биринчидан, табиатда ва техникада учрайдиган тебранишлар ўз характери билан гармоник тебранишларга яқин; иккинчидан, бошқача кўринишдаги (вақтга қараб ўзгарадиган) даврий тебранишларни устма-уст тушган бир неча гармоник тебранишлар сифатида тасаввур қилиш мумкин. Биз механик-гармоник тебранишлар устида тўхталиб ўтамиз.

70- §. Гармоник тебранишлар

Гармоник тебранишларнинг асосий қонуниятлари ва характеристикалари билан моддий нуқтанинг айлана бўйлаб текис ҳаракатида танишиш қулай. Фараз қилайлик, M моддий нуқта x_0 радиусли айлана бўйлаб соат стрелкаси ҳаракати йўналишига тескари йўналишда ўзгармас ω_0 бурчак тезлик билан ҳаракатланаётган бўлсин (113-расм). У ҳолда бу M нуқтанинг вертикал диаметрга бўлган проекцияси N нуқта O мувозанат вазияти атрофида даврий тебранишда бўлади. Бу проекциянинг силжиш катталлиги ($x = ON$) x_0 дан $-x_0$ гача чегарада даврий ўзгаради. Вақтнинг ихтиёрий t пайтида силжиш катталлиги



113- расм.

$x = x_0 \sin \varphi$ (134) эканлиги расмдан кўриниб турибди. Моддий нуқтанинг айланиш даври T , унинг секундига айланишлар сони ν , бурчак тезлиги ω_0 ва радиусининг бурилиш бурчаги φ ўзаро қуйидаги

$$\varphi = \omega_0 t = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi \nu t$$

муносабатлар билан боғланган бўлгани учун (18-§ га қ.) (134) формулани яна қуйидаги кўринишларда ёзиш мумкин:

$$x = x_0 \sin \omega_0 t, \quad (135)$$

$$x = x_0 \sin \frac{2\pi}{T} \cdot t, \quad (136)$$

$$x = x_0 \sin 2 \pi \nu t. \quad (137)$$

Вақтнинг ихтиёрий t пайтида силжиш катталигини аниқлайдиган (135), (136) ва (137) формулалар гармоник тебранишлар тенгламаларининг турли кўринишидир. x силжиш 0 мувозанат вазиятдан юқорига йўналган бўлса — мусбат, пастга йўналган бўлса — манфий бўлади. Мувозанат вазиятдан максимал силжишнинг x_0 га тенг бўлган абсолют қиймати тебраниш амплитудаси дейилади.

Тебранма ҳаракатларни баён қилишда T , ν ва φ физик катталиклар айланма ҳаракатда аталганидан бошқача номлар (17, 18-§ ларга қ.) билан аталади: T — тебраниш даври, ν — тебранишлар частотаси, ω_0 — циклик ёки доиравий частота ва φ тебраниш фазаси деб аталади. Бу катталикларнинг бирликлари, албатта, аввалгича қолади.

$\varphi = \omega_0 t$ тебраниш фазасининг физик маъноси шундан иборатки, у вақтнинг исталган пайтидаги силжишни, яъни тебраниётган системанинг мувозанат вазиятига нисбатан ҳолатини белгилайди. (135) тенгламада бошланғич ($t=0$) пайтда тебраниш фазаси нолга тенг бўлади (яъни секундомер N нуқта O мувозанат вазияти орқали мусбат йўналишда ўтган пайтда ишга туширилган). Агар бошланғич пайтда фаза бирор φ_0 қийматга эга бўлса (яъни секундомерни ишга тушириш пайтида N нуқта мувозанат вазиятидан бир оз оғишга улгурган бўлса), у ҳолда гармоник тебранма ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади:

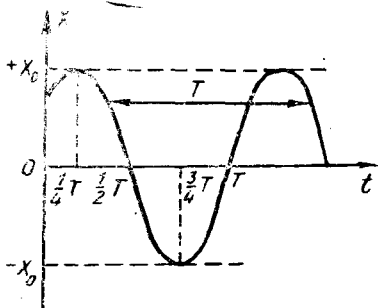
$$x = x_0 \sin (\varphi + \varphi_0) = x_0 \sin (\omega t + \varphi_0). \quad (138)$$

бу ерда φ_0 — бошланғич фаза деб аталади ва у бошланғич пайтда жисм мувозанат вазиятига нисбатан қандай ҳолатда эканлигини кўрсатади. Вақт саногининг бошланғич пайтини танлаш ихтиёрий бўлгани учун $\varphi_0 = 0$ деб олиш мумкин.

Гармоник тебранма ҳаракат графигини ҳосил қилиш учун x силжишнинг вақтнинг турли қийматларида (136) формулага асосан ҳисоблаб топиб жадвал тузамиз:

| | | | | | |
|-----|---|-----------------|-----------------|-----------------|-----|
| t | 0 | $\frac{1}{4} T$ | $\frac{1}{2} T$ | $\frac{3}{4} T$ | T |
| x | 0 | $+x_0$ | 0 | $-x_0$ | 0 |

Сўнг абсцисса ўқига t вақтни, ордината ўқига x силжишни қўйиб, ҳосил қилинган нуқталарни силлиқ эгри чизиқ билан туташтирсак, гармоник тебранишнинг графиги — синусоидани ҳосил қиламиз (114-расм). Тебранма ҳаракат даврий равишда



114- расм.

ида кўринишида бўлади ва (135—138) формулалар косинус орқали ифодаланadi.

71- §. Гармоник тебранишларда тезлик ва тезланиш

Гармоник тебранма ҳаракат қилувчи моддий нуқтанинг силжиши 70- § даги (135) формула билан ифодаланишини биз кўрдик, бунда бошланғич фаза нолга тенг. Моддий нуқтанинг тезлиги сон жиҳатдан x силжишдан вақт бўйича олинган ҳосилага, яъни $v = \frac{dx}{dt}$ га тенг. Шу ифодани топайлик:

$$v = \frac{dx}{dt} \omega_0 x_0 \cos \omega_0 t$$

ёки тригонометрик функцияларни келтириш қоидаларини назарга олиб, шундай ёзиш мумкин:

$$v = \omega_0 x_0 \sin \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (139)$$

Бу тенгламадан тебраниш тезлиги вақт ўтиши билан ўзгариб туриши кўриниб турибди. Демак, тебранма ҳаракат тезланиш билан бўлади, унинг тезланишини тезлик ифодаси (139) ни дифференциаллаш йўли билан топиш мумкин:

$$a = \frac{dv}{dt} = \omega_0^2 x_0 \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right) = \omega_0^2 x_0 \sin \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right). \quad (140)$$

(135) формулани назарга олиб, тезланишни силжиш орқали ифодалаш мумкин:

$$a = \omega_0^2 x_0 \sin (\omega_0 t + \pi) = -\omega_0^2 x_0 \sin \omega_0 t = -\omega_0^2 x. \quad (141)$$

Бу ифодадан кўринадики, тезланишнинг ишораси ҳамма вақт силжишнинг ишорасига тескари бўлади. Демак, тезланиш ҳамма вақт тебранаётган нуқтанинг мувозанат вазиятига томон йўналган бўлади.

(135), (139) ва (140) формулаларни таққосласак, қуйидаги хулосалар келиб чиқади:

такрорлангани учун ҳар бир T даврда худди шундай синусоида кесмаси қўшилиб бораверади ва у абсцисса ўқи йўналишида чегараланмаган ҳолда давом этиши мумкин.

Агар M нуқтанинг горизонтал диаметрга проекциясини олсак (113-расмга қ.), бу проекциянинг силжиши вақтга қараб косинус қонуни бўйича ўзгаради, гармоник тебранма ҳаракат графиги эса косинусоида

1) гармоник тебранма ҳаракат қилаётган нуқтанинг v тезлиги ва a тезланиши ҳам x силжиши каби бир хил частота ва бир хил T давр билан гармоник тебранади;

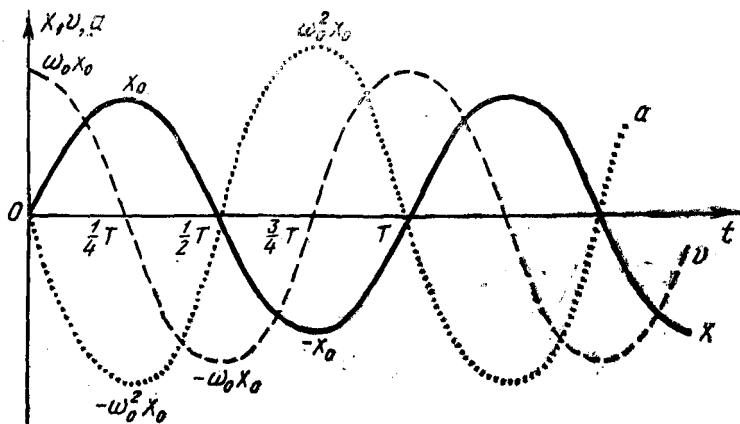
2) силжишнинг амплитудаси x_0 га, тезликники $\omega_0 x_0$ га ва тезланишники $\omega_0^2 x_0$ га тенг;

3) тезлик силжишдан фаза бўйича $\frac{\pi}{2}$ га, тезланиш силжишдан фаза бўйича π га илгари кетади. Демак, силжиш билан тезланиш қарама-қарши фазаларда ўзгарар экан. Бу шуни англатадики, силжиш энг катта мусбат қийматга эришганда тезланиш энг катта манфий қийматга эришади ва аксинча.

| t | x | v | a |
|----------------|--------|-------------------|-------------------|
| 0 | x_0 | 0 | $-\omega_0^2 x_0$ |
| $\frac{1}{4}T$ | 0 | $-\omega_0^2 x_0$ | 0 |
| $\frac{1}{2}T$ | $-x_0$ | 0 | $\omega_0^2 x_0$ |
| $\frac{3}{4}T$ | 0 | $\omega_0 x_0$ | 0 |
| T | x_0 | 0 | $-\omega_0^2 x_0$ |

Энди тезлик ва тезланишнинг бир давр ичидаги ўзгаришини қараб чиқайлик. Бунинг учун v ва a нинг турли пайтлардаги қийматларини x нинг ҳам ўша пайтлардаги қийматлари билан таққослаб жадвал тузамиз ва шу жадвалга асосланиб $v=f(t)$ ва $a=f(t)$ графикларини чизамиз (115-расм). Расмда таққослаш учун $x=f(t)$ графиги ҳам келтирилган. Жадвалдан ва расмдан кўринадики, тебранувчи нуқта мувозанат вазиятдан ўтаётганда тез-

лик абсолют максимал $|v|_{\max} = \omega_0 x_0$ қийматга эга бўлади; нуқта энг кўп четланган $x = \pm x_0$ жойларда, тезлик нолга тенг. Тезланиш, аксинча, мувозанат вазиятдан ўтишда нолга тенг ва энг кўп четланиш жойларида $|a|_{\max} = \omega_0^2 x_0$ максимал абсолют қийматга эга бўлади.



115-расм.

72- §. Эркин гармоник тебранишлар

71- § да гармоник тебранма ҳаракатда тезланиш вақтга боғлиқ равишда ўзгаришини кўрдик. Бинобарин, бундай тебраниш ўзгарувчан куч таъсирида юзага келади. Ўзгарувчан \vec{F} куч таъсирида m массали система, (масалан, моддий нуқта) a тезланиш билан гармоник тебранаётти, деб фараз қилайлик. У ҳолда (141) формулани назарга олиб куч ифодасини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\vec{F} = m\vec{a} = -m\omega_0^2\vec{x} = -k\vec{x}, \quad (142)$$

бу ерда

$$k = m\omega_0^2 \quad (143)$$

деб белгилаб олдик (x силжиш вектор катталиқ эканини эсла-тиб ўтамиз).

Шундай қилиб, гармоник тебранишни юзага келтирувчи куч силжишга мутаносиб ва силжишга қарама-қарши йўналган бўлар экан. Шу муносабат билан гармоник тебранишга яна қуйидагича таъриф бериш мумкин: *силжишга мутаносиб ва унга қарама-қарши йўналган куч таъсири остида бўладиган тебранишлар гармоник тебранишлар деб аталади*. Бу куч системани мувозанат вазиятига қайтаришга интилади, шунинг учун уни *қайтарувчи куч* деб юритилади. Масалан, эластиклик кучи қайтарувчи куч бўлиши мумкин, чунки бу куч ҳам силжишга мутаносиб ва ишораси қарама-қарши (32-§ га қ). Эластиклик хусусиятига эга бўлмаган куч ҳам худди шундай қонуниятга бўйсунishi, яъни $-kx$ га тенг бўлиши мумкин, бу ерда k доимий мусбат катталиқ бўлиб, уни *қайтарувчи куч коэффициенти* деб аталади. Одатда бундай кўринишдаги кучлар уларнинг табиатидан қатъи назар *квазиэластик* (гўё эластик) *кучлар* деб аталади.

Шундай қилиб, эркин гармоник тебранишлар эластик ёки квазиэластик кучлар таъсирида бўлар экан. Агар эркин тебранишларда тебраниш амплитудаси вақт ўзгариши билан ўзгармаса, бундай эркин тебранишларни системанинг *хусусий тебранишлари* деб аталади. Тебранаётган системанинг m массаси ва k коэффициентини маълум бўлса, (143) формуладан фойдаланиб, эркин гармоник тебранишларнинг частотасини ва даврини аниқлаш мумкин:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (144)$$

ва

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (145)$$

ω_0 ни системанинг *хусусий тебранишларининг даврий частотаси* дейилади, унинг қиймати массага ва системанинг параметрлари билан аниқланадиган k коэффициентига боғлиқ бўлади.

73- §. Математик маятник

Математик маятник деб вазнсиз ва чўзилмайдиган узун ипга осилган ва оғирлик кучи таъсирида тебраниш ҳаракат қила оладиган моддий нуқтага айтилади. Узун ингичка ипга осилган кичикроқ оғир шарча математик маятник бўла олади. Маятникнинг мувозанат вазиятдан оғишини ип вертикал билан ҳосил қилган φ бурчак орқали характерлаш мумкин (116-расм). Маятник B мувозанат вазиятда бўлганда моддий нуқтага қўйилган $\vec{P} = m\vec{g}$ оғирлик кучи билан ипнинг \vec{N} таранглик кучи ўзаро мувозанатлашади. Агар маятникни кичик φ бурчакка четлатсак, ипнинг \vec{N} таранглик кучи энди $m\vec{g}$ оғирлик кучининг \vec{F}_1 ташкил этувчиси билан мувозанатлашади. Оғирлик кучининг \vec{F}_2 ташкил этувчиси эса қайтарувчи куч вазифасини бажаради ва тебранишларни юзага келтиради.

φ бурчак кичик бўлганда BC ёй x силжишга тенг бўлган BC ватар билан уст-уст тушади, деб ҳисоблаш мумкин. Шрихланган учбурчакларнинг ўхшашлигидан фойдаланиб, \vec{F}_2 қайтарувчи кучнинг катталигини аниқлайлик. Расмдан

$$\frac{l}{x} = \frac{mg}{F_2},$$

бу ерда $l = OB$ ипнинг осилиш нуқтасидан моддий нуқтагача (шарчанинг оғирлик марказигача) бўлган масофа бўлиб, уни математик маятникнинг узунлиги дейилади. Бу муносабатдан F_2 ни топсак,

$$F_2 = mg \frac{x}{l} \quad (146)$$

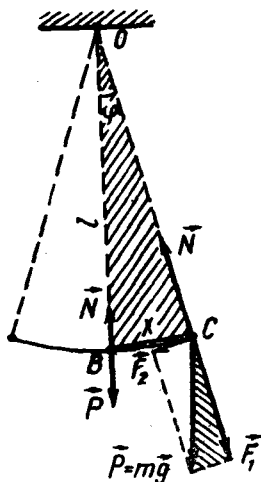
бўлади. Берилган маятник учун $\frac{mg}{l}$ ўзгармас катталик, уни k ҳарфи билан белгилаб оламиз, яъни

$$k = \frac{mg}{l}. \quad (147)$$

Қайтарувчи куч ҳамма вақт силжишга қарама-қарши йўналганлигини назарга олсак, (146) формулани қуйидагича ёза оламиз:

$$F_2 = -kx.$$

Демак, мувозанат вазиятидан кичик бурчакка оғдирилган математик маятникнинг оғирлик кучи таъсиридаги тебраниш-



116- расм.

лари гармоник тебранишлар бўлар экан. Шунинг учун оғирлик кучини квазиэластик куч деб ҳисоблаш мумкин.

(143) ва (147) формулалардан математик маятникнинг хусусий тебранишлари частотаси ва даври қўйидагича бўлади:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (148)$$

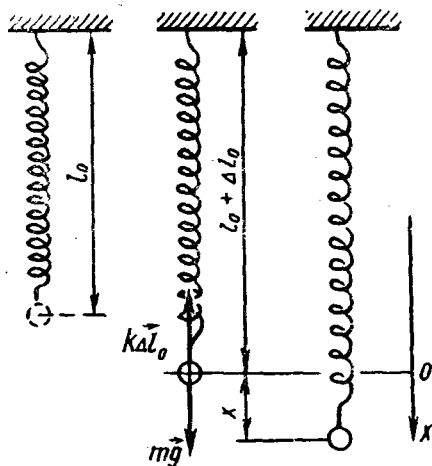
ва

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (149)$$

Охири формуладан кўринадики, кичик оғишларда математик маятник тебранишларининг даври квадрат илдиз оstdаги маятник узунлигига тўғри, оғирлик кучи тезланишига тескари муносабат бўлиб, маятник тебранишларининг амплитудаси ва массасига боғлиқ эмас.

74-§. Пружинали маятник

Пружинага осиб қўйилган m массали юк (шарча) дан иборат системани қараб чиқайлик (117-расм). Бунда пружинанинг массаси юкнинг массасига нисбатан жуда кичик бўлсин. Бундай системани *пружинали маятник* дейилади.



117- расм.

Деформацияланмаган пружинанинг узунлиги l_0 бўлсин. Агар пружинага юк осилса, у $l_0 + \Delta l_0$ узунликкача чўзилади ва унда эластиклик кучи пайдо бўлади. Унча катта бўлмаган чўзилишлар учун Гук қонуни ўринли. Юкнинг мувозанат вазиятида $m\vec{g}$ оғирлик кучи $k\Delta l_0$ эластиклик кучи билан мувозанатлашади:

$$|m\vec{g}| = |k\Delta l_0| \quad (a)$$

бу ерда k — пружинанинг бикрлиги. Юкнинг мувозанат вазиятидан оғишини x координата билан характерлаймиз, бунда x ўқни пастга вертикал йўналтириб, ўқнинг нолини юкнинг мувозанат вазияти билан устма-уст туширамиз (117-расмга қ.). Агар

юкни мувозанат вазиятдан x масофага силжитсак, у ҳолда пружина $\Delta l_0 + x$ га уза йган бўлади ва юкка таъсир қилаётган натижавий, яъни қайтарувчи куч

$$F = mg - k(\Delta l_0 + x)$$

бўлади. (a) мувозанат шартини ҳисобга олсак, у ҳолда

$$F = - kx$$

ифода келиб чиқади. Демак, пружинали маятник эластиклик кучи таъсири остида гармоник тебранма ҳаракат қилади, унинг тебраниш частотаси (144) формула билан, тебраниш даври эса (145) формула билан аниқланади.

Шундай қилиб, Гук қонуни ўринли бўлган деформацияларда пружинали маятникнинг тебраниш даври юк массасининг квадрат илдизидан чиқарилган қийматига тўғри мутаносиб бўлиб, пружинанинг узунлигига ва маятникнинг тебраниш амплитудасига боғлиқ эмас.

75- §. Гармоник тебранишлар энергияси

Гармоник тебранаётган система кинетик ва квазиэластик кучлар таъсиридан ҳосил қилган потенциал энергияга эга бўлади.

Агар тебранаётган системанинг массаси m ва тезлиги v бўлса, (139) формулани назарга олиб, кинетик энергия учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \sin^2\left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}\right) = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \cos^2 \omega_0 t. \quad (150)$$

Квазиэластик кучлар таъсиридан ҳосил бўлган потенциал энергия ҳам эластик деформацияланган жисмнинг потенциал энергияси сингари ифодаланади (49- § га қ.), яъни силжиш квадратига мутаносиб бўлади. У ҳолда (135) формулани назарга олиб, потенциал энергия учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$E_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2} x_0^2 \sin^2 \omega_0^2 t.$$

Бироқ $k = m\omega_0^2$ эканлигини ҳисобга олсак,

$$E_p = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \sin^2 \omega_0 t. \quad (151)$$

(150) ва (151) формулалардан кўринишича, гармоник тебранаётган системанинг кинетик ва потенциал энергиялари даврий равишда ўзгариб туради.

Системанинг тўлиқ энергияси унинг кинетик ва потенциал энергияларининг йиғиндисига тенг бўлади, яъни:

$$E = E_k + E_p = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \cos^2 \omega_0 t + \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2 \sin^2 \omega_0 t = \frac{m}{2} \omega_0^2 x_0^2. \quad (152)$$

Шундай қилиб, гармоник тебранишнинг тўлиқ энергияси ўзгармас ва амплитуданинг квадратига тўғри мутаносиб экан.

Система мувозанат вазиятдан ўтаётганда унинг тезлиги максимал бўлади (бу ҳол вақтнинг $t = 0$; $\frac{1}{2} T$; T қийматларига мос келиб (114-расмга қ.), бунда $\cos^2 \omega_0 t = t$ бўлади) ва кинетик энергия ўзининг

$$E_{k,\max} = \frac{m\omega_0^2}{2} x_0^2 \quad (153)$$

максимал қийматига эришади. Система мувозанат ҳолатдан максимал четлашганда эса (бу ҳол вақтнинг $t = \frac{T}{4}$; $\frac{3}{4}T$ қийматларига мос келади ва $\sin^2 \frac{2\pi}{T} t = 1$ бўлади) потенциал энергия ўзининг

$$E_{p,\max} = \frac{m\omega_0^2}{2} x_0^2 \quad (154)$$

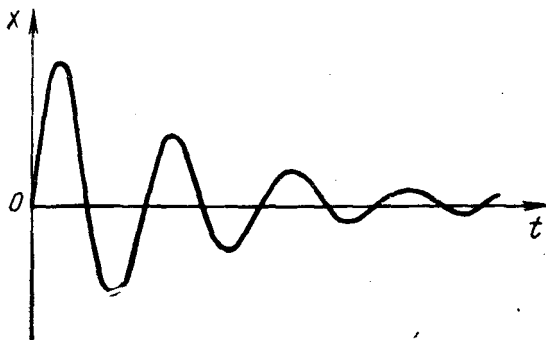
максимал қийматини олади.

(152), (153) ва (154) формулаларни таққосласак, агар қаршилиқ кучлари бўлмаса, тебранаётган системанинг тўлиқ механик энергияси унинг мувозанат вазиятидан энг катта оғиш пайтидаги потенциал энергиясига ёки мувозанат вазиятдан ўтаётган пайтидаги кинетик энергиясига тенг бўлади, деган хулоса келиб чиқади.

Шундай қилиб, гармоник тебранаётган системанинг кинетик ва потенциал энергиялари даврий равишда ўзаро айланиб туради.

76- §. Сўнувчи тебранишлар

Юқорида кўриб ўтилган пружинали маятникнинг ёки математик маятникнинг эркин тебранишлари фақат ишқаланиш бўлмаган тақдирдагина гармоник тебранишлар бўла олади. Лекин реал тебранувчи системада ҳамма вақт ишқаланиш, аниқроғи қаршилиқ кучлари мавжуд. Масалан, маятник осиб

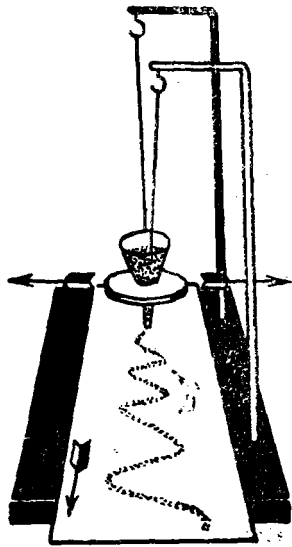


118- расм.

қўйилган жойдаги ишқаланиш кучи ёки система тебранаётган муҳитнинг қаршилик кучи шулар жумласидандир. Қаршилик кучларини энгиш учун система иш бажаради ва тебранишлар энергиясининг бир қисмини сарфлайди. Шунинг учун тебраниш энергияси тебраниш жараёнида камайиб боради. Тебраниш энергияси амплитуда квадратига тўғри мутаносиб бўлгани учун (152 формулага қ.) тебранишлар амплитудаси ҳам тобора камайиб боради ва энергия запаси тугагач, тебранишлар бутунлай тўхтайди. Бундай тебранишлар *сўнувчи тебранишлар* деб аталади. 118-расмда сўнувчи тебранишлар учун x силжишнинг t вақтга боғлиқлик графиги тасвирланган. Бундай боғланиш-ни қумдонли маятник воситасида ҳосил қилиш мумкин (119-расм). Тешиги жуда тор бўлган воронкани узун ипга маятник сингари осиб, унга қуруқ қум тўлдирилади ва тебрантириб юборилади. Агар воронканинг остидан кенг қоғоз тасмани унинг тебранишларига перпендикуляр йўналишда тортиб текис ҳаракатлантирилса, воронкадан тушаётган қум оқими маятник силжишининг вақтга боғлиқ ўзгаришини график равишда тасвирловчи қум изини ҳосил қилади.

Муҳитнинг қаршилиги қанча катта бўлса, амплитуда шунча тез камаяди ва тебранишлар тез тўхтайди. Масалан, ҳавода маятник анча узоқ вақт давомда тебраниши мумкин, бироқ ўшанча энергия берилган ўша маятникнинг ўзи сув ичида бир-икки мартадан ортиқ тебрана олмайди.

Сўнувчи тебранишларда тебраниш амплитудаси вақт ўтиши билан камайиб бориши сабабли ҳаракат тўла такрорланмайди. Шунинг учун сўнувчи тебранишлар гармоник бўлмайди, улар ҳатто даврий ҳаракат ҳам бўлмайди. Бироқ энергиянинг сарфланиши (сўниш) жуда секинлик билан амалга ошса, бундай сўнувчи тебранишларни бирор тақрибийлик билан даврий ҳаракат деб ҳисоблаш мумкин.



119- расм.

77- §. Мажбурий тебранишлар

Эркин тебранишлардан амалда камдан-кам фойдаланилади. Исталганча узоқ вақт давом эта оладиган сўнмас тебранишлар эса катта амалий аҳамиятга эга. Сўнмас тебранишларни ҳосил қилиш учун тебранувчи система энергиясининг камайишини четдан тўлдириб туриш лозим. Бунинг энг қулай усули системага даврий ўзгариб турувчи куч билан таъсир этиб туришдир.

Даврий ўзгариб турувчи ташқи куч таъсирида бўладиган тебранишларни *мажбурий тебранишлар* деб аталади, бу кучни *мажбур этувчи куч*, тебранувчи системани эса *мажбурий система* дейилади.

Одатда, мажбур этувчи куч сифатида вақт бўйича синус ёки косинус қонуни билан ўзгарадиган кучдан фойдаланилади. Бундай кучнинг ифодаси

$$F = F_0 \sin \omega t$$

кўринишда бўлади, бу ерда r_0 — кучнинг амплитуда (максимал) қиймати, ω — куч тебранишларининг доиравий частотаси.

Мажбурий тебранишлар амплитудасини аниқлайлик. Мажбурий системаларга мажбур этувчи кучдан ташқари тебранишларни юзага келтирувчи квазиэластик кучлар ҳамда муҳитнинг қаршилик кучи таъсир кўрсатади. Системанинг ҳаракат тенгламасини ёзишда бу кучларни ҳам ҳисобга олиш лозим. Агар тебранишлар амплитудаси етарли даражада кичик бўлса, қаршилик кучини тезликка мутаносиб деб ҳисоблаш мумкин. У ҳолда Ньютоннинг иккинчи қонунига кўра ҳаракат тенгламаси қуйидаги кўринишда ёзилади

$$ma = -kx - rv + F_0 \sin \omega t, \quad (155)$$

бу ерда m , x , v ва a мос равишда тебранувчи системанинг массаси, силжиши, тезлиги ва тезланиши, r — муҳитнинг қаршилик коэффициентини. Ҳисобни соддалантириш мақсадида қаршилик кучини жуда кичик деб, уни назарга олмасак, у ҳолда

$$ma = -kx + F_0 \sin \omega t \quad (156)$$

бўлади.

Тезланишнинг (141) ифодасини ва (143) формулани назарга олиб, (156) муносабатни қуйидагича ёзамиз:

$$-m\omega^2 x = -m\omega_0^2 x + F_0 \sin \omega t$$

ва бундан мажбурий тебранишлардаги силжишни топиш мумкин:

$$x = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} \sin \omega t. \quad (157)$$

Бу ифодани гармоник тебранма ҳаракат тенгламаси [(135) формула] билан таққосласак, мажбурий тебранишлар амплитудасининг ифодаси қуйидагича бўлади:

$$x_0 = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}. \quad (158)$$

Шундай қилиб, (157) ва (158) формулалардан қуйидаги хулосалар келиб чиқади:

1) мажбурий тебранишлар мажбур этувчи куч частотасига тенг частотали гармоник тебранишлардан иборат экан;

2) мажбурий тебранишларнинг x_0 амплитудаси мажбур этувчи кучнинг F_0 амплитудасига тўғри мутаносибдир;

3) мажбурий тебранишларнинг x_0 амплитудаси мажбур этувчи кучнинг ω частотаси билан системанинг ω_0 хусусий тебранишлари частотаси орасидаги муносабатга боғлиқ бўлади;

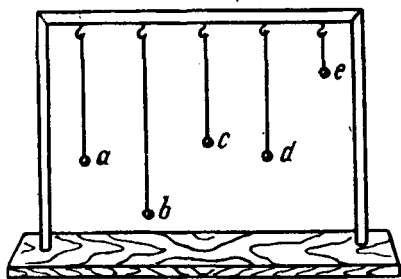
4) берилган тебранувчи (аниқ ω_0 хусусий частотага эга бўлган) система учун x силжиш $F \sin \omega t$ мажбур этувчи кучга мутаносиб бўлади.

78-§. Резонанс

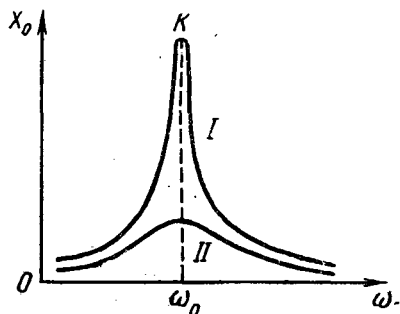
Мажбурий тебранишлар амплитудасининг мажбур этувчи куч частотасига боғлиқлиги [(158) формулага қ.] шунга олиб келадик, бунда ω частота ω_0 частотага яқинлашганда ($\omega \rightarrow \omega_0$) ($\omega_0^2 - \omega^2$) айирма нолга интилиб, x_0 амплитуда эса чексиз катта ($x_0 \rightarrow \infty$) бўлади. Ҳақиқатда эса ишқаланиш туфайли мажбурий тебранишлар амплитудаси чекли бўлиб қолади.

Системанинг мажбурий тебранишлари частотаси хусусий тебранишлари частотасига яқинлашганда тебранишлар амплитудасининг кескин ортиб кетиш ҳодисаси резонанс деб аталади. Резонанс рўй берадиган частота резонанс частота деб аталади.

Резонанс ҳодисасини қуйидаги оддий тажрибада кузатиш мумкин. Тахта рейкага турли узунликли маятникларни осиб (120- расм), улардан бирини, масалан, d маятникни мувозанат вазиятдан четга чиқариб рейка жойлашган текисликка перпендикуляр текисликда тебратиб юборамиз. Бу тебранишлар рейкага узатилади ва рейка d маятникнинг тебраниш частотасига тенг частота билан бошқа маятникларга таъсир этади. Бунда узунлиги d маятникнинг узунлигига тенг бўлган фақат a маятникнинг кучли тебранишини кўрамиз. Бу маятниклар ўзаро резонансда бўлади, b ва c маятниклар жуда кичик амплитуда билан тебранади, энг қисқа e маятник эса деярли тебранмай-



120- расм.



121- расм.

ди, бунга сабаб унинг хусусий тебранишлар частотаси d маятникнинг частотасидан катта фарқ қилади.

121- расмда тасвирланган I эгри чизиқ мажбурий тебранишлар амплитудасининг даврий ўзгариб турувчи мажбур этувчи кучнинг частотасига боғлиқ ҳолда қандай ўзгаршини кўрсатади. Бундай эгри чизиқ *резонанс эгри чизиғи* деб аталади. Расмдан кўринадик, мажбурий тебранишлар частотаси системанинг хусусий тебранишлар частотасига тенг бўлиб қолганда амплитуда энг катта қийматга эришади. Расмда шундай амплитуда K нуқтанинг ординатаси билан кўрсатилган. Мажбур этувчи кучнинг частотаси резонанс частотадан ўнг томонга ёки чап томонга ўзгарганда тебранишларнинг амплитудаси камаяди.

Тебранувчи системадаги ишқаланиш резонанс ҳодисасига сезиларли таъсир кўрсатади. Ишқаланиш қанча кўп бўлса, тебранишлар амплитудаси шунча кичик бўлади. 121- расмда тасвирланган I эгри чизиқ кам ишқаланишли системага, II эгри чизиқ эса кўп ишқаланишли системага мос келади.

Резонанс ҳодисаси ҳар қандай табиатли тебранишларда кузатилади. Бу ҳодисадан, масалан, акустикада товушни кучайтиришда, радиотехникада электр тебранишларни кучайтиришда кенг фойдаланилади.

Баъзи ҳолларда резонанс зарарли таъсир кўрсатади. Резонанс туфайли иншоотлар (кўприклар, таянчлар, бинолар ва бошқалар), механизмлар (масалан, станоклар, моторлар ва бошқалар) кучли титраши натижасида емирилиши мумкин. Шунинг учун иншоотларни қуришда механизмларнинг тебраниш частоталари билан иншоотларнинг хусусий тебранишлари орасида катта фарқ бўлиши таъминланади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Тебранма ҳаракат деб қандай ҳаракатга айтилади? Даврий ҳаракат деб-чи? Мисоллар келтиринг.
2. Қандай тебранишларни гармоник тебранишлар дейилади? Эркин тебранишлар деб-чи?
3. Гармоник тебранишларни характерловчи асосий катталиклар (амплитуда, давр, частота ва фаза) нинг таърифини айтиб беринг.
4. Гармоник тебранишлар учун силжиш, тезлик ва тезланиш ифодаларининг ёзинг ва уларнинг вақтга боғлиқлик графикларини чизинг.
5. Математик маятникни ва унинг тебраниш қонунларини тушунтиринг.
6. Пружинали маятникни ва унинг тебраниш қонунларини тушунтиринг.
7. Маятникли соатлардан вазисизлик шароитларда фойдаланиш мумкинми?
8. Нима учун эркин тебранишлар сўнувчи бўлади? Сўнмас тебранишларни қандай ҳосил қилиш мумкин?
9. Мажбурий тебранишлар қандай олинади? Мажбурий тебранишларнинг амплитудаси қандай катталикларга боғлиқ?
10. Резонанс ҳодисаси нима? Резонанс эгри чизиғини чизинг ва тушунтиринг.
11. Техникада резонанс ҳодисасининг аҳамияти нимадан иборат? Мисоллар келтиринг.

Масала ечиш учун намуналар

1-масала. Гармоник тебранишлар амплитудаси 50 мм, даври 4 с ва бошлангич фазаси $\frac{\pi}{4}$ · 1) Мазкур тебранишнинг тенгламасини ёзинг. 2) $t_1 = 0$ ва $t_2 = 1,5$ бўлганда тебранаётган нуқтанинг мувозанат вазиятдан силжишини топинг.

Берилган: $x_0 = 50 \text{ мм} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$; $T = 4 \text{ с}$; $\varphi_0 = \frac{\pi}{4}$; $t_1 = 0$; $t_2 = 1,5 \text{ с}$.

Топиш керак: $x = f(t)$ — ? x_1 — ? x_2 — ?

Ечилиши: Гармоник тебранишлар тенгламаси қуйидаги кўринишга эга эди:

$$x = x_0 \sin(\omega_0 t + \varphi_0) = x_0 \sin \frac{2\pi}{T} (t + \varphi_0).$$

Масаланинг шартига кўра берилган катталикларнинг қийматларини тенгламага келтириб қўйсақ, тебраниш тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$x = 0,05 \sin \left(\frac{2\pi}{4} \cdot t + \frac{\pi}{4} \right) \text{ м} = 0,05 \sin \left(\frac{\pi}{2} t + \frac{\pi}{4} \right) \text{ м}.$$

Бу тенгламага вақтнинг $t_1 = 0$ ва $t_2 = 1,5$ с қийматларини қўйиб, тебранаётган нуқтанинг мувозанат вазиятидан шу вақтларга мос келган силжишини топамиз:

$$t_1 = 0 \text{ да } x_1 = 0,05 \sin \frac{\pi}{5} \text{ м} = 0,05 \cdot 0,707 \text{ м} = 0,035 \text{ м}$$

$$t_1 = 1,5 \text{ с да } x_2 = 0,05 \sin \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{3}{2} + \frac{\pi}{4} \right) \text{ м} = 0,05 \sin \pi \text{ м} = 0.$$

2-масала. Ҳаракат тенгламаси $x = 2 \sin \pi (t + 0,5)$ см кўринишда бўлган кичик жисм тебранма ҳаракат қилмоқда. Тебранишнинг амплитудаси, даври, бошлангич фазаси, шунингдек, тезлик ва тезланишнинг максимал қийматини топинг.

Берилган: $x = 2 \sin \pi (t + 0,5)$ см = 0,02 sin $\pi (t + 0,5)$ м.

Топиш керак: x_0 — ? T — ? φ_0 — ? v_{\max} — ? a_{\max} — ?

Ечилиши: Жисмнинг ҳаракат тенгламасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$x = 0,02 \sin (\pi t + 0,5 \pi) \text{ м}$$

ва уни гармоник тебранма ҳаракат тенгламаси

$$x = x_0 \sin \left(\frac{2\pi}{T} t + \varphi_0 \right)$$

билан таққосласак, $x_0 = 0,02 \text{ м}$, $\frac{2\pi}{T} = \pi$ дан $T = 2 \text{ с}$; $\varphi_0 = 0,5 \pi$.

Тебранишлар тезлиги [(139) формулага қ.)]

$$v = \frac{dx}{dt} = 0,02 \cdot \pi \cos (\pi t + 0,5 \pi) \text{ м/с}$$

ифодадан, тезланиш эса [(140) формулага қ.)]

$$a = \frac{dv}{dt} = -0,02 \pi^2 \sin (\pi t + 0,5 \pi) \text{ м/с}^2$$

ифодадан ҳисоблаб топилиши мумкин.

$\cos (\pi t + 0,5 \pi) = 1$ бўлганда тезлик максимал, $\sin (\pi t + 0,5 \pi) = 1$ бўлганда тезланиш максимал қийматга эга бўлади. Бинобарин,

$$v_{\max} = 0,02 \pi \frac{\text{м}}{\text{с}} \text{ ва } a_{\max} = -0,02 \pi^2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

3-масала. Бикрлиги $250 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ бўлган пружинага боғлаб қўйилганда 16 с ичида 20 марта тебранадиغان юкнинг массасини топинг.
 Берилган: $k = 250 \text{ Н/м}$, $t = 16 \text{ с}$. $N = 20$.

Топиш керак: $m = ?$
 Ечилиши: Пружинали маятникнинг тебраниш даври формуласи [(145) формулага қ.]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

дан юкнинг массаси

$$m = \frac{kT^2}{4\pi^2}$$

га тенг бўлади. Масаланинг шартида берилган катталикларга асосан, юкнинг тебраниш даври

$$T = \frac{t}{N}$$

бўлади.

Бинобарин, юкнинг массаси:

$$m = \frac{k t^2}{4\pi^2 N^2}$$

Ҳисоблаш:

$$m = \frac{250 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot (16 \text{ с})^2}{4 \cdot 3,14^2 \cdot 20^2} = 4 \text{ кг}$$

4-масала. Бир хил вақт ичида битта математик маятник 50 марта, иккинчиси 30 марта тебранади. Агар улардан бири иккинчисидан 32 см қисқа бўлса, уларнинг узунликларини топинг.

Берилган: $t_1 = t_2 = t$; $N_1 = 50$, $N_2 = 30$, $\Delta l = 32 \text{ см} = 0,32 \text{ м}$.

Топиш керак: $l_1 = ?$ $l_2 = ?$

Ечилиши: Математик маятникларнинг тебраниш давлари мос равишда

$$T_1 = \frac{t_1}{N_1} \text{ ва } T_2 = \frac{t_2}{N_2}$$

ифодалар орқали аниқланиши мумкин, бундан

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

яъни тебраниш давларининг нисбати тебранишлар сонларининг нисбатига тескари муносиб бўлади. Математик маятникнинг тебраниш даври унинг узунлиги билан қуйидагича боғланишда:

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g}} \text{ ва } T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{l_1 + \Delta l}{g}}$$

бунда l_1 ва $l_2 = l_1 + \Delta l$ лар мос равишда биринчи ва иккинчи маятникларнинг узунлиги. Бу ифодалардан тебранишлар давларининг нисбатини топсак,

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{l_1}{l_1 + \Delta l}}$$

бўлади. Демак,

$$\frac{N_2}{N_1} = \sqrt{\frac{l_1}{l_1 + \Delta l}}$$

деб ёзиш мумкин. Бу муносабатларнинг икки томонини квадратга кўтариб, l_1 га нисбатан ечсак, у ҳолда биринчи маятникнинг узунлиги учун

$$l_1 = \frac{N_2^2 \Delta l}{N_1^2 - N_2^2}$$

ифодани ҳосил қиламиз.

$$\text{Ҳисоблаш: } l_1 = \frac{30^2 \cdot 0,32 \text{ м}}{50^2 - 30^2} = 0,18 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,18 \text{ м} + 0,32 \text{ м} = 0,50 \text{ м}.$$

5-масала. Массаси 20 г бўлган моддий нуқта 10 см амплитуда билан гармоник тебранмоқда. Қайтарувчи кучнинг коэффиценти 0,18 Н/м га тенг бўлса, нуқтага таъсир қилаётган максимал кучни топинг. Нуқтанинг силжиши 6 см га тенг бўлган пайтда унинг тезланиши, тезлиги ва потенциал энергияси қандай бўлади?

Берилган: $m = 20 \text{ г} = 2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$, $x_0 = 10 \text{ см} = 10^{-1} \text{ м}$, $x = 6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $k = 0,18 \text{ Н/м}$.

Топиш керак: F_{max} —? a —? v —? E_p —?

Ечилиши: Гармоник тебранма ҳаракат қилаётган нуқтага x силжишга мутаносиб бўлган ва унга қарама-қарши йўналган $\vec{F} = -kx$ квазиэластик куч таъсир қилади. Нуқтанинг силжиши унинг амплитудасига тенг бўлган пайтда нуқтага энг катта куч таъсир қилади. Бинобарин:

$$|\vec{F}_{\text{max}}| = kx_0$$

бўлади. Нютоннинг иккинчи қонунига асосан квазиэластик куч таъсирида нуқтанинг олган тезланиши қуйидагига тенг бўлади:

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{kx}{m}.$$

Моддий нуқтани мувозанат вазиятидан чиқариб, уни x катталиқдаги силжишга оғдириш учун ташқи кучларнинг бажарган иши тебранаётган нуқтанинг потенциал энергиясига тенг бўлади. Эластиклик кучларининг бажарган иши сон жиҳатидан $\frac{kx^2}{2}$ га тенг, демак, потенциал энергия ҳам

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

га тенг бўлади.

Моддий нуқтанинг тебраниш тезлигини кинетик энергия ифодасидан аниқлаш мумкин, яъни

$$E_k = \frac{mv^2}{2}, \text{ бундан } v = \sqrt{\frac{2E_k}{m}},$$

Кинетик энергия эса тўла энергиядан потенциал энергиянинг айирмасига тенг, лекин тўла энергия вақтнинг ҳар қандай пайтида энг чекка вазиятдаги потенциал энергияга тенг бўлгани учун қуйидагича ёзиш мумкин:

$$E_k = E - E_p = \frac{kx_0^2}{2} - \frac{kx^2}{2} = \frac{k}{2} (x_0^2 - x^2).$$

Шунинг учун моддий нуқтанинг тезлиги ифодаси қуйидаги кўринишга келади:

$$v = \sqrt{\frac{k(x_0^2 - x^2)}{m}}.$$

$$\text{Ҳисоблаш: } F_{\text{макс}} = 0,18 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,1 \text{ м} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

$$a = - \frac{0,18 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,06 \text{ м}}{0,02 \text{ кг}} = -54 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot 0,18 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot (0,1^2 - 0,06^2) \text{ м}^2 = 3,24 \cdot 10^{-4} \text{ Ж.}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,18 \text{ Н/м} [(0,1)^2 - (0,06)^2] \text{ м}^2}{0,02 \text{ кг}}} \approx 0,24 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Мустақил ечиш учун масалалар

96. Амплитудаси 10 см, тебраниш даври 0,5 с, бошланғич фазаси нолга тенг бўлган гармоник тебраниш тенгламасини ёзинг.

97. $x = 7 \sin 0,5 \pi t$ тенглама бўйича тебранма ҳаракат қилаётган нуқта ҳаракат бошланганидан қанча вақт ўтгач мувозанат вазиятидан максимал силжишга тенг йўлни ўтади?

98. Моддий нуқта тебраниши $x = 15 \cos \pi(t+1)$ қонун бўйича бўляпти. Тебранувчи нуқтанинг амплитудаси, даври, бошланғич фазаси, максимал тезлиги ва максимал тезланишини топинг.

99. Математик маятникнинг гармоник тебранма ҳаракат қилишини исботланг.

100. Узунлиги 1 м бўлган математик маятникнинг тебраниш даври 1 с. Узунлиги 0,5 м бўлган математик маятникнинг тебраниш даври қандай бўлади?

101. Узунлиги 25 см бўлган математик маятник минутига 120 марта тебранади. Эркин тушиш тезланишини топинг.

102. Узунлиги 1 м бўлган маятник шундай тебранадики, унинг энг кўп оғиши 30° . Мувозанат вазиятидан ўтаётган пайтда унинг ипи тенг ярмидан миҳга илиниб қолди. Қисқариб қолган маятникнинг энг катта оғиш бурчагини аниқланг.

103. Пружинага боғланган шарчани мувозанат ҳолатидан 1 см суриб қўйиб юборилган. Агар шарчанинг тебраниш частотаси 5 Гц бўлса, у 2 секундда қанча йўл босади?

104. Массаси 100 г бўлган юк пружина таъсири остида 2 Гц частота билан тебранади. Пружинанинг бикрлигини топинг.

105. Агар ипга осилган металл шарча мувозанат вазиятидан ўтганда унинг ҳаракат тезлиги $140 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ бўлса, шу шарча қандай баландликка кўтарилди олади?

106. Массаси 10 г ва узунлиги 100 см бўлган маятник ўз мувозанат ҳолатидан 60° бурчакка оғдирилиб, қўйиб юборилган. Маятникнинг ҳаракат бошидаги потенциал энергиясини ва мувозанат ҳолатдан ўтишдаги кинетик энергиясини топинг.

107. 400 г массали юк бикрлиги $250 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ бўлган пружинага боғланган ҳолда тебранмоқда. Тебранишлар амплитудаси 15 см. Тебранишларнинг частотасини, тўла механик энергиясини ва ҳаракатнинг энг катта тезлигини топинг.

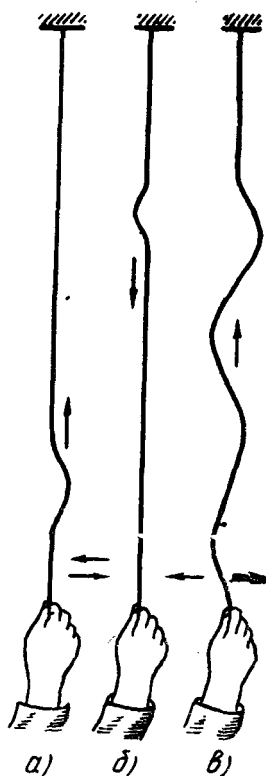
79- §. Эластик тўлқинлар

Ҳар қандай (қаттиқ, суюқ ва газсимон) жисмнинг зарралари орасида ўзаро тутиниш кучлари мавжуд бўлиб, зарралар бир-бирига нисбатан силжиганда эластиклик кучлари юзага келади. Шу сабабли қаттиқ, суюқ ва газ ҳолатдаги муҳит *эластик муҳит* деб аталади.

Агар эластик муҳитнинг бирор жойидаги зарра тебранма ҳаракатга келтирилса, у ҳолда эластиклик кучлари туфайли зарранинг тебранишлари муҳитнинг қўшни зарраларига узилади. Бирор вақтдан сўнг тебранишлар бутун муҳитга тарқалади. Механик тебранишларнинг муҳитда тарқалиш жараёни *механик тўлқин* деб аталади.

Тўлқин тарқалаётган муҳитнинг зарралари тўлқин билан бирга кўчмайди, улар фақат ўз мувозанат ҳолатлари атрофида тебраниб туради, холос. Барча зарраларнинг тебраниши турли фазалар билан бўлади: зарра тебраниш марказидан қанча узоқда жойлашган бўлса, у шунча кеч тебрана бошлайди, яъни унинг тебраниши фаза жиҳатдан шунча кўп орқада қолади.

Тебранишларнинг тарқалишини қуйидаги тажриба ёрдамида кузатиш мумкин. Айтайлик, бир учи маҳкамланган узун резина шнур берилган бўлсин. Агар шнурнинг иккинчи учидан бир оз тортиб туриб тебранма ҳаракатга келтирилса (шнур учидан ушлаб силтаб юборилса), ҳосил бўлган букилиш шнур бўйлаб маълум бир тезлик билан «чопади» (122-а расм). Букилиш шнур маҳкамланган жойга боргач, орқага қайтади ва қарама-қарши йўналишда тарқала бошлайди (122-б расм). Агар шнурнинг учини узлуксиз тебранирилиб турилса, шнур бўйлаб тўлқин тарқалади (122-в расм). Шнур қанчалик тарағ тортилса, тўлқин шунча тез тарқалади. Тўлқиннинг тарқалишида фақат шнур шаклининг ўзгариб туришини, бироқ шнурнинг ҳар бир қисми ўзининг ўзгармас мувозанат вазиятига нисбатан тебранишини кузатиш мумкин.

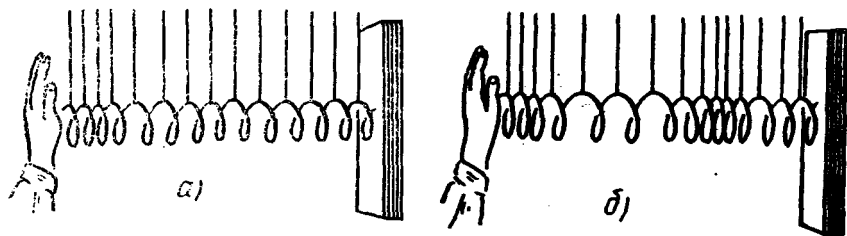


122- расм.

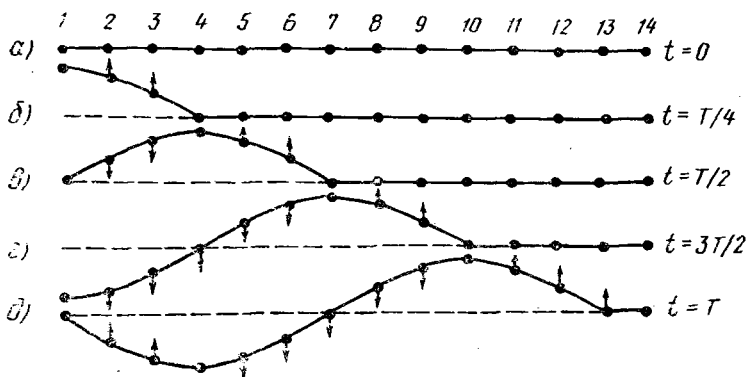
80-§. Кўндаланг ва бўйлама тўлқинлар

Зарраларнинг тебраниши тўлқин тарқалаётган йўналишга нисбатан қандай йўналганлигига қараб тўлқинлар кўндаланг ва бўйлама тўлқинларга ажратилади. Кўндаланг тўлқинларда муҳитнинг зарралари тўлқин тарқалаётган йўналишга перпендикуляр йўналишда тебранади. Шнур бўйлаб тарқалаётган тўлқин кўндаланг тўлқин (122-расмга қ.) бўлади. Бўйлама тўлқинда муҳитнинг зарралари тўлқин тарқалаётган йўналиш бўйича тебранади. Бўйлама тўлқинни катта диаметрли узун юмшоқ пружина ёрдамида кузатиш қулай. Пружинанинг эркин учига қафт билан уриб қўйилса (123-а расм), пружинанинг сиқилишини пружина бўйлаб тарқалишини кузатиш мумкин. Пружина учига кетма-кет бир неча марта уриб, унинг пружина бўйлаб кетма-кет тарқалувчи сиқилиш ва чўзилишлардан иборат тўлқинларни юзага келтириш мумкин (123-б расм).

Муҳитда кўндаланг тўлқин тарқалган вақтдаги зарраларнинг ҳаракати 124-расмда тасвирланган. Тинч турган муҳитда горизонтал чизиқ бўйлаб жойлашган зарралар 1, 2, 3 ва ҳоказо сонлар билан белгиланган (124-а расм). Бошланғич ($t=0$) пайтда 1-зарра юқорига йўналган туртки таъсирида мувозанат вазиятдан чиқади ва юқорига ҳаракатлана бошлайди, бунда у 2-заррани ўз ортидан, 2-зарра эса ўз навбатида 3-заррани ўз ортидан эргаштириб кетади ва ҳоказо (расмда зарралар ҳаракатининг йўналиши стрелкалар билан кўрсатилган). Зарралар орасидаги тутиниш кучлари ҳисобига пайдо бўлган эластиклик кучлари таъсирида 1-зарра ўз тезлигини камайтиради ва чорак давр ($t = \frac{1}{4} T$) ўтганидан кейин энг юқори вазиятни эгаллайди (124-б расм), 2- ва 3-зарралар ҳам бирмунча силжийди. 4-заррага эса тебраниш эндигина етиб келади. Ярим давр ($t = \frac{1}{2} T$) ўтганидан кейин 4-зарра юқорига максимал силжийди (124-в расм), 5- ва 6-зарралар ҳам бир оз силжийди. 7-заррага эса тебраниш эндигина етиб келади. Бу вақтда 3- ва 2-зарралар энди пастга туша бошлайди, 1-зарра эса мувозанат вазиятига келади. Биринчи даврнинг охирида ($t=T$)



123- расм.

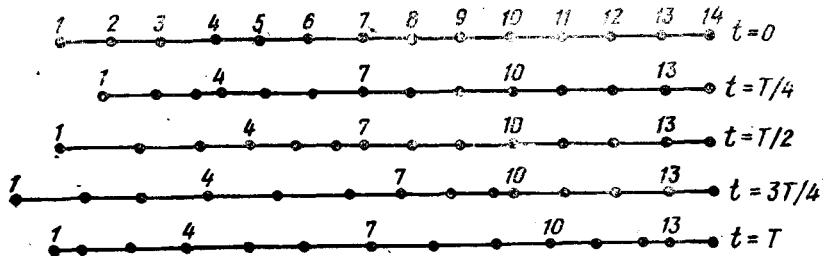


124- расм.

тебраниш 13- заррага етиб келади ва у юқорига ҳаракатлана бошлайди (124- *д* расм). 1—13- зарралар шундай жойлашганки, уларнинг геометрик ўрни битта дўнглик ва битта ботиқликдан иборат тўла тўлқинни ҳосил қилади. Вақтнинг ўтиши билан зарраларнинг шундай ҳаракати такрорланаверади, муҳитда тўлқин тарқалади. Кўндаланг тўлқин ана шундай ҳосил бўлади.

Энди бошланғич пайтда ($t=0$) 1- зарра туртки натижасида зарралар жойлашган чизик бўйлаб гармоник тебранишга келтирилган бўлса, бир оз кечикиб муҳитнинг бошқа зарралари ҳам шундай тебрана бошлайди (125- расм). Юқоридагига ўхшаш мулоҳазаларни бу ҳолга ҳам татбиқ этиш мумкин, бироқ бунда юқорига ва пастга силжишлар ўрнига ўнга ва чапга силжиш ҳақида гапириш керак. 125- расмдан кўриниб турибдики, бўйлама тўлқин тарқалаётганда муҳитда зарраларнинг тўлқиннинг тарқалиш йўналиши бўйлаб кўчувчи навбатманавбат зичланиш ва сийракланишлари юзага келиб турар экан.

Шундай қилиб, муҳитнинг ҳар бир зарраси ўзининг мувозанат вазияти атрофида тебранади, тўлқин эса гармоник тебранишларнинг заррадан-заррага қандай узатилишини кўрсатади. Тўлқиннинг тарқалиш йўналиши *нур* деб аталади. Тўлқин



125- расм.

муҳитда тебранма ҳаракат энергиясини элтади, муҳит моддаси эса кўчмайди. Демак, нур муҳитда тебранма ҳаракат энергиясининг узатилиш йўналишини кўрсатади. Тебранма ҳаракатга келтирилган бошланғич зарра *титрагич* (вибратор) дейилади. Титрагичнинг энергияси заррадан-заррага тарқалиб, тўхтовсиз камайиб боради ва тўлқин жараён борган сари сўниб, охири тўхтаб қолади. Узлуксиз тўлқин жараёни сақлаб туриш учун титрагичга ташқаридан тўхтовсиз энергия бериб туриш керак.

81- §. Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги. Тўлқин узунлиги

Тўлқин мавжуд экан, муҳитнинг зарралари ўзларининг мувозанат ҳолатлари атрофида доим тебраниб туради. Шу билан бирга турли зарралар фаза бўйича силжиган ҳолда тебранади.

Вақтнинг айни бир пайтида силжиш катталиги ва йўналиши бир хил бўлган зарралар бир хил фазада тебранади. Ма-¹салан, 80- § да кўрганимиздек, тебранишлар бир давр ичида *13*- заррага етиб борганда *1*- ва *13*- зарралар айнан бир хил тебранадилар: *1*- зарра мувозанат вазиятида бўлиб, юқорига томон ҳаракатланганда (*124-д* расмга қ.) *13*- зарра ҳам мувозанат вазиятида бўлади ва юқорига томон ҳаракатланади.

Бир хил фазада тебранаётган кетма-кет олинган икки зарра орасидаги масофа *тўлқин узунлиги* деб аталади ва λ (ламбда) ҳарфи билан белгиланади. Кўндаланг тўлқинда икки қўшни қавариқлик ёки ботиқлик орасидаги масофа, бўйлама тўлқинда эса иккита қўшни сийракланиш ёки зичланиш орасидаги масофа тўлқин узунлиги бўлади (*124*- ва *125*- расмларга қ.).

Тўлқин зарраларининг тебраниш даври *T* тўлқин даври деб, тебраниш частотаси ν *тўлқин частотаси* деб юритилади. Бир давр давомида тўлқин λ масофага силжийди.

Эластик муҳитда тебранишлар доимий тезлик билан тарқалади. Тўлқин ўтган йўлининг унинг шу йўлни ўтган вақтига нисбати билан ўлчанадиган катталиқ *тўлқиннинг тарқалиш тезлиги* ёки содда қилиб *тўлқин тезлиги* деб аталади:

$$v = \frac{\lambda}{T}. \quad (159)$$

T давр билан ν частота ўзаро $T = \frac{1}{\nu}$ формула орқали боғланганлиги учун

$$v = \lambda \cdot \nu \quad (160)$$

бўлади. Шундай қилиб, тўлқин тезлиги тўлқин узунлиги билан тебранишлар частотасининг кўпайтмасига тенг бўлади.

Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги унинг энг муҳим характеристикаларидан биридир. Тажрибалар тебранишлар частотаси жуда катта бўлмаган ҳолларда берилган муҳитда тўлқиннинг тарқалиш тезлиги частотага боғлиқ бўлмаслигини ва фақат муҳитнинг ҳолати ва физик хусусиятлари билан аниқланишини

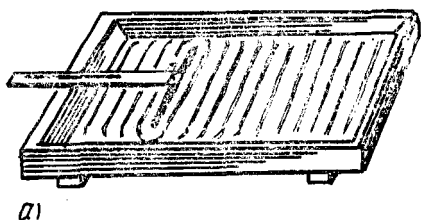
кўрсатади. Тўлқин бир муҳитдан иккинчи муҳитга ўтганда бошқа физик катталиклар каби, тўлқиннинг тарқалиш тезлиги ҳам ўзгаради, ammo частотаси ўзгармайди. Бундан тўлқин бир муҳитдан иккинчи муҳитга ўтганида тўлқин узунлиги ўзгаради, деган хулоса келиб чиқади. Берилган муҳитда тўлқиннинг тезлиги катта бўлса, маълум тебранишлар частотасига мос келувчи тўлқин узунлиги ҳам катта бўлади.

Суюқлик ва газларнинг ҳажми ўзгарганда эластиклик кучлари майдонга келади. Шунинг учун суюқлик ва газларда фақат бўйлама тўлқинлар тарқалиши мумкин. Эластиклик кучлари қаттиқ жисмларнинг шакли ўзгарганда ҳам, ҳажми ўзгарганда ҳам вужудга келади. Шу сабабли уларда бўйлама тўлқинлар ҳамда кўндаланг тўлқинлар тарқалиши мумкин. Барча қаттиқ жисмларда бўйлама тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги кўндаланг тўлқинларнинг тезлигидан катта бўлади.

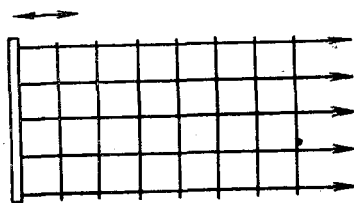
82-§. Ясси ва сферик тўлқинлар

Агар тебраниш маркази туташ муҳит ичида тебранаётган бўлса, аслида тўлқин фақат бир йўналиш бўйича эмас, балки марказдан ҳамма томонга тарқалади ва тўлқин жараён фазонинг янги-янги соҳаларини эгаллай боради.

Вақтнинг бирор пайтида тебранишлар етиб борган нуқта (зарра) ларнинг геометрик ўрни *тўлқин fronti* дейилади. Тўлқин fronti фазонинг тўлқин жараён тарқалган қисмидан тебранишлар ҳали юзага келмаган қисмини ажратади.



а)



б)

126-расм.

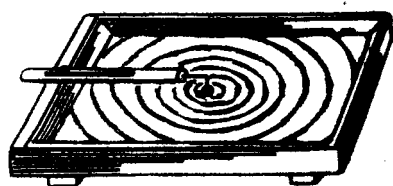
Бир хил фазада тебранувчи зарраларнинг геометрик ўрни *тўлқин сирти* деб аталади. Тўлқин сиртини фазонинг тўлқин жараён бўлаётган исталган зарраси орқали ўтказиш мумкин. Демак, вақтнинг ҳар бир пайтига битта тўлқин fronti мос келса, тўлқин сиртлари чексиз кўп бўлар экан. Бинобарин, тўлқин фронтини тўлқин сиртининг хусусий ҳоли деб қараш мумкин. Тўлқин сиртлари ҳаракатланмайди (бир хил фазада тебранувчи зарраларнинг мувозанат вазиятлари орқали ўтгани учун), тўлқин fronti доим кўчиб боради.

Тўлқин сиртлари турли шаклларда бўлиши мумкин. Энг содда ҳолда улар текислик ёки сфера шаклида бўлади. Бу

ҳолларда тўлқинлар мос равишда *ясси тўлқинлар* ёки *сферик тўлқинлар* дейилади. Ясси тўлқинда тўлқин сиртлари бир-бирига параллел бўлган текисликлардан, сферик тўлқинда эса — концентрик сфералардан иборат бўлади.

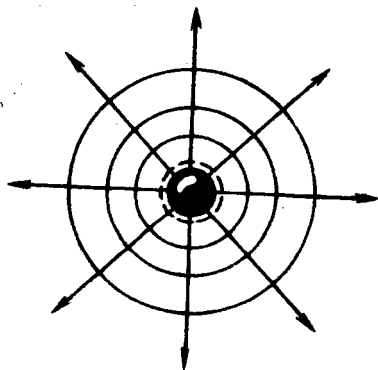
Катта пластинкани пластинка сиртига перпендикуляр йўналишда тебранириб идишдаги сув сиртида ясси тўлқинларни ҳосил қилиш мумкин (126-а расм). Бунда тўлқин сиртлари пластинка сиртига параллел бўлган ясси текисликлардан (нурлар тўлқин сиртларига нисбатан перпендикуляр йўналган параллел чизиқлар) иборат бўлади (126-б расм).

Таёқчага маҳкамланган шарчани идишдаги сув сиртига кетма-кет тегизиб турилса, сферик тўлқинлар ҳосил бўлади (127-а расм). Бунда тўлқин сиртлари марказлари шарча марказида бўлган сфералардан иборат бўлиб, нурлар сфера радиуслари бўйлаб йўналган бўлади (127-б расм).



а

127- расм.



б,

83- §. Ясси тўлқин тенгламаси

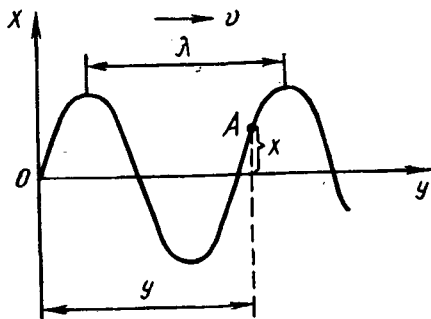
Муҳитнинг тўлқин жараёнда иштирок этаётган зарраларининг вақтнинг исталган пайтидаги силжиши билан бу зарраларнинг тебранишлар марказидан узоқлиги орасидаги боғланишни ифодалайдиган муносабат *тўлқин тенгламаси* бўлади. Бу муносабатни топиш учун кўндаланг тўлқинни кўриб чиқамиз. Лекин барча мулоҳазаларимиз бўйлама тўлқин учун ҳам ўринли бўлади.

Тебранишлар маркази бўлган O нуқтани координата боши деб қабул қилайлик (128- расм), O нуқтадаги тебранишлар гармоник тебранишлар бўлсин:

$$x = x_0 \sin \omega t,$$

бунда t — тебраниш бошланган пайтдан бошлаб ҳисобланган вақт. Муҳитнинг тўлқин етиб борган барча зарралари ҳам шундай частота ва амплитуда, бироқ турли фазада гармоник тебра-

на бошлайди. Тебранишлар марказидан (O заррадан) y масофада турган ихтиёрий A заррани кўрайлик. Агар O зарра t вақтдан бери тебранаётган бўлса, A зарра $t - \tau$ вақтдан бери тебранади, бунда τ — тебранишларнинг O марказидан A заррагача тарқалиш вақти, яъни тўлқиннинг y йўлни ўтиши учун кетган вақт. Демак, A нуқтанинг тебраниш тенгламаси қуйидагича бўлади:



128- расм.

$$x = x_0 \sin \omega (t - \tau).$$

Бироқ, $\tau = \frac{y}{v}$, бу ерда v — тўлқиннинг тарқалиш тезлиги. У ҳолда

$$x = x_0 \sin \omega \left(t - \frac{y}{v} \right). \quad (161)$$

Бу тенглама вақтнинг ихтиёрий пайтида тўлқиннинг ихтиёрий нуқтасининг силжишини аниқлашга имкон беради, уни y йўналиш бўйича тарқалаётган ясси тўлқин тенгламаси дейилади.

(161) тенгламага $v = \frac{\lambda}{T}$ ифодани қўйиб ва $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$ эканлигини назарга олиб, тўлқин тенгламасининг бошқа кўринишларини ҳосил қилиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right), \\ x &= x_0 \sin 2\pi \left(\nu t - \frac{y}{\lambda} \right), \\ x &= x_0 \sin \left(\omega t - 2\pi \frac{y}{\lambda} \right). \end{aligned} \right\} \quad (162)$$

Тўлқин тенгламаси (161-формула) даги синуснинг аргументи икки ўзгарувчига — t вақтга ва y координатага боғлиқ. Шундай қилиб, тўлқин фазода ҳам, вақтда ҳам даврийдир. Вақтнинг берилган пайти учун (161) тенглама зарраларнинг x силжишини улардан координата бошигача бўлган y масофаларнинг функцияси сифатида ифодалайди; ўтаётган тўлқин таъсирида тебранаётган зарралар шу берилган пайтдаги синусоида бўйича жойлашган бўлади. 128-расмда синусоидал тўлқин тасвирланган. Тўлқиннинг графиги ташқи кўриниш жиҳатидан гармоник тебранишлар графигига ўхшайди (114-расмга қ.), бироқ моҳияти жиҳатидан турлича: тебраниш графиги берил-

ган зарра силжишининг вақтга боғлиқлигини ифодалайди; тўлқин графиги эса муҳитнинг барча зарраларининг айни шу вақтда силжиши билан тебранишлар марказидан узоқлиги орасидаги боғланишни ифодалайди. Бу графикни гўё тўлқиннинг оний фотосурати деса бўлади.

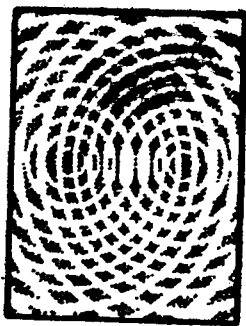
84- §. Тўлқин интерференцияси

Табиатда кўп ҳолларда муҳитда бир вақтнинг ўзида бир нечта хилма-хил тўлқин тарқалади. Масалан, уйда кўпчилик суҳбат қуриб ўтирган бўлса, бир нечта товуш тўлқини бир-бирига қўшилиб кетади. Кузатишлар ва текширишларнинг кўрсатишича, агар муҳитда бир нечта тебраниш манбалари бўлса, улардан чиққан тўлқинлар бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда тарқалади ва тарқалиш йўналишида ўзаро учрашгандан кейин ҳам тарқалишда давом этади. Бу ҳолат тўлқин жараёнларнинг *мустақиллик принципи* деб аталади. Бу принцип ўринли бўлган барча ҳолларда муҳит зарраларининг тебраниши зарраларнинг ҳар бир тўлқин алоҳида-алоҳида тарқалган вақтдаги тебранишларининг геометрик йиғиндисидан иборат бўлади. Демак, тўлқинлар бир-бирини бузмасдан тўғридан-тўғри қўшилар экан. Тажрибадан келиб чиқадиган бу фикр тўлқинларнинг *суперпозиция (қўшилиши) принципи* деб аталади. Масалан, сувга иккита тош ташлаганда сув бетида ҳосил бўлган тўлқинларнинг тарқалишида уларнинг ўзаро учрашиш жойида ҳар қайси тўлқин томонидан ҳосил қилинган тебранишлари бир-бири билан қўшилади (129- расм), Қўшилиш натижасида ҳосил бўлувчи тебраниш учрашаётган тўлқинларнинг фазалари, даврлари ва амплитудаларига боғлиқ бўлади.

Даврлари (ёки частоталари) бир хил ва фазалар фарқи вақт бўйича ўзгармайдиган тўлқинлар *когерент тўлқинлар* деб аталади. Бундай тўлқинларни ҳосил қилувчи манбалар *когерент манбалар* деб аталади. Когерент тўлқинларнинг қўшилиш ҳолисаси *тўлқинлар интерференцияси* дейилади. Интерференция бўйлама тўлқинларнинг қўшилишида ҳам, кўндаланг тўлқинларнинг қўшилишида ҳам ҳосил бўлиши мумкин.

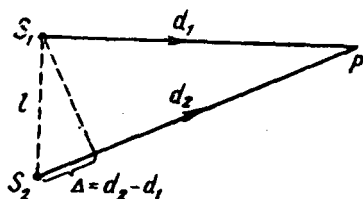
Когерент S_1 ва S_2 манбалардан чиқаётган ва муҳитнинг бирор P нуқтасида учрашаётган иккита бир хил амплитудали тўлқиннинг интерференциясини кўриб чиқайлик (130- расм). Муҳитнинг ихтиёрий олинган P нуқтасида иккала тўлқин қўшилади.

P нуқтага келган тўлқинларнинг қўшилиши натижаси, асосан, бу тўлқинларнинг фазалари орасидаги айирмага боғлиқ бўлади. d_1 ва d_2 масофаларни босиб ўтган тўлқинлар $\Delta = d_2 - d_1$ йўл



129- расм.

айирмасига ёки юриш фарқи га эга бўлади. Агар йўл айирмаси Δ билан тўлқин узунлиги λ тенг бўлса, иккинчи тўлқин биринчи тўлқиндан тўппа-тўғри бир давр кечикади, чунки тўлқин шу бир давр давомида λ га тенг масофани ўтади. Бинобарин, бу ҳолда иккала тўлқин барча нуқталарининг фазалари бирдай бўлади ва тўлқинлар қўшилганда тўлқин ҳаракати кучаяди, натижавий тўлқин амплитудаси максимал бўлади. Δ кесмада битта тўлқин узунлиги эмас, балки исталганча бутун сонларга тенг тўлқин узунлиги жойлашган ҳолларда ҳам юқоридаги ҳол рўй беради.



130- расм.

Демак, йўл айирмаси тўлқин узунлигининг бутун сонидан ёки ярим тўлқин узунлигининг жуфт сонидан иборат бўлса, яъни

$$\Delta = n\lambda = 2n \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (163)$$

бўлса, P нуқтада тўлқинлар қўшилиб, тебраниш амплитудаси максимал қийматга эришади, икки тўлқин бир-бирини максимал кучайтиради.

Агар Δ йўл айирмасига тўлқин узунлигининг ярми жойлашса, иккинчи тўлқин биринчи тўлқиндан ярим давр орқада қолади. Фазалар айирмаси π га тенг бўлади, яъни тебранишлар қарама-қарши фазаларда юз беради. Бунда тўлқинларнинг қўшилиши натижасида тўлқин ҳаракати заифлашади. Натижавий тўлқин амплитудаси минимал бўлади.

Δ йўл айирмасида исталганча тоқ сон марта ярим тўлқинлар жойлашган ҳолларда ҳам худди шундай бўлади.

Демак, тўлқин йўллариининг айирмаси ярим тўлқинларнинг тоқ сонидан иборат бўлса, яъни

$$\Delta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (164)$$

бўлса, тўлқинлар бир-бирини сусайтиради.

Агар $\Delta = d_2 - d_1$ айирма λ билан $\lambda/2$ ўртасидаги қийматлардан бирини олса, натижаловчи тўлқин амплитудаси ҳам амплитуданинг максимал қиймати билан минимал қиймати ўртасидаги бирор қийматни олади. Лекин муҳими шундаки, исталган нуқтадаги тўлқинлар амплитудаси вақт ўтиши билан ўзгармайди. Тўлқинлар бир-бири билан устма-уст тушган соҳада тўлқинлар амплитудасининг муайян бир тақсимланиши юзага келади. Бу тақсимланиш *интерференцион манзара* деб аталади.

Фақат когерент тўлқинларнинг қўшилишидангина барқарор интерференцион манзара ҳосил бўлади. Агар тўлқинлар когерент бўлмаса, максимум ва минимумлар силжиб, интерференцион манзара бузилади.

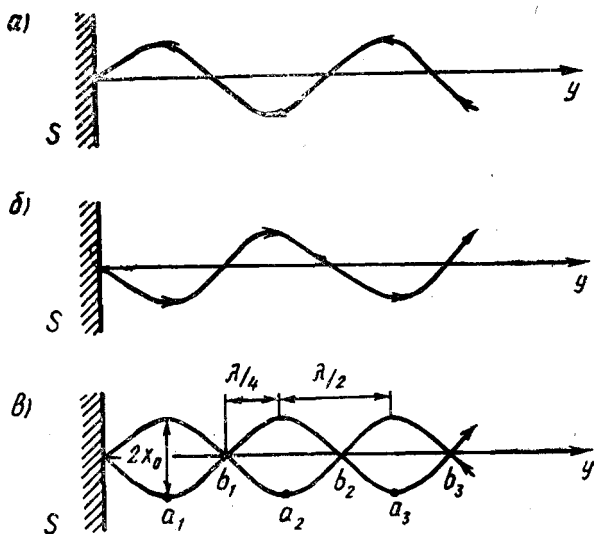
Шуни ҳам айтиб ўтиш керакки, кўндаланг ва бўйлама тўлқинлар бир хил частотага ва ўзгармас фаза фарқига эга бўлганда ҳам уларнинг қўшилиши натижасида интерференция бўлмайди, чунки тебранншлар бир тўғри чизиқда ётмайди. Бу ҳолда муҳитнинг кузатилаётган нуқтаси гармоник тебранмайди.

Тўлқинлар муҳитда ўзи билан энергия элтади. Шундай экан, улар бир-бирини йўқотганида бу энергия қаерга кетади? Интерференцион манзаранинг бирор нуқтасида минимумнинг борлиги бу ерга мутлақо энергия келмаслигини билдиради. Интерференция натижасида фазода энергия қайта тақсимланади. Энергия муҳитнинг зарралари ўртасида текис тақсимланмай, балки максимумларда тўпланиб, бунинг ҳисобига минимумларга мутлақо бормайди.

85- §. Турғун тўлқинлар

Бир тўғри чизиқ бўйича қарама-қарши йўналишда тарқалаётган иккита бир хил амплитудали когерент тўлқиннинг қўшилиши натижасида ҳосил бўладиган интерференция ҳодисасини қараб чиқайлик.

Фараз қилайлик, ясси тўлқин бирор S сиртга тик тушаётган бўлсин (131 а-рasm). У ҳолда шу сиртдан у перпендику-



131- расм.

ляр равишда қайтади (131 б-расм). Тушаётган ва қайтаётган тўлқинлар бир тўғри чизиқ бўйича қарама-қарши томон тарқалса-да, уларнинг частотаси ва амплитудаси бир хил бўлади. Бу тўлқинларнинг тенгламасини ёзайлик:

$$x_1 = A_1 \sin \omega \left(t - \frac{y}{u} \right), \quad x_2 = A_1 \sin \omega \left(t + \frac{y}{u} \right), \quad (165)$$

бу ерда A_1 — тўлқин амплитудаси, ω — доиравий частотаси, u — тарқалиш тезлиги, y — тўлқин кузатилиши масофаси. Қарама-қарши йўналган бундай тўлқинларнинг қўшилиши натижасида *турғун тўлқин* ҳосил бўлади (131 в-расм). Унинг тенгламаси

$$x' = x_1 + x_2 = A_1 \sin \omega \left(t - \frac{y}{u} \right) + A_1 \sin \omega \left(t + \frac{y}{u} \right) \quad (165')$$

ифодадан аниқланади. Бу иккала ҳадни синуслар йиғиндиси формуласига асосан алмаштирсак, натижавий ифода

$$x = 2 A_1 \sin \omega \frac{y}{u} \sin \omega t = 2 A_1 \sin \frac{2\pi}{\lambda} y \sin \omega t \quad (165'')$$

кўринишда бўлади, бу ерда $\frac{\omega}{u} = \frac{2\pi}{T \cdot u} = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ — тўлқин узунлиги.

(165*) тенглама турғун тўлқин тенгламасидир. Бу тенгламани (165) тенгламалар билан солиштириб, турғун тўлқиннинг ҳар бир нуқтасида учрашаётган тўлқинларнинг частотасига тенг частота билан тебранишлар содир бўлади ва тебранишларнинг амплитудаси

$$A = 2 A_1 \sin \frac{2\pi}{\lambda} y \quad (166)$$

бўлиб, y масофага боғлиқ бўлади, деган хулосага келамиз.

Тўлқинлар қўшилиши натижасида бир-бирини кучайтирган нуқталар турғун тўлқиннинг *дўнгликлари* (*қабартмалар*) дейилади, 131-в расмда, a_1 , a_2 , a_3 нуқталар дўнгликлар бўлиб, бу нуқталарда турғун тўлқиннинг амплитудаси қўшилувчи тўлқинлар амплитудалари йиғиндиси $2A_1$ га тенг бўлади. Дўнгликларнинг тўлқиннинг тарқалиш нуқтасидан қанча масофада ҳосил бўлишини

$$2\pi \frac{y}{\lambda} = \pm (2n + 1) \frac{\pi}{2} \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots) \quad (167)$$

тенгликдан топилади, чунки $\sin (2n + 1) \frac{\pi}{2} = 1$ бўлади ва A амплитуда максимал $2A_1$ қийматга эришади. (167) дан дўнгликларнинг координаталари

$$y = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \quad (168)$$

бўлади.

Шундай қилиб, турғун тўлқин кузатиш оралиғига тоқ чорак тўлқин узунликлари жойлашса, бу кузатилаётган нуқтада турғун тўлқиннинг дўнгликлари ҳосил бўлади.

Тўлқинлар қўшилиши натижасида бир-бирларини сусайтирган нуқталар турғун тўлқиннинг тугунлари дейилади 131-в расмда b_1 , b_2 , b_3 нуқталар тугунлар бўлиб, бу нуқталарда турғун тўлқин амплитудаси қўшилувчи тўлқинлар амплитудаларининг айирмасига тенг, демак, биз кўраётган ҳолда натижавий амплитуда нолга тенг бўлади. Тугунларнинг тўлқин тарқалиши нуқтасидан қандай масофада ҳосил бўлишини қуйидаги тенгликдан топилади:

$$2\pi \frac{y}{\lambda} = \pm n\pi, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (169)$$

Бундан

$$y = \pm 2n \frac{\lambda}{4} \quad (170)$$

(168) ва (170) тенгламалардан кўрсатиш мумкинки, ёнма-ён турган икки тугун ёки ёнма-ён турган икки дўнглик орасидаги масофа $\frac{\lambda}{2}$ га, ёнма-ён турган дўнглик билан тугун орасидаги масофа $\frac{\lambda}{4}$ га тенг (131-в расмга қ.).

131-в расмда кўрсатилганидек, ёнма-ён келган икки тугун ўртасида турган заррачанинг мувозанат ҳолатидан чиқиши энг катта силжиш бўлиб, бу силжиш $2A_1$ га тенг. Бу нуқтанинг икки томонида ётган нуқталар тугунларга қанча яқин бўлса, уларнинг мувозанат ҳолатидан силжиши шунча кичиклашиб боради ва ниҳоят тугунда ётган зарра вақт ўтиши билан мувозанат ҳолатидан силжмайди, яъни бу нуқта учун силжиш нолга тенг бўлади. (167) тенгламадаги $2A_1 \sin \frac{2\pi}{\lambda} y$ кўпайтма ноль қийматидан ўтаётганда ўз ишорасини ўзгартиради. Шунга мос равишда силжиш тугуннинг бир томонида мусбат, иккинчи томонида манфий ишорали бўлади. Бошқача айтганда, тугуннинг турли томонларидаги нуқталар қарама-қарши фазаларда тебранади ва тебранишларнинг фаза фарқи π га тенг бўлади.

131-расмдаги график кўндаланг турғун тўлқинлар учун келтирилган. Бўйлама турғун тўлқинлар учун ҳам худди шундай графикларни чизиб, юқоридаги физик хулосаларга келиш мумкин. Фақат бунда, муҳит зарраларининг кўчиши (силжиши) югурувчи тўлқин тарқалаётган йўналиш билан бир тўғри чизиқда ётишини қайд этмоқ керак. Бўйлама турғун тўлқинларда тугунларнинг иккала томонида зичликнинг бир хил ўзгариши кузатилади. Бунга тугуннинг турли томонларида турган нуқталарнинг тугун томонга бир пайтда яқинлашиб, бир пайтда ундан узоқлашиб туриши сабаб бўлади.

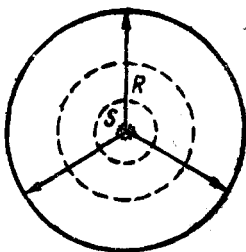
Юқорида айтилганидек, турғун тўлқинлар бир тўғри чизиқ бўйича қарама-қарши йўналишда югурувчи бир хил амплитудали, бир хил частотали тўлқинларнинг қўшилишидан ҳосил бўлади. Уларда тугунлар ва, бинобарин, дўнгликлар ҳамма вақт бир жойда бўлади. Қўшни дўнглик ва тугун орасидаги масофа чорак тўлқин узунлигига тенглигидан, тўлқин ҳосил қилувчи манба билан тўсиқчага бўлган оралиқча чорак тўлқин узунлиги бутун сон марта жойлашган ҳолдагина турғун тўлқин ҳосил бўлади. Бу шартдан фойдаланиб, турғун тўлқинларда тўлқин узунлигини тажрибада осон ўлчаш мумкин.

86- §. Тўлқин дифракцияси. Гюйгенс принципи

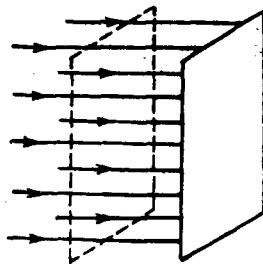
Туташ муҳитда жойлашган тебранишлар манбаидан тўлқинлар ҳамма йўналишлар бўйлаб тарқалади. Тўлқин фронтининг шакли тебраниш манбаининг шакли ва муҳит хоссаларига боғлиқ бўлади. Тебраниш манбаи нуқтавий бўлса, деярли бир жинсли муҳитда тўлқин фронти сфера шаклида бўлади (бир жинсли муҳитда тўлқинлар барча йўналишлар бўйича бир хил тезликда тарқалади, шунинг учун улар бир хил вақт оралиғида бир хил масофа ўтади). Бу сферанинг R радиуси тўлқин фронтга перпендикулярдир (132- расм).

Агар тўлқин фронти текисликдан иборат бўлса, бундай тўлқин ясси (текис) тўлқин бўлади. Бу ҳолда нурлар ўзаро параллел бўлади (133- расм). Сферик тўлқин фронтининг тебранишлар манбаидан анчагина узоқ бўлган кичик қисмини (фронт эгрелигини назарга олмай) амалда ясси тўлқин деб ҳисоблаш мумкин.

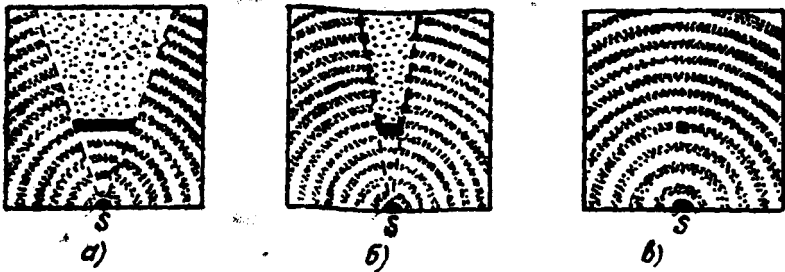
Сув сиртида тарқалаётган ва сувдаги каттароқ тўсиқча, масалан, сувдан чиқиб турган қоя тош ёки бетон деворга етиб борган тўлқинлар, қисман бу тўсиқлардан қайтади, қисман эса уларнинг четидан ўтиб ҳаракатини давом эттиради. Агар тўсиқнинг ўлчамлари тўлқин узунлигидан кўп марта катта бўлса, тўлқинлар тўсиқ четидан ўтгандан кейин тўғри чизиқ бўйича тарқалади ва тўсиқ ортида тўлқинлар бўлмайдиган



132- расм.



133- расм.



134- расм.

соҳа юзага келади (сокинлик ёки соялар соҳаси) (134- а расм), фақат тўсиқдан жуда узоқ масофалардагина тўлқинлар соя соҳасига кира бошлайди, яъни тўсиқни айланиб ўта бошлайди.

Агар тўсиқнинг ўлчамлари тўлқин узунлигидан фақат бир неча мартагина катта бўлса, тўлқинлар тўсиқни айланиб ўтади ва соя соҳаси анчагина камаяди (134- б расм).

Агар тўсиқнинг ўлчамлари тўлқин узунлигидан кичик бўлса, тўлқинлар тўсиқни бутунлай ўраб олади ва гўё ҳеч қандай тўсиқ бўлмагандагидек тарқалаверади (134- в расм).

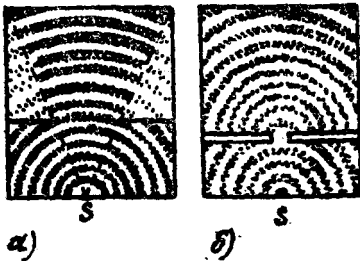
Тўлқинларнинг ўз йўлида учраган тўсиқларни айланиб ўтиш ҳодисаси, яъни уларнинг тўғри чизиқли тарқалишидан оғиши тўлқинлар дифракцияси дейилади.

Тўлқинлар ўлчамлари ана шу тўлқинларнинг узунлигидан ҳам фарқ қиладиган тирқишлар орқали ўтганда ҳам тўлқинлар дифракциясини кузатиш мумкин.

Агар тўлқинларнинг ҳаракат йўлида тирқишининг кенглиги тўлқиннинг узунлигидан анча катта бўлган тўсиқ учраса, тўлқинлар тирқиш орқали ўтади ва тўғри чизиқли тарқалиш қонуни бўйича ўз йўлида давом этади (135- а расм). Агар тўлқинларнинг тарқалиш йўлида учраган тўсиқ тирқишининг кенглиги тўлқин узунлигидан анча кичик бўлса, тўлқинлар тирқиш орқали ўтгач, икки томонга бурилади. Худди тўлқин ҳаракатининг маркази ана шу тирқиш

марказига кўчгандагидек манзара ҳосил бўлади (135- б расм).

Тўлқинларнинг дифракция ҳодисасини 1690 йилда голланд олими Гюйгенс томонидан тавсия қилинган принцип асосида тушунтириш мумкин. Бу принцип олимнинг номи билан Гюйгенс принципи деб аталади. Гюйгенс принципига кўра, муҳитнинг тўлқин етиб борган ҳар бир нуқтасининг ўзи, икки-



135- расм.

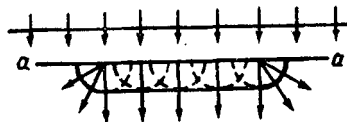
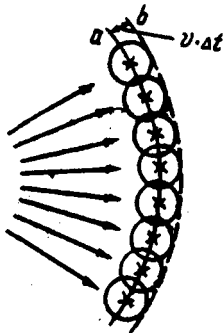
ламчи тўлқинларнинг манбаи бўлиб қолади, яъни бу нуқтадан худди марказдан тарқалгандек, янги сферик тўлқин тарқала бошлайди. Иккиламчи тўлқинлар дастлабки фронт ҳаракатланаётган йўналишлардан бошқа (бу йўналишлар 136-расмда стрелкали чизиқлар билан кўрсатилган) барча йўналишларда ўзаро сўнади, яъни бир-бирини сўндиради.

Бир жинсли муҳитда тарқалаётган тўлқин фронти бирор t вақтда a вазиятни эгаллаган бўлсин. Унинг кейинги $t + \Delta t$ пайтдаги вазиятини аниқлаш учун тўлқин фронтининг ҳар бир нуқтасини иккиламчи тўлқинлар манбаи деб қараш керак, ана шу иккиламчи тўлқинларнинг геометрик ўрамаси тўлқин фронтининг кейинги пайтдаги b вазиятини кўрсатади. Бу принцип барча тўлқинларнинг тарқалишини тавсифлаш учун ҳам яроқлидир.

Гюйгенс принципини қўллашда ўлчами тўлқин узунлигидан катта бўлган тирқишли тўсиққа ясси тўлқиннинг тушишини мисол сифатида келтириш мумкин (137-расм). Тўлқин фронти aa тўсиққа етиб борганда тирқишнинг нуқталари иккиламчи тўлқинларнинг манбалари бўлиб қолади. Бу сферик тўлқинларни ясаб (фронт ҳаракати йўналишда ярим сферани яшашнинг ўзи кифоя), ҳамда уларнинг ўровчисини чизиб, тирқишдан ўтган тўлқиннинг фронтини ҳосил қиламиз. Бу фронт фақат ўрта қисмларидагина ясси бўлади; тирқиш чегараларида тўлқин фронти (ва демак, нурлар) тўсиқ орқасига эгилади, яъни тўлқинлар дифракцияланади.

Дифракция ҳодисаси товуш тўлқинларида яхши кузатилади. Қушларнинг хонишини эшитишга боғдаги дарахтлар ҳалақит бермайди, ҳолбуки катта биноларнинг орқасида эса уларни эшитмаймиз. Бунга сабаб шуки, дарахтларнинг диаметрлари товуш тўлқинларининг узунлигидан кичик ва шунинг учун тўлқинлар дарахтларни осон айланиб ўта олади, бинонинг ўлчамлари товуш тўлқинларининг узунлигидан анча марта катта ва шунинг учун бинони товуш тўлқинлари айланиб ўта олмайди.

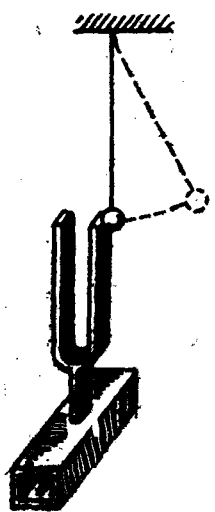
Дифракция ҳодисаси ҳар қандай тўлқин жараёнлар, шубҳасиз, шунингдек ёруғлик тўлқинлари учун ҳам характерлидир.



137- расм.

136- расм.

Агар муҳитда тарқалаётган тўлқинларнинг частотаси 20 Гц дан 20000 Гц оралиғида бўлса, бундай тўлқинларни инсон қулоғи эшитади (қабул қилади). Шунинг учун частотаси ана шу кўрсатилган частоталар оралиғида ётган исталган муҳитдаги эластик тўлқинлар *товуш тўлқинлари* ёки тўғридан-тўғри *товуш* деб аталади. Частотаси 20 Гц дан кичик бўлган тўлқинларни *инфратовуш*, частотаси 20000 Гц дан катта бўлган тўлқинларни эса *ультратовуш* деб аталади. Инфра ва ультратовушларни инсон қулоғи эшитмайди. Физиканинг товуш ҳодисаларини ўрганадиган бўлими *акустика*, қулоғимиз товуш сифатида қабул қила оладиган тебранишларни *акустик тебранишлар* деб юритилади.



138- расм.

Ҳар қандай тебранувчи жисм товуш манбаи бўлиши мумкин. Масалан, камертонга болғача билан урсак, камертон товуш чиқара бошлайди. Агар камертон шохи ёнига ипга осилган шарчани яқинлаштирсак, ҳар сафар камертонга шарча тегиши билан ундан сапчийди (138- расм). Агар камертонни қўл билан ушласак, унинг тебранишлари тўхтайди, товуш эшитилмай қолади. Камертон товуш чиқармаётган вақтда унга тегиб турган шарча ҳам ҳаракатсиз осилиб туради.

Товуш тебранишлари эластик муҳит орқали узатилади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун қуйидагича тажриба ўтказиш мумкин. Ҳаво насоси қалпоғи остига электр қўнғироғини ўрнатиб, уни ҳаракатга келтирайлик. Қалпоқ остида ҳаво бўлганда қўнғироқдан чиқаётган товуш аниқ эшитилади. Қалпоқ остидаги ҳавони аста-секин сўриб олинган сари товуш заифлашади ва ҳаво батамом сийраклашганда (вакуум бўлганда) гарчи қўнғироқ ишлаб турса ҳам, ҳеч қандай товуш эшитилмай қолади. Бундан товуш тўлқинларни муҳитда тарқалади, вакуумда эса тарқалмайди, деган хулосага келамиз.

Шундай қилиб, биз товушни эшитишимиз учун, биринчидан товуш манбаи бўлиши; иккинчидан, товуш манбаи билан қулоқ орасида эластик муҳит мавжуд бўлиши; ниҳоят, учинчидан, товуш манбаининг частотаси 20—20000 Гц оралиғида бўлиши керак.

Ҳар қандай моддада товуш маълум тезлик билан тарқалади, унинг тарқалиш тезлиги $v = \frac{s}{t}$ формула билан аниқланади, бу ерда s товушнинг t вақт оралиғида ўтган масофаси.

Товушнинг тарқалиш тезлиги муҳитнинг хоссаларига ва темпе-

ратурага боғлиқ бўлади: муҳитнинг эластиклиги ва зичлиги қанча катта бўлса, товушнинг тарқалиш тезлиги шунча катта бўлади. Бундай моддаларнинг товуш ўтказувчанлиги катта бўлади. (Модданинг товушни ўтказиш қобилияти *товуш ўтказувчанлиги* деб аталади). Ўлчашлар 0°C (273 K) температура ва нормал атмосфера босимида ҳавода товушнинг тарқалиш тезлиги $332 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ га тенг эканлигини кўрсатади. Товуш тезлиги температура ортиши билан орта боради.

Суюқликларда товушнинг тарқалиш тезлиги газлардагидан катта, қаттиқ жисмларда эса суюқликлардагидан катта бўлади. Масалан, товушнинг сувдаги тезлиги $1450 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ га, пўлатда эса $5000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ га тенг.

88- §. Товушнинг баландлиги, қаттиқлиги ва тембри

Барча товушлар мусиқий товушларга ва шовқинларга бўлинади. Масалан, музика асбоблари чиқарадиган товушлар, ашула мусиқий товуш ҳисобланади. Автомобиль юрганда, портлашда, сув шаршарасидан шовқин ҳосил бўлади.

Ҳар қандай реал товуш оддий гармоник тебраниш эмас; балки маълум частоталар тўпламига эга бўлган гармоник тебранишларнинг йиғиндисидан иборат бўлади. Берилган товушда иштирок этувчи тебранишлар частоталари тўплами товушнинг *акустик спектри* деб аталади. Агар товушда ν_1 дан ν_2 гача оралиқдаги барча частотага эга бўлган тебранишлар иштирок этса, у ҳолда спектр *туташ спектр* дейилади. Масалан, шовқин *туташ акустик спектр*га эга. Агар товуш ν_1 , ν_2 , ν_3 ва ҳоказо, узлукли, яъни бир-биридан чекли интерваллар билан ажралган частотали тебранишлардан ташкил топган бўлса, *чизиқли акустик спектр* дейилади. Масалан, мусиқий товушлар (уларни оҳангдор товушлар деб ҳам аталади) чизиқли спектрга эга.

Тайинли бир частотали товуш *мусиқий тон* (мусиқий оҳанг) ёки тўғридан-тўғри *тон* деб аталади. Гармоник тебранаётган жисмнинг чиқараётган товуши мусиқий тон бўлади. Мусиқий товушлар бир-биридан қаттиқлиги ва баландлиги билан фарқ қилади.

Товушнинг *қаттиқлиги* тебраниш амплитудасига боғлиқ бўлади: тебраниш амплитудаси қанча катта бўлса, товуш шунча қаттиқ бўлади. Масалан, камертон шохига болғача билан қанчалик кучли зарба берилса, камертон шунчалик қаттиқ овоз чиқарганини эшитамиз, чунки кучли зарба таъсирида катта амплитудали тебранишлар юзага келади.

Товушнинг *баландлиги* тебраниш частотасига боғлиқ; тебраниш частотаси қанчалик юқори бўлса, товуш шунчалик ба-

ланд ҳисобланади. Масалан, торнинг таранглигини орттириб (бунда торнинг эркин тебранишлари частотаси ортади), унинг товуш баландлигини ошириш мумкин.

Ҳар қандай мусиқий товушни частоталарининг нисбати натурал сонлар қатори нисбати каби бўлган, яъни $v_1: v_2: v_3: v_4 \dots - 1: 2: 3: \dots$ каби бўлган, бир неча гармоник тебранишларга ажратиш мумкин. Энг кичик v_1 частотали гармоник тебраниш — *асосий тон*, v_2, v_3 , ва ҳоказо юқори частотали гармоник тебранишлар *обертонлар* деб аталади.

Турли манбалардан чиқаётган товушларнинг туси (оҳангдорлиги) турлича бўлади: яъни товушлар бир-биридан *тембри* билан фарқ қилади. Товушнинг тембри обертонларнинг бўлиши ва уларнинг қаттиқлигига боғлиқ бўлади. Обертонлари кўп бўлган мусиқий товушларнинг тембри юқори (товуш шунчалик сифатли) бўлади.

89- §. Ультратовуш

Ультратовуш тўлқинларининг частотаси 20 кГц дан юқори бўлгани туфайли бу тўлқинларнинг тўлқин узунлиги товуш тўлқинларига нисбатан қисқадир. Масалан, частотаси 350 кГц бўлганда ҳавода ультратовуш тўлқинининг узунлиги 1 мм: чамасида, частота 3 МГц бўлганда эса тўлқин узунлиги 0,1 мм чамасида бўлади. Ҳавода товуш тўлқинларининг узунлиги 15 м дан 15 мм гача ораликда ётади. Суюқлик ва қаттиқ муҳитларда тўлқин узунлиги яна ҳам катта. Амалда ана шундай узунликдаги бир томонга йўналган тўлқин ярата оладиган нурлаткич қуриш имконияти йўқ. Узунликлари анча кичикроқ бўлган ультратовуш тўлқинларининг бир томонга йўналган дастасини (ёруғлик дастаси каби) ҳосил қилиш мумкин. Масалан, агар ультратовуш манбаи бўлиб турган ясси пластинканинг ўлчамлари тўлқин узунлигига нисбатан катта бўлса, у ҳолда пластинкадан ясси тўлқин тарқалади (126-а расмга қ.); бу тўлқин прожектордан ёруғлик тарқалгани каби, пластинка юзидан тарқалаётган параллел нурлар дастасига ўхшайди.

Ҳозирги вақтда ультратовуш тўлқинларини яратиш учун асосан иккита ҳодиса: *тескари пьезоэлектрик эффект* ҳамда *магнотрикция* ҳодисаларидан фойдаланилади. Тескари пьезоэлектрик эффект шундан иборатки, баъзи бир кристаллардан (масалан, кварц, сегнет тузи, барий титанат тузи ва бошқалардан) маълум усул билан кесиб олинган пластинка электр майдон таъсирида деформацияланади (майдон бир томонга йўналганда чўзилса, тескари томонга йўналганда эса сиқилади). Ана шундай пластинкани ўзгарувчан кучланиш берилган металл қопламалари орасига жойлаштиради, пластинканинг мажбурий механик тебранишлари юзага келади. Агар электр кучланишнинг ўзгариш частотаси пластинканинг хусусий тебранишлари частотасига мос келса, тебранишлар интенсивлашади. Шундай пластинка туташ (суюқлик ёки газсимон) му-

ҳитда жойлаштирилган бўлса, тебранишлар муҳитга берилиб, ундаги ультратовуш тўлқинларни уйғотади. Магнитострикция эса магнит майдон таъсирида ферромагнит моддалар (темир, никель, баъзи қотишмалар) да юз берадиган шунга ўхшаш ҳодисадир.

Ультратовуш тўлқинлари инсон фаолиятининг турли-туман соҳаларида кенг ишлатилади. Масалан, ультратовуш тўлқинлари илмий-тадқиқот ишларида модда (айниқса, суюқлик) нинг хоссаларини ўрганиш мақсадида; сувда локация ишлари олиб боришда, яъни буюмларни топиш ва уларгача бўлган масофани аниқлашда (локаторлар); чуқурликни ўлчаш ва денгиз тубининг рельефини аниқлаш ишларида (эхолотлар); ультратовуш дефектоскопиясида, яъни металл буюмларнинг нуқсон (дефект) ларини топиш, уларнинг ўлчамларини ва қаерда жойлашганликларини аниқлашда (дефектоскоп) ва бошқа кўп мақсадларда кенг қўлланилади. Ультратовуш тўлқинлари манбадан тарқалиб, ўз йўлида тўсиққа учраганда ундан қайтади. Қайтган товушларни қайд қилиб ва ультратовуш импульсини юбориш ва қайд қилиш орасидаги вақтни билган ҳолда қайтарувчи буюмнинг қаерда ва қандай масофада турганини аниқлаш мумкин. Локаторлар, эхолотлар ва дефектоскопларнинг ишлаш принципи ультратовушнинг ана шундай қайтишига асосланган.

Ультратовушнинг биологик ва физиологик таъсирлари ҳам бор. Бундан тиббиётда даволаш мақсадида, сут маҳсулотларини ва дори-дармонларни софлашда, қишлоқ хўжалигида баъзи ўсимликлар (картошка, нўхат ва шунга ўхшашлар) нинг уруғларини тез ундириб олиш ва ҳосилдорлигини оширишда ва ҳоказо мақсадларда кенг фойдаланилади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Тўлқин деб нимага айтилади?
2. Қандай тўлқинни кўндаланг тўлқин, қандай тўлқинни бўйлама тўлқин деб аталади?
3. Тўлқин узунлиги деб нимага айтилади?
4. Тўлқин узунлиги, тезлиги ва даври орасидаги муносабатни ёзинг.
5. Ясси ва сферик тўлқинлар бир-бирдан нима билан фарқ қилади?
6. Ясси тўлқин тенгламасини ёзинг ва графигини чизинг.
7. Товуш деб нимага айтилади?
8. Нима учун товуш тўлқинлари вакуумда тарқалмайди?
9. Товушнинг тарқалиш тезлиги нимага боғлиқ?
10. Товуш қандай катталиклар билан характерланади?
11. Ультратовуш ҳақида нима биласиз?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Денгиздаги тўлқин дўнгликлари орасидаги масофа 5 м. Катернинг тўлқинга қарши ҳаракатида 1 с да катер корпусига 4 марта тўлқин урилади. Тўлқин билан бир йўналишда ҳаркатланганда эса 2 марта урилади. Катернинг ва тўлқиннинг тезликларини топинг.

Берилган: $\lambda = 5$ м, $s_1 = 4\lambda = 20$ м, $s_2 = 2\lambda = 10$ м, $t = 1$ с.

Топиш керак: $v_1 - ?$ $v_2 - ?$

Ечилиши: Тўлқиннинг икки қўшни дўнгликлари орасидаги масофа тўлқин узунлигига тенг. Катер тўлқинга қарши ҳаракатланганида катер билан тўлқиннинг t вақт ичида ўтган масофаси $s_1 = (v_1 + v_2)t$ катталikka қисқаради, бу ерда v_1 — катернинг тезлиги, v_2 — тўлқиннинг тезлиги. Катер тўлқин билан бир йўналишда ҳаракатланганда улар орасидаги масофа $s_2 = (v_1 - v_2)t$ катталikka қисқаради. Иккала формулани биргаликда ечиб (уларни ҳадма-ҳад қўшиб), катернинг тезлиги учун

$$v_1 = \frac{s_1 + s_2}{2t} = \frac{6\lambda}{2t} = 3 \frac{\lambda}{t}$$

муносабатни, тўлқиннинг тезлиги учун эса (уларни ҳадма-ҳад айириб)

$$v_2 = \frac{s_1 - s_2}{2t} = \frac{2\lambda}{2t} = \frac{\lambda}{t}$$

муносабатни ҳосил қиламиз.

Ҳисоблаш:

$$v_1 = \frac{3 \cdot 5 \text{ м}}{1 \text{ с}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad v_2 = \frac{5 \text{ м}}{1 \text{ с}} = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

2-масала. Товуш тўлқинининг иккита нуқтасидан манбагача бўлган масофалар айирмаси 25 см, тебранишлар частотаси 680 Гц. Бу икки нуқта тебранишлари фазаларининг айирмасини аниқланг. Товушнинг тезлигини 340 м/с деб олинг.

Берилган: $y_2 - y_1 = 25$ см = 0,25 м, $\nu = 680$ Гц, $v = 340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Топиш керак: $\Delta\varphi - ?$

Ечилиши: Тўлқиннинг ҳар иккала нуқтаси учун тўлқин тенгламасини ёзамиз:

$$x_1 = x_0 \sin \omega \left(t - \frac{y_1}{v} \right),$$

$$x_2 = x_0 \sin \omega \left(t - \frac{y_2}{v} \right),$$

бу ерда x_1 ва x_2 лар мос равишда биринчи ва иккинчи нуқталарнинг сължиши, y_1 ва y_2 —нуқталарнинг тебранишлар манбадан узоқлиги, $\omega = 2\pi\nu$ — тўлқиннинг даврий частотаси. Биринчи тўлқиннинг фазаси $\varphi_1 = \omega \left(t - \frac{y_1}{v} \right)$ га, иккинчи тўлқиннинг фазаси $\varphi_2 = \omega \left(t - \frac{y_2}{v} \right)$ га тенг.

Фазалар айирмаси эса

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = \omega \left(t - \frac{y_2}{v} \right) - \omega \left(t - \frac{y_1}{v} \right) = \omega \frac{y_2 - y_1}{v} = 2\pi\nu \frac{y_2 - y_1}{v}$$

формула билан аниқланади.

Ҳисоблаш:

$$\Delta\varphi = 360^\circ \cdot 680 \text{ Гц} \frac{0,25 \text{ м}}{340 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 180^\circ = \pi.$$

3-масала. Кузатувчидан 1060 м узоқликда болга билан темир йўл рельсига урилмоқда. Кузатувчи рельсга қулоқ тутиб, товушни ҳаво орқали эшитган вақтидан 3 секунд олдин эшитади. Товушнинг пўлатдаги тезлиги нимага тенг? Товушнинг ҳаводаги тезлиги $330 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Берилган: $s = 1060 \text{ м}$, $\Delta t = 3 \text{ с}$, $v = 330 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Топиш керак: $v_1 = ?$

Ечилиши: Товушнинг ҳавода ўтган масофаси $s = vt$ формула билан аниқланади, бу ерда $t = \frac{s}{v}$ товушнинг шу масофани ўтиши учун кетган вақт. Агар товушнинг пўлатдаги тезлиги v_1 бўлса, $s = v_1 \cdot (t - \Delta t)$ деб ёзиш мумкин, бу ерда $(t - \Delta t)$ — товушнинг рельс бўйича s масофани ўтиш вақти. Охириги, ифодадан товушнинг пўлатдаги тезлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$v_1 = \frac{s}{t - \Delta t}$$

Бу муносабатга t нинг ифодасини келтириб қўйсак, у ҳолда.

$$v_1 = \frac{s}{\frac{s}{v} - \Delta t} = \frac{sv}{s - v \cdot \Delta t}$$

бўлади.

Ҳисоблаш:

$$v_1 = \frac{1060 \text{ м} \cdot 330 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1060 \text{ м} - 330 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 3 \text{ с}} = 5000 \text{ м/с.}$$

Мустақил ечиш учун масалалар

108. Балиқчи пўкак 10 с давомида тўлқинда 20 марта тебранишини пайқайди. Тўлқиннинг қўшни дўнгликлари орасидаги масофа 1,2 м, Тўлқинларнинг тарқалиш тезлиги қандай?

109. Сўнмас тўлқиннинг бирор нуқтасининг ҳаракати $x = 0,05 \cos 2\pi t$ тенглама билан ифодаланади. Тўлқин тарқаладиган нурда бир-бирдан 15 ва 30 см масофада ётган нуқталар ҳаракатининг тенгламаларини ёзинг. Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги $0,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

110. Товуш ҳаводан сувга ўтганда товуш тўлқинининг узунлиги неча марта ўзгаради? Товушнинг сувдаги тезлиги $1480 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, ҳаводаги тезлиги эса $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

111. Агар товуш дарёнинг нариги соҳилидан ҳавода 1,5 с да етиб келган бўлса, дарёнинг кенглиги қандай?

112. Нормал эшитиладиган товушнинг энг юқори частотаси 20 кГц. Бундай частотада ҳаводаги тўлқин узунлигини топинг. Товушнинг ҳаводаги тезлиги $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ га тенг.

113. Отишма овози ва ўқ 680 м баландликка аини бир вақтда етади. Ўқнинг бошланғич тезлиги қандай? Милтиқ тик юқорига отилган, ўқнинг ҳаракатига кўрсатиладиган қаршиликни назарга олманг. Товуш тезлигини $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ деб олинг.

114. Тovuшнинг ерга нисбатан тезлиги шамол йўналиши бўйлаб $380 \frac{\text{м}}{\text{с}}$: шамол йўналишига қарши эса $320 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ бўлган. Тovuшнинг ҳавога нисбатан тезлиги ва шамолнинг ерга нисбатан тезлиги нимага тенг?

115. Тебраниш манбандан 10 м ва 16 м масофадаги икки нуқта тебранишининг фазалар фарқи қанчага тенг бўлади? Тебраниш даври 0,04 с ва тарқалиш тезлиги $300 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

116. $t = \frac{T}{6}$ пайт учун тебраниш манбандан $\frac{\lambda}{12}$ масофадаги нуқтанинг мувозанат вазиятидан қанчага силжиши аниқлансин. Тебраниш амплитудаси 0,05 см.

III қисм. МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ИССИҚЛИК

VIII боб. МОДДА ТУЗИЛИШИНING МОЛЕКУЛЯР- КИНЕТИК НАЗАРИЯСИ АСОСЛАРИ

90-§. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий қонун-қоидалари

Ҳар қандай модданинг хоссалари уни ташкил этувчи зарраларнинг хоссалари ва ҳаракатининг характери билан аниқланади. Тажрибада кузатиладиган макроскопик жисмлар хоссаларини аниқлаш учун уларни ташкил қилувчи айрим молекулаларнинг характерини эмас, балки уларнинг жами ҳаракати туфайли ҳосил бўладиган ўртача натижавий катталикларни билиш муҳим аҳамиятга эга. Худди ана шу натижани *молекуляр-кинетик назария* ёрдамида ўрганиш мумкин бўлади. Бу табиатдаги барча моддалар молекулалардан, молекулалар эса атомлардан иборат бўлиб, улар доимо ҳаракатда бўлишига асосланган назариядир. Молекуляр-кинетик назария тараққиёти кўп асрлик тарихга эга. Модда тузилишининг молекуляр-кинетик тасавурлари қадим замонлардан маълум. Қадимги Юнистоннинг машҳур мутафаккирлари Демокрит ва Левкипп (эрамиздан аввалги 460—370 й.й.) табиатдаги барча нарсалар узлуксиз ҳаракатдаги атомлардан тузилган ва бу атомлар ҳар хил бўлиши мумкин, деб айтганлар.

XVIII асрга келиб М. В. Ломоносов материя тузилишининг корпускуляр (молекуляр) тасавурларига асослашиб, модда тузилишининг молекуляр-кинетик назариясига асос солди. У ўз-замонасида маълум бўлган барча физик ва кимёвий ҳодисаларнинг ягона манзарасини модда молекулаларининг ҳаракати ва ўзаро таъсири асосида тушунтиришга уринди.

XIX асрнинг иккинчи ярми ва XX асрнинг бошларида моддани ташкил қилган молекулаларнинг ўлчамлари, массалари ва уларнинг ҳаракат тезликлари ўлчанди ҳамда айрим атомларнинг молекулаларда қандай жойланиши аниқланди. Шу билан модда тузилишининг молекуляр-кинетик назариясини яратиш ниҳоясига етди ва ундан чиққан хулосалар кўпчилик тажрибалар орқали тасдиқланди.

Модда тузилишининг молекуляр-кинетик назарияси қуйидаги учта қоидага асосланади:

1. *Барча моддалар молекулалараро оралиққа эга бўлган молекулалардан ташкил топган; молекулалар ўз навбатида атомлардан ташкил топган;*

2. Молекулалар ҳар доим узлуксиз тартибсиз (хаотик) ҳаракатда бўлади;

3. Молекулалар орасида ҳар доим тортишиш ва итаришиш кучлари мавжуд бўлади. Бу кучлар молекулалар оралиғига кескин боғлиқдир. Молекулалар оралиқлари жуда кичик бўлганда итаришиш кучи жуда катта бўлади; молекулалар бир-бирларидан узоқлашганда эса бу кучлар камайиб, улар орасида тортишиш кучи ортади. Мавжуд бўлган бу кучлар электромагнит табиатга эга бўлади.

Молекула — моддани ташкил этувчи зарра бўлиб, у ўзида шу модданинг асосий кимёвий хоссаларини сақловчи мустақил энг кичик бўлакчадир.

Ҳар хил атомлардан ташкил топган молекулалар турли хоссага эга бўлган моддаларни ҳосил қилади.

Атом ва молекулалар жуда кичик зарралар бўлгани туфайли уларни кўз билан кўриш мумкин эмас. Бироқ электрон микроскоплар воситасида баъзи йирик молекулаларни, масалан, диаметри $4 \cdot 10^{-9}$ м га яқин бўлган оқсил молекулаларини кўриш мумкин. Электрон проекторлар (ўта микроскоплар) нинг яратилиши натижасида кичик молекулаларни, ҳатто айрим атомларни кўриш имкони туғилди. Бундай кузатишларнинг мумкинлиги молекулалар ва атомларнинг реал мавжуд эканлигининг рад этиб бўлмайдиган исботидир.

Молекулалараро масофа мавжудлигининг тўла ишончли билвосита тасдиқи газ ҳажмининг ўзгарувчанлигидир. Ҳақиқатан, газ сиқилганда унинг ҳажми фақат уни ташкил қилган молекулаларнинг орасидаги масофанинг қисқариши ҳисобигагина ўзаро яқинлашиши туфайли кичрайиши мумкин.

Қаттиқ жисмларнинг ўз шаклларини сақлай олиш хусусиятлари молекулалар орасидаги ўзаро итаришиш ва тортишиш кучларининг мавжудлигини намоён қилади. Қаттиқ жисмларнинг шаклини ҳатто арзимас даражада ўзгартириш, масалан, чўзиш ёки сиқиш учун ҳам катта куч сарфлаш кераклиги тажрибалардан маълум. Молекулаларнинг орасидаги тортишиш кучлари жисмнинг чўзилишига, итаришиш кучлари эса сиқилишига тўсқинлик қилади.

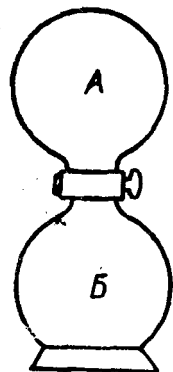
Молекулаларнинг узлуксиз хаотик ҳаракати диффузия ва броун ҳаракати ҳодисаларида яққол намоён бўлади.

Бир-бири билан чегарадош бўлган жисм зарраларининг уларнинг иссиқлик ҳаракати туфайли бир-бирига кириб бориш ҳодисаси диффузия дейилади. Диффузия натижасида жисмлар олинган фазода модда молекулаларининг концентрацияси тенглашади. (Модданинг бирлик ҳажмдаги молекулалари сони молекулаларнинг концентрацияси деб аталади).

Диффузия ҳодисасини газ, суюқлик ва қаттиқ жисмларда кузатилганда уларда бу ҳодиса турли даражада содир бўлганлигини кўришимиз мумкин.

Газлардаги диффузия ҳодисасини қуйидаги тажриба асосида кузатайлик. 139-расмдаги шиша идишнинг А ва Б қисмида

С жўмрак ёпиқ ҳолатда бўлганда икки хил газ, масалан, *A* қисмида ҳаво, *B* қисмида эса бром буғлари қамалган бўлсин. Жўмракни очсак, молекулаларнинг хаотик ҳаракати туфайли қорамтир рангли бром буғлари (шунингдек, ҳаво молекулалари) идиш бўйлаб тарқалиб, маълум вақт ўтгандан сўнг идишнинг ҳар иккала *A* ва *B* қисмида бир хил рангдаги аралашма ҳосил бўлишини кузатамиз.



139- расм.

Суюқликларда диффузия жараёни газлардагига нисбатан анча секин боради. Уртасида тўсиғи бўлган идишга икки хил (сув билан шакарли сув, сув билан спирт ёки рангли ва рангсиз) суюқлик қуяйлик. Агар улар орасидаги тўсиқни аста-секин олсак, бир суюқлик молекулалари иккинчи суюқлик молекулалари билан аралашиб кетади, бунда диффузия ҳодисаси натижасида суюқликлар таркиби олдинги таркибларидан фарқ қилувчи битта суюқликка айланади. Бу ҳосил бўлган суюқлик *эритма* дейилади. Эритмалар орасида диффузия ҳодисаси бўлаётганда аввало юқори концентрацияли эритмадан паст концентрацияли эритма томон кўпроқ модда ўтиб, тескари йўналишда ўтувчи модда миқдори камроқ бўлади. Бу жараённинг ўтиш тезлиги суюқликларнинг таркиби, зичлиги, молекулаларнинг ўлчами, массаси, кимёвий тузилиши, қовушоқлиги каби факторларга боғлиқ бўлади.

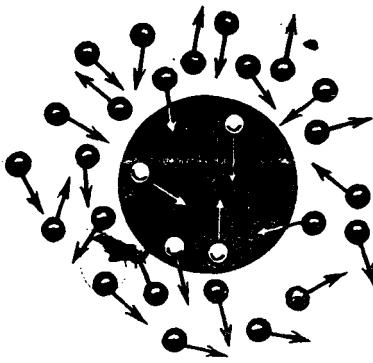
Қаттиқ жисмларда диффузия жараёни жуда секин кетишини тажрибалар кўрсатади. Масалан, тажрибалардан бирида силлиқланган қўрғошин пластинка билан олтин пластинкани устма-уст қўйиб, уларнинг устига юк қўйилган. Одатдаги уй температурасида (тахминан 20°C) 5 йилдан кейин қўрғошин пластинка билан олтин пластинка зарралари бир-бирига 1 см гача кўчиб, уланиб кетган. Бунда олтин билан қўрғошин қошишмасидан иборат бир жинсли қатлам ҳосил бўлган.

Диффузия температурага кескин боғлиқдир. Берилган моддаларнинг температураси ортиши билан молекулаларнинг хаотик ҳаракати жадаллаши натижасида диффузия ҳодисаси тезлашади.

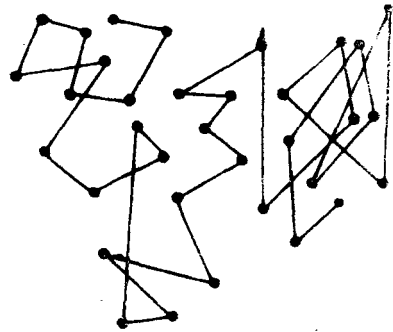
Молекулаларнинг тартибсиз ҳаракатда эканлиги 1827 йилда инглиз ботаниги Броун томонидан тажриба асосида аниқланган.

Сувда эримайдиган майда зарралар (гуммегут порошок ёки туш кукуни) ни сувга аралаштирилиб, улар микроскоп орқали қаралганда зарраларнинг тартибсиз ҳаракат қилиши кузатилган. Бу зарраларнинг ҳаракатга келишига асосий сабаб, сувнинг қўшни молекулалари тартибсиз равишда унга урилиб сон-саноксиз туртки импульс бериши натижасидир (140- расм).

Бу ҳаракат олимнинг шарафига *Броун ҳаракати* дейилади.



140- расм.



141- расм.

Броун ҳаракати молекулаларнинг тартибсиз ҳаракат қилишидан ташқари молекулаларнинг мавжуд эканлигини ҳам исботлади. Шунингдек, m массали молекулалар « v » тезлик билан ҳаракатланиб, Броун заррасига mv импульс беради. Молекулалар ҳаракати тартибсиз бўлганлиги сабабли заррага атрофдан берилаётган импульслар бир-бирини компенсацияламайди: заррага турли томонлардан турли сондаги молекулалар урилади, шу билан бирга алоҳида молекулаларнинг зарб кучлари ҳам бир хил эмас. Натижада Броун заррасига таъсир этувчи куч нолдан фарқли бўлиб, зарра маълум томонга ҳаракатланади. Броун ҳаракатини Перрен мукаммал ўрганиб, зарранинг тенг вақтлар оралиғида ўтган масофасининг расмини олган (141- расм).

Суюқлик температурасининг ошиши билан молекулаларнинг ҳаракат тезлиги, бинобарин, Броун ҳаракати ортади.

91- §. Молекула ва атом ўлчамлари

Биз юқорида ҳар қандай модда молекулалардан, молекулалар эса ўз навбатида атомлардан ташкил топганлиги ҳақида тўхталиб ўтдик.

Кимё курсидан маълумки, молекулалар турлича атом бирикмаларидан ташкил топиши мумкин. Бир атомли (гелий He, аргон Ar, неон Ne каби инерт газлар), икки атомли (кислород O_2 , водород H_2 , азот N_2) ва кўп атомли молекулалар бўлиши мумкин. Турли модда атомлари бирикиб кўп атомли молекулаларни ҳосил қилади. Масалан, ош тузининг молекуласи битта натрий Na атоми ва битта хлор Cl атомидан, сув молекуласи эса иккита водород H атоми ва битта кислород O атомидан иборат (142- расм): шунингдек, оқсил молекулалари ва полимерлар кўп атомли молекулаларга киради. Ҳозирги вақтда турли усуллар билан атом ва молекулаларнинг мавжудлигининг аниқлиги эмас, балки уларнинг ўлчамларини ҳам аниқлаш мум-

кин. Бу усуллардан бири қуйидагича. Бирор идишдаги сувнинг сиртига мой томчисини томизсак, у сувнинг юзига ёйилиб, юпқа парда ҳосил қилади. Парда шу даражада юпқа бўлсинки, унда молекулалар бир қават бўлиб текис терилгандек бўлсин. У ҳолда парданинг қалинлигини, яъни молекуланинг диаметрини (агар молекулани шарсимон деб олсак) осонгина ҳисоблаш мумкин. Масалан, сув сиртига ҳажми $V=10^{-9}$ м³ бўлган мой томчиси томизганимизда томчи $S=0,5$ м² юзга ёйилган бўлсин, у ҳолда парданинг қалинлиги, яъни молекуланинг диаметри σ қуйидагича топилади:

$$\sigma = \frac{V}{S} = \frac{10^{-9} \text{ м}^3}{0,5 \text{ м}^2} = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$$

Аниқ ўлчаш ва ҳисоблашлар атом ва молекулаларнинг диаметри $\sigma = 2 \div 3 \cdot 10^{-10}$ м эканини кўрсатади. Бу ўлчамлар шу қадар кичикки, уларни фақат таққослаш орқали тасаввур этиш мумкин. Масалан, қўлимиздаги ручканинг катталиги Ердан Ойгача етадиган қилиб катталаштирилганда, мой молекуласи ҳам шунча марта катталаштирилса, унинг диаметри шу ручка катталигидек бўлади.

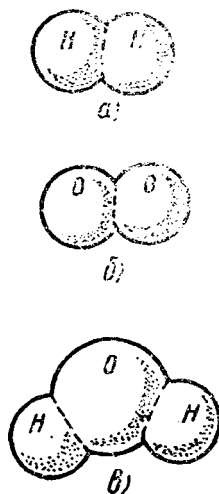
Молекулаларнинг ўлчами жуда кичик бўлгани учун ҳар қандай макроскопик жисмда ниҳоятда кўп молекулалар бўлади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун массаси 10^{-3} кг, ҳажми $V=10^{-6}$ м³ бўлган сув томчисидаги молекулалар сонини тақрибан ҳисоблаб кўрайлик. Сув молекуласининг диаметри $3 \cdot 10^{-10}$ м га тенг эканини ҳисобга олганимизда, ҳар бир сув молекуласининг эгаллаган ҳажми тахминан $V_1 \approx (3 \cdot 10^{-10} \text{ м})^3 \approx 2,7 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$ га тўғри келади. У вақтда 10^{-6} м³ ҳажмдаги сув молекулаларининг сони

$$N = \frac{V}{V_1} = \frac{10^{-6} \text{ м}^3}{2,7 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3} \approx \frac{1}{3} \cdot 10^{23} \approx 3 \cdot 10^{22} \quad (1)$$

бўлади.

92- §. Молекулалар массаси. Модда миқдори. Авогадро сони

Айрим молекула ва атомларнинг массаси жуда кичик эканига ишонч ҳосил қилиш мақсадида битта сув молекуласи массасини ҳисоблаб кўрайлик. Бунинг учун юқорида нормал шароитда олинган 10^{-3} кг массали сувнинг эгаллаган ҳажми $V=10^{-6}$ м³ га тенглигидан фойдаланамиз. Бу ҳажмда мавжуд бўлган сув молекулаларининг сони $N=3 \cdot 10^{22}$ донга экани (1)



142- расм.

дан маълум. У вақтда 10^{-3} кг сув массасини унда мавжуд бўлган молекулалар сонига бўлиш орқали бир дона сув молекуласининг массаси топилади:

$$m_{0\text{H}_2\text{O}} = \frac{m}{N} = \frac{10^{-3} \text{ кг}}{3 \cdot 10^{23}} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Бошқа модда молекулаларининг массалари ҳам шунга яқин қийматга эга бўлади. Аммо минглаб атомларга эга бўлган органик моддаларнинг молекулалари бундан мустаснодир.

Молекулаларнинг массалари жуда кичик бўлгани туфайли, ҳисоб ишларида массаларнинг абсолют қийматларидан эмас, балки *нисбий* қийматларидан фойдаланиш қулайдир. Шунинг учун ҳамма атом ва молекулаларнинг массаси халқаро келишувга мувофиқ углерод атоми массасининг $1/12$ қисми билан таққослаб олинади (бу ҳолда атомларнинг нисбий массалари бутун сонларга яқин бўлиб чиқади).

Модданинг M_H нисбий молекуляр (ёки атом) массаси деб шу молекула (ёки атом) m_0 массасининг углерод атоми m_{0C} массасининг $1/12$ қисмига нисбатига айтилади. Демак, модданинг M_H нисбий молекуляр массаси қуйидагига тенг бўлади:

$$M_H = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0C}} \quad (2)$$

M_H катталиқнинг ўлчови йўқ. Бундан кўринадики, ҳисобланиши зарур бўлган молекуланинг массаси $m_0 = \frac{1}{12} M_H \cdot m_{0C}$ бўлар экан.

Масалан, магнийнинг (Mg) атом массаси 24 га тенг. Бу деган сўз, магний атомининг массаси углерод (C) атоми массасининг $1/12$ қисмидан 24 марта катта демакдир, шунингдек водород атомининг массаси 1 га тенг, демак, водород атомининг массаси углерод атомининг массасидан 12 марта кичикдир.

Жисмларда атом ёки молекулалар ниҳоятда кўп бўлади. Шунинг учун аниқ бир жисмдаги атомлар сонини 0,012 кг углерод массасидаги атомлар сони билан таққослаш қабул қилинган. Бунинг учун *модда миқдори* деб аталадиган махсус физик катталиқ киритилади. Модда миқдори ν деб (грек ҳарфи; «ню» деб ўқилади) маълум бир жисмдаги молекулалар сони N нинг 0,012 кг массали углеродда мавжуд бўлган атомлар сони (N_A) га нисбатига айтилади:

$$\nu = \frac{N}{N_A} \quad (3)$$

СИ да модда миқдори моль ҳисобида ўлчанади ва у асосий бирликлардан биридир. *Бир моль* — модданинг шундай миқдорик, унда мавжуд бўлган молекулалар сони 0,012 кг углероддаги атомлар сонига тенг.

Моль билан бир қаторда унга каррали бирлик киломоль (кмоль) ҳам қўлланилади: $1 \text{ кмоль} = 10^3 \text{ моль}$.

Моль таърифига асосан, ҳар қандай модданинг бир моль миқдоридаги молекула ёки атомлар сони бир хил бўлади. Бу сон XIX асрда яшаган Италия олими шарафига *Авогадро сони* деб аталади ва у N_A билан белгиланади. Бу сон бир моль модда (яъни 0,012 кг углерод) даги атомлар сонига тенг бўлиб, қуйидаги формула орқали ифодаланади:

$$N_A = \frac{\mu_r}{\mu_{OC}} = \frac{\mu}{m_0} \quad (4)$$

бунда μ_{OC} ва μ катталиклар (грек ҳарфи: «мю») деб ўқилади) бир моль углероднинг ва ихтиёрий олинган модданинг килограмм ҳисобидаги массаси.

Бир моль миқдорида олинган модда массаси μ *моляр масса* деб аталади. Моляр масса тушунчаси физикада, айниқса кимёда кенг қўлланилади. Агар ν моль модданинг массаси m бўлса, ν ҳолда, таърифга биноан, моляр масса қуйидагича ифодаланади:

$$\mu = \frac{m}{\nu} \quad (5)$$

$m = m_0 N$ эканлигини ва (3) формулани эътиборга олсак, ν ҳолда

$$\mu = m_0 N_A \quad (5a)$$

бўлади. Демак, моляр масса молекуланинг массаси билан Авогадро сони кўпайтмасига тенг экан. (5) дан кўринадиган моляр масса $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$, $\frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$, $\frac{\text{г}}{\text{моль}}$ ларда ўлчанади, моляр массани M_H нисбий молекуляр масса орқали ифодалаш мумкин. m_0 нинг (2) дан топиладиган қийматини ва N_A нинг (3) даги қийматини (4) га қўямиз:

$$\mu = M_H \frac{m_{OC}}{12} \cdot \frac{0,012}{m_{OC}} = 10^{-3} M_H \text{ кг/моль.}$$

Демак, моляр масса сон жиҳатдан нисбий молекуляр массага тенг экан. Масалан, карбонат ангидрид (CO_2) нинг моляр массаси 0,044 кг/моль га, углеродники 0,012 $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ га, кислородники 0,032 $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ га тенг. Ўлчашлар натижасида углерод атомининг массаси, $m_{OC} = 1,995 \cdot 10^{-26}$ кг экани аниқланган. (4) формуладаги катталикларнинг сон қийматини ўрнига қўйиб Авогадро сонини ҳисобласак,

$$N_A = \frac{0,012 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{1,995 \cdot 10^{-26} \text{ кг}} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

ҳосил бўлади. Авогадро сони бутун молекуляр физикада муҳим аҳамиятга эга бўлиб, универсал доимий ҳисобланади.

Модда миқдори маълум бўлганда Авогадро сонидан фойдаланиб, молекулалар сонини топиш мумкин. Турли газлар билан олиб борилган тажрибалардан кўринадики, *бир хил ҳарорат ва босимда ҳар қандай газнинг бир моль массаси бирдай ҳажми эгаллайди*. Бунга Авогадро қонуни дейилади.

Нормал шароитда ($T=273$ К температура ва $1,013 \cdot 10^5$ Па атмосфера босимида) бир моль газ массасининг ҳажми

$$V_{\mu} = 0,0224 \text{ м}^3/\text{моль}$$

эكاني аниқланган. Бир моль (ёки кмоль) модданинг ҳажми *моляр ҳажм* деб аталади.

Нормал шароитда N_A Авогадро сонини бир моль газнинг $V_{\mu} \text{ м}^3$ ҳисобида ҳажмига бўлганимизда 1 м^3 ҳажмдаги молекулалар сонини топиш мумкин. Бу сон *Лошмидт сони* дейилади ва n_0 билан белгиланади:

$$n_0 = \frac{N_A}{V_{\mu}} = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}} \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3},$$

яъни

$$n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

93- §. Газ, суюқ ва қаттиқ ҳолатдаги модда молекулаларининг ҳаракати ҳақида. Молекулаларнинг ўзаро таъсири

Табиатдаги мавжуд моддалар турли ҳолатларда учрайди. Масалан, муз, сув ва сув буғи; булар сувнинг уч ҳолатидир! Сувнинг бу уч агрегат ҳолатидаги молекулалари бир-бирдан фарқ қилмай, балки молекулаларнинг жойлашиши ва таъсирлашиши билан фарқ қилади. Молекулалар ҳаракатининг умумий характери газ, суюқ ва қаттиқ жисмлар учун бирдай бўлади, яъни молекулалар ихтиёрий йўналишларда турлича тезлик билан бетартиб ҳаракатланади. Шунинг учун ҳам молекулаларнинг тезлиги ҳақида гапирилганда — *ўртача тезлик*, ўтган йўли дейилганда эса, иккита кетма-кет тўқнашишлар оралиғига тенг бўлган *ўртача эркин югуриш йўли* тушунилади.

Газ молекулалари орасидаги масофа унинг ўлчамига нисбатан кўп марта катта бўлгани туфайли, молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучи жуда ҳам кичик бўлиб, молекулалар исталган йўналишда бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда ҳаракатлана олади. Ҳисоблашлар ва ўлчашларнинг кўрсатишича, нормал шароитда молекулаларнинг ўртача эркин югуриш йўли тахминан 10^{-8} — 10^{-7} м га тенг бўлиб, бир секундда 10^{10} марта ўзаро ва идиш деворлари билан тўқнашади. Газ молекулаларининг илгариланма ва айланма ҳаракат қилиши тажрибаларда аниқланган. Газ молекулалари орасида ўзаро итаришиш кучи бўлгани сабабли газ солинган идишнинг бутун ҳажмини тўла эгаллайди, бундан кўринадики, газ аниқ шакл ва ҳажмга эга эмас. Молекулалар орасида тортишиш кучи мав-

жуд бўлганлиги учун улар бир-биридан чексиз узоқ масофага тарқалиб кета олмайди.

Суюқлик молекулалари газ молекулаларига қараганда анча зич жойлашгани учун уларнинг эркин югуриш йўли молекулаларнинг ўз ўлчамидан ҳам кичик бўлиб, тахминан 10^{-10} м га тенг. Бу оралиқнинг мавжудлиги суюқликларда оқувчанлик хусусиятини белгилайди. Тажрибаларнинг кўрсатишича, суюқлик молекулалари илгариланма ҳаракат билан бирга тебранма ва айланма ҳаракат ҳам қилади.

Суюқликларда молекулалар орасидаги тортишиш кучи газ молекулалари орасидаги тортишиш кучига нисбатан анча катта бўлганлиги учун молекулаларни ҳар томонга тарқалиб кетишига йўл қўймай тутиб туради, шунинг учун ҳам идишга солинган суюқлик шу идиш ҳажмининг маълум бир қисмини ва идиш шаклини эгаллайди.

Қаттиқ жисм молекулалари суюқлик молекулаларига қараганда анча зич жойлашган бўлиб, мувозанат ҳолати атрофида тебранма ҳаракат қилади. Уларнинг бир жойдан иккинчи жойга кўчиши камдан-кам учрайди.

Такрорлаш учун саволлар

1. Молекуляр-кинетик назария таълимоти ҳақида тушунча беринг.
2. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий қонун-қоидалари нималардан иборат?
3. Диффузия деганда нимани тушунасиз? Диффузия модданинг агрегат ҳолатига ва температурага қандай боғлиқ?
4. Броун ҳаракати билан қандай ҳодиса тушунтирилади?
5. Температура ортиши билан Броун ҳаракати ортади ва диффузия жараёни тезлашади, нима учун?
6. Молекулаларнинг ўлчами ва массаси ҳақида тушунча беринг.
7. Авогадро сони ва Авогадро қонуни ҳақида маълумот беринг.
8. Модда миқдори нима ва унинг бирлиги қандай?
9. Нисбий ва моляр масса нима? Моляр масса қандай birlikларда ўлчанади?
10. Нормал шароит деганда нимани тушунасиз?
11. Лошмидт сони нима? Унинг қийматини келтириб чиқаринг.

Масала ечиш намуналари

1-масала. Нормал шароитда 1) 0,001 кг азот ва 2) 1 м³ кислород таркибидаги молекулалар сонини ҳисобланг. Нормал шароитда кислороднинг зичлиги $\rho_2 = 1,43$ кг/м³.

Берилган; $m_1 = 0,001$ кг = 10^{-3} кг, $V_2 = 1$ м³, $\rho_2 = 1,43$ кг/м³, $\mu_1 = 28 \times 10^{-3}$ кг/моль, $\mu_2 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Топиш керак: N —? n —?

Ечилиши: 1) Берилган массадаги азот газининг молекулалар сони шу берилган массани битта азот молекуласининг массасига нисбатига тенг бўлиб, қуйидагича ифодаланади:

$$N = \frac{m_1}{m_0}, \text{ бунда } m_0 = \frac{\mu_1}{N_A} \text{ га тенг бўлиб, } \mu_1 \text{ — азот молекуласининг моляр}$$

массаси, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ — Авогадро сони. Бу иккала тенгликдан қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$N = \frac{m_1 N_A}{\mu_1}$$

Ҳисоблаш:

$$N = \frac{10^{-3} \text{ кг} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{28 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}^{-1}} = 215 \cdot 10^{20} \text{ дона.}$$

2) Нормал шаронда ҳажм бирлигидаги кислород молекулаларининг сони қуйидагича топилади. Кислород массаси $m_2 = V_2 \rho_2$ га, молекулалар сони

$$N = \frac{m_2}{m_0}$$

$$n = \frac{N}{V_2} = \frac{m_2}{m_0 V_2} = \frac{V_2 \rho_2}{m_0 V_2} = \frac{N_A}{\mu_2} \rho_2$$

бўлади.

Ҳисоблаш:

$$n = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{32 \cdot 10^{-23} \text{ кг/моль}} \cdot 1,43 \text{ кг/м}^3 \approx 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

2-масала. Озон (O_3), карбонат ангидрид (CO_2), метан (CH_4) газларининг битта молекуласининг массасини ҳисобланг.

Берилган: $\mu_1 = 48 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $\mu_2 = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$, $\mu_3 = 16 \cdot 10 \text{ кг/моль}$, $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

Топиш керак: $m_{01} - ?$, $m_{02} - ?$, $m_{03} - ?$

Ечилиши: Масала шартда берилган ҳар бир газ молекуласининг массасини қуйидаги формулалардан топамиз:

$$m_{01} = \frac{\mu_1}{N_A}, \quad m_{02} = \frac{\mu_2}{N_A}, \quad m_{03} = \frac{\mu_3}{N_A}.$$

$m_{01} \approx 8,0 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$, $m_{02} \approx 7,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$, $m_{03} \approx 2,7 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.

3-масала. Нормал шаронда 1 м^3 ҳавода $2,7 \cdot 10^{25}$ дона молекула бор. Агар молекулалар орасидаги масофа молекула диаметридан 10 марта катталиги маълум бўлса, молекуланинг диаметри қанчага тенг эканлигини ҳисобланг.

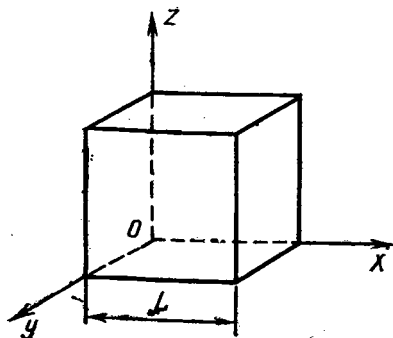
Берилган: $V = 1 \text{ м}^3$, $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25}$, $\frac{l}{\sigma} = 10$ марта.

Топиш керак: $\sigma - ?$

Ечилиши: Агар кубнинг ҳажмини 1 м^3 деб олсак, у ҳолда n_0 дона молекулалар уч ўлчамли фазода OY , OZ , OX йўналишлар бўйлаб ҳаракатланадилар (143-расм). Ҳар бир молекулага куб ҳажмининг l^3 га тенг қисми мос келади, бунда l — молекулалар орасидаги масофа. Шундай экан, кубнинг ҳажми $V = n_0 \cdot l^3$ деб ҳисоблаш мумкин. Масаланинг шартига кўра $\frac{l}{\sigma} = 10$ эди.

Бу икки ифодадан молекуланинг диаметрини топсак,

$$\sigma = \frac{l}{10} = \sqrt[3]{\frac{V}{n_0}}.$$



143-расм.

Ҳисоблаш:

$$\sigma = \frac{1}{10} \sqrt[3]{\frac{1 \text{ м}^3}{2,7 \cdot 10^{25}}} = \frac{1 \text{ м}}{10 \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 3 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

4-масала. Диаметри $3 \cdot 10^{-3}$ м бўлган сув томчисидagi сув молекулалари сонини аниқланг.

Берилган: $d = 3 \cdot 10^{-3}$ м, $\mu = 18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $\rho = 10^3$ кг/м³.

Ечилиши: Берилган сув томчисидagi молекулалар сони қуйидагича топилади:

$$N = \frac{m}{m_0},$$

бунда m — сув томчисининг массаси, m_0 — битта молекуланинг массаси. Сув томчисининг массасини зичлик формуласидан фойдаланиб қуйидагича ифода-лаймиз:

$$m = \rho V,$$

бунда V — берилган сув томчисининг ҳажми; томчи шар шаклида бўлгани учун V ни қуйидагича ифода-лаймиз:

$$V = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{d}{2}\right)^3 = \frac{1}{6} \pi d^3,$$

у вақтда масса $m = \frac{1}{6} \rho \pi d^3$ бўлади. Битта молекуланинг массаси қуйидагича топилади:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A}$$

Аниқланган m ва m_0 нинг ифодаларини томчида молекулалар сонини аниқлаш ифодасига қўйсак,

$$N = \frac{\rho \pi d^3 N_A}{6\mu}$$

ифода ҳосил бўлади.

Ҳисоблаш:

$$N = \frac{3,14 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{6 \cdot 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} \approx 4,5 \cdot 10^{20} \text{ до а.}$$

Мустақил ечиш учун масалалар

117. Водород ва кислород молекулаларининг массасини ҳисобланг.

118. Нормал шароитда 1 м^3 ҳажмдаги газ молекулаларининг сонини ҳисобланг.

119. 0,001 кг сув буғидаги молекулалар сонини ҳисобланг.

120. 10^{-9} м^3 ҳажмдаги керосин томчиси сувга томизилган. Томчи ёйилиб $0,9 \text{ м}^2$ сув бетини парда ҳолида қоплаган. Парда қалинлигини молекула диаметрига тенг деб ҳисоблаб, керосин молекуласининг диаметрини аниқланг.

121. Нормал шароитда 500 моль керосин қанча ҳажмни эгаллайди?

122. Юзи $30 \cdot 10^4 \text{ м}^2$ бўлган буюмга 1 мкм қалинликда никель қатлами қопланган. Қатламда қанча никель атоми бор? Никелнинг зичлиги $8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, мо-

лекуляр массаси $59 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ га тенг.

94- §. Молекуляр физикани ўрганишнинг статистик ва термодинамик усуллари

Ҳозирги замон фанида жисмларнинг физик хоссаларини, шунингдек, бу жисмларни ташкил қилувчи зарраларнинг ис-қиқлик ҳаракати ва ўзаро таъсири туфайли бўладиган физик ҳодисаларни ўрганишда уларнинг хоссаларининг ўзгаришига боғлиқ бўлган қуйидаги икки хил ёндашишдан — *макроскопик* ва *молекуляр-кинетик усулдан* фойдаланилади. Биринчи усул жисмларнинг ички тузилишидаги хусусийлигини ҳисобга олманган ҳолда макроскопик жисмларнинг хоссаларини уларда энергия айланиши ва сақланиши қонунлари асосида ўрганишга асосланган бўлиб, *термодинамик метод* дейилади. Гап шундаки, жисмлар (система)нинг кўп хоссалари унда энергиянинг бир турдан иккинчи турга айланиш жараёнлари билан ҳам боғлиқ. Бинобарин, бу қонунлар ёрдамида жисмларнинг кўп хоссаларини ва ҳодисаларни ўрганиш мумкин.

Молекуляр-кинетик усул моддаларнинг ички тузилиши асосида уларнинг хоссаларини чуқурроқ ўргатади. Макроскопик жисмларнинг хоссалари улардаги зарраларнинг тартибсиз ҳаракатидан бўладиган микрожараёнлар туфайли бўлгани учун бу микрожараёнларни ўрганиш асосидагина жисмларнинг хоссаларини батафсил тушунтириш ва миқдорий характерлаб бериш мумкин. Молекуляр-кинетик назария жисмларнинг макроскопик хоссалари (босим, температура, эластиклик, қовушоқлик ва ҳ.к.) ни молекулаларнинг тартибсиз ҳаракати ва ўзаро таъсирининг йиғиндисидан иборат деб қарайди. Макроскопик жисмда алоҳида молекулани кузатиш мумкин эмас, бинобарин, битта молекуланинг ҳаракати ва миқдорий характеристикалари ҳақида гапириш маънога эга эмас. Молекуляр-кинетик назария айрим молекулаларнинг ҳаракатлари билан эмас, балки кўп миқдордаги молекулаларнинг ҳаракатини характерлайдиган физик катталикларнинг ўртача қийматлари билан иш қўради ва статистик усулдан фойдаланади. Шунинг учун молекуляр-кинетик усул *статистик метод* деб, молекуляр-кинетик назария эса *статистик физика* деб ҳам юритилади. Ҳар иккала термодинамик ва статистик усуллар бир-бирини тўлдиради. Бу усулларнинг бирлашиши газ, суюқ ва қаттиқ ҳолатдаги моддаларнинг тузилиши ва уларда бўладиган жараёнларни ўрганишга кенг йўл очиб беради.

95- §. Температура ва уни ўлчаш

Моддани ташкил этувчи молекулалар узлуксиз хаотик ҳаракатда экан, молекулаларнинг кинетик энергияга эга эканлиги ўз-ўзидан тушунарли. Лекин ана шу энергиянинг молекулаларнинг ҳаракат-тезлигига боғлиқ ҳолда ортиши ёки камайиши модда ҳолатини ўзгартирадими? Агар ўзгартирса, у қан-

дай катталиклар билан боғлиқ, деган савол туғилади. Бу саволга қуйидагича мулоҳаза юритиб жавоб бериш мумкин.

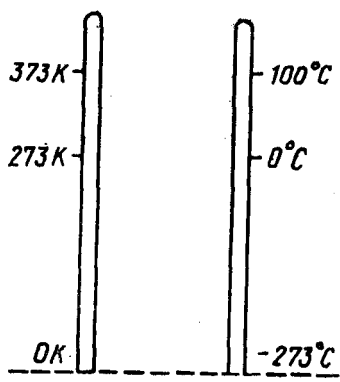
Биз «иссиқ», «илиқ» совуқ атамаларини кундалиқ ҳаёти-мизда жуда кўп ишлатамиз. Бу тушунчалар эса айнан кузатилаётган жисмни ташкил этувчи молекулаларнинг ҳаракат тезлиги ва, демак, кинетик энергияси билан боғлиқдир.

Фикримизнинг далили сифатида М. В. Ломоносовнинг «Иссиқ ва совуқнинг сабаби ҳақидаги фикрлар» деган асаридан қуйидагини келтирамиз. «Иссиқлик материянинг ички ҳаракатидан иборат бўлиб, материянинг сезилмайдиган зарраларининг (яъни молекулаларининг) ўрин ўзгартиришидир». Ҳақиқатан ҳам, бири иссиқ, иккинчиси совуқ бўлган жисмларни бир-бирига текказсак, жисмлар ҳолатлари ўзгаради, яъни биринчи жисм совийди, иккинчиси эса исийди. Бунда биринчи жисмни ташкил қилувчи молекулалар кинетик энергияси иккинчи жисм молекулаларига узатилади. Бу жараён *иссиқлик мувозанати* тиклангунча, яъни ҳар иккала жисм бир хил иссиқлик даражасига эришгунча давом этади. Иссиқлик мувозанати ҳолатини характерловчи физик катталиқ — *температурадир*. Иссиқлик мувозанати ҳолатида бўлган жисмларнинг температураси бир хил бўлади ва аксинча, бир хил температурали жисмлар ўзаро иссиқлик мувозанатида бўлади. Агар жисм (ёки система) иссиқлик мувозанати ҳолатида бўлмаса ва яқкаланган бўлса, у ҳолда маълум вақтдан кейин у ўз-ўзидан иссиқлик мувозанати ҳолатига ўтади. Иссиқлик мувозанати ҳолатининг асосий белгиларидан бири жисмнинг ҳамма қисмларида ёки системадаги барча жисмларда температура бир хил қийматга эга эканлигидир.

Юқорида баён этилган тажрибадан иссиқлик мувозанати ўрнатилганда иккала (иссиқ ва совуқ) жисм молекулалари кинетик энергияларининг ўртача қийматлари тенглашади, деган хулоса келиб чиқади. Бу ўринда, *температура молекулалар ўртача кинетик энергиясининг ўлчови*, дейиш мумкин.

Жисмларнинг иссиқ ёки совуқ эканлигини аксарият ҳолда уларни ушлаб кўриш орқали сезамиз. Аммо бу объектив эмас, чунки бир хил шароитда турган металл ва ёғоч буюмни ушлаб металл буюм ёғоч буюмга нисбатан совуқ дейилади. Лекин иккаласининг ҳолат шароити бир хил. Шунинг учун жисмларнинг ҳолатини, яъни иситилганлик даражасини аниқлашда температурадан фойдаланилади.

Температурани ўлчайдиган асбоб — *термометр* дейилади. Термометрнинг ишлаш принципи, юқорида кўриб ўтганимиздек, жисмларнинг бир-бирига энергия бериш ёки олишига асосланган. Кўпинча ишлатиладиган термометрлар суюқликли (сирмобли, спиртли) термометрлардир. Термометр шкаласини аниқлашда нормал атмосфера босимида музнинг эриш температураси билан сувнинг қайнаш температураси оралигини 100 та тенг бўлакка бўлиб, ҳар бир бўлимни бир градус деб қабул қилинади.



144- расм.

Цельсий ихтиро этган термометрнинг шкаласида музнинг эриш температурасини ноль градус ва сувнинг қайнаш температурасини 100 градус (144-расм) деб олинган ва бундай шкала температуранинг *Цельсий шкаласи* дейилади. Цельсий шкаласида ифодаланган температура t билан белгиланади ва Цельсий градуси ($^{\circ}\text{C}$) ҳисобида ифодаланadi.

Кельвин бошқа температуралар шкаласини таклиф қилди. Бунда у назарий равишда олиниши мумкин бўлган энг кичик температуранинг *абсолют ноль* деб, сувнинг учланма

нуқтаси сув, (сув буғи ва муз бир-бирига тегиб турган ҳолда мувозанатда бўлиш температураси) ни 273,16 градус деб олди ва бу температуралар оралиғини 273,16 та тенг бўлакка бўлди. Сувнинг учланма нуқтаси билан музнинг эриш нуқтаси 0,01 градусга фарқ қилади. Кельвиннинг таклиф қилган шкаласини *термодинамик ёки абсолют температура шкаласи* дейилади. Бу шкала билан ифодаланган температура T билан белгиланади ва кельвин (K) ҳисобида ифодаланadi. Температура бирлиги кельвин СИ да ассий бирликлардан бири ҳисобланади.

Кельвин шкаласи бўйича температура бирлиги қиймати Цельсий шкаласидаги қийматга деярли тенг бўлгани учун Кельвин шкаласида ифодаланган температура Цельсий шкаласида ифодаланган температура билан қуйидагича боғланишга эга бўлади:

$$T = 273 + t.$$

96- §. Идеал газ ҳолати

Газ хоссалари устида батафсил тўхталишдан аввал газнинг ўзига тегишли бўлган баъзи соддалаштиришларни келишиб олайлик.

Биз юқорида (93- § га қ.) модда агрегат ҳолатларидан бири бўлган газ ҳолати устида тўхталиб ўтган эдик. Маълумки, газни ташкил этувчи атом ва молекулалар орасидаги ўзарс таъсир кучлари жуда кичик бўлиб, баъзи шароитларда уларни ҳисобга олмасам ҳам бўлади.

Биз идеал газ ҳолатини ўрганиш учун қуйидаги соддалаштиришларни киритамиз.

1. Газни ташкил этувчи атом ва молекулалар ўлчамларини ҳисобга олмасам ҳам бўладиган даражада кичик бўлган эластик шарчалардир.

2. Атом ва молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучлари жуда кичик (умуман йўқ деса ҳам бўлади).

3. Атом ва молекулаларнинг ўзаро тўқнашиш сони уларнинг идиш деворларига урилиш сонига қараганда ҳисобга олмаसा ҳам бўладиган даражада кам.

Бу шартларни қанотлантурувчи газ *идеал газ* дейилади. Газ юқоридаги шартларнинг бажарилиши ёки бажарилмаслигига қараб идеал ёки реал ҳолатда бўлиши мумкин. Берилган массали газнинг ҳолати p босим, V ҳажм ва T температурадан иборат учта катталиқнинг қийматлари билан аниқланади. Бу катталиқлар *ҳолат катталиқлари* дейилади, улар бири-бирига қонуний равишда боғланган бўлиб, улардан бирининг ўзгариши натижасида бошқалари ҳам ўзгаради. Бу катталиқларнинг ўзаро боғланиши аналитик усулда

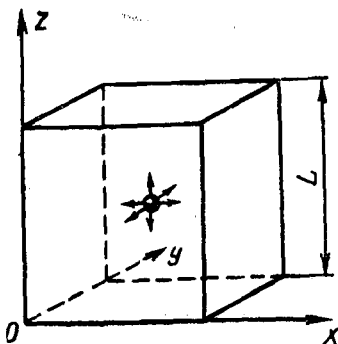
$$f(p, V, T) = 0$$

функция кўринишида ифодаланиши мумкин. Бирор жисмнинг катталиқлари орасидаги боғланишни ифодаловчи муносабат шу жисмнинг ҳолат тенгламаси деб аталади. Бинобарин, юқоридаги муносабат берилган газ массасининг ҳолат тенгламасидир. Катталиқларнинг ўзгариши билан газ ҳолатининг ўзгариши газ жараёни дейилади. Температура ўзгармаганда газ босимининг унинг ҳажмига боғлиқ ҳолда ўзгариши *изотермик жараён*, босими ўзгармаганда газ ҳажмининг унинг температурасига боғлиқ ҳолда ўзгариши *изобарик жараён*, ҳажми ўзгармаганда газ босимининг унинг температурасига боғлиқ ҳолда ўзгариш *изохорик жараён* дейилади.

97-§. Идеал газлар молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси

Газлар кинетик назарияси газ ҳолатини характерловчи катталиқлари билан молекулалар ҳаракати ўртасидаги боғланишни ҳосил қилишда асосий роль ўйнайди.

Бирор идишда олинган газ хаотик ҳаракатдаги молекулалар тўпламидан иборатдир. Ҳар бир молекула идиш деворига урилганда деворга бирор кичик куч билан таъсир қилади, аммо молекулалар тўплами эса каттагина куч билан таъсир қилади. Идиш деворининг *юз бирлигига таъсир этувчи куч газ молекулаларининг босимига тенг*. Демак, газнинг босими газ молекулаларини иссиқлик ҳаракати туфайли идиш деворига урилишидан келиб чиқади. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламасини келтириб чиқариш мақсадида, қуйидагича шартлашиб оламиз: текшираётган газ, *биринчидан*, сийраклаштирилган, мувозанат ҳолатда, яъни температура, босим берилган газнинг барча қисмларида бир хил, куб шаклидаги идишда олинган бўлсин; *иккинчидан*, газ бир хил m_0 массали молекулалардан ташкил топган бўлсин; *учинчидан*, газ молекулаларининг ўлчами улар орасидаги масофага нисбатан жу-



145- расм.

бўлган учта йўналиш (OX , OY , OZ) ларнинг ҳар бири бўйлаб идишдаги ҳамма молекулаларнинг $1/3$ қисмигина ҳаракат қилади (145- расм).

Идишнинг ўнг деворига томон v тезлик билан перпендикуляр бориб урилаётган битта молекулани кузатайлик.

Идиш деворига урилгандан сўнг молекула— v тезлик билан ундан қайтади. Δt вақтда молекуланинг идиш деворига берган куч импульси $F \Delta t$ бўлади. Импульсининг ўзгариш қонунига биноан

$$F \Delta t = mv - (-mv) = 2mv \quad (6)$$

бўлади.

Молекулалар тезликларининг координата ўқларига проекцияларини мос равишда v_x , v_y , v_z билан белгилайлик. Бирор Δt вақт ичида идишнинг ўнг томонидаги деворидан OX ўқи йўналишида $v_x \Delta t$ оралиқдаги молекулалар деворга етиб бориб урилсин, яъни $V' = Sv_x \Delta t$ ҳажмдаги молекулалар урилсин (бунда S —идиш деворининг юзи). Агар идишнинг бирлик ҳажмидаги молекулалар сони n бўлса, бу ажратиб олинган ҳажмдаги молекулалар сони $z = n Sv_x \Delta t$ бўлади. Лекин шу ажратиб олинган ҳажмдаги молекулаларнинг ярми Δt вақт оралиғида деворга урилади, иккинчи ярми эса, ўнгдан чапга, яъни идиш деворидан қайтаётган молекулалар сонини ташкил этади. Шунинг учун идишнинг S юзли деворига урилган молекулалар сони

$$z' = \frac{1}{2} n Sv_x \Delta t$$

бўлади.

Битта молекуланинг деворга берган импульси mv_x бўлгани учун z' молекуланинг шу деворга берган импульси

$$F' \Delta t = mv_x z'$$

ёки

$$F' \Delta t = \frac{1}{2} nmv_x^2 S \Delta t \quad (7)$$

бўлади. Шу вақт ичида худди шунча (z' га) молекула S юзли девордан абсолют қиймати жиҳатидан (7) га тенг бўлган импульс олиб ўнгдан чапга томон ҳаракатланади. Шундай қилиб, V' ҳажмдаги молекулаларнинг идиш деворига бориб урилиб қайтишидаги импульс ўзгариши (6) ифодага ўхшаш қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\frac{1}{2} mnv_x^2 S \Delta t - \left(-\frac{1}{2} mnv_x^2 S \Delta t \right) = mnv_x^2 S \Delta t$$

ёки

$$F \cdot \Delta t = nmv_x^2 S \Delta t. \quad (8)$$

(8) тенгламанинг ҳар икки томонини $S \Delta t$ га бўлиб, қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$\frac{F}{S} = nmv_x^2$$

бунда $\frac{F}{S} = p$ — босимни ифодалагани учун юқоридаги тенгламани қуйидаги кўринишда ёза оламиз:

$$p = nmv_x^2. \quad (9)$$

Маълумки, танлаб олинган ҳажмдаги молекулаларнинг ҳаммаси ҳам v_x тезлик билан ҳаракатланавермайди, баъзилар v_x дан катта баъзилари v_x дан кичик тезлик билан ҳаракатланади. Шунинг учун v_x^2 ўрнига \bar{v}_x^2 ўртача қийматини олиб, (9) тенгликни қуйидаги кўринишда ёзамиз:

$$p = nm\bar{v}_x^2. \quad (9a)$$

Ҳар бир молекуланинг тезлигини унинг OX , OY , OZ ўқлардаги проекциялари орқали қуйидагича ёзиш мумкин:

$$v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2,$$

тезликларнинг ўртача қиймати эса

$$\bar{v}^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 = \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 \quad (10)$$

бўлади. Молекуляр ҳаракат тартибсиз ҳаракат бўлгани сабабли учала координата ўқлари бўйича тезликлар квадратларининг ўртача қийматларини ўзаро тенг деб фараз қилиш мумкин, яъни:

$$\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2.$$

(10) формулани назарга олиб,

$$\bar{v}_x^2 = \frac{\bar{v}^2}{3} \quad (11)$$

ни ёзиш мумкин. (11) ни (9a) га қўйиб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$p = \frac{1}{3} nm\bar{v}^2 \quad (9b)$$

$$p = \frac{2}{3} n \frac{m \bar{v}^2}{2}. \quad (9 \text{ в})$$

Бунда $\frac{m \bar{v}^2}{2} = \bar{E}_k$ битта молекуланинг илгариланма ҳаракат кинетик энергиясининг ўртача қиймати. Шунинг учун (9 в) тенгламани кинетик энергия орқали қуйидагича ёзиш мумкин:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_k. \quad (9 \text{ г})$$

Бу молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси бўлиб, ундан газ босими ҳажм бирлигидаги молекулалар кинетик энергиясининг ўртача қийматига тўғри мутаносиб экани келиб чиқади.

Шундай қилиб, *газнинг босими ҳажм бирлигидаги газ молекулаларининг ўртача кинетик энергиясининг учдан икки қисмига тенг.*

Энди газ босимини унинг температурасига боғланиш формуласини келтириб чиқарайлик. Бунинг учун қуйидагича мулоҳаза юритамиз.

Маълумки, молекулаларнинг хаотик ҳаракати модда температурасига боғлиқ: температура қанча юқори бўлса, молекулалар шунча тез ҳаракатланади ва уларнинг тезлиги шунча катта бўлади (Броун ҳаракатини эсланг). Температура ортиши билан модда молекулалари кинетик энергиясининг ўртача қиймати ҳам ортади. Бундан молекулаларнинг тартибсиз ҳаракати кинетик энергиясининг ўртача қиймати билан модда температураси бир-бири билан ўзаро тўғри мутаносиб боғланишда бўлган физик катталиклар экан, деган хулосага келамиз. Бошқача қилиб айтганда, биз температура деб атайдиган катталик аслида молекулалар илгарилама ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясидир.

Идеал газ учун қўллаганда бу катталиклар орасидаги боғланишни ифодалашда газ температураси молекулалар кинетик энергиясининг ўртача қийматининг учдан икки қисмига тўғри мутаносиб деб ҳисоблаш қулай, яъни

$$\frac{2}{3} \frac{m \bar{v}^2}{2} = k T, \quad (12)$$

чунки бу молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси (9г) нинг кўринишини соддалаштиради. (12) формулада k — энергия бирлиги билан температура бирлиги орасидаги муносабатни ифодаловчи катталик бўлиб, уни *Больцман доимийси* деб аталади. Унинг сон қиймати тажрибада аниқланади. Больцман доимийси кўп усуллар билан аниқланган. Бу доимийнинг ҳозирги вақтдаги энг аниқ қиймати СИ да

$$k = 1,380662 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ж}}{\text{К}}.$$

(12) формуладан фойдаланиб, молекулалар тартибсиз ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясини температура орқали

$$\bar{E}_k = \frac{m \bar{v}^2}{2} = \frac{3}{2} k T \quad (13)$$

қўринишда ёзиш мумкин. (13) формуладан абсолют температуранинг ноли молекулалар тартибсиз ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси нолга тенг бўлгандаги температура, яъни молекулаларнинг хаотик ҳаракати тўхтайдиган температура эканлиги келиб чиқади.

(9г) тенгламага молекулаларнинг ўртача кинетик энергияси (13) ифодасини келтириб қўйиб, идеал газнинг босими учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{3}{2} k T = nkT. \quad (14)$$

Демак, идеал газнинг босими унинг абсолют температурасига ва ҳажм бирлигидаги молекулалар сонига тўғри муносабат экан.

(14) дан ҳажм бирлигидаги молекулаларнинг сони қуйидагига тенг экани келиб чиқади:

$$n = \frac{p}{k T}. \quad (15)$$

Маълумки, нормал шароит деганда $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ босим ва $T_0 = 0^\circ\text{C} = 273 \text{ К}$ температура билан характерланадиган шароит тушунилади. (15) тенгликдан фойдаланиб, нормал шароит учун ҳажм бирлигидаги молекулалар сонини ҳисоблаб топиш мумкин:

$$n_0 = \frac{p_0}{k T_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Ж/К} \cdot 273 \text{ К}} = 2,69 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}.$$

98-§. Дальтон қонуни

Берилган V ҳажмли идишда иссиқлик мувозанати ҳолатида бўлган бир-бири билан кимёвий реакцияга киришмайдиган ва концентрациялари n_1, n_2, n_3, \dots бўлган турли газлар аралашмаси берилган бўлсин. Аралашманинг умумий концентрацияси

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots$$

бўлади.

Бундай аралашманинг идиш деворларига берган босими қуйидагича аниқланади:

$$p = nkT = (n_1 + n_2 + n_3 + \dots) kT$$

ёки

$$p = n_1 kT + n_2 kT + n_3 kT + \dots \quad (16)$$

Бу ифода молекулаларнинг ҳар бир гуруҳи бошқа гуруҳ молекулаларининг қандай босим беришига боғлиқ бўлмаган босим беришини кўрсатади. Қуйидаги ифодалар

$$p_1 = n_1 k T, \quad p_2 = n_2 k T, \quad p_3 = n_3 k T, \quad \dots$$

У ҳажми эгаллаган аралашманинг ҳар бир компонентининг (таркибий қисмлар) босимидир. Бу босимларни аралашма компонентларининг *парциал босими* дейилади. Бирор газнинг — газ аралашмаси компонентининг — парциал босими деб ана шу газнинг ёлғиз ўзи аралашма эгаллаган бутун ҳажми эгаллаганда кўрсатиши мумкин бўлган босимга айтилади.

Шундай қилиб,

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots \quad (16a)$$

Бу Дальтон қонуни деб аталади ва у қуйидагича таърифланади: *газ аралашмасининг умумий босими бу аралашмани ташкил этувчи газларнинг парциал босимлари йиғиндисига тенг бўлади.*

99- §. Клапейрон — Менделеев тенгламаси. Универсал газ доимийси

Табиатда газ ҳолатини характерловчи катталиклар (p, V, T) нинг учаласи ҳам бир вақтда ўзгарадиган жараёнлар кўп учрайди. Шу сабабли учала катталик орасидаги боғлиқлиқни ифодалайдиган формулани, яъни идеал газ ҳолат тенгламасини молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламаси

$$p = n \cdot k T$$

дан келтириб чиқарамиз. Бу тенгламанинг ҳар икки томонини 1 моль газнинг ҳажми V_μ га кўпайтирсак,

$$p \cdot V_\mu = n V_\mu k T \quad (17)$$

ни ҳосил қиламиз. Бунда $n V_\mu = N_A$ — Авогадро сонини ифодалайди. У вақтда (17) ифодага икки универсал доимий — Авогадро сони N_A ва Больцман доимийси k киради. Универсал доимийлар кўпайтмаси ҳам универсал доимий бўлиши равшан. Бу катталик *универсал газ доимийси* деб аталади ва R ҳарфи билан белгиланади:

$$R = N_A \cdot k = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ж}}{\text{К}} = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \quad (18)$$

(17) тенгламада $N_A k$ ни R билан алмаштириб, қуйидаги формулани оламиз:

$$p V_\mu = R T. \quad (19)$$

Идеал газ ҳолат тенгламасининг бундай кўриниши *Клапейрон—Менделеев тенгламаси дейилади*. Бу тенглама газ турига боғлиқ бўлмаган ҳолда 1 моль газ учун ўринлидир. (19)

тенгламани ихтиёрий m массали газ учун умумлаштириб ёзиш мумкин. 1 моль берилган газнинг ҳажми V_μ бўлгани учун шу шартда берилган газнинг 1 кг нинг ҳажми

$$V_1 = \frac{V_\mu}{\mu},$$

m кг нинг ҳажми эса

$$V = \frac{V_\mu}{\mu} m = V_\mu \frac{m}{\mu}$$

га тенг бўлади.

Бу ифодадан V_μ нинг қийматини (19) тенгламага қўйсақ, қуйидаги ифода ҳосил бўлади:

$$\rho V = \frac{m}{\mu} RT. \quad (19 \text{ a})$$

Бу тенглама ихтиёрий массали газ учун *Клайперон — Менделеевнинг умумлашган тенгласи* дейилади.

Зичлик ифодаси $\rho = \frac{m}{V}$ ни эътиборга олган ҳолда Клайперон — Менделеев тенгласидан фойдаланиб, газнинг зичлигини аниқлаш мумкин:

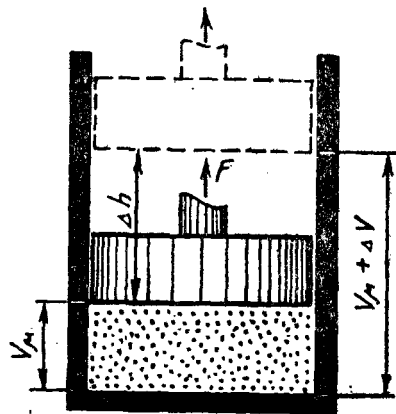
$$\rho = \frac{p\mu}{RT} \quad (20)$$

(18) тенгликдан кўриниб турибдики, универсал газ доимийси R сон қиймати жиҳатидан 1 моль газнинг температурасини бир кельвинга оширишда бажарган ишига тенг, яъни 1 моль газнинг температураси бир кельвинга ортганда газ кенгайиб 8,31 Ж иш бажаради.

Универсал газ доимийси билан газнинг бажарган иши орасидаги аналитик боғланишни қуйидаги тажриба асосида келтириб чиқариш ҳам мумкин. Поршенли цилиндр ичига қамалган 1 моль газнинг ҳажми V_μ бўлсин (146-расм). Ўзгармас босим остида ($p = \text{const}$) газнинг температурасини ΔT га оширайлик, у вақтда поршень кўтарилиб, газнинг ҳажми $V_\mu + \Delta V$ га тенг бўлиб қолади. Қиздирилгунча газ ҳолат тенгласини

$$pV_\mu = RT,$$

қиздирилгандан кейинги тенгласини эса



146- расм.

$$p(V_{\mu} + \Delta V) = R(T + \Delta T)$$

кўринишда ёзиш мумкин. Бу тенгламанинг бирдан иккинчисини ҳадма-ҳад айириб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$p\Delta V = R\Delta T.$$

Агар цилиндр асосининг юзи S бўлса, бунда қиздириш натижасида газ ҳажмининг ўзгариши $\Delta V = S\Delta h$ бўлади. У ҳолда юқорида ҳосил бўлган ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$pS\Delta h = R\Delta T,$$

бунда Δh — поршеннинг силжиш масофаси. $pS = F$ газнинг поршенга таъсир қилувчи босим кучи эканини назарда тутсак,

$$F\Delta h = R\Delta T$$

бўлади. $F\Delta h = A$ — газнинг кенгайишида ташқи кучларни энгиш учун бажарган иши. Демак,

$$A = R\Delta T,$$

бундан

$$R = \frac{A}{\Delta T} \quad (21)$$

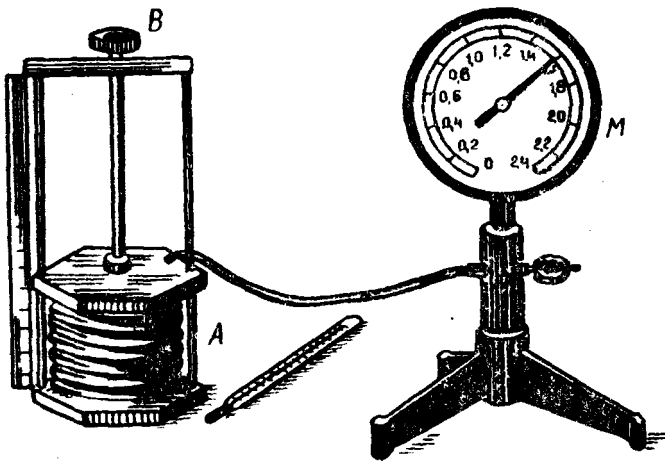
эканлиги келиб чиқади. (21) ифодадан кўришиб турибдики, ҳақиқатан, R бир моль газнинг температурасини бир кельвинга орттирилганда изобарик кенгайишда бажарилган ишни ифода-лар экан.

100- §. Газнинг экспериментал қонунлари

Бойль — Мариотт қонуни. Температура ўзгармас бўлганда, яъни изотермик жараёнда газ ҳажмининг босимига тескари му-таносиб равишда ўзгаришини XVII асрда инглиз физиги ва ки-мёғари Роберт Бойль ҳамда француз физиги Эди Мариотт бир-бирларидан хабарсиз ҳолда исбот этдилар. Шунинг учун бу қонунни *Бойль — Мариотт қонуни* деб юритилади. Бойль — Ма-риотт қонунини 147-расмда тасвирланган асбоб ёрдамида тек-шириб кўриш мумкин. Гофрланган A идиш босимни ўлчаш учун мўлжалланган M манометрга уланган. Идиш ҳажмини, яъни ундаги газ ҳажмини B винтни бураш билан аста-секин ўзгарти-рамиз (бунда температура деярли ўзгармайди) ва L масштабли чизгич ёрдамида ҳажм катталигини, M манометр ёрдамида эса шу ҳажмга мос келган босимни ёзиб борамиз. Газнинг бошланғич ҳажмини V_1 , босимини p_1 десак, сиқилгандан кейинги ҳажм V_2 , босим p_2 бўлади. Тажриба натижасига кўра ҳажм билан босим ўртасида қуйидагича боғланиш борлиги аниқланади:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad (22)$$

(22) тенгликни



147- расм.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad (22a)$$

ёки

$$pV = \text{const} \quad (22б)$$

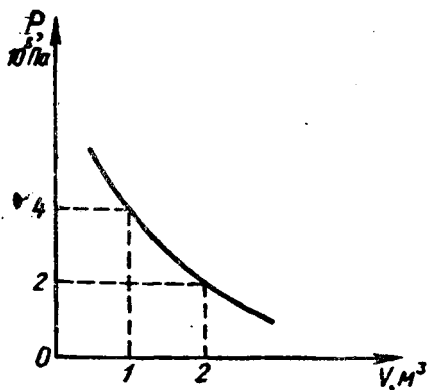
кўринишда ёзса ҳам бўлади. Демак, Бойль — Мариотт қонуни қўйидагича таърифлаш мумкин:

Берилган массали газ учун ўзгармас температурада газнинг босими унинг ҳажмига тескари мутаносиб ўзгаради.

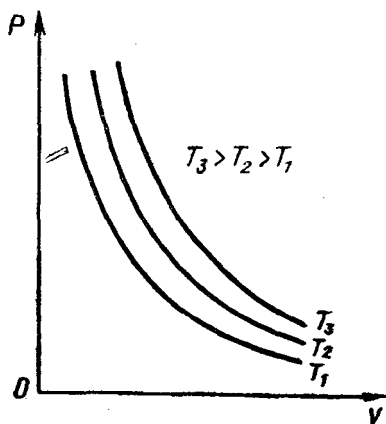
Изотермик жараёнда газ ҳажмининг босимга боғлиқлигини график равишда тасвирлаш мақсадида қўйидаги мисолни кўрайлик. Берилган m массали газнинг ҳажми 1 м^3 бўлгандаги босими $6 \cdot 10^5 \text{ Па}$ бўлсин, яъни $pV = 6 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot \text{м}^3$. Бундан ҳажмга 2 м^3 , 3 м^3 ва ҳоказо қийматларни бериб, босимнинг мос қийматларини ҳисоблайлик ва қўйидаги жадвалга ёзиб берайлик:

| $V, \text{ м}^3$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------|----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|
| $p, \text{ Па}$ | $6 \cdot 10^5$ | $3 \cdot 10^5$ | $2 \cdot 10^5$ | $1,5 \cdot 10^5$ | $1,2 \cdot 10^5$ |

Абсцисса ўқига ҳажм, ордината ўқига босим қийматларини қўйиб, бу қийматларга мос келган нуқталарни силлиқ туташ чизик билан бирлаштириб, изотермик жараён учун ҳажм ва босимлар орасидаги боғланиш графигини ҳосил қиламиз (148-расм). Бу эгри чизик гиперболодан иборат бўлиб, *изотерма чизиги* дейилади. Ҳар бир ўзгармас температурага ўзининг изотермаси мос келади. Юқори температураларга мос келган изотермалар pV диаграммада юқорида ётади (149-расм).



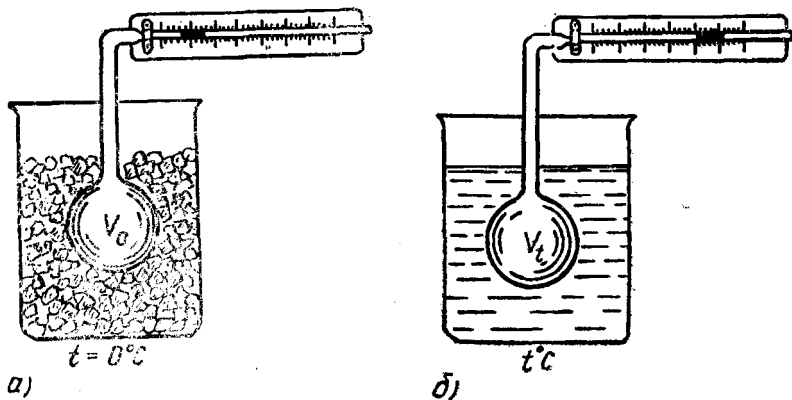
148- расм.



149- расм.

Кичик босим остидаги сийрак газлар учун Бойль — Мариотт қонуни аниқ бажарилади. Юқори босим остидаги зичлиги катта бўлган газлар Бойль — Мариотт қонунидан четланади, чунки юқорида қабул қилинган шартларга бўйсунмай, идеал газ ҳолатидан чиқади.

Гей-Люссак қонунлари. Бирор газ тўлдирилган идишнинг босими ўзгармаганда температурасини ўзгартириб, газ ҳажмини қандай ўзгиришини кузатайлик. Бундай тажрибани *дилатометр* деб аталадиган асбоб ёрдамида бажарамиз. Дилатометр — бирор газ билан тўлдириб, горизонтал найчани рангли сув ёки симоб томчиси билан беркитамиз, сўнгра колбани музли сув солинган идишга туширамыз (150-а расм). Найчадаги томчи колба томон (чапга) сурилиб, тўхтагандан сўнг унинг вазиятини белгилаб қўйиб, колбанинг ҳажмини ва найнинг диа-



150- расм.

метрини билган ҳолда газнинг 0°C температурадаги ҳажми V_0 ни аниқлаб оламиз. Сўнгра сувни бирор $t^{\circ}\text{C}$ температурагача иситганимизда газ кенгайиб, томчи ўнг томонга сурилади (150-б расм). Ҳар икки ҳолда ҳам газ босими суюқлик солинган горизонтал най учигада атмосфера босимига тенг бўлиб, ўзгармасдир. Кенгайган газнинг ҳажми ва температурасини ўлчаб борсак, тажриба натижалари газ ҳажмининг нисбий ўзгариши температурга тўғри мутаносиб эканини кўрсатади, яъни

$$\frac{V_t - V_0}{V_0} = \beta t, \quad (23)$$

бунда

$$\beta = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$$

ўзгармас босимда ҳажмий кенгайиш термик коэффициентини бўлиб, газнинг температураси бир градусга кўтарилганда газ ҳажмининг нисбий ўзгаришини кўрсатади. Бу ифодадан газнинг бошланғич V_0 ҳажми билан охириги V_t ҳажми орасида қуйидагича чиқиқли боғланиш мавжуд экани келиб чиқади:

$$V_t = V_0 (1 + \beta t). \quad (23a)$$

Берилган массали газ учун ўзгармас босимда газнинг ҳажми температуранинг ўзгариши билан чиқиқли ўзгаради. Бу қонун 1802 йилда француз физик-кимёгари Гей-Люссак томонидан тажрибалар асосида аниқланган бўлиб, Гей-Люссакнинг биринчи қонуни деб аталади.

Ҳажмий кенгайиш термик коэффициентини β ҳамма идеал газлар учун бир хил бўлиб,

$$\beta = \frac{1}{273} \text{K}^{-1}$$

га тенг, яъни ўзгармас босим остида олинган газ массасининг температураси бир кельвинга ўзгарганда унинг ҳажми ўзининг дастлабки (273 K даги) қийматининг $1/273$ қисмига ўзгаришини кўрсатади.

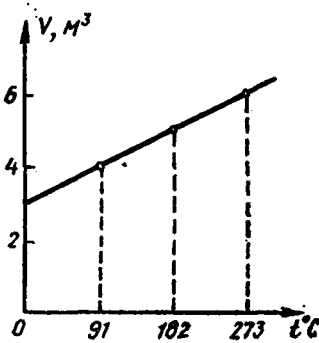
Изобарик жараёнда газ ҳажмининг температурага боғланишини графикда тасвирлайлик. Босим ўзгармас бўлганда газ 0°C температурада $V_0 = 3 \text{ м}^3$ ҳажмга эга бўлсин.

$$V_t = V_0 (1 + \beta t)$$

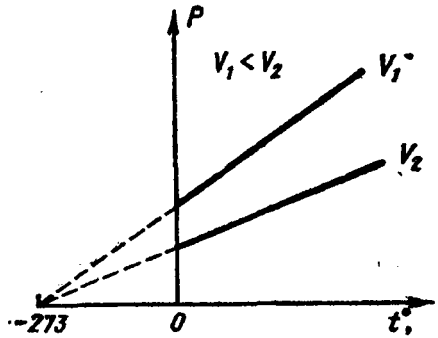
формуладан температуранинг турли қийматлари учун ҳажмни ҳисоблаб, қуйидаги жадвалга ёзамиз:

| | | | | |
|-----------------------|---|----|-----|-----|
| $t, ^{\circ}\text{C}$ | 0 | 91 | 182 | 273 |
| $V_t, \text{ м}^3$ | 3 | 4 | 5 | 6 |

Абсцисса ўқига температура қийматларини, ордината ўқига ҳажм қийматларини қўйиб, изобарик процесснинг графигини ҳосил қиламиз, бунга *изобара чизиғи* дейилади (151-расм). Турли хил босимларга турли хил изобаралар чизиғи тўғри келади (152-расм).



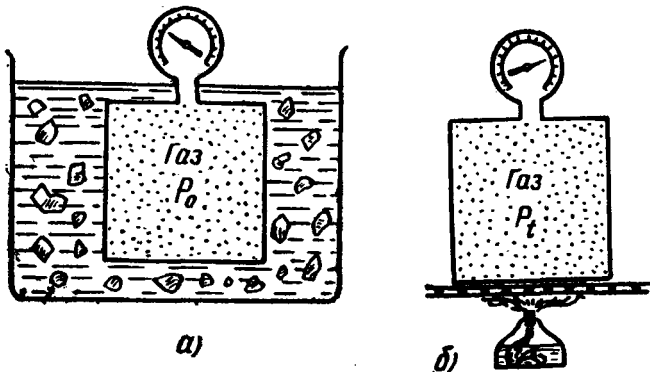
151- расм.



152- расм.

Энди маълум массали газни берк идишга қамаб қиздирайлик, бунда газнинг ҳажми ўзгармайди, аммо температураси ортиши билан босими ортади. Бу жараён *изохорик жараён* дейилади.

Газ қамалган идишга манометр ўрнатиб муз солинган сувли идишга туширамиз (153-а расм) ва газнинг 0°C температурдаги p_0 босимини ўлчаб оламиз. Сўнгра идишни спирт лампа алангасида қиздира бошлаймиз (153-б расм). Қиздирилаётган газнинг турли t температуралардаги p босимларини ўлчаб борамиз. Тажриба натижалари газ босимининг нисбий ортиши температуранинг ўзгаришига тўғри мутаносиб эканини кўрсатади, яъни



153- расм.

$$\frac{p_t - p_0}{p_0} = \gamma t. \quad (24)$$

Бундан газнинг p_t босими учун

$$p_t = p_0(1 + \gamma t) \quad (24a)$$

бўлади, бунда γ — босимнинг термик коэффициентини деб аталади. (24) дан

$$\gamma = \frac{p_t - p_0}{p_0 t} \quad (25)$$

экани келиб чиқади. Демак, босимнинг термик коэффициентини берилган газ массасининг ўзгармас ҳажмда температурасини бир градусга ўзгартирилганда босимнинг нисбий ўзгаришини кўрсатар экан. Барча идеал газлар учун γ нинг сон қиймати бир хил бўлиб,

$$\gamma = \frac{1}{273} K^{-1}$$

га тенгдир. Демак, ўзгармас ҳажмдаги газ массасининг температурасини бир кельвинга ўзгартирилганда унинг босими дастлабки ($0^\circ C$ даги) босимининг $1/273$ қисмига ўзгаради.

(24a) дан кўринишича, берилган массали газ учун ўзгармас ҳажмда газнинг босими температуранинг ўзгариши билан чизиқли ўзгаради. Бу қонун ҳам Гей-Люссак томонидан тажрибалар асосида аниқланган бўлиб, Гей-Люссакнинг иккинчи қонуни деб аталади.

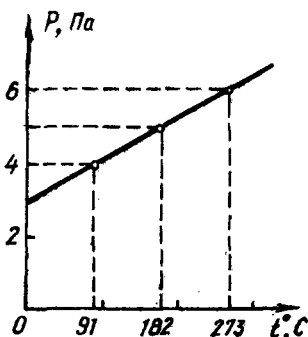
Бу қонун 1787 йилда француз физиги Шарль томонидан тажрибалар асосида тахминий айтилган эди, шунинг учун уни баъзан Шарль қонуни деб ҳам юритилади.

Ҳажм ўзгармас бўлганда босимнинг температурага боғлиқлигини ифодаловчи графикни ҳосил қилиш учун газнинг бошланғич босимини $p_0 = 3 \text{ Па}$ га тенг деб олиб, температуранинг турли қийматлари учун (24a) формуладан p ни ҳисоблаб топайлик ва қуйидаги жадвалга ёзиб бораёлик:

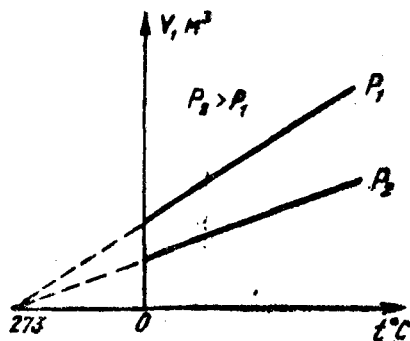
жадвал

| | | | | |
|-----------------|---|----|-----|-----|
| $t, ^\circ C$ | 0 | 91 | 182 | 273 |
| $p, \text{ Па}$ | 3 | 4 | 5 | 6 |

Абсцисса ўқига газ температураларининг қийматини, ордината ўқига шу температураларга мос келган босимлар қийматини қўйиб, ҳосил қилинган нуқталар орқали туташ чизиқ ўтказсак, *изохора чизиғи* (154-расм) ҳосил бўлади. Ҳажмнинг турли қийматларига турли *изохоралар* мос келади (155-расм).



154- расм.



155- расм.

Абсолют температура ёрдамида (24а) формулани қуйидаги содда кўринишга келтириш мумкин:

$$p = p_0(1 + \gamma t) = p_0 \left(1 + \frac{t}{273}\right) = p_0 \frac{273 + t}{273} = p_0 \frac{T}{T_0},$$

бу ерда $T_0 = 273$ К. Бинобарин,

$$\frac{p}{p_0} = \frac{T}{T_0}. \quad (246)$$

яъни ўзгармас босимда берилган массали газнинг ҳажми абсолют температурага мутаносиб. Худди шу йўл билан (23а) формулани ўзгартириб қуйидаги нисбатни ҳосил қиламиз:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{T_0}{T}, \quad (236)$$

яъни ўзгармас босимда берилган массали газнинг ҳажми абсолют температурага мутаносиб. (236) ва (246) формулалардан изобара ва изохора чизиқлари температуралар ўқини -273°C нуқтада кесиб ўтувчи тўғри чизиқлардан иборат эканлиги келиб чиқади (152 ва 155- расмларга қ.)

Бойль—Мариотт, Гей-Люссак қонунлари газ ҳолат тенгламасининг хусусий ҳолларидир. Бу қонуларни Клайперон—Менделеев тенгламасидан келтириб чиқаришни китобхонларнинг ўзларига ҳавола қиламиз.

Такрорлаш учун саволлар

1. Температуранинг физик мазмунини тушунтиринг.
2. Температуралар шкаласи қандай ҳосил қилинган?
3. Идеал газ деб қандай газга айтилади?
4. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий тенгламасини келтириб чиқаринг.
5. Температура — молекулалар ўртача кинетик энергиясининг ўлчови эканини тушунтиринг.
6. Дальтон қонунини тушунтиринг.
7. Идеал газ учун Менделеев — Клапейрон тенгламасини ёзинг.

8. Идеал газнинг зичлиги қайси параметрларга боғлиқ? Уни молекуляр-кинетик назария асосида тушунтиринг.

9. Универсал газ доимийси « R » ning физик мазмунини энергетик нуқтан-назаридан қандай тушунтира оласиз?

10. Бойль — Мариотт, Гей-Люссак қонуларини таърифланг ва аналитик ифодасини ёзинг.

Масала ечиш намуналари

1-масала. 20 м чуқурликдаги кўлнинг тубидан ҳаво пуфакчаси сув сиртига кўтарилганда унинг ҳажми неча марта ортади? Атмосфера босими 10^5 Па деб олинг.

Берилган: $h = 20$ м, $\rho = 10^3$ кг/м³, $g = 9,8$ м/с², $p_0 = 10^5$ Па.

Топиш керак: V_2/V_1 — ?

Ечилиши: Кўлдаги сувнинг исталган қатламидаги температуранинг доимий десак, у ҳолда Бойль — Мариотт қонунига кўра

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

бўлади, бунда p_1 — сув остидаги пуфакча ичидаги ҳаво босими, p_2 — сув сиртига кўтарилгандаги пуфакча ичидаги ҳаво босими, V_2 — сув сиртидаги пуфакча ҳажми, V_1 — сув остидаги пуфакчанинг ҳажми. Сув сиртидаги пуфакча ичидаги ҳаво босими ташқи атмосфера босимига тенг бўлади, яъни $p_2 = p_0$, у ҳолда юқоридаги тенглик

$$p_1 V_1 = p_0 V_2$$

бўлади. Шунингдек, сув остидаги пуфакча ичидаги ҳаво босими

$$p_1 = p_0 + \rho g h,$$

бу ерда $\rho g h$ гидростатик, яъни суюқлик устунининг босими. Бу босим ифодасини олдинги тенгликка қўйиб, қуйидаги ифодага эга бўламиз:

$$(p_0 + \rho g h) V_1 = p_0 V_2,$$

бундан

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_0 + \rho g h}{p_0} = 1 + \frac{\rho g h}{p_0}.$$

Ҳисоблаш:

$$\frac{V_2}{V_1} = 1 + \frac{10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 20 \text{ м}}{10^5 \text{ Па}} \approx 3 \text{ марта.}$$

2-масала. Температураси 448 К бўлган 0,01 кг массали газнинг дастлабки ҳажми $3 \cdot 10^3$ м³ бўлган. Қандай температурада берилган массали газнинг зичлиги $5 \cdot 10^{-6}$ кг/см³ га тенг бўлади? Газ босими ўзгармас.

Берилган: $T = 448$ К; $m = 0,01$ кг; $V_1 = 3 \cdot 10^3$ м³; $\rho_2 = 5 \cdot 10^{-6}$ кг/см³ = $5 \cdot 10^{-3}$ кг/м³; $p = \text{const}$.

Топиш керак: T_2 — ?

Ечилиши: Берилган газнинг дастлабки зичлиги $\rho_1 = \frac{m}{V_1}$ га тенг бўлиб, турли температуралардаги зичликларнинг нисбати ҳажмлар нисбатига тескари мутаносиб боғланишдадир:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (a)$$

Гей-Люссак қонунига кўра $p = \text{const}$ бўлганда берилган газнинг турли температуралардаги ҳажмлари температураларга қуйидагича тўғри мутаносиб боғланган:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (b)$$

(а) ва (б) тенгликларни таққослаб, қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1}, \text{ бундан } T_2 = T_1 \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_1 m}{\rho_2 V_1}$$

экани келиб чиқади.

Ечилиши:

$$T_2 = 448 \text{ К} \cdot \frac{0.01 \text{ кг}}{3 \cdot 10^3 \text{ м}^3 \cdot 5 \text{ кг/м}^3} = 299 \text{ К}.$$

3-масала. Бир хил масса ва бир хил температурали карбонат ангидрид (CO_2) ва метан (CH_4) газлари берилган. Уларнинг зичликлари тенг бўлиши учун босимлари қандай нисбатда бўлиши керак?

$$\text{Берилган: } m_1 = m_2, T_1 = T_2, \mu_1 = 44 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}, \rho_1 = \rho_2, \mu_2 = 16 \cdot$$

$$10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}.$$

$$\text{Топиш керак: } \frac{\rho_1}{\rho_2} = ?$$

Ечилиши: CO_2 ва CH_4 газлари учун Клапейрон — Менделеев тенгламаларини қуйидаги кўринишда ёзайлик:

$$\rho_1 V_1 = \frac{m_1}{\mu_1} RT_1$$

ва

$$\rho_2 V_2 = \frac{m_2}{\mu_2} RT_2.$$

Бу ифодаларни зичликлар орқали қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\rho_1 = \frac{\rho_1}{\mu_1} RT_1, \rho_2 = \frac{\rho_2}{\mu_2} RT_2.$$

Тенгликларнинг ҳар икки томонини ҳадма-ҳад бўлиб, қуйидаги натижага эришамиз:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\rho_1 RT_1}{\mu_1} \cdot \frac{\mu_2}{R \rho_2 T_2}$$

ёки масаланинг шартига кўра

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

Ҳисоблаш:

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}}{44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}} = \frac{4}{11} \approx \frac{1}{3} \text{ ёки } \rho_1 : \rho_2 \approx 1:3.$$

4-масала. Нормал атмосфера босимида хонанинг температураси ёз кунлари 35°C , қиш кунлари эса 0°C гача пасаяди. Бунда ҳаво массасининг фарқи $8,5 \text{ кг}$ ни ташкил этса, хонанинг ҳажми қанча? Ҳаво учун $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$ га тенг.

Берилган: $p_0 = 10^5 \text{ Па}$; $T_1 = 308 \text{ К}$; $T_2 = 273 \text{ К}$; $R = 8,31 \cdot \text{Ж/моль} \cdot \text{К}$; $\mu = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$; $\Delta T = 8,5 \text{ кг}$.

Топиш керак: $V = ?$

Ечилиши: Масаланинг мазмунидан хонанинг ҳажми $V = \text{const}$. Шунга биноан, Клапейрон — Менделеев тенгламасини T_1 ва T_2 температуралар учун қуйидагича ёзайлик:

$$\rho_0 V = \frac{m_1}{\mu} RT_1$$

ва

$$\rho_0 V = \frac{m_2}{\mu} RT_2.$$

Бу тенгламаларнинг чап томонлари тенг бўлгани учун ўнг томонлари ҳам тенгдир, яъни:

$$\frac{m_1}{\mu} RT_1 = \frac{m_2}{\mu} RT_2 \quad \text{ёки} \quad \frac{m_1}{m_2} = \frac{T_2}{T_1},$$

бунда $m_1 < m_2$, чунки $T_1 > T_2$, яъни температура юқори бўлганда газ молекулаларининг ҳаракат тезлиги ортади, тортишиш кучи камаяди, бинобарин, молекулалар орасидаги масофа ҳам ортади. Хонада ўзгармас босим сақланиши учун газнинг бир қисми хонадан чиқади, газ массаси камаяди. Шунинг учун массалар фарқи $\Delta m = m_2 - m_1$ бўлади. Бундан $m_2 = m_1 + \Delta m$ бўлади. Бу ҳосил бўлган ифода ни юқоридаги тенгламага қўйиб, ҳаво массаси m_1 ни топайлик:

$$\frac{m_1}{m_1 + \Delta m} = \frac{T_2}{T_1}, \quad \text{бундан} \quad m_1 = \frac{\Delta m T_2}{T_1 - T_2}.$$

m_2 нинг бу қийматини Клапейрон — Менделеев тенгласига қўйсак,

$$\rho_0 V = \frac{\Delta m T_2}{\mu (T_1 - T_2)} RT_1,$$

бундан

$$V = \frac{\Delta m T_2 RT_1}{\mu (T_1 - T_2) \rho_0}.$$

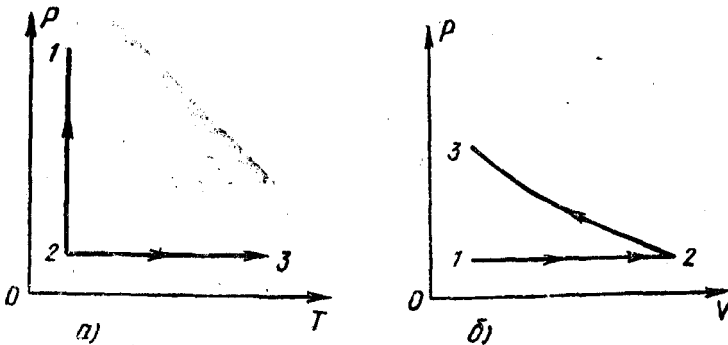
Ҳисоблаш:

$$V = \frac{8,5 \text{ кг} \cdot 273 \text{ К} \cdot 8,31 \text{ Ж} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{К}^{-1} \cdot 308 \text{ К}}{29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \cdot 35 \text{ К} \cdot 10^5 \text{ Па}} \approx 5853 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3 = 58,5 \text{ м}^3.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

123. Сигими 4 л бўлган баллонда $2 \cdot 10^5$ Па босим остида газ қамалган. Баллон сигими 6 л бўлган иккинчи бўш баллон билан туташтирилган. Жараён изотермик бўлса, системадаги газ босими қанча?

124. Сигими 13 л, ҳарорати 323 К бўлган газни ўзгармас босим остида 303 К гача совитилади. Совитилган газнинг ҳажми қандай бўлиб қолган?



156- расм.

125. 156 а, б расмларда идеал газ ҳолати ўзгаришининг графиклари берилган. Графикнинг ҳар бир қисми (1—2 ва 3—2) қайси жараённи характерлайди?

126. Нормал шароитда кислород ва азот газларининг зичликларини ҳисобланг.

127. Нормал шароитда битта газ молекуласи илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясини ҳисобланг.

128. Сифими 1 л бўлган баллонда 10^{-2} Па босим остида азот-гази берилган. Газ молекулаларининг умумий сони аниқлансин. Системанинг ҳарорати 295 К.

129. Ҳажми $6 \times 4 \times 3$ м³, босими $0,9/10^5$ Па, ҳарорати 293 К бўлган хонадаги ҳаво массасини аниқланг.

130. Нормал шароитда зичлиги $1,78$ кг/м³ бўлган 1 кмоль газнинг массасини аниқланг.

IX боб. ТЕРМОДИНАМИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ

XX асрнинг биринчи яримларида иссиқлик машиналарининг самарадорлигини ошириш ҳақидаги масала қўйилган эди. Бу масалани ҳал қилиш учун энергиянинг айланиш ва сақланиш қонунларини, иссиқликнинг механик ишга айланишини билиш лозим эди. Иссиқлик техникасининг ана шу талаби муносабати билан термодинамика юзага келди.

Термодинамика турли иссиқлик, механик, электр ва ҳоказо жараёнларда молекулаларнинг иссиқлик (тартибсиз) ҳаракати туфайли энергиянинг ўзгариши ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуниятларини ўрганади.

Термодинамика асосида инсониятнинг кўп асрлик тажрибаси натижасида тасдиқланган иккита фундаментал қонун ётади. Бу қонунларни термодинамиканинг *бош ёки асосий қонунлари* деб юритилади. Биринчи қонун энергиянинг бир турдан бошқа турга айланишларида ўринли бўладиган миқдорий муносабатларни, иккинчи қонун эса энергиянинг бу айланишлари мумкин бўладиган шароитларни аниқлайди, Жисмнинг ҳолатини характерлайдиган катталикларнинг бирортаси ўзгарса, жисм ҳолати ўзгаради, натижада жисм бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтади. Бунга *термодинамик жараён* дейилади. Термодинамик жараён рўй бераётган жисм ёки жисмлар тўплами *термодинамик система* дейилади. Қуйида термодинамик системада бўладиган жараёнларни энергиянинг ўзгариши ва сақланиши қонуни асосида кўриб чиқамиз.

101- §. Ички энергия. Бир атомли идеал газнинг ички энергияси

Молекуляр- кинетик назариядан маълумки, молекулалар доимо ҳаракатда бўлганлиги учун улар кинетик энергияга эга. Шу билан бирга модда молекулалари орасида ўзаро таъсир кучи бўлганлиги сабабли молекулалар ўзаро таъсир потенциал энергияга ҳам эга бўлади. *Моддани ташкил қилган барча молекулалар ва атомлар ҳаракатининг кинетик энергияси ҳамда уларнинг ўзаро таъсир потенциал энергиясининг йиғиндиси жисмнинг ички энергияси дейилади.*

Жисмнинг ички энергиясини механик энергия билан алмаштирмаслик керак, чунки механик энергия жисмнинг бошқа жисмларга нисбатан ҳаракатига ва жойлашувига боғлиқ бўлса, шу жисмнинг ички энергияси жисмни ташкил этувчи зарраларнинг ҳаракатига ва бир-бирига нисбатан жойлашувига боғлиқдир.

Жисмнинг ички энергияси доимий катталиқ бўлмай, температура ўзгариши билан молекулалар ўртача тезлигининг ва ҳажм ўзгариши билан молекулалар орасидаги ўртача масофанинг ўзгаришига боғлиқ бўлади. Бинобарин, умумий ҳолда ички энергия температура билан ҳажмга боғлиқ бўлган физик катталиқ экан. Бундан модданинг ҳолатига қараб, зарраларнинг потенциал ва кинетик энергиялари ўзаро турлича нисбатда бўлиши мумкин, деган хулосага келамиз, ҳақиқатан ҳам:

1) модда газ ҳолатда бўлганда (айниқса, паст босимларда) молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучи кичик бўлиб, молекулаларнинг ўртача потенциал энергияси ўртача кинетик энергиясидан анча кам бўлади ($E_k \gg E_n$), яъни ички энергиянинг асосий қисми деярли молекулаларнинг кинетик энергиясидан иборат деб ҳисоблаш мумкин;

2) модда суюқ ҳолатда бўлганда молекулаларнинг кинетик ва потенциал энергиялари тахминан тенг ($E_k \approx E_n$) бўлиб, жисмнинг ички энергияси уларнинг йиғиндисидан иборат бўлади;

3) модда қаттиқ ҳолатда бўлганда молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучлари катта бўлгани сабабли молекулаларнинг ўртача потенциал энергияси кинетик энергиядан жуда катта ($E_k \ll E_n$) бўлади. Бу ҳолда модданинг ички энергиясининг кўпроқ қисмини молекулаларнинг ўртача потенциал энергияси ташкил этади.

Шундай қилиб, жисмнинг ички энергияси унинг ҳолатига боғлиқ бўлади. Шунинг учун бу энергияни система ҳолатининг функцияси дейилади. Демак, система тайинли бир ҳолатга келиб қолган ҳар бир ҳолда унинг ички энергияси, системанинг аввалги ҳолатлари қандай бўлганидан қатъи назар, мазкур ҳолат учунгина хос бўлган қиймат қабул қилади. Бинобарин, система бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтишида унинг ички энергияси ўзгариши ички энергиянинг бу ҳолатлардаги қийматлари айирмасига ҳамisha тенг бўлиб, системанинг бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтишидаги жараёнларга боғлиқ эмас.

Энди бир атомли идеал газнинг ички энергиясини ҳисоблайлик.

Маълумки, идеал газ молекулалари иссиқлик ҳаракати сабабли бир-бирига бевосита тўқнашган қисқа вақтлардан бошқа ҳолларда бир-бири билан ўзаро таъсирлашмайди. Шунинг учун идеал газ молекулаларининг ўзаро таъсир потенциал энергияси нолга тенг бўлади. Бинобарин, идеал газнинг ички энергияси унинг молекулаларининг илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергиясидан иборат.

Массаси m бўлган бир атомли идеал газнинг ички энергиясини ҳисоблаб топиш учун битта атом (молекула)нинг ўртача кинетик энергиясини шу массадаги N атомлар сонига кўпайтириш керак. Бу сон газнинг $v = \frac{m}{\mu}$ миқдори билан [(5) га қ.] N_A Авогадро сонининг кўпайтмасига тенг [(3) га қ.]:

$$N = v N_A = \frac{m}{\mu} N_A.$$

N ни молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергияси $\overline{E}_K = \frac{3}{2} kT$ [(3) га қ.] га кўпайтириб, идеал газнинг ички энергиясини топа-миз:

$$U = \frac{m}{\mu} N_A \overline{E}_K = \frac{m}{\mu} N_A \cdot \frac{3}{2} kT = \frac{m}{\mu} \frac{3}{2} RT. \quad (26)$$

Бир моль массали газнинг ички энергияси

$$U_0 = \frac{3}{2} RT \quad (26 a)$$

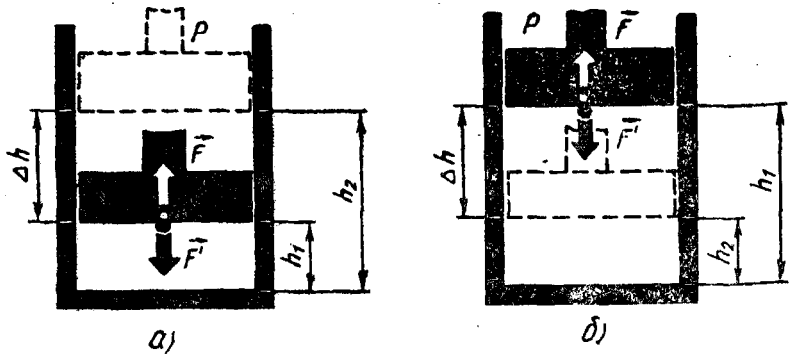
бўлади. Бу ифодалардан кўринадики, *идеал газнинг ички энергияси унинг абсолют температурасига тўғри мутаносиб экан.*

Агар идеал газ бир атомли бўлмай, балки кўп атомли бўлса, ички энергияни ҳисоблашда бундай газ молекулаларининг илгариланма ҳаракатидан ташқари айланма ва тебранма ҳаракатларини ҳам эътиборга олиш лозим бўлади. Бу ҳолда ҳам газнинг ички энергияси абсолют температурага тўғри мутаносиб бўлади, лекин U билан T орасидаги мутаносиблик коэффициенти бошқа бўлади.

102- §. Иссиқлик алмашилиши ва иш бажариш — жисм ички энергияси ўзгаришининг икки кўринишидир

Система ҳолатининг, яъни бу ҳолатни характерловчи термодинамик катталикларнинг ўзгаришига олиб келадиган икки турли таъсир мавжуд. Булардан бири — иш бажаришдир. Масалан, поршенли цилиндр ичига бирор газ қамалган бўлсин. Поршенни юқорига ёки пастга ҳаракатлантириш билан цилиндр ичидаги газнинг ҳажми, босими ва температурасини ўзгартириш мумкин. Шунингдек, ҳаракатдаги поршень газга маълум куч (\vec{F}') билан таъсир этиб иш бажаради. Цилиндр ичидаги газ ҳам ўз навбатида Ньютоннинг III қонунига кўра, поршенга қарши (\vec{F}) куч билан акс таъсир этиб, иш бажаради. Газ кенгайиб, поршень \vec{F} куч йўналишида юқорига кичик $\Delta h = h_2 - h_1$ масофага силжиган бўлсин (157- а расм). Газнинг бажарган ишини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$A = F \Delta h = pS(h_2 - h_1) = p(S h_2 - S h_1), \quad (27)$$



157- расм.

Бунда бажарилган A иш мусбат, чунки \vec{F} ва поршеннинг Δh ($h_2 > h_1$) силжиш йўналишлари бир хил. Демак, газ кенгайиш натижасида ташқи кучга қарши иш бажариб, цилиндр ва поршени ўраб турган муҳитга энергия узатилади, бинобарин, *газнинг ички энергияси камаяди*.

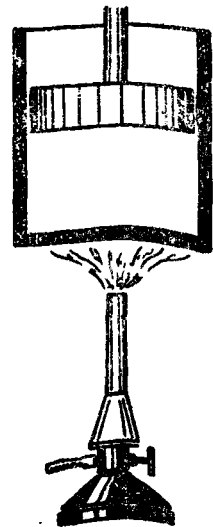
Газ сиқилганда эса ташқи куч газ устида иш бажаради. Бунда $h_2 < h_1$ бўлганлиги сабабли (157- б расм) бу иш манфий бўлади, яъни

$$A' = F'(h_2 - h_1) = -F' \Delta h. \quad (27 a)$$

Бу ҳолда поршень остидаги газга жисмлардан энергия узатилади. Демак, бу вақтда *газнинг ички энергияси ортади*. Маълумки, иш энергиянинг ўзгаришини характерлайдиган катталиқ бўлиб, энергия манфий қийматга эга бўлиши мумкин эмас. Шундай экан, ишнинг мусбат ёки манфийлиги фақат поршеннинг юқори ёки пастга қараб ҳаракатланишига боғлиқ бўлади.

Системанинг ички энергиясини ўзгартиришнинг иккинчи усули унга иссиқлик узатишдир. Иш бажармасдан туриб жисм ички энергиясининг ўзгариш жараёни *иссиқлик узатиш* дейилади.

Газ қамалган цилиндр поршенини қўзғалмас сақлаб, аланга ёрдамида исита бошлайлик (158-расм). Бунда газнинг температураси ортиши билан газ молекулаларининг ҳаракат тезлиги ортади, бинобарин, уларнинг кинетик энергияси ортади. Шунингдек, тез ҳаракатланувчи молекулалар бир-бирига кўпроқ яқинлашиши натижасида молекулаларо таъсир кучаяди, бу эса уларнинг ўзаро таъсир потенциал энергияларининг ортишига олиб келади. Демак,



158- расм.

газнинг ички энергияси ортади. Иссиқлик узатиш жисмлар бир-бирига бевосита тегиб турганда (плита устидаги чойнакнинг исиши), бир-биридан маълум узоқликда бўлганда (буюмларнинг печка ёки қуёшдан исиши) ҳам рўй бериб жисмнинг ички энергиясини ўзгартиради.

Демак, иш бажариш ёки иссиқлик узатиш йўли билан жисмнинг ички энергиясини ўзгартириш мумкин экан. Жисмнинг ички энергияси ортса, у атрофдан маълум миқдорда энергия олган бўлади; аксинча, ички энергияси камайса, жисм ўз энергиясининг бир қисмини атрофга берган бўлади. Жисмнинг иссиқлик узатиш жараёнида берган ёки олган энергияси *иссиқлик миқдори* деб аталадиган алоҳида физик катталиқ билан ўлчанади. Иссиқлик миқдори, одатда Q ҳарфи билан белгиланади.

Иссиқлик миқдорининг бирлиги иш бирлигининг ўзи, яъни жоулдир.

103- §. Иссиқликнинг механик эквиваленти

Иш ва энергия тушунчалари фанга XIX асрда киритилган. Бироқ XVIII асрнинг иккинчи ярмидаёқ иссиқлик миқдорини ўлчай бошлашган. Иссиқлик миқдорини ўлчаш учун махсус бирлик — *калория* (кал) деб аталадиган бирлик киритилган. *Килокалория* (ккал) деб аталадиган бирликдан ҳам фойдаланиб келинган. $1 \text{ ккал} = 10^3 \text{ кал}$.

1 г дистилланган сувни 19,5°C дан 20,5°C гача иситиш учун керак бўлган иссиқлик миқдорини 1 кал деб қабул қилинган.

Юқорида СИ да иссиқлик миқдорининг бирлиги — жоул экани қайд қилинди; маълумки, бажарилган иш бирлиги ҳам жоулдир. Демак, иш ва иссиқлик миқдори ўртасида қандайдир эквивалентлик мавжуд экан. Жисмга берилган иссиқлик миқдори билан ишнинг эквивалент эканини биринчи бўлиб XIX аср ўрталарида тажриба асосида инглиз олими Жоуль аниқлади.

Жисмга берилган бир бирлик иссиқлик миқдори унинг ички энергиясини қанчага ўзгартирса, жисмнинг ички энергиясини ана шунчага ўзгартирадиган механик иш миқдори *иссиқликнинг механик эквиваленти* дейилади.

У қуйидагига тенг:

$$I = 4,1868 \frac{\text{Ж}}{\text{кал}} = 4,19 \frac{\text{Ж}}{\text{кал}} \quad (28)$$

Бундан 1 кал иссиқлик миқдорига эквивалент бўлган механик иш 4,19 Ж га тенг эканлигини кўрамиз, яъни $1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Ж}$. Шунингдек, 1 Ж ишга эквивалент бўлган иссиқлик миқдори

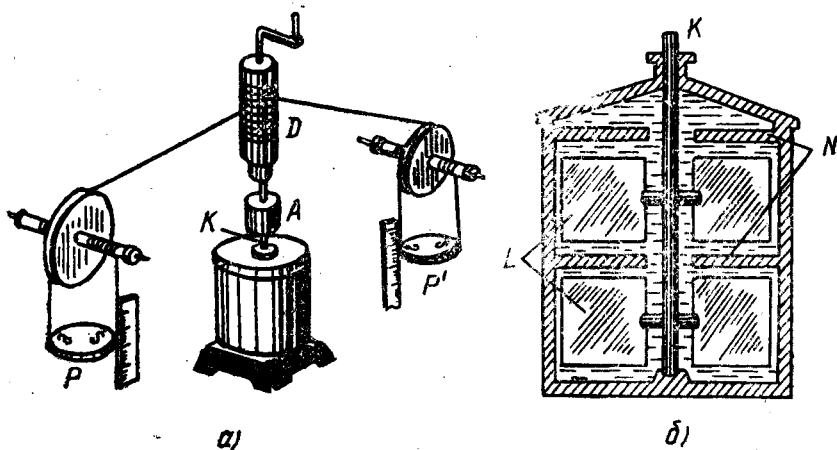
$$1 \text{ Ж} = \frac{1}{4,19} \text{ кал} = 0,24 \text{ кал}$$

га тенг эканлиги келиб чиқади ва уни *механик ишнинг иссиқ-*

лик эквиваленти деб юритилади. Бу катталиқдан фойдаланиб, жоулга қуйидагича таъриф бериш мумкин:

Массаси $0,00024$ кг бўлган дистилланган сув бир кельвинга, яъни $292,5$ К дан $293,5$ К гача иситилганда унинг ички энергиясининг ўзгариши бир жоулга тенг бўлади.

СИ да иссиқлик ва ишнинг бирликлари бир хил бўлганидан иссиқликнинг механик эквиваленти бирга тенг.



159- расм.

Жоуль тажрибаси. Механик иш бажариш ҳисобига ҳосил қилинган иссиқлик миқдорини ўлчаш, яъни иссиқликнинг механик эквивалентини аниқлаш мақсадида кўпгина тажрибалар қилинган. Улардан бири 1840—1849 йиллар давомида Жоуль томонидан амалга оширилган энг машҳур тажриба бўлиб, у қуйидагича эди. Алоҳида қурилган A калориметрнинг (159-а расм) ички стаканда ўйиқлари бўлган N тўсиқлар бўлиб (159-б расм), тўсиқдаги бу ўйиқлар бўйлаб K ўққа маҳкамланган L куракчалар сирпанади. Калориметрга симоб тўлдирилиб, ўқ D барабанга ўралган ипга осилган P ва P' тенг юкчаларни тушириш ҳисобига айлантирилади. Симоб билан куракчалар орасидаги ишқаланиш туфайли механик иш иссиқликка айланади. Симобнинг температурасини термометр ёрдамида ўлчаб олиб, Q иссиқлик миқдорини ҳамда юкларнинг m массасини ва h тушиш баландлигини ўлчаб, бажарилган A ишни ҳисоблаш мумкин. Жоуль тажрибани бир неча марта такрор бажариб, ҳисоблаш натижасининг кўрсатиши бўйича $\frac{A}{Q}$ ўзгармас катталиқ эканини, яъни

$$I = \frac{A}{Q} \approx 4,19 \frac{\text{Ж}}{\text{кал}}$$

эканини аниқлади. Шундай қилиб, машҳур инглиз олими

Жоуль Жемс Прескотт (1818—1889) энергиянинг бир турдан бошқа турга айланиш ва сақланиш қонунини тажриба йўли билан асослаб, фаннинг ривожланишига катта ҳисса қўшди.

104- §. Иссиқлик алмашинув турлари

Жисмлар ва жисм қисмлари орасида иссиқликни бир-бирига узатилиш ҳодисаси *иссиқлик алмашинув* дейилади ва у табиатда қуйидаги усуллар билан амалга ошади: конвекция, иссиқлик ўтказувчанлик ва нурланиш. Бу санаб ўтилган иссиқлик алмашинув турлари жисмлар ёки жисм қисмлари орасида температура фарқи бўлгандагина амалга ошади. Температура фарқи катта бўлганда жараён интенсив (жадал) кетади. Жисмлар ёки жисм қисмлари орасида температура тенглашганда иссиқлик алмашинув тўхтайтиди ва бу ҳолат *иссиқлик мувозанати* дейилади.

Конвекция. Суюқлик ва газлар иситилган вақтда аввал иссиқлик манбаига яқин бўлган қатлам тез исиб кенгаяди, унинг зичлиги камаяди, натижада юқорига қалқиб чиқа бошлайди. Унинг ўрнини юқори, совуқроқ (температураси пастроқ, бинобарин, зичлиги кўпроқ) қатлам эгаллайди. Бу жараёнда иссиқлик суюқлик ёки газ молекулаларининг юқорироқ температурали қатламлардан пастроқ температурали қатламларга бирданига силжиши билан узатилади. Бу ҳодиса *конвекция* дейилади. Конвекция бўлмаганда плита устига қўйилган идишдаги сув жуда секинлик билан исиган бўлар эди. Фақат суюқлик ва газлардагина конвекция бўлиши мумкин.

Иссиқлик ўтказувчанлик. Бирор металл таёқчанинг бир учидан ушлаб туриб, иккинчи учини алангада қиздирсак, бир оз вақт ўтгандан сўнг ушлаб турилган биринчи учининг ҳам исий бошлаганини сезамиз. Сув солинган металл идишни плита устига қўйсак, аввал металл идиш деворлари исиб, ундан сўнг сув исий бошлайди. Шунга ўхшаган кўпгина иссиқлик узатилиши ҳодисаларини мисол тариқасида келтириш мумкин. Бв мисоллар қуйидагича тушунтирилади. Иссиқлик берилаётган жисмни ёки жисм қисмларини ташкил қилган молекулаларнинг ҳаракат тезлиги ортиб температураси кўтарилади. Бу молекулалар тартибсиз ҳаракатлари туфайли қўшни жисм ёки жисм қисмларини ташкил қилувчи молекулалар билан тўқнашиб, уларга ўз энергияларининг бир қисмини беради, иккинчи жисм молекулаларининг энергияси ортади. Бу ҳолда иссиқлик жисмнинг қатлампидан қатламга узатилади. Бундай иссиқлик узатилиши *иссиқлик ўтказувчанлик* деб аталади. Демак, иссиқлик ўтказувчанлик ҳодисаси ҳам молекула [атом]ларнинг ҳаракати туфайли содир бўлар экан. Металлларнинг иссиқлик ўтказувчанлиги газ ва суюқликларнинг ўтказувчанлигидан катта бўлади, чунки металларда молекулалар зич жойлашгандир. Молекулалари сийрак жойлашган моддалар, масалан, газлар, шу-

нингдек, ғовак моддалар иссиқлик изоляторлари бўлиб ҳисобланади.

Нур ютиш ва нур чиқариш. Қизиган дазмолга қўлимизни яқин келтирсак иссиқликни сезамиз. Қуёш нури таъсирида Ер ва Ер сиртидаги жисмларнинг, ҳавонинг исиганини кузатамиз. Бу вақтда қизиган жисм ёки Қуёш ўзидан иссиқлик энергиясини чиқаради. Бу ҳодиса *нурланиш* дейилади. Келаётган иссиқлик энергиясини жисмлар томонидан қабул қилиб олиш ҳодисаси *нур ютиш* дейилади. Демак, юқорида келтирилган мисолдаги иссиқлик ҳодисаси нур ютиш орқали рўй берар экан. Нурланиш ва нур ютиш жараёни электромагнит тўлқинларнинг тарқалиши ва ютилиши билан тушунтирилади. Иссиқлик бўшлиқда ҳам (электромагнит тўлқинлар вакуумда тарқалгани учун) нурланиш йўли билан узатилиши мумкин. Шунинг учун Қуёш нурининг энергияси бизгача етиб келади.

Биз юқорида кўриб ўтилган иссиқлик алмашиниш жараёнларидан ташқари бошқа усуллар билан ҳам иссиқлик алмашиниш жараёни содир бўлади, масалан, буғлашиш, конденсация ва бошқалар.

105- §. Термодинамиканинг биринчи бсш қонуни

Термодинамиканинг биринчи бош қонуни қуйидагича таърифланади: *термодинамик система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда унинг ички энергиясининг ўзгариши системага берилган иссиқлик миқдори билан ташқи кучларнинг система устида бажарган ишининг йиғиндисига тенг, яъни:*

$$\Delta U = \Delta A' + \Delta Q, \quad (29)$$

бунда ΔU — система ички энергиясининг ўзгариши; ΔQ — системага берилган иссиқлик миқдори; $\Delta A'$ — система устида ташқи кучларнинг бажарган иши.

Агар ишни система томонидан бажарилган деб қаралса, у ҳолда биринчи қонун қуйидагича таърифланади: *системага берилган иссиқлик миқдори система ички энергиясининг ўзгаришига ҳамда системанинг ташқи кучларга қарши бажарган ишига сарфланади, яъни*

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A, \quad (29 \text{ а})$$

бунда ΔA — система томонидан бажарилган иш.

Агар система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтиб, яна даврий равишда биринчи ҳолатга ўзгаришсиз қайтса, система ички энергиясининг ўзгариши $\Delta U = U_2 - U_1 \approx 0$ бўлади. У ҳолда (29а) тенглик қуйидаги кўринишга келади:

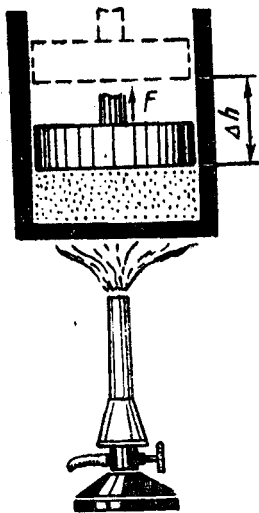
$$\Delta Q = \Delta A. \quad (30)$$

Бундан ўзи олган энергиядан ортиқ иш бажара оладиган даврий ҳаракатланувчи механизм яратиш мумкин эмаслиги келиб

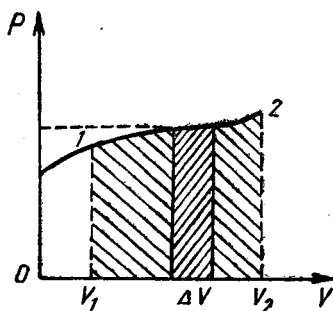
чиқади. Шундай қилиб, термодинамиканинг биринчи бош қонунини яна қуйидагича таърифлаш мумкин: *ўзи олган энергиядан ортиқ иш бажара оладиган даврий ҳаракатланувчи механизм (биринчи тур абадий двигатель) қуриш мумкин эмас.*

106- §. Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш

Цилиндрда поршень остида газ қамалган бўлсин (160- расм). Газни аланга ёрдамида қиздирайлик, у ҳолда газ кенгайиб бирор иш бажаради. Агар газнинг қизитилмасдан аввалги ҳажми V_1 (1-ҳолат), қиздирилгандан кейинги ҳажми V_2 (2-ҳолат) бўлса, ҳажм билан босимнинг орасидаги боғланиш умумий кўринишда 161- расмда кўрсатилганидек бўлади. Кенгайишнинг жуда кичик ΔV интервалини олайлик. Ҳажмнинг бу интервалида газ босимини тахминан ўзгармас ва p га тенг олиш мумкин. Агар газ томонидан кўрсатилаётган F куч таъсирида поршень Δh масофага силжиган бўлса, (27) формулага биноан, газнинг кенгайишида бажарилган иш учун ушбу



160- расм.



161- расм.

$$\Delta A = F \Delta h$$

ифодани ёзиш мумкин. $F = pS$ ва $S \Delta h = \Delta V$ эканини назарга олсак, у ҳолда

$$\Delta A = pS \Delta h = p \Delta V \quad (31)$$

бўлади, бу ерда S — поршень сиртининг юзи.

Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш *термодинамик иш* деб аталади.

Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш газ босимининг унинг ҳажми ўзгаришига кўпайтмасига тенг бўлади.

(31) формула фақат газлар учунгина эмас, балки бошқа моддалар учун ҳам ўринлидир.

Газнинг V_1 ҳажмдан V_2 ҳажмгача кенгайишида бажарилган тўла ишни ҳисоблаш учун $V_2 - V_1$ ҳажм ўзгаришини n та кичик ΔV элементар ҳажмларга ажратиб, уларнинг ҳар бири учун ҳисобланган ΔA элементар ишларнинг йиғиндисини топиш керак, яъни

$$A = \sum_{i=1}^n \Delta A_i = \sum_{i=1}^n p \Delta V_i \quad (32)$$

107- §. Термодинамиканинг биринчи қонунини газ жараёнларига татбиқ этиш

Термодинамиканинг биринчи қонунини газ жараёнларига татбиқ этиб, бу жараёнларнинг характери ҳақида муҳим хулосалар чиқариш мумкин.

(31) формулага биноан, термодинамиканинг биринчи қонунини қуйидаги кўринишида ёзиш мумкин:

$$\Delta Q = \Delta U + p \Delta V. \quad (33)$$

Бу ифодани идеал газ жараёнларига татбиқ этайлик.

1. Изотермик жараён ($T = \text{const}$). Бу жараёнда газнинг ички энергияси ўзгармайди. Ҳақиқатан ҳам, ички энергия ифодаси [(26) формула] га асосан

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{3}{2} R \cdot \Delta T$$

деб ёзиш мумкин, бунда ΔT — температуранинг ўзгариши. $T = \text{const}$ бўлганда $\Delta T = 0$, демак, $\Delta U = 0$ бўлади. Бинобарин, термодинамиканинг биринчи қонуни

$$\Delta Q = \Delta A \quad (34)$$

кўринишида ифодаланади. Шундай қилиб, *изотермик жараёнда системага берилган иссиқлик миқдорининг ҳаммаси иш бажаришга сарф бўлади.*

Маълумки, изотермик жараёнда, Бойль — Мариотт қонунига кўра, газнинг ҳажми ўзгарса, унинг босими ҳам ҳажмига тескари мутаносиб равишда ўзгаради. Ҳажмнинг жуда кичик dV ўзгаришида газ босимини ўзгармас, деб фараз қилиш мумкин. Шунинг учун газнинг жуда кичик кенгайишидаги бажарилган dA элементар ишни қуйидагича ҳисоблай оламиз:

$$dA = p dV. \quad (35)$$

Клапейрон — Менделеев тенгламасидан 1 моль газ учун босим P ни топиб, (35) иш ифодасига қўйсак, $dA = \frac{RT}{V} dV$ муносабат ҳосил бў-

лади. Тўлиқ ишни топиш учун бажарилган элементар иш ифодасини V_1 ва V_2 ҳажм чегарасида интеграллаб, қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} dA = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = RT (\ln V_2 - \ln V_1)$$

ёки

$$A = RT \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (36)$$

161-расмдаги графикдан кўришиб турибдики, V_1 дан V_2 гача оралиқни кичик бўлакчаларга бўлиб, улардаги бажарилган ишни ҳисоблаб, сўнг йиғиб чиқсак, изотермик жараёнда газнинг ҳажми V_1 дан V_2 гача ортганда бажарилган ишнинг сон қиймати шаклнинг штрихланган юзига тенг бўлар экан.

2. **Изохорик жараён ($V = \text{const}$).** Изохорик жараёнда $\Delta V = 0$ бўлгани учун, газ ташқи жисмлар устида (ёки ташқи кучлар газ устида) ҳеч қандай иш бажармайди, яъни $p \Delta V = \Delta A = 0$ бўлади. У ҳолда (33) тенглик қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$\Delta Q = \Delta U. \quad (37)$$

Демак, *изохорик жараёнларда системага ташқаридан берилган иссиқлик миқдори унинг фақат ички энергиясини оширишга сарфланар экан.*

3. **Изобарик жараён ($p = \text{const}$).** Газнинг изобарик кенгайишида бажарилган иш (31) ифодадан аниқланиши тушунарли. Бинобарин, изобарик жараён учун термодинамиканинг биринчи қонуни (33) формула кўринишида ифодаланади, яъни *изобарик жараёнда системага узатилган иссиқлик миқдори системанинг ички энергиясининг ўзгаришига ва ўзгармас босим шароитида иш бажаришга сарф бўлади.*

108- §. Адиабатик жараён

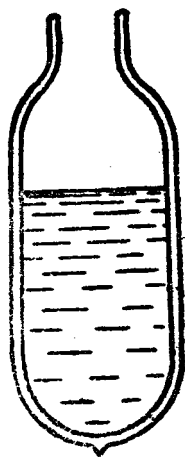
Система (газ) ҳолатининг ўзгариши мобайнида атрофидаги жисмлар билан система орасида иссиқлик алмашилиши рўй бермаса, бундай жараён *адиабатик жараён* деб аталади.

Адиабатик жараёнда $\Delta Q = 0$ бўлади, шунинг учун термодинамиканинг биринчи қонуни

$$\Delta A = -\Delta U \quad (38)$$

кўринишда бўлади, яъни ички энергия иш бажариш ҳисобига ўзгаради. (38) муносабатдаги минус ишора адиабатик кенгайишда системанинг ички энергиясининг камайишини ($\Delta U < 0$) кўрсатади— система ўзининг ички энергияси ҳисобига иш бажаради ($\Delta A > 0$). Адиабатик сиқилишда эса системанинг ички энергияси ташқи кучлар бажарган иш ($\Delta A < 0$) ҳисобига ортади.

Адиабатик жараёни амалга ошириш учун жараён рўй бераётган системани иссиқликни мутлақо ўтказмайдиган ғилоф билан ўраш керак. Табиатда иссиқликни мутлақо ўтказмайдиган моддалар мавжуд эмаслиги сабабли, системани атроф жисмлардан адиабатик изоляциялаб бўлмайди. Бироқ адиабатик изоляцияланган системаларга кундалик турмушда ишлатиладиган дьюар идиш — термос (162-расм) мисол бўла олади. Идишнинг тузилиши қўш қаватли юпқа шиша девордан иборат бўлиб, деворлар орасида вакуум ҳосил қилинган бўлади, шу сабабли деворлар бир-бири билан иссиқлик алмашмайди.



162- расм.

Бир қатор ҳолларда реал жараёнларни адиабатик жараёнга жуда яқин деб ҳисоблаш мумкин. Бунинг учун системанинг ҳолати жуда тез ўзгариши лозим, ана шунда система ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинишга улгурмайди.

(38) формулага асосан газ сиқилганда ички энергияси ортади. Бу эса газнинг температураси кўтарилганлигини билдиради. Тез сиқилганда ҳавонинг исишидан Дизель двигателларида фойдаланилади. Дизель двигателининг *биринчи* тактида ҳаво цилиндрга сўриб олинади, *иккинчи* тактнинг охирида эса ҳаво адиабатик равишда сиқилиши натижасида шун даражада қизиб кетадики, *учинчи* тактда қизиган ҳавога суюқ ёнилғи пуркалиши билан ёниб кетади.

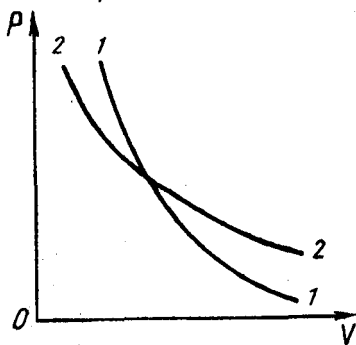
Адиабатик жараён учун газ босими билан ҳажми орасида қуйидагича боғланиш мавжудлиги аниқланган:

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad (39)$$

бу ерда γ — доимий катталиқ бўлиб, у *адиабата кўрсаткичи* деб аталади ва молекуласи турли атом бирикмаларидан иборат бўлган газлар учун турлича қийматга эга бўлади, масалан, бир атомли газлар учун $\gamma = 1,67$, икки атомли газлар учун $\gamma = 1,4$, уч ва ундан ортиқ атомли газлар учун $\gamma = 1,33$ га тенг.

(39) ифода француз физиги Пуассон томонидан аниқлангани учун унинг номи билан *Пуассон тенгламаси* деб аталади.

Кўриниб турибдики, (39) тенглама изотермик жараёни характерловчи (226) тенгламадан фақат ҳажмининг даражаси билан фарқ қилади, яъни изотермик жараёнда $\gamma = 1$ бўл-



163- расм.

са, адиабатик жараёнда $\gamma > 1$. Агар ҳажмга ихтиёрий қийматлар бериб, босимнинг унга мос келган қийматларини ҳисоблаб топиб, изотермик ва адиабатик жараёнлар учун чизилган графикларни солиштирсак (163-расм), ҳар иккала жараёнда ҳажмнинг босимга боғланиши бир-бирига ўхшашлигини кўрамиз. Лекин адиабата (адиабатик жараённи ифодаловчи эгри чизиқ) ($1-1$) изотерма ($2-2$) га қараганда тикроқ эканлигига ишонч ҳосил қиламиз. Бундан шундай хулосага келамизки, газ босими термик жараёнда кўпроқ ўзгарар экан. Ҳақиқатан ҳам, изотермик жараёнда ҳажм кенгайишидагина босим камайса, адиабатик жараёнда ҳажм кенгайиши туфайли босим камайиши билан яна температура камайиши натижасида ҳам босим камайди.

109-§. Моддаларнинг иссиқлик сифимлари

Массалари бир хил бўлган ҳар турли моддани, масалан, алюминий, жез, фишт, ёғоч ва ҳоказо кабиларнинг температурасини бир хил қийматга кўтариш учун уларга турли миқдорда иссиқлик бериш лозимлигини тажрибада кўриш мумкин.

Жисм температурасини бир кельвинга кўпайтириш учун унга берилиши лозим бўлган иссиқлик миқдорида сон жиҳатидан тенг бўлган катталиқ шу жисмнинг иссиқлик сифими (C) деб аталади. СИ да иссиқлик сифимининг бирлиги Ж/К.

Тажрибанинг кўрсатишича, бир хил массали турли моддаларга бир хил иссиқлик берилганда уларнинг температураси турлича ўзгаради. Шунинг учун моддаларнинг иссиқлик хоссаларини характерлайдиган махсус тушунча — солиштирма иссиқлик сифими киритилган.

Бирлик массали модданинг температурасини бир кельвинга кўтариш учун унга берилиши лозим бўлган иссиқлик миқдорида сон қиймати жиҳатидан тенг бўлган катталиқ солиштирма иссиқлик сифими (c) деб аталади. Агар m массали моддага Q иссиқлик миқдори берилганда унинг температураси $T_2 - T_1 = \Delta T$ га ўзгарса, у ҳолда таърифга биноан,

$$c = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} = \frac{Q}{m \Delta T}$$

деб ёза оламиз. Солиштирма иссиқлик сифимининг СИ да бирлиги Ж/ (кг·К).

Моддаларнинг солиштирма иссиқлик сифими фақат уларнинг хоссаларигагина эмас, балки иссиқлик қандай шароитда узатилаётганига ҳам боғлиқ. Ўзгармас босим шароитида иситилганда газ кенгайиб, ташқи жисмлар устида мусбат иш бажаради. Бинобарин, бу ҳолда газнинг температурасини бир кельвинга ошириш учун уни ўзгармас ҳажм шароитида иситилгандагига қараганда кўпроқ иссиқлик миқдори керак, чунки иссиқликнинг бир қисми газнинг иш бажаришига сарф бўлади.

Берилган жисмнинг иссиқлик сиғими (C) билан солиштирма иссиқлик сиғими (c) ўзаро қуйидагича боғланишга эга:

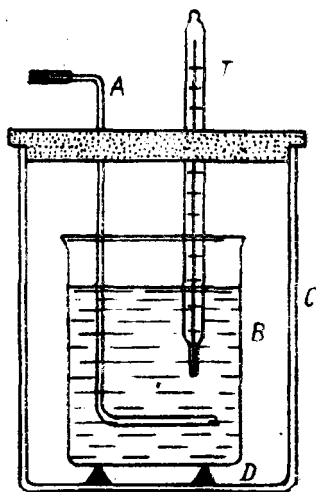
$$C = mc, \quad (41)$$

бу ерда m — берилган жисмнинг массаси. Солиштирма иссиқлик сиғимининг таърифидан m массали жисмни T_1 температурадан T_2 температурагача иситиш учун унга берилган иссиқлик миқдори қуйидаги формула билан ҳисобланади:

$$Q = cm(T_2 - T_1) = cm \Delta T. \quad (42)$$

Жисм совиганда унинг охириги температураси бошланғич температурасидан паст бўлади ва иссиқлик миқдори (42) формулага асосан, манфий бўлади, бунда жисм ташқи жисмларга иссиқлик беради.

Иссиқлик миқдори калориметр ёрдамида ўлчанади. Бу асбобда атрофдаги муҳит таъсиридан холи бўлган жисмлар ўртасида иссиқлик алмашинад (164-расм). Калориметр юпқа деворли B металл стакан бўлиб, у тубида D ёғоч ёки пўкак таглик бўлган ташқи C металл стаканга солинган бўлади. Таглик ва стаканларнинг орасидаги ҳаво қатлами калориметр иссиқлигини исроф бўлишидан сақлайди. Шунингдек, калориметрда T термометр ва A аралаштиргич бўлади.



164- расм.

110- §. Иссиқлик баланси тенгламаси

Массаси m_1 , солиштирма иссиқлик сиғими c_1 бўлган калориметрга массаси m_2 , солиштирма иссиқлик сиғими c_2 бўлган сув солинган бўлиб, калориметр билан сувнинг бошланғич температураси T_1 бўлсин. Унга массаси m , температураси T_2 , солиштирма иссиқлик сиғими c бўлган қизитилган темир бўлагини туширсак, бир оз вақт ўтгандан кейин сувли калориметр билан темирнинг температуралари тенглашиб, иссиқлик мувозанати ҳолати қарор топади. Бу вақтда системанинг температурасини T деб белгилаймиз. Равшанки, $T_1 < T < T_2$ бўлади.

Тажрибада аниқланишича (аниқроғи, энергиянинг сақланиш қонунига кўра), иссиқроқ жисм чиқарган иссиқлик миқдори совуқроқ жисм олган иссиқлик миқдорига тенг бўлади. Калориметрнинг олган иссиқлик миқдори

$$Q_1 = m_1 c_1 (T - T_1),$$

сувнинг олган иссиқлик миқдори

$$Q_2 = m_2 c_2 (T - T_1),$$

темирнинг берган иссиқлик миқдори

$$Q = mc(T_2 - T)$$

бўлади. Демак, иссиқлик мувозанати ҳолати қарор топганда қизитилган темир T_2 дан T гача совиб, Q иссиқлик миқдорини калориметр билан сувга беради. Натижада улар исиб, температуралари T_1 дан T гача кўтарилади. Бунда қуйидаги тенглик ўринли бўлади:

$$Q_1 + Q_2 = Q. \quad (43)$$

(43) тенглама *иссиқлик баланси тенгламаси* деб аталади. Бу тенгламага Q , Q_1 ва Q_2 нинг қийматларини қўйиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$m_1 c_1 (T - T_1) + m_2 c_2 (T - T_1) = mc(T_2 - T). \quad (43a)$$

Бирор жисмнинг, масалан, юқорида келтирилган темирнинг солиштирма иссиқлик сифими (c) номаълум бўлса, уни (43a) тенгламадан қуйидагича топиш мумкин:

$$c = \frac{m_1 c_1 (T - T_1) + m_2 c_2 (T - T_1)}{m(T_2 - T)} = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2)(T - T_1)}{m(T_2 - T)}. \quad (44)$$

Бу ихтиёрий жисмнинг солиштирма иссиқлик сифимини топиш формуласидир.

Кўп жисмлар ўртасида бўладиган иссиқлик алмашинувининг умумий ҳолда иссиқлик баланси тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0, \quad (45)$$

бу ерда Q_1, Q_2, Q_3, \dots системадаги жисмларнинг олган ёки берган иссиқлик миқдорлари бўлиб, уларнинг алгебраик йиғиндиси нолга тенг.

111-§. Иссиқлик машиналари ва уларнинг фойдали иш коэффициенти

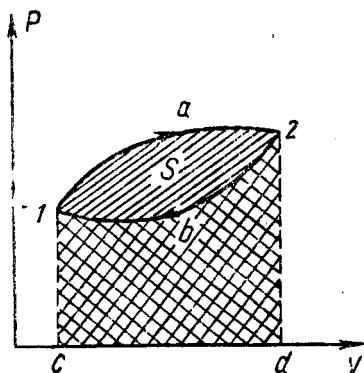
Ички энергияни механик энергияга айлантириб берувчи машиналар *иссиқлик машиналари* ёки *иссиқлик двигателлари* деб аталади.

Барча кўринишдаги иссиқлик двигателларида ёқилғининг энергияси аввал газнинг (ёки буғнинг) энергиясига айланади. Сўнг газ кенгайиб иш бажаради ва совибди, унинг ички энергияси ҳаракатланувчи механизм (поршен)нинг механик энергиясига айланади. Иссиқлик машиналарида айланма жараён деб аталадиган жараёнларда ички энергиянинг механик энергияга айланиши амалга ошади.

Система қатор ҳолатларни ўтиш натижасида ўзининг дастлабки ҳолатига қайтадиган жараён *айланма жараён* дейилади.

Айланма жараён сифатида қуйидаги жараённи кўриб чи-

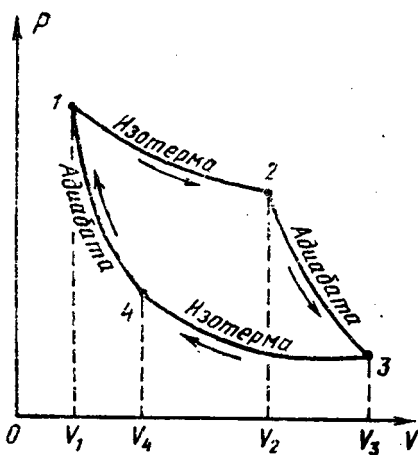
қайлик. Фараз қилайлик, бирор массали газ $1 \rightarrow a \rightarrow 2$ эгри чизик билан ифодаланувчи қатор ҳолатлардан ўтиб кенгайган бўлсин (165-расм). Сўнг $2 \rightarrow b \rightarrow 1$ эгри чизик билан ифодаланувчи ҳолатдан ўтиб сиқилган ва бошланғич ҳолатига қайтган бўлсин. Таърифга асосан, айланма жараён графикда берк эгри чизик билан ифодаланишини кўрамиз. Айланма жараёнда газ бажарган A иш кенгайишда бажарилган A_1 иш (бу иш мусбат, уни газ бажаради ва сон жиҳатдан $1a2dc1$ шаклнинг юзига тенг) билан сиқилишида бажарилган A_2 иш (бу иш манфий, уни ташқи кучлар бажаради ва сон жиҳатдан $2b1cd2$ шаклнинг юзига тенг) айирмасига тенг бўлади: $A = A_1 - A_2$ ва иккала шакллар юзларини фарқи билан, яъни берк $1a2b1$ эгри чизик билан чегараланган шаклнинг юзи (расмда штрихланган) билан ифодаланади.



165-расм.

Иссиқлик машиналарида бундай айланма жараён даврий равишда такрорланиб туради ва ҳар бир айланма жараёнда бирор A иш бажарилади.

1824 йилда француз инженери ва олими Сади Карно иссиқлик машинасининг ишлаш принципини ва самарадорлигини назарий ўрганиб, ҳар қандай иссиқлик машинасининг ишлаши учун ишчи жисм, иситкич ва совиткич бўлиши зарурлигини кўрсатди. Карно томондан тавсия этилган идеал машинада ишчи жисм сифатида цилиндр поршени остидаги 1 киломоль идеал газ олинган. Машина даврий равишда Карно айланма жараёни деб аталадиган иккита изотермик ва иккита адиабатик жараёнлардан иборат айланма жараёнларни бажаради (166-расм). Система ҳолатининг ўзгариши қуйидаги кетма-кетликда амалга оширилади.



1. Кенгайишнинг биринчи изотермик ($T_1 = \text{const}$) босқичида ($1-2$ эгри чизик) газ иситкичдан Q_1 иссиқлик миқдорини олиб, ҳажми V_1 дан V_2 гача кенгайиб иш бажаради ва катталиклари p_1, V_1, T_1 дан p_2, V_2, T_1 гача ўзгаради.

2. Кенгайишнинг иккинчи

166-расм.

адиабатик босқичида (2 — 3 эгри чизиқ) ҳажм V_2 дан V_3 гача кенгайди. Аммо иш газнинг ички энергиясининг камайиши ҳисобига бажарилади. Бунда газ ташқаридан иссиқлик олмайди ҳам, бермайди ҳам. Газнинг катталиклари p_2, V_2, T_1 дан p_3, V_3, T_2 гача ўзгаради.

3. Сўнгра газ V_3 дан V_4 гача изотермик ($T_2 = \text{const}$) сиқилади (3 — 4 эгри чизиқ). Бунда ташқи куч газ устида иш бажаради. Жараён изотермик бўлганлиги сабабли бу иш батамом иссиқликка айланиб, совиткичга Q_2 иссиқлик узатилади. Системанинг катталиклари p_3, V_3, T_2 дан p_4, V_4, T_2 гача ўзгаради.

4. Айланма жараённинг охириги қисмида газ адиабатик сиқилиб, газ ҳажми V_4 дан V_1 гача камайди (4 — 1 эгри чизиқ). Бунда бажарилган иш газ температурасини бошланғич даражасига кўтариш учун сарфланади, системанинг ички энергияси ортади. Системанинг катталиклари p_4, V_4, T_2 дан p_1, V_1, T_1 гача ўзгаради, яъни бошланғич ҳолатдаги қийматни эгаллайди.

Шундай қилиб, айланма жараён давомида газнинг бажарган иши иситкичдан олинган Q_1 ва совиткичга берилган Q_2 иссиқлик миқдорларининг айирмасига тенг, яъни

$$A_{\phi} = Q_1 - Q_2 \quad (46)$$

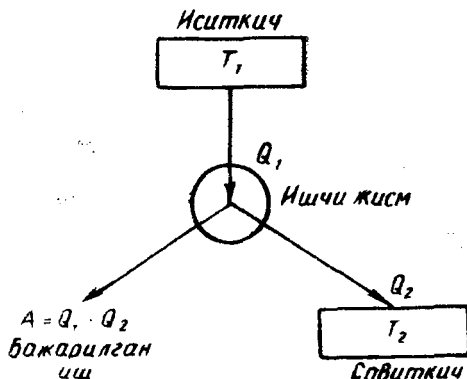
бўлади ва машинанинг бир циклда бажарган фойдали ишини ифодалайди.

Айланма жараённинг фойдали иш коэффициенти (ФИК) айланма жараён давомида бажарилган фойдали ишнинг умумий ишга нисбатига ёки айланма жараён давомида система олган ($Q_1 - Q_2$) иссиқлик миқдорининг иситкич берган Q_1 иссиқлик миқдорига бўлган нисбатига тенг. Система олган иссиқлик миқдорининг қанча қисмини фойдали ишга айланганлигини кўрсатувчи катталиқка айланма жараённинг ФИКи дейилади, яъни,

$$\eta = \frac{A_{\phi}}{A} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

ёки фойзаларда

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{A_{\phi}}{A} \cdot 100\% = \\ &= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%. \quad (46) \end{aligned}$$



167- расм.

167- расмда иссиқлик машинасининг принципиал схемаси келтирилган.

Юқорида айтилганлардан шундай хулосага келиш мумкин: иситкичдан олинган иссиқлик миқдорини тўла ишга айлантира оладиган меха-

низм бўлиши мумкин эмас, чунки бу иссиқлик миқдорининг бир қисми совиткичга берилиши керак.

Агар иситкичнинг температураси T_1 , совиткичникини T_2 десак, Карно айланма жараёни бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинасининг назарий мумкин бўлган энг катта ФИК қуйидагича ифодаланишини Карно исбот қилган:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (47)$$

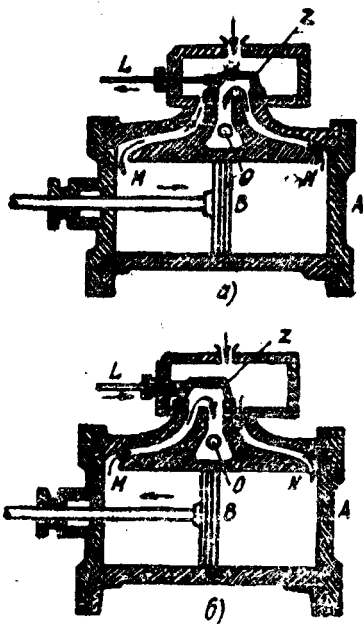
Демак, идеал иссиқлик машинасининг ФИК ни ошириш учун иситкичнинг температураси юқори, совиткичники эса паст бўлиши керак.

Техникада қўлланиладиган иссиқлик машиналаридан айрим турларининг ишлаш принципи билан танишиб чиқайлик.

Иссиқлик двигателлари механик ҳаракатга келиш усулларига қараб, улар поршенли (буғ машиналари ва ички ёнув двигателлари), ротацион (буғ ва газ турбиналари) ва реактив двигателларга бўлинади.

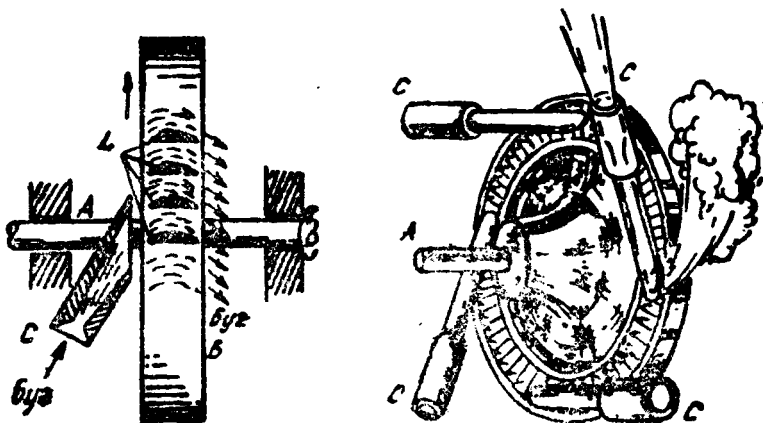
Поршенли буғ машинаси. Бу машиналар XVII ва XVIII асрларда ихтиро қилинган бўлиб, шу кунгача ишлатилиб келинмоқда. Унинг (168-а расм) асосий қисми B поршень ҳаракатланадиган A чўян цилиндрдан иборатдир. Цилиндр буғ тақсимловчи механизм билан таъминланган бўлиб, бу механизм махсус L поршень билан бирга ҳаракатланувчи буғ қозонига таштирилган Z қопқоқли тақсимлагич қутичадан иборатдир. Қутича атмосфера билан O тешикча орқали, A цилиндр билан эса M ва N найлар орқали таштирилган.

B поршень ўнгга ҳаракатланса (168-а расм), A цилиндрга M най орқали буғ киради. N най орқали ишини бажарган буғ атмосферага чиқади. Поршень чапга томон ҳаракатланса (168-б расм), N най орқали буғ цилиндрнинг ўнг қисмига киради ва ўз ишини бажарган буғ M най орқали атмосферага чиқади. Шундай қилиб, поршенли двигателларда газ ёки буғнинг босими остида машинанинг ишчи цилиндрида поршень илгариланмақайтма (тебранма) ҳаракатда бўлиб шатун-кривошип механизми ёрдамида машинанинг тирсакли ўқида айланма ҳаракат ҳосил қилади. Бундай буғ машинасининг афзаллиги унинг од-



168- расм.

дийлигида, ёқилғининг арзонлигида, тескари юритиш мумкинлигидадир. Камчилиги эса ҳаракат тезлиги кичик, ғилдирак тўла айланиши учун поршень орқага албатта илгариланма ҳаракат қилиши шарт. ФИК (η) кичик, масалан, И. И. Ползунов ихтиро қилган машинанинг ФИК и 0,1%, Ж. Уатт ихтиро қилган машинанинг ФИК 1%, ҳозирги машиналарнинг ФИК эса 10—12%.



169- расм.

Буғ турбинаси. Поршенли буғ машинасининг камчиликлари, ФИКнинг кичик эканлиги буғ энергиясидан фойдаланишнинг бошқа усулларини ихтиро этишга мажбур қилди. Буғ машинасида буғнинг потенциал энергиясидан фойдаланилган бўлса, буғ турбинасида буғнинг кинетик энергиясидан фойдаланилади: форсункадан чиқаётган буғ ёки газ оқими ишчи ғилдиракнинг куракчаларига йўналтирилиб, ғилдиракни айланма ҳаракатга келтиради.

Буғ турбинасининг ишлаш схемаси 169-а расмда, битта дискининг ташқи кўриниши 169-б расмда кўрсатилган. *L* куракчалари бўлган *B* диск *A* валга ўрнатилган. Куракчалар қаршисида *C* соплолар жойлашган бўлиб, буларга қозондан катта босим остида буғ келади. Сопло оғзига қараб кенгайиб борувчи тешик шаклида қилиб ишланган, шунинг учун унинг ичида босим пасайиши ҳисобига буғ чиқиш вақтида катта (тахминан 1000 м/с) тезлик олади. Буғ соплодан чиққач, турбина ғилдирагининг *L* куракчаларига келиб урилиб, уларга босим беради ва турбинанинг ишчи ғилдираги *B* дискни айлантиради.

Қудратли буғ турбиналари кўп (16—40) поғонали қилиб қурилади. Турбина ғилдиракларида куракчаларнинг умумий сони бир неча мингларга тенг бўлади. Ишлаб бўлган буғдан турмушда, жумладан, биноларни иситишда фойдаланилади. Иш-

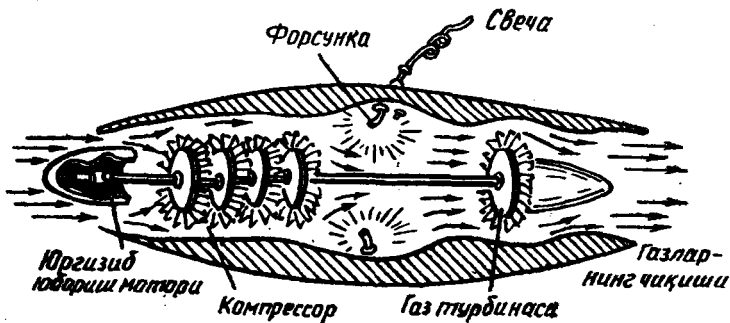
лаб бўлган буғ иссиқлигидан фойдаланувчи станциялар иссиқлик электр марказлари (ИЭМ, русчаси — ТЭЦ) дейилади.

Реактив двигателлар. Реактив двигателлар қуйидаги асосий қисмлардан иборат: ёнилғи баки, ёнилғи ёнадиган камера, камерага ёнилғи етказиб берадиган ва ёнишдан ҳосил бўладиган маҳсулотни чиқариб ташлайдиган қурилма.

Реактив двигателнинг ишлаши қуйидагича: ишловчи ара-лашманинг ёниши натижасида ҳосил бўлган газ чиқиш теши-ги — соплодан жуда катта тезлик билан отилиб чиқади. Ёнил-ғи ёнганда босимнинг кескин равишда ошиб кетиши натижаси-да газларнинг соплодан чиқиш тезлиги двигателга кирадиган ҳавонинг тезлигидан кўп марта катта бўлади. Импульснинг сақланиш қонунига мувофиқ, шу тезликлар айирмаси ҳисобига реактив тортиш кучи ҳосил бўлади. Бу куч двигателни қарама-қарши томонга ҳаракатга келтиради.

Реактив двигателлар икки турга: ҳаво-реактив двигателла-рига (ҲРД) ва ракеталарга бўлинади.

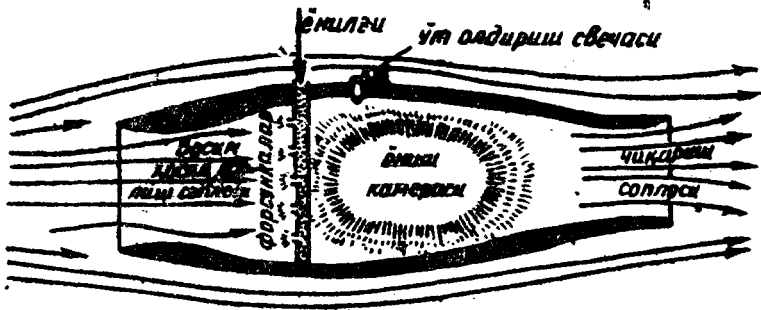
Реактив двигателли учар аппаратда фақат ёнилғи бўлиб, ат-мосфера ҳавоси эса оксидловчи ва чиқиш вақтида тортиш кучини ҳосил қиладиган ишчи модда вазифасини бажаради. Реактив двигателнинг ёнилғиси ҳам, ишчи моддаси ҳам ўзида бўлади, шунинг учун унинг ишлаши атрофдаги муҳитга боғлиқ бўлмайди.



170- расм.

Ҳозирги вақтда ҲРД нинг икки тури — турбореактив ва тўғ-ри оқимли турлари тарқалган.

Турбореактив двигателлар (ТРД) ҳаво сўрғичдан, газ тур-бинаси билан айлантирадиган ротацион компрессордан, ёниш камераси ва реактив соплодан ташкил топган (170- расм). Компрессор билан сиқилган ҳавонинг босими 4—10 марта ор-тади. Сиқилган ҳаво ёнилғи пуркаладиган ёниш камерасига киради. Бу камерада ёниш маҳсулотлари бир, икки ёки уч по-нонали газ турбинаси орқали ўтиб, битта валга жойлашган компрессор билан ротор гилдирагини айлантиради. Сўрилаёт-



171- расм.

ган ҳаво импульсининг орттирмасига тенг бўлган реактив тортиш куч юзага келади. ТРДларда турбина орқасига «форсаж камералар» ўрнатилган бўлиб, уларда ёнилғи охиригача ёнади. Шу йўл билан температура мумкин бўлганича максимал даражага кўтарилади. Учиш тезлиги 800 км/соат дан кам бўлмаган ҳолларда ТРДлардан фойдаланилади.

Тўғри оқимли, ҳаво-реактив двигателлари (ТОҲРД) ҳаво тўплагич, ёниш камераси ва чиқиш соплосидан (171-расм) иборат. Ҳаво исиганда унинг солиштирма ҳажми кенгайди, ҳаракат тезлиги ортади ва реактив тортиш кучи юзага келади. Маълумки, ТОҲРД да ҳавони сўриш учун мослама бўлмаганлиги сабабли қўзғалмас хавода у тортиш кучи ҳосил қила олмайди. Шунинг учун ТОҲРД билан ишлайдиган самолётлар ёки снарядларни мажбурий, масалан, старт ракеталари ёрдамида учуриш керак бўлади.

Реактив двигателларни янада такомиллаштириш устида олимлар муваффақиятли ишлар олиб бормоқдалар.

Буғ турбинасининг афзаллиги тезлигининг катталиги, ихчамлиги, нисбатан қувватининг катталиги ва, демак, ФИКнинг юқорилигидадир (25—30% гача). Камчилиги эса юргизиш ва тўхтатиш учун кўп вақт сарфланиши, тескари юришиб бўлмаслигидадир. Буғ турбиналарининг ФИК анча юқори бўлганлиги учун ҳозирги вақтда улар кенг тарқалган иссиқлик двигателлари қаторига киради.

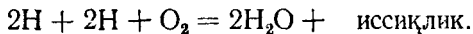
112- §. Иссиқлик двигателлари ва атроф-муҳитни ҳимоя қилиш

Иссиқлик двигателлари халқ ҳўжалигида турли-туман мақсадларда фойдаланилади. Улар самолёт теплоход, автомобиль, трактор, тепловозларни, шунингдек, дарё ва денгиз кемаларини ҳаракатга келтиради. Умуман ҳозирги вақтда ҳаётни двигателларсиз тасаввур этиб бўлмайди.

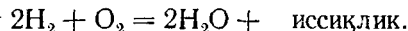
Ҳозирги кунда дунё олимлари, инженер-конструкторлари олидаги энг асосий вазифалар қўйидагилардан иборат:

1. Иссиқлик двигателларини такомиллаштириш ва ФИК ни ошириш.
2. Ёнилғи танқислигини назарда тутган ҳолда нефть ва нефть маҳсулотларини бошқа турдаги ёнилғи билан алмаштириш.
3. Табиатни муҳофаза қилиш.

Ёнилғи танқислигини назарда тутиб бензин ўрнида сиқилган водороддан фойдаланиш назарияси ишлаб чиқилди. Атомар водород бир-бирига қўшилиб, кислород билан оксидланганда жуда катта, тахминан 320 МЖ/кг энергия ажралади. Бу иссиқлик бензиннинг иссиқлик бериш қобилиятидан 8 марта ортиқдир. Бунда қуйидагича реакция кетади:



4000° С температурада иккита водород атоми бирикиб, водород молекуласини ҳосил қилади ва кислород билан қуйидагича реакцияга киришади:



Бунда ажралган иссиқлик миқдори 120 МЖ/кг (36000 Вт-соат/кг) бўлади. Аммо бундай ёнилғидан фойдаланиш ҳозирча хавфлидир, чунки портлаш эҳтимоли бор.

Мутахассисларнинг аниқлашича: нефть ва нефть маҳсулотлари ёнганда ундан атмосферага 200 хилга яқин газ чиқиб уни ифлослайди, бу эса инсон саломатлигига салбий таъсир кўрсатади. Ўз даврида Д. И. Менделеев ҳам (1859 й) «Ишлаб чиқариш хабарчиси» номли журналда босилиб чиққан «Тутуннинг келиб чиқиши ва унга қарши кураш» мақоласида тутуннинг зарарли таъсирлари ҳақида ёзган эди. Шунингдек, тутуннинг ҳосил бўлиш сабаби ёнилғига оксидловчининг етишмагани ва натижада ёнилғининг кўп қисми исроф бўлиб ҳавога тутаб чиқиши айтилган эди. Ана шу зарарли томонини олдин олиш имконияти қуйидагилардан иборат:

- а) шофёр машинани юргизишдан аввал унинг карбюраторини тозалаши лозим, бунда атмосферага чиқадиган зарарли газлар 50% га камаяди;
- б) маълумки, машиналар кескин тормоз бериб тўхтаганда кўп газ чиқаради, уни камайтириш мақсадида тезликни аста-секин камайтириб тўхташ лозим;
- в) нефть ва нефть маҳсулотларини бошқа ёнилғи (водород ва қуёш энергияси) билан алмаштириш лозим; водород ёнганда атмосферага зарарли газлар чиқмайди.

Аниқланишича, Ўзбекистон шароитида йилнинг тахминан 300 кун булутсиз — қуёшли бўлар экан. Демак, Қуёш энергиясидан тўлиқ фойдаланиш мумкин.

Ҳозирги кунда мутахассислар олдида турган асосий муаммолардан бири водород ва Қуёш энергиясидан кенг фойдаланишни ишлаб чиқишдир.

Такрорлаш учун саволлар

1. Модданинг ички энергияси деб қандай энергияга айтивлади? Бу энергия қандай катталикларга боғлиқ?
2. Бир атомли идеал газ ички энергиясининг формуласини келтириб чиқаринг.
3. Модданинг ички энергиясини қандай усуллар билан ўзгартириш мумкин?
4. Иссиқликнинг механик эквиваленти нима? Жоуль тажрибасини тушунтиринг.
5. Иссиқлик алмашинувининг қандай турларини биласиз?
6. Термодинамиканинг биринчи қонунини таърифланг ва формуласини ёзиб беринг.
7. Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш ифодасини келтириб чиқаринг.
8. Газ жараёнлари учун термодинамика биринчи қонунининг формуласини ёзинг.
9. Адиабатик жараённи тушунтиринг.

10. Модданинг иссиқлик ва солиштирма иссиқлик сизими деб нимага айтади ва у қандай бирликларда ифодаланади?

11. Иссиқликнинг баланс тенгламасини ёзинг ва тушунтиринг. Унинг энергиянинг сақланиш қонунига қандай муносабати бор?

12. Иссиқлик двигателларининг ишлаш принципини тушунтиринг.

13. Карно айланма жараёни бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинасининг ишлаш принципини тушунтиринг. Бу машинанинг ФИК и нимага боғлиқ?

14. Табиатни муҳофаза қилиш деганда нимани тушунасиз?

Масала ечиш намуналари

1-масала. Баландликдан тушаётган сувнинг температураси 1,5 К га кўтарилиши учун оғирлик кучи бажарган ишнинг 60% и сарфланган бўлса, сув қандай баландликдан тушган?

Берилган: $\Delta T = 1,5 \text{ К}$; $A_1 = A \cdot 60\% = 0,6A$; $c = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Топиш керак: h —?

Ечилиши: Бирор баландликдан тушаётган сувнинг исшида олган иссиқлик миқдори (22) тенгламага асосан қуйидагига тенг бўлади:

$$Q = mc \Delta T,$$

бунда c — сувнинг солиштирма иссиқлик сизими, m — сувнинг массаси. Масаланинг шартига кўра оғирлик кучи бажарган иш

$$A = Ph = mgh$$

нинг 60% и m массали сувнинг исши учун сарфланади, яъни механик энергия иссиқлик энергиясига айланади, шунинг учун энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунига биноан, қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин:

$$cm \Delta T = 0,6 mgh,$$

бундан

$$h = \frac{c \Delta T}{0,6g}$$

экани келиб чиқади,

Ҳисоблаш:

$$h = \frac{4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 1,5 \text{ К}}{0,6 \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 1069 \text{ м.}$$

2-масала. Массаси 0,2 кг, температураси 291 К бўлган жездан ясалган стаканга 0,5 л қайноқ сув солинган. Сув солингандан кейин системанинг температураси 365 К бўлган. Қандай температурали сув солинган?

Берилган: $m_1 = 0,2 \text{ кг}$; $T_1 = 291 \text{ К}$; $T = 365 \text{ К}$; $V_2 = 0,5 \text{ л} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $c_1 = 386 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$; $c_2 = 4190 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$; $\rho_2 = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: T_2 —?

Ечилиши: Маълумки, жез стаканга қайноқ сув солинганда стакан исийди, сув эса совийди, яъни сув маълум иссиқлик миқдорини стаканга бериши натижасида иссиқлик мувозанати тикланади. Бу система учун иссиқликнинг баланс тенгламаси (43) га асосан қуйидагича ёзилади:

$$|Q_1| = |Q_2| \text{ ёки } m_1 c_1 (T - T_1) = m_2 c_2 (T_2 - T),$$

бу ерда Q_1 — жез стаканнинг олган иссиқлик миқдори, Q_2 — сувнинг берган иссиқлик миқдори, T_2 — қайноқ сувнинг температураси. Стаканга солинган сувнинг ҳажми V_2 берилган бўлгани учун сувнинг m_2 массасини зичлик формуласидан фойдаланиб топиш мумкин:

$$m_2 = \rho_2 V_2.$$

Бу ифодани ҳисобга олганимизда юқоридаги тенглама қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$m_1 c_1 (T - T_1) = c_2 \rho_2 V_2 (T_2 - T).$$

Бу тенгликдан сувнинг дастлабки температураси T_2 ни қуйидагича топамиз:

$$c_1 m_1 (T - T_1) = c_2 \rho_2 V_2 T_2 - c_2 \rho_2 V_2 T$$

ёки

$$c_2 \rho_2 V_2 T_2 = c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 \rho_2 V_2 T,$$

бундан

$$T_2 = \frac{c_1 m_1 (T - T_1) + c_2 \rho_2 V_2 T}{c_2 \rho_2 V_2}$$

Ҳисоблаш:

$$T_2 = \frac{386 \frac{\text{Ж}}{\text{кг К}} \cdot 0,2 \text{ кг} (365 - 291) \text{ К} + 4190 \frac{\text{Ж}}{\text{кгК}} \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 365 \text{ К}}{4190 \frac{\text{Ж}}{\text{кгК}} \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 367,7 \text{ К}.$$

3-масала. а) Қуввати 44,16 кВт га тенг бўлган моторнинг 1 соатда бажарган иши қанча иссиқликка эквивалент бўлади?

б) Қуввати 1кВт бўлган двигателнинг 1 соатда бажарган иши-чи?

Берилган: а) $N = 44,16 \text{ кВт} = 44,16 \cdot 10^3 \text{ Ж/с}$; $\tau = 3600 \text{ с}$;

$$I = 4,19 \frac{\text{Ж}}{\text{кал}} = 4,19 \frac{\text{Ж}}{4,19 \text{ Ж}} = 1.$$

Топиш керак: $Q - ?$

б) $N = 1 \text{ кВт} = 1 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{с}}$, $\tau = 3600 \text{ с}$.

Топиш керак: $Q - ?$

Ечилиши: Қуввати N га тенг бўлган моторнинг τ вақтда бажарган иши $A = N \tau$ га тенг бўлади, демак, иссиқлик миқдори эса

$$Q = \frac{A}{I} = \frac{N \tau}{I} = N \tau.$$

Ҳисоблаш:

а) $Q = 44,16 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} \approx 16 \cdot 10^6 \text{ Ж} = 160 \text{ МЖ}$,

б) $Q = 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 36 \cdot 10^5 \text{ Ж} = 3,6 \text{ МЖ}$.

4-масала. 10^5 Па босим остида бўлган 10 л ҳажмдаги ҳаво икки марта кенгайтирилган. Қуйидаги жараёнлар учун система (ҳаво)нинг бажарган иши ва охириги босими топилсин: а) система изотермик кенгайган, б) система изобарик кенгайган.

Берилган: $p_1 = 10^5 \text{ Па} = 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$, $V_1 = 10 \text{ л} = 10^{-2} \text{ м}^3$, $V_2 = 2V_1 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

Топиш керак: а) $A_1 - ?$ $p_2 - ?$ б) $A_1 - ?$ $p_2 - ?$

Ечилиши: а) система изотермик равишда кенгайганда ($T = \text{const}$) Бойль — Мариотт қонунига асосан, қуйидаги тенгликни ёза оламиз:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Бундан

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2}. \quad (a)$$

Системанинг бажарган иши қуйидагича ифодаланadi:

$$A_1 = RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Клапейрон — Менделеев тенгласидан $p_1 V_1 = RT$ бўлгани учун охириги тенглик қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$A_1' = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad (б)$$

б) система изобарик равишда кенгайганда бажарган иш қуйидагича ифодаланadi:

$$A_1' = p_1 (V_2 - V_1). \quad (в)$$

Босим доимий бўлганлиги учун $p_2' = p_1$ бўлади.

Ҳисоблаш:

$$p_2 = \frac{10^5 \text{Па} \cdot 10^{-2} \text{м}^3}{2 \cdot 10^{-2} \text{м}^3} = 0,5 \cdot 10^5 \text{Па},$$

$$A_1 = 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-2} \text{м}^3 \ln \frac{2V_1}{V_1} = 10^3 \cdot 2,3 \cdot \ln 2 \cdot \text{Ж} \approx 702 \text{Ж}.$$

$$б) A_1' = 10^5 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot 10^{-2} \text{м}^3 = 10^3 \text{Ж},$$

$$p_2' = p_1 = 10^5 \text{Па}.$$

5-масала. Қарно айланма жараёни бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинасининг фойдали иш коэффициентини 20%, иситкичнинг температураси 373 К, совиткичга берилган иссиқлик миқдори 200 кЖ га тенг. Машинанинг айланма жараён давомида бажарган иши, иситкичдан олган иссиқлик миқдори, совиткичнинг температураси топилин.

Берилган: $\eta = 20\%$, $T_1 = 373 \text{К}$, $Q_2 = 200 \text{кЖ} = 2 \cdot 10^5 \text{Ж}$.

Топиш керак: A — ? T_2 — ? Q_1 — ?

Ечилиши: Маълумки, хатто идеал иссиқлик машинаси ҳам иситкичдан олган иссиқлик миқдорининг ҳаммасининг ҳисобига иш бажармайди, маълум қисмини совиткичга беради. ФИК формуласи

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

дан иситкичдан олинган иссиқлик миқдори Q_1 қуйидагига тенг:

$$\eta Q_1 = Q_1 - Q_2,$$

бундан

$$Q_1 = \frac{Q_2}{1 - \eta}$$

Бажарилган иш эса,

$$A = \eta Q_1$$

бўлади.

Совиткичнинг температураси T_2 на қуйидаги формуладан топамиз:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \text{ бундан } T_2 = T_1 (1 - \eta) \text{ бўлади.}$$

Ҳисоблаш:

$$Q_1 = \frac{2 \cdot 10^5 \text{ Ж}}{1 - 0,2} = \frac{2 \cdot 10^5}{0,8} \text{ Ж} \approx 2,5 \cdot 10^5 \text{ Ж},$$

$$A = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Ж} \cdot 0,2 \approx 5 \cdot 10^4 \text{ Ж},$$

$$T_2 = 373 \text{ К} (1 - 0,2) = 373 - 0,8 \text{ К} \approx 298,4 \text{ К}.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

131. Узгармас босимда 3 кг кислороднинг температурасини 15 К га ошириш учун унга қанча иссиқлик миқдори берилган?

132. 0,8 кг массали ҳавони 400 К га изобарик қиздиришда ҳавонинг кенгайиши учун $0,9 \cdot 10^5 \text{ Ж}$ га тенг иш бажарилган. Бунда газни қиздиришга сарфланган иссиқлик миқдори ва ички энергиясининг ўзгариши аниқлансин.

133. Температураси 288 К бўлган 20 л сувни 350 К температурали 42 л сув билан аралаштирилган. Агар аралаштириш вақтидаги иссиқлик исрофи 400 Ж ни ташкил этса, аралашманинг натижавий температураси топилсин.

134. Массаси 100 г бўлган жездан ясалган калориметрга температураси 290 К бўлган 300 г сув солинган. Сувга 373 К гача қиздирилган, массаси 200 г бўлган алюминий бўлаги туширилган. Системанинг натижавий температураси аниқлансин.

135. Юқорига вертикал отилган қўрғошин ўқ ерга қайтиб тушиб урилиш вақтида температураси 45 К га ортган. Агар ерга урилиш вақтидаги энергиясининг 60% ўқнинг иссиқлигига сарфланган бўлса, у қандай балиндликка кўтарилган?

136. Ерга тушадиган Қуёш энергиясининг миқдорини ўлчаш учун ишлатиладиган қурилма асосининг юзи 6 дм^2 бўлган цилиндрдан иборат. Цилиндрнинг қорақуя суркалган асосига қуёш нурлари тик равишда тушганда унга солинган 2,4 кг сувнинг температураси 120 секундда бир градус кўтарилади. Ер юзининг қуёш нурларига тик бўлган ҳар бир квадрат метри бир секундда неча жоуль иссиқлик олади?

137. Калориметрга температураси 22° С бўлган 900 г сув қуйилган. Шу сувга 100° С гача иситилган 400 г темир қипиғи солинганда сувнинг температураси 26° С бўлган. Темир қипиғининг солиштирма иссиқлик сифимини топинг.

138. Массаси 4,5 кг бўлган темир қозонга 2 кг сув қуйилган. Шу қозонда сувни 25° С дан 100° С гача иситиш учун қанча иссиқлик керак?

139. Вагончани 490 Н куч билан 400 м йўлда судраган отнинг бажарган иши қанча иссиқликка эквивалент?

140. Иситкичдан олинган ҳар бир кЖ иссиқлик ҳисобига идеал двигателъ 340 Ж иш бажаради. Совиткичнинг температураси 323 К бўлса, двигателънинг ФИК ва иситкич температураси топилсин.

141. Цилиндрга 293 К температура ва $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ босим остида 2 кг гелий газни қамалган. Газ кенгайишида температураси 393 К исиган бўлса, бажарилган иш аниқлансин.

142. Карно айланма жараёни бўйича ишлайдиган идеал иссиқлик машинининг иситкичдан олган иссиқлик миқдори $3 \cdot 10^5 \text{ Ж}$ га тенг. Иситкичнинг температураси 373 К, совиткичнинг температураси эса 273 К. Машинанинг бир жараёнда бажарган иши ва совиткичга берган иссиқлик миқдори аниқлансин.

Ҳ б о б. МОДДА АГРЕГАТ ҲОЛАТИНИНГ ЎЗГАРИШИ

Модда тузилишининг молекуляр-кинетик назарияси фақат моддаларнинг газ, суюқ ва каттик ҳолатларда бўла олишини тушунтирибгина қолмасдан, балки уларнинг бир агрегат ҳолатдан бошқа агрегат ҳолатга ўтишини ҳам изоҳлаб беради. Қу-

йида биз моддаларнинг бир ҳолатдан бошқа ҳолатга ўтиши билан боғлиқ бўлган ҳодисаларни кўриб чиқамиз.

113- §. Модданинг суюқ ҳолати

Моддалар уч агрегат (газ, суюқ, қаттиқ) ҳолатда бўлиб, уларнинг физик хусусиятлари ҳолат параметрлари ўзгариши билан бир-бирига ўхшаш бўлиши ҳам ёки тубдан фарқ қилиши ҳам мумкин.

Суюқликларнинг бошқа агрегат ҳолатлардан фарқ қилувчи энг муҳим хусусиятлари қуйидагилардир:

1) Нормал шароитда газ молекулалари орасидаги масофа уларнинг ўлчамларига нисбатан жуда катта бўлиб, зичлиги кичик ва сиқилувчан бўлади, яъни газ молекулалари орасидаги ўзаро тортишиш кучи жуда кичик бўлганлигидан у ўзи солинган идиш ҳажмини тўла эгаллайди ва идиш шаклини олади.

Суюқлик молекулалари эса бир-бирига жуда яқин жойлашган бўлиб, улар орасидаги ўзаро таъсир кучи газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучидан бир неча юз марта катта бўлади. Суюқликларнинг зичлиги газлар зичлигидан анча катта, бинобарин, улар жуда кам сиқилувчандир. Шунинг учун суюқлик газ каби ўзи қуйилган идиш шаклини олса-да, лекин қаттиқ жисм каби ўз ҳажмига эга бўлади.

Газларда молекулалар бетартиб ҳаракатда бўлади, улар тартибсиз жойлашган. Қаттиқ жисмда молекулалар ўз мувозанат ҳолати атрофида фақат тебранма ҳаракат қилади, қаттиқ жисм молекулаларининг жойлашишида аниқ тартиб мавжуддир.

Суюқлик молекулалари қаттиқ жисм молекулалари каби зич жойлашган бўлса-да, унинг ихтиёрий идиш шаклини эгаллаши, яъни оқувчанлиги суюқлик молекулаларининг (газ молекулаларидек бўлмаса-да) озми-кўпми бир-бирига нисбатан эркин ҳаракат қилишини кўрсатади. Шундай қилиб, газ ҳолат (молекулалари тартибсиз ҳаракатда бўлади) билан қаттиқ ҳолат (молекулалар мувозанат ҳолати атрофида тебранади) оралигидаги модда ҳолати суюқ ҳолатдир.

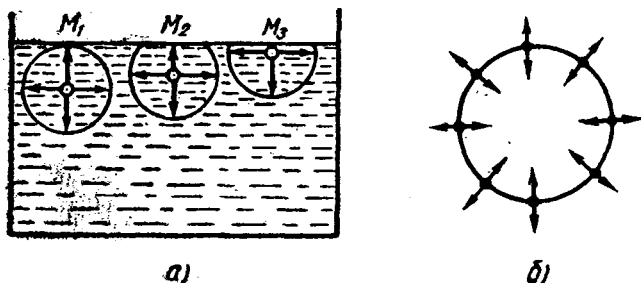
2) Тажрибалар кўрсатадики, суюқликларнинг ҳажмий кенгайиш коэффиенти газларникига нисбатан жуда кичик бўлиб, характерли томони шундаки, босим ортиши билан ҳамма суюқликлар учун бу коэффицент деярли бир хил бўлади.

3) Суюқликларнинг ёпишқоқлиги газларникига нисбатан жуда катта бўлиб, температура ортиши билан камаяди. Ҳар хил суюқликлар учун ёпишқоқлик коэффиенти бир-биридан катта фарқ қилади. Масалан, уй температурасида сувнинг ёпишқоқлиги глицериннинг ёпишқоқлигидан 250 марта камдир.

4) Суюқликларнинг ўзи солинган идиш девори билан чегараланмаган эркин сиртга эга бўлиши муҳим хусусиятлардан биридир.

114- §. Суюқликнинг сирт таранглиги. Сирт қатлам энергияси

Суюқлик ичидаги ҳар бир молекула ўзини ўраб олган бошқа молекулалар билан ўзаро таъсирда бўлади. Суюқлик молекулалари бир-бирига шунчалик яқин жойлашганки, улар орасидаги таъсир кучлари, анча миқдорда бўлади. Бироқ молекулалар орасидаги масофа ортиб бориши билан таъсир кучлари камайиб боради ва маълум масофадан кейин нолга тенг бўлиб қолади. Суюқлик ичида бирор молекулани танлаб, унинг атрофида маркази шу молекулада ётган шундай R радиусли сфера ўтказайлик. Биз танлаган молекула шу сфера ичида ётган ҳамма молекулалар билан таъсирлашади. Агар молекуланинг ана шу сферадан ташқарида ётган молекулалар билан таъсирини ҳисобга олмаса ҳам бўлса, бу сферани *молекуляр таъсир сфераси*, R ни эса *молекуляр таъсир радиуси* деб аталади. Молекуляр таъсир радиуси тахминан 10^{-9} м га яқин бўлади.



172- расм.

Суюқликнинг ички қисмида турган M_1 ва M_2 суюқлик сиртида турган M_3 молекулалар атрофида молекуляр таъсир сферасини чизайлик (172-а расм). Суюқлик ички қатламида турган M_1 молекулага барча қўшни молекулалар томонидан сфера радиуси бўйича йўналган кучлар таъсир қилиб, бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлади. Суюқлик сиртқи қатламида ёки унга яқин қатламда ётган молекулага ҳам таъсир сфераси радиуси бўйича бошқа молекулалар таъсир қилади. Лекин бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлмайди. Чунки таъсир сферасининг суюқлик сиртидан чиқиб турган қисми суюқлик буғида бўлиб, буғдаги молекулалар сони суюқликдаги молекулалар сонидан кам бўлади. Равшанки, M_2 ва M_3 молекулаларга таъсир қилаётган кучларнинг тенг таъсир этувчиси суюқлик ичига томон йўналган бўлади. Шундай қилиб, қалинлиги R бўлган сиртга яқин қатламдаги ҳар бир молекулага суюқликнинг ичига қараб йўналган куч таъсир қилади. Суюқликнинг сиртқи қатлами бутун суюқликка босим беради. Бу босим қатламнинг юз бирлигида ётган барча молекулаларга таъсир қилувчи кучларнинг йиғиндисига тенг. Бу босим ички

ёки молекуляр босим деб аталади. Молекула суюқликнинг ичкарисидан сирт қатламига ўтганида сирт қатламида таъсир қиладиган кучларга қарши иш бажариши керак. Бу ишни молекула ўзининг кинетик энергияси ҳисобига бажаради ва бу иш молекуланинг потенциал энергиясини оширишга сарф бўлади. Молекула сирт қатламидан суюқликнинг ичкарисига ўтганда унинг сирт қатламида эга бўлган потенциал энергияси молекуланинг кинетик энергиясига айланади. Шундай қилиб, суюқликнинг сирт қатлами қўшимча потенциал энергияга эга бўлади, дейиш мумкин.

Ҳар қандай моддани ўз ҳолига (эркин) қўйиб берилса, у энг кичик потенциал энергияга мос келадиган вазиятни эгаллайди. Бу унинг мувозанат вазияти бўлади. Бинобарин, ўз ҳолига қўйиб берилган суюқлик мувозанат ҳолатини эгаллаш учун сирт қатламини қисқартиришга ҳаракат қилади. Шунинг учун суюқлик сиртини қисқаришга интилувчи таранг тортилган эластик пардага ўхшатиш мумкин. Суюқлик сиртини бундай таранг ҳолатини *сирт таранглиги* деб аталади. Суюқликнинг сирт қатламида фикран l узунликдаги доиравий контурни ажратайлик (172 б-расм). Контур билан чегараланган суюқлик сиртининг қисқаришга интилиши шунга олиб келадикки, шу контурни ҳосил қилувчи суюқлик молекулаларини контур ичидаги молекулалар тортади (Ньютоннинг учинчи қонунига кўра контурнинг ташқарисида ётган молекулалар ҳам контурни ҳосил қилувчи молекулаларни катталиги худди шундай, лекин қарама-қарши йўналган кучлар билан тортади). Тортиш кучлари суюқлик сиртига уринма ва контурга тик бўлади. Суюқлик сиртини чегараловчи контурга таъсир қилувчи тортишиш кучларининг йиғиндиси F *сирт таранглик кучи* дейилади. Бу куч контур бўйлаб жойлашган молекулаларнинг сонига, молекулалар сони эса ўз навбатида контурнинг l узунлигига мутаносиб бўлади:

$$F = \alpha l, \quad (48)$$

бу ерда α — суюқликнинг сирт таранглик коэффициентини.

Контурнинг узунлик бирлигига таъсир этувчи сирт таранглик кучи *сирт таранглик коэффициентини* дейилади, яъни:

$$\alpha = \frac{F}{l} \quad (49)$$

Сирт таранглик коэффициентини суюқликнинг табиатига ва температурага боғлиқ бўлади. Температура ортиши билан суюқликнинг молекулалари орасидаги ўртача масофа ортгани учун сирт таранглик коэффициентини камаяди.

Сирт таранглик коэффициентига бошқача таъриф бериш ҳам мумкин. Бунинг учун қуйидаги тажрибани кўз ўнгимизга келтирайлик (173-расм). Π ҳарфисимон букилган симга силжиши мумкин бўлган l узунликдаги av симни кийдирайлик. Шу ҳосил бўлган рамкани совунли сувга туширсак, рамка билан чегара-

ланган сирт совунли сув пардаси билан қопланади. Пардани катталаштириш учун *ав* симга сирт таранглик кучига қарши *F* куч билан таъсир қилиш керак. Рамканинг *ав* томони Δh масофага силжиган бўлсин. Пардани катталаштириш учун бажарилган иш қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta A = F \cdot \Delta h = 2\alpha l \Delta h = \alpha \Delta S$$

бунда $\Delta S = 2l \cdot \Delta h$ — парданинг иккала сиртининг ўзгариши. Бу тенгликдан

$$\alpha = \frac{\Delta A}{\Delta S}. \quad (50)$$

Шундай қилиб, сирт таранглик коэффиценти миқдор жиҳатидан суюқлик сиртини бир бирликка ўзгартириш учун зарур бўлган ишга тенг экан.

Парда сиртини катталаштиришда ΔA бажарилган иш ҳисобига суюқлик сиртининг потенциал энергияси ортади. Шунини қайд қилиш керакки, парда чўзилганида сиртга чиқаётган молекулаларнинг потенциал энергияси ортади, уларнинг иссиқлик ҳаракати кинетик энергияси эса шунга мос равишда камайди. Натижада парда чўзилганда бир оз совийди. Парда қисқарганда эса аксинча исийди. Суюқлик сиртининг қисқаришида сирт потенциал энергиясининг камайиши ҳисобига иш бажарилади. Шундай қилиб, парда сиртининг ўзгариши парда температурасининг ўзгаришига олиб келади. Бу эса ўз навбатида сирт таранглик коэффицентининг ўзгаришига сабаб бўлади. α ни ўзгармас сақлаш учун парда сиртини изотермик чўзиш ёки қисқартириш керак бўлади. Бунинг учун пардани шундай секинлик билан чўзиш ёки қисқартириш керакки, унинг температурасининг ўзгариши атроф-муҳит билан бўладиган иссиқлик алмашиши натижасида компенсацияланади.

Суюқлик сирти потенциал энергиясининг суюқлик сирти изотермик қисқариш ишига айлана оладиган қисми суюқлик сиртининг ΔE эркин энергияси дейилади. У қуйидагига тенг бўлади:

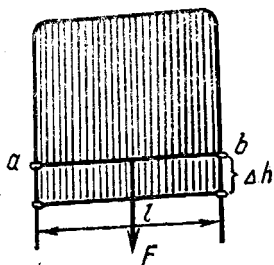
$$\Delta E = \Delta A = \alpha \Delta S \quad (51)$$

Шундай қилиб, сирт таранглик коэффиценти суюқлик сиртини бир-бирликка изотермик ўзгартишга тўғри келадиган эркин энергияга миқдор жиҳатдан тенг экан:

$$\alpha = \frac{\Delta E}{\Delta S}. \quad (52)$$

(49) ва (52) ифодалардан кўринадики, СИ да сирт таранглик коэффиценти $\frac{H}{m}$ ва $\frac{J}{m^2}$ ҳисобида ўлчанади.

Сирт таранглик фақат суюқлик ва буғ чегарасидагина мав-

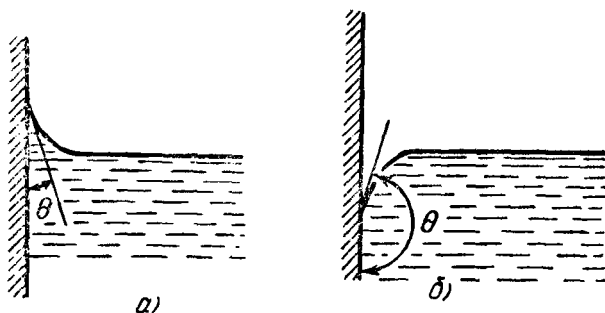


173- расм.

жуд бўлмай, иккита аралашмайдиган суюқлик ёки қаттиқ жисм чегарасида ҳам ҳосил бўлади.

115- §. Ҳўлловчи ва ҳўлламайдиган суюқликлар. Капиллярлик

Айрим суюқликлар қаттиқ жисмни ҳўлласа, бошқалари ҳўлламайди. Бунинг сабабини тушуниш учун 174- расмга эътибор берайлик. Идишга қуйилган суюқлик молекулалари ўзаро таъсирлашишдан ташқари, суюқлик сиртидаги буғ молекулалари билан ҳамда идиш (қаттиқ жисм) молекулалари билан таъсирлашади.



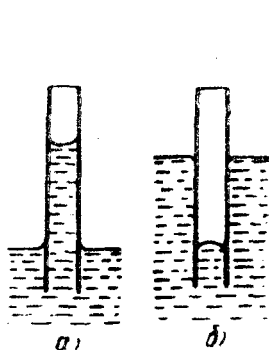
174- расм.

Суюқлик билан унинг сиртидаги буғ молекулаларининг ўзаро таъсирини эътиборга олмасак ҳам бўлади. Бироқ суюқлик билан у солинган қаттиқ жисм молекулалари орасидаги тутиниш кучлари ҳисобга олинарли даражада катта бўлади.

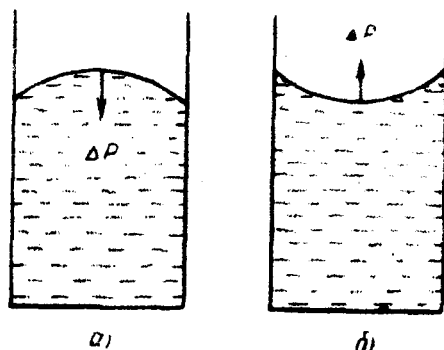
Агар қаттиқ жисм молекулалари билан суюқлик молекулаларининг тутиниш кучлари суюқлик молекулаларининг ўзаро тутиниш кучларидан катта бўлса, суюқлик қаттиқ жисм билан тегишиш чегарасини орттиришга ҳаракат қилади. Бундай суюқликлар қаттиқ жисмни *ҳўлловчи суюқликлар* дейилади. Қаттиқ жисм сирти билан суюқлик сиртига ўтказилган уринма орасидаги Θ бурчак *чегаравий (чекка) бурчак* дейилади. Ҳўлловчи суюқликларда бу бурчак $\frac{\pi}{2}$ дан кичик бўлади (174, а-расм). Идиш деворлари яқинида суюқлик сирти эгриланади — ботиқ эгри сиртдан иборат бўлади.

Агарда суюқлик молекулаларининг ўзаро тортишиш кучлари қаттиқ жисм молекулалари билан суюқлик молекулалари орасидаги тортишиш кучларидан катта бўлса, у ҳолда суюқлик ўзининг қаттиқ жисм билан тегишиш чегарасини каммайтиришга ҳаракат қилади ва иложи борича қаттиқ жисмдан четлашади. Бундай суюқликлар қаттиқ жисмни *ҳўлламовчи суюқликлар* дейилади. Ҳўлламовчи суюқликларда чегаравий бурчак $\Theta > \frac{\pi}{2}$ бўлади (174, б-расм). Идиш деворлари яқинида

нида суюқлик сирти қавариқ эгри сиртдан иборат бўлади. Ҳўлловчи ва ҳўлламовчи суюқликлар тушунчалари нисбийдир. Масалан, симоб кўпчилик моддалар учун ҳўлламовчи, мис ва платина учун ҳўлловчидир ёки сув парафинни ҳўлламайди, лекин тоза шишани ҳўллайди. Агарда $\Theta = 0$ бўлса, мутлақ ҳўлловчи суюқлик, $\Theta = 180^\circ$ бўлса, мутлақ ҳўлламовчи суюқлик дейилади. Аммо табиатда бундай суюқликлар деярли йўқдир.



175- расм.



176- расм.

Шундай қилиб суюқлик ҳўлловчими ёки ҳўлламовчими, ундан қатъи назар, суюқлик сирти эгри (қавариқ ёки ботиқ) бўлар экан. Идиш тор бўлганда суюқлик сирти чеккаларининг эгриланиши суюқликнинг бутун сиртини эгаллайди ва уни бутунлай эгриланган ҳолатга келтиради. Радиуси жуда кичик бўлган шиша най — капиллярни суюқлик ичига туширайлик. Суюқлик ҳўлловчи бўлса, капиллярда унинг сирти кўтарилади (175-а, расм) ва аксинча, ҳўлламовчи бўлса, капиллярда суюқлик сирти идишдаги суюқлик сиртидан пастда бўлади (175-б, расм). Бундай эгриланган сирт *мениск* дейилади. Капиллярда суюқлик сатҳи баландлигининг ўзгариши *капиллярлик* деб аталади. Агар суюқлик сирти ясси бўлмаса, у қисқариб, ясси сиртга интилади ва, равшанки, ички босимдан ташқари Δp қўшимча босим ҳосил бўлади. Сирт қавариқ бўлганда қўшимча босим Δp ички босим йўналишида (176-а расм), сирт ботиқ бўлганда — ички босимга қарама-қарши йўналишда таъсир этади (176-б, расм).

Қўшимча босимнинг катталиги α сирт таранглик коэффициентига ва сиртнинг R эгрилик радиусига боғлиқ бўлади. Суюқликнинг сирти сферик бўлган ҳолда қўшимча босимнинг катталиги қуйидагига тенглигини кўрсатиш мумкин:

$$\Delta p = \frac{2\alpha}{R}. \quad (53)$$

Демак, капилляр радиуси қанча кичик бўлса, қўшимча босим шунча катта бўлади, бинобарин, суюқлик сатҳи идишдаги суюқлик сатҳига нисбатан шунча юқори кўтарилади (ҳўлловчи суюқлик учун) ёки шунча паст тушади (ҳўлламовчи суюқлик учун).

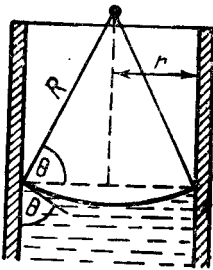
Капиллярдаги суюқлик баландлигини ҳисоблайлик. Агар капиллярнинг радиуси сирт эгрилиги радиусига тенг бўлса, найдаги суюқликнинг сирт эгрилиги натижасида ҳосил бўлган босим кучи $F = \Delta \rho S = \frac{2\alpha}{R} \pi R^2 = 2\alpha \pi R$ таъсирида ундаги суюқлик сатҳи шундай h баландликка кўтариладики, суюқликнинг бу устунчасининг оғирлиги қўшимча босим кучи билан тенглашади:

$$2\pi\alpha R = \pi R^2 h \rho g,$$

бу ерда ρ — суюқликнинг зичлиги, R — суюқлик сиртининг эгрилик радиуси. Бундай капиллярда суюқлик сатҳининг баландлиги қуйидагига тенг бўлади:

$$h = \frac{2\alpha}{\rho g R}. \quad (54)$$

Шундай қилиб, капиллярда суюқликнинг кўтарилиш (ёки пасайиш) баландлиги сирт таранглик коэффициентига тўғри, капилляр радиусига тескари мутаносиб бўлар экан.



Ҳўлловчи (ёки ҳўлламовчи) суюқликларнинг капиллярдаги сирти R радиусли сферанинг бир қисмини ташкил қилса, у ҳолда r капилляр радиуси билан R сферик сирт радиуси орасида $r = R \cos \theta$ боғланиш бoғлиги 177-расмдан кўриниб турибди. Буни эътиборга олсак, (54) қуйидаги кўринишни олади:

$$h = \frac{2\alpha}{\rho g r} \cos \theta, \quad (55)$$

(55) муносабатни *Жюрен формуласи* дейилади.

177- расм.

Капиллярлик ҳодисаси табиатда кенг тарқалган бўлиб, кўпгина жараёнларда ҳал қилувчи роль ўйнайди. Масалан, капиллярлик асосида ердаги суюқлик — озуқа моддалар ўсимликнинг шох ва баргларига кўтарилади: дарахт илдизида капилляр найчалар бўлиб, булар орқали суюқлик кўтарилади ва ўсимлик танаси бўйича тарқалади. Тупроқ капиллярлари бўйлаб сув тупроқнинг чуқур қатламларидан юза қатламларига кўтарилади, буғланиш содир бўлади. Тез буғланишнинг олдини олиш учун ер ҳайдалиб, боронланади, капилляр найчалар бузилади, шу билан тупроқда намни сақлаб қолишга эришилади.

Ердаги намлик иморат деворлари бўйича кўтарилганлиги-

ни кўпчилик кузатган. Бу ҳодисанинг сабаби ҳам капиллярликдир.

Қон томирлари капилляр вазифасини ўтаб, қон айланиши билан боғлиқ бўлган жараёнлар ҳам капиллярлик асосида бўлади.

116-§. Буғланиш ва конденсация

Модда молекулалари хаотик ҳаракатда бўлганлиги туфайли юқори бўлмаган температураларда ҳам тезлиги, бинобарин, кинетик энергияси катта бўлган молекулаларни учратиш мумкин. Бундай молекулалар масалан, суюқликларда бошқа молекулаларнинг тортишиш кучларини енгиши ва суюқликнинг сиртқи пардасини «ёриб ўтиши» ва ташқарига учиб чиқиши, яъни газ ҳолатига ўтиши мумкин.

Модданинг газ ҳолатига ўтиш ҳодисаси буғ ҳосил бўлиши дейилади. Бу жараён суюқликнинг буғланиши ёки қайнаши йўли билан бўлади. *Суюқликнинг эркин* (идиш деворига тегиб турмайдиган) сиртидан ҳар қандай температурада буғ ҳосил бўлиши буғланиш дейилади. Суюқликнинг ичида ва сиртида бир вақтда буғ ҳосил бўлиши қайнаш деб аталади. Фақат суюқликларгина эмас, балки қаттиқ жисмлар ҳам буғланади. Қаттиқ жисмларнинг буғланиши ҳайдаш ёки *сублимация* дейилади.

Буғланишда нисбатан катта кинетик энергияли молекулаларнинг суюқликни тарк этиши суюқлик ички энергиясининг камайишига олиб келади. Шунинг учун суюқлик буғланганда ҳамма вақт совийди. Буғланишда температура ўзгармаслиги учун суюқликка ташқаридан иссиқлик бериш керак. *Муайян температурада суюқликнинг бирлик массасини буғга айлантириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори шу температурадаги солиштирма буғланиш иссиқлиги* дейилади. Таърифга асосан,

$$r = \frac{Q}{m} \quad (56)$$

бўлади, бу ерда r — солиштирма буғланиш иссиқлиги бўлиб суюқликнинг табиатига ва температурага боғлиқ. (56) ифодадан кўринадики, солиштирма буғланиш иссиқлиги СИ да $\frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$ ҳисобида ўлчанади.

Суюқлик ҳар қандай температурада ҳам буғланади. Бироқ температура ортиши билан буғланиш интенсивлиги ортиши равшан, чунки бунда молекулаларнинг кинетик энергияси ортади ва уларнинг суюқлик сирти пардасини «ёриб ўтиши» енгилашади. Шу сабабли температура ортиши билан солиштирма буғланиш иссиқлиги камаяди. Масалан, сув учун солиштирма буғланиш иссиқлиги 273 К да $24,9 \cdot 10^6$ Ж/кг бўлса, 373 К да $2,26 \cdot 10^{10}$ Ж/кг га тенг.

Буғланиш билан бир қаторда унга тескари жараён ҳам юз беради: буғнинг хаотик ҳаракатланаётган молекулалари суюқлик сиртига яқин учиб келаётиб, суюқлик молекулаларининг тортишиш кучлари таъсири сферасига тушиб қолиши ва суюқликка айланиши мумкин. Бу *конденсация* дейилади. Буғланиш ва конденсация бир вақтда боради. Агар молекулаларнинг суюқликдан учиб чиқиш жараёни устунроқ бўлса, суюқлик буғланяпти дейилади, агар молекулаларнинг суюқликка қайтиш жараёни устунроқ бўлса, буғ конденсацияланяпти дейилади.

Суюқликнинг эркин сирти қанчалик катта бўлса ва суюқлик устида ҳосил бўлган буғлар қанчалик тез узоқлашса, буғланиш шунчалик интенсив бўлади. Буғ конденсацияланганда суюқлик молекулалари хаотик ҳаракатининг ўртача тезлиги ортади ва суюқлик исийди. Суюқликнинг буғланиши учун сарфланган иссиқлик миқдори буғнинг унинг конденсацияланишида берган иссиқлик миқдorigа тенг бўлади.

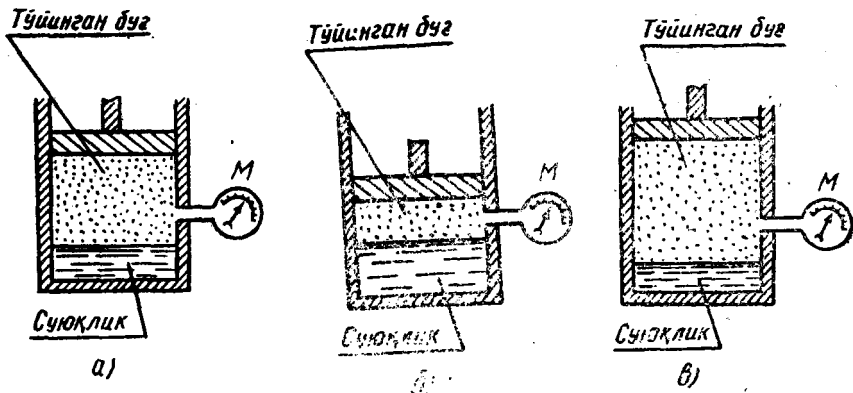
117-§. Тўйинган ва тўйинмаган буғ, уларнинг хоссалари

Очиқ идишда турган суюқлик миқдори вақт ўтиши билан тобора камайиб боради. Бунда суюқликдан учиб чиқаётган молекулалар сони унга қайтаётган молекулалар сонидан кўп бўлади. Агар суюқлик берк идишда бўлса ва дастлаб унинг устида буғ бўлмаган бўлса, у ҳолда буғланаётган молекулаларнинг сони конденсацияланаётган молекулаларнинг сонидан кўп бўлади, яъни буғ миқдори кўпайиб боради. Бу ҳолда суюқлик устидаги буғни *тўйинмаган буғ* дейилади. Бирор вақт ўтгандан сўнг суюқлик устидаги фазода молекулалар сони шунчалик кўп бўладик, суюқликнинг сиртидан вақт бирлиги ичида учиб чиқаётган молекулалар сони шу вақт ичида унга қайтиб тушаётган молекулалар сонига тенг бўлиб қолади. Бундай шароитда суюқлик билан буғ *динамик мувозанатда* бўлади; суюқлик ва буғ миқдори ўзгармайди.

Ўзининг суюқлиги билан динамик мувозанатда бўлган буғ тўйинган буғ дейилади. Шундай йўл билан қарор топган буғнинг зичлиги аниқ бир босимга мос келади. Бу босимни *тўйинган буғнинг босими* ёки *эластиклиги* дейилади.

Буғ қозонларидаги сув буғлари тўйинган буғдир; ёмғирли ва туманли ҳавода атмосферадаги сув буғлари ҳам тўйинган буғга мисол бўла олади.

Агар ўзгармас температурада тўйинган буғ эгаллаб турган ҳажм камайтирилса, масалан, цилиндрда поршень остида суюқлиги билан мувозанатда турган (178-а, расм) буғни сиқсак, мувозанат бузилади, буғ молекулаларининг бир қисми суюқликка ўтади, сувнинг миқдори ортади (178-б, расм). Аксинча, тўйинган буғнинг ҳажми кенгайтирилса, у ҳолда суюқликнинг бир қисми буғланади, сувнинг миқдори камаяди (178-в, расм). Ҳар иккала ҳолда ҳам *M* манометрнинг кўрсатиши бирдай экани кузатилади. Бинобарин, *тўйинган буғнинг эластиклиги ўз-*



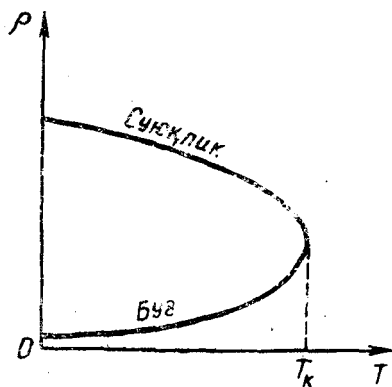
178- расм.

гармас температурада буғ эгаллаб турган ҳажмга боғлиқ эмас, деган хулоса келиб чиқади. Бу ҳол тўйинган буғнинг Бойль — Мариотт қонунига бўйсунмаслигини билдиради.

Тўйинган буғнинг эластиклиги температурага боғлиқ; температура қанча юқори бўлса, буғнинг эластиклиги шунча катта бўлади.

Тўйинган буғнинг эластиклиги температура ортиши билан ортиб боришини кўриш қийин эмас. Ҳақиқатан ҳам, берк идишдаги устида тўйинган буғи бўлган суюқликнинг температураси кўтарилганда суюқликдан учиб чиқиш учун етарли энергияга эга бўлган молекулалар сони ҳам ортади. Бунда буғ билан суюқлик орасидаги мувозанат бузилади, суюқликнинг буғланиши тезлашади ва суюқлик устидаги буғнинг миқдори ортади. Бу эса тўйинган буғ зичлигининг, бинобарин, босимининг (эластиклигининг) ортишига сабаб бўлади; ўзининг буғи билан мувозанатда бўлган суюқликнинг зичлиги эса камаяди, чунки иситилганда суюқлик кенгаяди. Агар суюқликнинг ва унинг тўйинган буғи зичлигининг температурага боғланиш эгри чизиқларини айти бир графикда тасвирласак (179-расм), суюқликка тегишли чизиқ пастга, буғга тегишли чизиқ юқорига қараб кетади ва эгри чизиқ бирор тайинли T_k температурада туташади, яъни суюқликнинг зичлиги буғнинг зичлигига тенг бўлиб қолади.

Суюқликнинг зичлиги билан унинг тўйинган буғининг зичлиги тенглашадиган темпера-



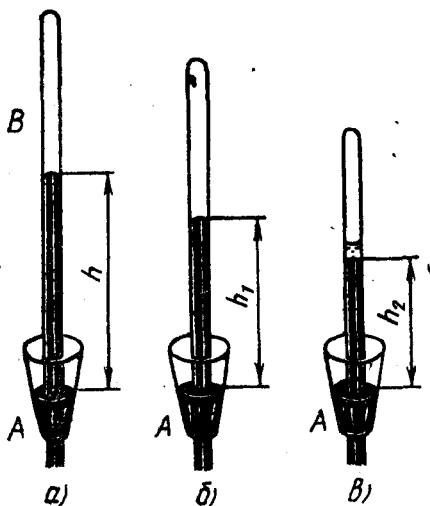
179- расм.

тура критик температура дейилади. Критик температурада суюқлик билан унинг тўйинган буғининг физик хоссалари фарқи йўқолади.

Ҳар бир модданинг ўзининг критик температураси бўлади. Масалан, сув учун $T_k = 647 \text{ K}$, суюқ карбонат ангидрид учун $T_k = 304 \text{ K}$, суюқ водород учун $T_k = 33 \text{ K}$ ва ҳоказо.

Температура ортиши билан тўйинган буғ эластиклигининг ортиби бориши шуни кўрсатадики, тўйинган буғ Гей-Люссак қонунига бўйсунмас экан. Бир хил температурада турли суюқликнинг тўйинган буғларининг эластиклиги турлича бўлади.

Тўйинмаган буғнинг ҳажмини камайтириб босимини орттириш билан тўйинган буғга айлантириш мумкин.



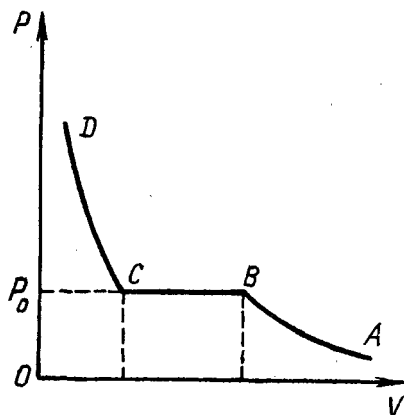
180- расм.

($H - h$) бўлади. Буғ тўйинтирадиган бўлгунча босими ортиб бораверади. Буғ тўйинтирадиган бўлиб қолган пайтдан бошлаб унинг босими ўзгармайди ва $H - h_2$ га тенг бўлади. Бу босим берилган температурада буғнинг энг катта босими бўлади. Найни яна тушира бошласак, бунда симоб устида суюқлик пайдо бўлади (180-в расм).

Тўйинмаган буғни ўзгармас температурада ҳажмини камайтириш йўли билан суюқликка айлантириш график усулда $ABCD$ эгри чизиқ шаклида ифодаланади (181 расм). Бу эгри чизиқнинг AB қисми тўйинмаган буғнинг ҳажми камайиши билан босими ортиб боришини ифодалайди. Босим тўйинган буғ босими (p_0) га етганда ҳажми яна камайтирилса, тўйинган буғ конденсациялана бошлайди. Бутун буғ суюқликка айланиб кетгунча босим ўзгармайди (BC қисм). Бундан кейин

ҳажмнинг озгина камайиши билан босим кескин ортиб кетади. (CD қисм), чунки суюқликлар кам сиқилади.

Юқоридаги тажрибадан кўринадики, тўйинмаган буғни сиқиб суюқликка айлантириш мумкин. Одатда, критик температурадан юқори температурада газсимон ҳолатида бўлган моддага газ, критик температурадан паст температурадаги газсимон ҳолатига буғ деб айтилади. Ҳар қандай газни критик температурадан паст температурадагина сиқиш йўли билан суюқликка айлантириш мумкин. Бундан техникада, масалан, суюқ ҳаво, суюқ кислород, суюқ азот олишда кенг фойдаланилади.



181- расм.

118- §. Қайнаш

Агар тўйинган буғнинг эластиклиги ташқи (атмосфера) босимга тенг бўлса, буғланиш характери ўзгаради: бунда суюқликнинг фақат сиртидагина эмас, балки бутун ҳажмида буғланиш бўлади. Суюқлик ичида унинг сиртига қалқиб чиқадиган ва ёриладиган буғ пуфакчалари ҳосил бўла бошлайди. Бундай *интенсив буғланиш жараёни қайнаш дейилади*. Суюқликнинг пуфакчалар ҳосил қилиб қайнашини қуйидагича тунтириш мумкин.

Аниқланишича, газлар суюқликда эрийди. Жумладан, сувнинг ичида ҳамма вақт ҳаво бўлади. Суюқликнинг температураси ортганда газнинг эрувчанлиги камаяди.

Шунингдек, қаттиқ жисм сирт қатламидаги молекулалар атрофидаги газ (ҳаво) молекулаларини ўзига тортади (тутишиш кучлари туфайли) ва уларни қаттиқ жисм сиртида мустақкам ушлаб туради. Қаттиқ жисм сирт қатламидаги молекулаларга газ молекулаларининг тортилиб ушланиб туриши *адсорбция* дейилади, қаттиқ жисм сирти билан боғлиқ бўлган газ эса *адсорбцияланган газ* дейилади. Демак, суюқлик солинган идиш деворларида ҳар доим адсорбцияланган ҳаво бор, дейиш табиийдир.

Ана шундай идишга сув солиб иситайлик, бунда сувдаги эриган ҳаво адсорбцияланган ҳавога қўшилиб, идишнинг ён деворларида, тубида майда пуфакчалар ҳосил қила бошлайди. Бу пуфакчалар сув билан ўралганлиги туфайли, улар ичида ҳаводан ташқари сув буғлари ҳам бўлади. Сувнинг температураси ортган сари майда пуфакчаларнинг ўзаро қўшилиши

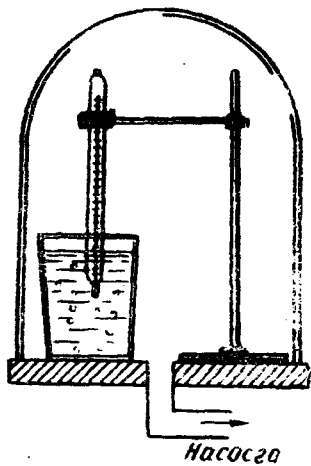
ҳамда пуфакчада буғланадиган сув молекулаларининг сони ортиб бориши сабабли уларнинг ҳажми катталашиб боради. Пуфакчаларнинг ҳажми шу даражагача катталашадики, бунда сув томонидан уларга кўрсатиладиган Архимед кучи девор билан пуфакчалар орасидаги тутиниш кучидан катта бўлиб қолади, натижада пуфакчалар девордан узилиб, аста-секин шифиллаб («куй» чиқариб) юқорига, сув сиртига чиқа бошлайди, суюқлик қайнай бошлайди.

Суюқлик тўйинган буғининг эластиклиги суюқлик сиртига бўлаётган ташқи босимга тенг бўлган температура қайнаш температураси дейилади, чунки шу температурада суюқлик қайнайди. Суюқликнинг қайнаш температураси ташқи босимга боғлиқ бўлади. Нормал босимда суюқликнинг қайнаш температураси қайнаш нуқтаси дейилади. Турли суюқликларнинг қайнаш нуқтаси турли қийматга эга бўлади. Масалан, сувнинг қайнаш нуқтаси 373 К га, скипидарники 430 К га, симобники 630,5 К га тенг ва ҳоказо. Бундан ташқари, қайнаш температураси суюқликнинг таркибидаги аралашмаларга ҳам боғлиқ. Одатда аралашмалар концентрацияси ортганда қайнаш температураси кўтарилади.

Суюқликдаги пуфакчалар буғ ҳосил бўлиш марказлари ролини ўйнайди, бу марказлар бўлмаса, қайнаш жараёни бошланмайди. Шунинг учун бундай марказлар бўлмаганда суюқликнинг қайнай бошлайдиган температураси қайнаш температурасидан баланд бўлади. Бундай суюқлик *ўта қизиган суюқлик* деб аталади.

119-§. Қайнаш температурасининг ташқи босимга боғлиқлиги

Аввалги параграфда кўриб ўтганимиздек, суюқликларнинг қайнаши шу суюқлик тўйинган буғининг босими ташқи босимга тенг бўлганда содир бўлади. Демак,



182- расм.

бундан суюқлик қайнаш температурасининг суюқлик сиртига бўлган ташқи босимга боғлиқлиги келиб чиқади: *ташқи босим қанча кичик бўлса, суюқлик шунча паст температурада қайнай бошлаши керак.* Бун қуйидаги тажриба асосида кузатиш мумкин. Стаканда сув олиб, унга термометр таширайлик. Сўнгра стаканни сийраклаштирувчи насосга уланган тагликка қўйиб, устига шиша қалпоқча тўнкарайлик (182- расм). Насос орқали қалпоқча остидаги ҳавони сўриш бошланганда, стакандаги сув сиртидаги босим камайиб, сув уй температурасида ҳам қайнашини кузатамиз. Шу шароитда сувни узоқ вақт қайнатганимизда стакан-

даги сув аста-секин совиб музлаши ҳам мумкин, чунки сувнинг ички энергияси буғланиш иссиқлигига сарфланиб, температура-си пасаяди.

Денгиз сатҳидан кўтарила борган сари атмосфера босими камайиб боришини биламиз. Шунинг учун сув тоғликда 100°C дан паст температурада қайнайди. Денгиз сатҳидан 5 км баланликда сув 82°C температурада қайнайди.

Суюқлик сиртига бўлаётган босимни орттириш орқали суюқликнинг қайнаш температурасини ошириш мумкин. Масалан, 10⁹Па босимда сувнинг қайнаш температураси 453 К, 33·10⁹Па босимда эса 513 К га тенг. Шу хосса туфайли юқори босимли қудратли буғ двигателларидан фойдаланиш имконияти туғилди. 200000 кВт қувватли буғ турбиналари 190·10⁶ Па босим ва 873 К температурада ишлайди, бу ёнилғини анча тежаш ва қурилманинг ФИК ини оширишга имкон беради.

120- §. Ҳавонинг намлиги

Ҳавода мавжуд бўлган сув буғларининг миқдори намликни ҳосил қилади. Намлик бир қанча катталиклар билан характерланади.

Атмосфера ҳавоси турли хил газлар билан сув буғининг аралашмасидир. Бошқа газларнинг ҳаммаси бўлмаган ҳолда сув буғи бериши мумкин бўлган босим сув буғининг *парциал босими* деб аталади. Сув буғининг парциал босими ҳаво намлигининг характеристикаларидан биридир.

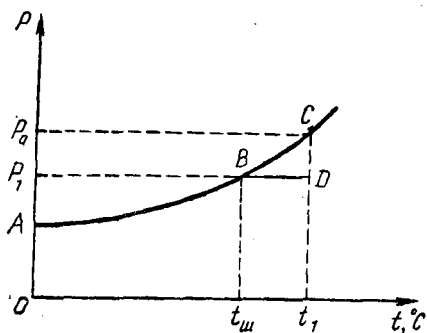
Ҳавода бўлган сув буғининг зичлиги билан ўлчанадиган катталик ҳавонинг абсолют намлиги дейилади ва зичлик бирлигида ўлчанади. Кўриниб турибдики, ҳавонинг абсолют намлиги ҳақида ҳаводаги сув буғининг парциал босими катталигига қараб хулоса чиқариш мумкин. Демак, сув буғининг парциал босими ҳавонинг абсолют намлигини характерлайдиган катталикдир.

Муайян бир температурада ҳаводаги сув буғи парциал босимининг шу температурадаги тўйинган буғнинг эластиклигига нисбатининг фоизларда ифодаланган қиймати ҳавонинг нисбий намлиги дейилади, яъни:

$$\tau = \frac{p}{p_0} 100 \%, \quad (57)$$

бу ерда p — тўйинмаган буғнинг, p_0 — тўйинган буғнинг босими, τ — нисбий намлик. Демак, нисбий намлик ҳавонинг сув буғига қанчалик тўйинганлигини билдиради. Тўйинган сув буғининг p_0 эластиклигининг қийматлари жадваллардан олинганни учун нисбий намликни топиш абсолют намликни аниқлашдан иборатдир.

Ҳавонинг абсолют намлигини шудринг нуқтасидан аниқлаш мумкин. Тўйинган буғ эластиклигининг температурага боғлиқлиги 183-расмда тасвирланган ABC эгри чизик орқали ифодаланади. Тўйин-



183- расм.

маган буғ ўзгармас босим шароитида совитилса, температуранинг маълум қийматида у тўйинган буғга айланади. Фараз қилайлик, t_1 температурада сув буғининг парциал босими p_1 бўлсин. Буғнинг бу ҳолатига диаграммада D нуқта мос келади. Шу буғ p_1 ўзгармас босимда t_1 дан $t_{ш}$ гача совитилса, у тўйинган буғга айланади.

Унинг бу ҳолатига B нуқта мос келади.

Сув буғи тўйинадиган ҳолатидаги $t_{ш}$ температура шудринг нуқтаси деб аталади. Совиётган жисмларда шудрингнинг пайдо бўлиши ҳавонинг сув буғлари билан тўйинганидан дарак беради.

Ҳаво шудринг нуқтасигача совиса, буғ конденсациялана бошлайди: туман ҳосил бўлади, шудринг тушади.

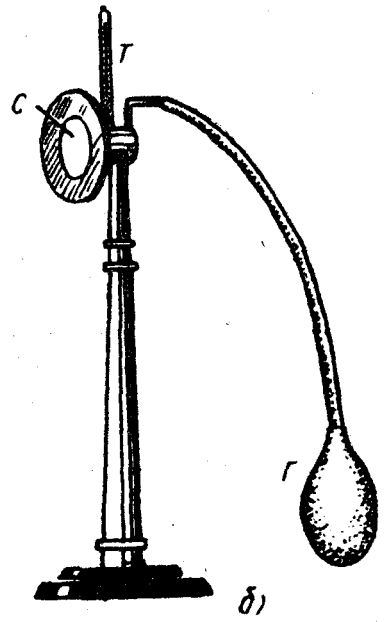
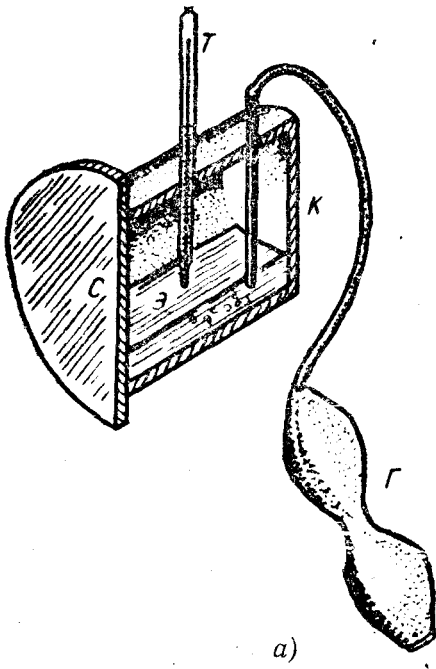
121- §. Намликни ўлчаш

Ҳавонинг намлиги шудринг нуқтасини топиш усули билан ёки психрометрик усул билан аниқланади. Ҳавонинг намлигини топишнинг иккала усулида ҳам жадвал маълумотларидан фойдаланилади.

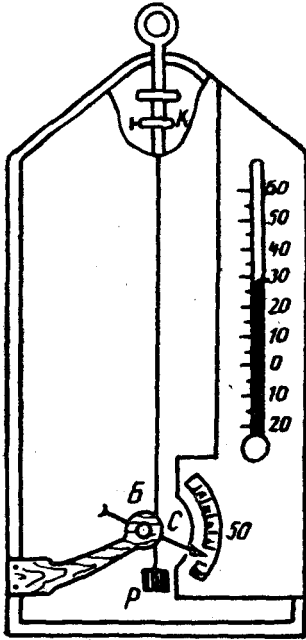
Ҳавонинг намлиги *гигрометр* ва *психрометр* деб аталувчи асбоблар ёрдамида ўлчанади. Қуйида конденсацион ва соч гигрометрлари ҳамда Август психометрининг тузилишини ва улардан қандай фойдаланиш кераклигини кўриб чиқайлик.

Конденсацион гигрометр шудринг нуқтасини безосита аниқлашга имкон беради. K қутича ичига осон буғланадиган суюқлик, масалан, эфир қўйилади ва T термометр киритилади (184- а, б расм). G резина нок ёрдамида қутича орқали ҳаво ўтказиб, эфир тез буғлантирилганда қутича тез совийди. Бундан фойдаланиб, C деворнинг силлиқ юзида шудринг томчилари пайдо бўла бошлагандаги температураси аниқланади. Ҳавонинг температураси ва шудринг нуқтасини билган ҳолда тўйинган буғ эластиклигининг температурага боғланиш жадвали ёрдамида сув буғининг абсолют ва нисбий намлиги топилади. 184- б расмда Ламбрехт конденсацион гигрометрининг ташқи кўриниши тасвирланган.

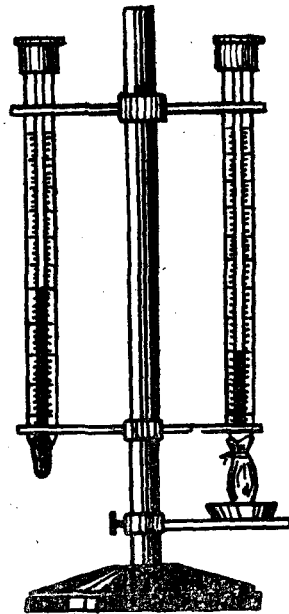
Соч гигрометрининг ишлаши нисбий намлик ошганда одам сочининг ёғдан тозаланган толасининг узайиши хоссасига асосланади. Соч гигрометри гарчи аниқлиги кам бўлса-да, тузилиши жиҳатидан энг содда гигрометрдир (185- расм). Сочининг бир учи K рамкага, иккинчи учи эса стрелкали енгил B блокка ўралади ва кичкина P юкча билан тортиб қўйилади.



184- расм.



185- расм.



186- расм.

Соч узайганда блокка ўрнатилган С стрелка бир томонга, қисқарганда эса бошқа томонга бурилади. Асбоб олдиндан даражаланган бўлади. Бунда тўла қуруқ ҳавога шкаланинг фоизларда ифодаланган «0» нуқтаси, сув буғлари билан тўйинган ҳавога шкаланинг «100» нуқтаси мос келади. Шунинг учун гигрометрнинг стрелкаси бир йўла фоизларда ифодаланган нисбий намликни кўрсатади.

Психрометрларнинг бир неча турлари мавжуд бўлиб, улардан бири Август психрометридир. Август психрометри бири қуруқ, иккинчиси ҳўл термометрдан иборат (186-расм) бўлиб, қуруқ термометр ҳаво температурасини ўлчайди. Иккинчи термометрнинг учига бир томони сувга ботириб қўйилган батис ўралган. Сув буғланиши натижасида термометр совийди. Нисбий намлик қанча кам бўлса, буғланиш шунча тезроқ бўлади ва ҳўл термометрнинг температураси шунча паст бўлади. Иккала термометр температураларининг айирмаси (психрометрик айирма)га қараб махсус (психрометрик) жадвал ёрдамида ҳавонинг намлигини аниқлаш мумкин. Август психрометри ёрдамида ҳавонинг намлиги жуда аниқ ўлчанади.

Ҳавонинг намлиги 40—50% бўлганда ҳаво қуруқ, 80—90% бўлганда нам ҳисобланади. Ҳавонинг намлиги катта бўлганда ёғоч буюмлар шишиб шакли ўзгаради, металл буюмлар занглайди, бу эса уларнинг тезда емирилишига сабаб бўлади. Шунингдек, намликнинг ортиши инсон саломатлигига ҳам салбий таъсир кўрсатади.

Ҳавонинг намлиги кам бўлганда ёғоч буюмлар ўз намлигини йўқотиб, қийшайиб, ёрилиб кетади. Ўсимликлар танасидаги сувини тезда буғлатиб, сўлиб қолади. Инсон ва ҳайвонлар ҳам кучли терлаб таналаридан сув буғланади, натижада кучли чанқоқлик сезилади. Шунинг учун ҳавонинг намлигини билиш зарурдир. Шунингдек, метеорологияда атмосферада бўлаётган ҳодисаларни ўрганиш ва об-ҳавони олдиндан айтиш учун ҳавонинг намлигини билиш муҳим аҳамиятга эга.

122- §. Қаттиқ жисмлар. Кристалл ва аморф жисмлар

Қаттиқ жисмлар маълум шаклга ва ҳажмга эга бўлишлари билан характерланади. Қаттиқ жисмлар бир-биридан ички тузилиши жиҳатидан батамом фарқ қилувчи *кристалл* ва *аморф* жисмлар кўринишида учрайди. Лекин ҳозирги замон физикасида қаттиқ жисм деганда кристалл жисмлар назарда тутилади, аморф жисмлар ўта қовушоқ суюқлик сифатида қаралади.

Кристалл жисмларда атом ёки молекулалар бир-бирига нисбатан маълум бир тартибли вазият эгаллаб жойлашади. Бунинг оқибатида кристаллнинг ташқи кўриниши маълум геометрик шаклга эга бўлади.

Агар кристалл таркиб топган зарраларни бир-бирига тўғри чизик билан туташтирсак, *фазовий ёки кристалл панжара* деб

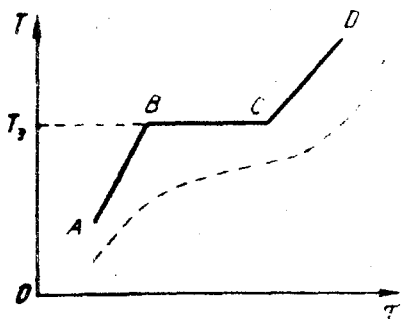
аталадиган панжара ҳосил бўлади. Кристаллнинг айрим зарралари панжарани ҳосил қилган чизиқларнинг кесишган нуқталарида — *панжара тугунларида* жойлашган бўлади. Бу зарралар мусбат ва манфий ионлар, нейтрал атом ва молекулалар бўлиши мумкин. Масалан, ош тузи кристалл панжараларининг тугунларида мусбат натрий (Na) ва манфий хлор (Cl) ионлари, металл кристаллар (Cu, Fe, Al ва ҳоказо) нинг панжара тугунларида металл атомларининг мусбат ионлари, олмос, германий, кремний каби кристалларнинг панжара тугунларида нейтрал атомлар, муз, қуруқ муз (қаттиқ карбонат ангидрид), N_2 , O_2 каби кристалларнинг панжара тугунларида нейтрал молекулалар жойлашган бўлади.

Кристалл панжараларнинг шакллари турли-туман бўлиши мумкин, лекин ихтиёрий бўлмайди. 1890 йилда рус олими Е. С. Фёдоров табиатда фақат 230 хил кристалл панжаралар бўлиши мумкинлигини назарий ҳисоблаб чиқди. Кристаллар устида олиб борилган илмий-тадқиқот ишларининг натижалари Фёдоровнинг назарий ҳисобларига тўла мос келади.

Кристаллнинг энг асосий хоссаларидан бири шундан иборатки, унинг физик хоссалари унда танлаб олинган йўналишга боғлиқ, яъни кристаллнинг хоссаларини характерловчи механик мустаҳкамлик, электр ўтказувчанлик, нур синдириш кўрсаткичлари каби катталиклар кристалл ичида олинган турли йўналишларда турлича қийматга эга бўлади.

Моддаларнинг физик хоссаларининг (механик, оптик, электрик ва ҳ.к.) турли йўналишларда турлича бўлиши *анизотропия* деб аталади. Анизотропия панжара зарраларининг турли йўналишларда турлича зичликда жойлашганлиги билан тушунтирилади. Кристалл жисмларнинг ҳаммаси анизотроп жисмлардир. Улар аниқ эриш температурасига эга бўлади.

Жуда майда кристаллардан ташкил топган модда *поликристалл* модда дейилади. Бу жисмлардаги кристаллар кўпчилик ҳолларда бир-биринга нисбатан тартибсиз жойлашганлиги учун поликристалл жисмлар барча йўналишларда бир хил физик хоссага эга бўлади, яъни улар *изотроп* модда ҳисобланади. Барча зарралари бир умумий фазовий панжарага жойлашадиган жисм *монокристалл жисмлар* дейилади. Масалан, модданинг битта кристаллдан иборат бўлаги монокристалл бўлади. Монокристалл анизотропдир. Кўпчилик минераллар монокристалл ҳисобланади. Металлар поликристалл жисмга мисол бўла олади. Бироқ, эриган металлни секин совитиш йўли билан металл монокристаллини ҳосил қилиш мумкин. Аморф жисмлар кристалл структурага эга бўлмайди, улар ўзларининг ички тузилишлари бўйича суюқликка яқин бўлиб, суюқликдан фақат молекулалар ўртача оралиғининг кичиклиги билан ва шу туфайли молекулалар тортишиш кучларининг катта бўлиши билан фарқ қилади. Аморф жисмлар уларнинг аниқ эриш температурасига эга бўлмаслиги, иситилганда қовушоқликнинг камайиши натижасида суюқ ҳолатга аста-секин юмшаш орқали



187- расм.

лари қаттиқ жисмларникига ўхшаб кетади. Бу ҳолда улар деярли оқмайди. Лекин температура ортган сари аморф жисмлар аста-секин юмшаб, уларнинг хоссалари суюқликларнинг хоссаларига яқинлаша боради.

Агар бирор аморф жисм, масалан, мумни аста-секин иситиб, температуранинг вақт бўйича ўзгаришини текширсак, 187-расмда штрихлаб тасвирланган эгри чизиқни ҳосил қиламиз. Бу графикдан кўринадики, аморф жисмнинг суюқ ҳолатга ўтишида аниқ эриш температураси йўқ. Аммо юмшаш вақтида температуранинг ўсиш тезлиги ортади. Аморф жисмлар совитилганда ҳам аста-секин оқувчанлигини йўқотиб, қаттиқ ҳолатга ўтади.

123-§. Эриш. Солиштирма эриш иссиқлиги

Бир жинсли ва хоссалари бир хил бўлган модда ҳолати унинг *фазаси* дейилади. Жисм қаттиқ, суюқ ва газсимон фазаларда бўлиши мумкин. Модданинг бир фазадан (ҳолатдан) иккинчи фазага (ҳолатга) ўтиши *фазавий ўтиш* дейилади. Масалан, қаттиқ жисмнинг эриши ва суюқ жисмнинг қотиши, суюқликнинг буғланиши ва буғнинг конденсацияланиши фазавий ўтишга мисол бўлади. Жисмнинг бир фазадан иккинчисига ўтиши аниқ бир температурада содир бўлади.

Жисмнинг қаттиқ фазадан суюқ фазага ўтиши *эриш* дейилади. Кристалл жисмлар ташқи босим ўзгармаганда тайинли бир температурада эрийди. *Мазкур кристалл эриган температура шу кристаллнинг эриш температураси* дейилади. Кристалл жисм батамом эриб тугамагунча температура ўзгармайди.

Бирор кристалл жисмга вақт бирлиги ичида бир хил иссиқлик миқдори берилиб борганда унинг суюқ фазага ўтиш жараёни график равишда *ABCD* синиқ чизиқ тарзида ифодаланади (187-расмга қ.)

Жисмга иссиқлик миқдори бера бошласак, эриш температурасига етгунча унинг температураси ошиб боради (*AB* кесма),

ўтиши билан ҳам кристалл жисмдан фарқ қилади. Шуларга асосан, аморф жисмни *ўта совитилган суюқлик* деб ҳисоблаш ҳам мумкин. Аморф жисмларга: шиша, бетон, пластмасса, мум, смола, полимерлар ва бошқалар киради.

Аморф жисмлар ҳар доим изотроп хоссага эга бўлади: уларнинг физик хоссалари ҳамма йўналишлар бўйича бир хил бўлади. Паст температураларда аморф жисмларнинг хосса-

иссиқлик беришни давом эттирсак, батамом эриб тугамагунча унинг температураси ўзгармайди (BC кесма), навбатдаги берилган иссиқлик миқдори суюқ фазадаги жисмнинг температурасини кўтаришга сарфланади (CD кесма). Масалан, бирор сувли идишга муз солиб иссиқ хонага олиб кириб қўйсак, сув ичидаги муз батамом эриб тугамагунча системанинг температураси ўзгармайди. Бунда ташқаридан берилган иссиқлик миқдори музни эритиш учун сарфланади.

Кристалл жисмларнинг эриш вақтидаги сарфланган иссиқлик миқдори кристалл панжаранинг бузилишига сарф бўлади, деган хулосага келиш мумкин. Кристалл жисмлар қайси температурада эриса, шу температурада қотади.

Эриш температурасидаги кристалл модданинг бирлик массасини эритиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори солиштирма эриш иссиқлиги дейилади ва у қуйидаги формула билан аниқланади:

$$\lambda = \frac{Q}{m},$$

бунда Q — эриш температурасида олинган m массали кристалл жисмни эритиш учун сарфланган иссиқлик миқдори унинг эриш иссиқлиги дейилади. λ — солиштирма эриш иссиқлиги, у СИ да Ж/кг ҳисобида ўлчанади. Солиштирма эриш иссиқлигининг катталиги кристаллларнинг хоссаларига ва ташқи босимга боғлиқ.

Жисмлар эриганда ташқаридан иссиқлик миқдори олса, кристалланишда ташқарига иссиқлик миқдори чиқаради. Равшанки, кристалланишда чиқарилган иссиқлик миқдори эриш иссиқлигига тенг.

Ихтиёрий модданинг λ солиштирма эриш иссиқлигини калориметрик усул билан қуйидагича аниқлаш мумкин.

Массаси m_1 ва ичидаги сувининг массаси m_2 бўлган калориметрга m_3 массали эритилган қўرғошинни соламыз. Бунда қўрғошиннинг эритилмасдан аввалги температурасини T_3 , солиштирма иссиқлик сифини c_3 , эриш температурасини T_3 , қотиш температурасини T_K (улар ўзаро тенг: $T_3 = T_K$), шунингдек калориметрнинг солиштирма иссиқлик сифини c_1 , калориметрга солинган сувнинг солиштирма иссиқлик сифини c_2 , калориметр билан сувнинг бошланғич температурасини T_1 , аралашманинг (қўрғошин солингандан кейинги) охириги температурасини T билан белгилайлик.

Тажриба ўтказишдан аввал тарозида юқорида келтирилган m_1 , m_2 , m_3 массаларни тортиб олинади, бошланғич T_1 , T_3 температуралар термометр ёрдамида ўлчанади. Сўнгра эритилган қўрғошин сувли калориметрга солинади. Қўрғошин аввал қотади, кейин совийди, бунда ажралган Q иссиқлик миқдори калориметр билан сувни T_1 дан T температурагача иситади. Термометр ёрдамида аралашманинг T температурасини ўлчаб, қолган катталиклар (c_1 , c_2 , c_3) ни жадвалдан олинади,

сўнгра иссиқлик баланси тенгламаси тузилади. Қўрғошиннинг қотишида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори:

$$Q = \lambda m_3. \quad (a)$$

Қўрғошин T_2 температурадан T гача совиганда ажралган иссиқлик миқдори:

$$Q_3 = m_3 c_3 (T_2 - T), \quad (б)$$

калориметр билан сувнинг T_1 температурадан T гача исиганда олган иссиқлик миқдорлари мос равишда:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T - T_1), \quad (в)$$

$$Q_2 = m_2 c_2 (T - T_1) \quad (г)$$

га тенг бўлади. Иссиқлик баланси тенгламаси қуйидагича бўлади:

$$Q + Q_3 = Q_1 + Q_2, \quad (д)$$

яъни энергиянинг сақланиш қонунига биноан, қўрғошиннинг қотиши ва совиишидаги чиқарган иссиқлик миқдори калориметр билан сувнинг исиганда олган иссиқлик миқдорларига тенг. (д) ифодага иссиқлик миқдорларининг (а, б, в, г) орқали ифодаланган қийматларини қўйсак, у ҳолда

$$\lambda m_3 + m_3 c_3 (T_2 - T) = (m_1 c_1 + m_2 c_2) (T - T_1)$$

муносабатни ҳосил қиламиз. Бундан солиштирма эриш иссиқлигини топамиз:

$$\lambda = \frac{(m_1 c_1 + m_2 c_2) (T - T_1) - m_3 c_3 (T_2 - T)}{m_3} \quad (59)$$

Бу тенглама ёрдамида моддаларнинг солиштирма эриш иссиқлиги ҳисобланади.

Эриш температураси ташқи босимга боғлиқ. Нормал атмосфера босимида модданинг эриш температураси шу модданинг эриш нуқтаси дейилади. Эриш вақтида ҳажми катталашадиган моддаларнинг эриш температураси ташқи босим ортиши билан ортади; эриш вақтида ҳажми кичрайдиган баъзи моддаларнинг, жумладан муз, сурьма висмут, чўян каби моддаларнинг эриш температураси ташқи босим ортиши билан пасаяди. Бунинг сабаби, бу моддалар эриганда ҳажми кичрайиши билан бирга ташқи босимнинг ортиши ҳам уларнинг ҳажмининг кичрайишига, яъни эришга ёрдам беради, натижада эриш температураси пасаяди. Масалан, муз $336 \cdot 10^3$ Па босим остида 270 К да эрийди.

Юқорида айтиб ўтилган моддалар (муз, чўян ва ҳоказо, нинг эриганда сиқилишининг сабаби, уларнинг кристалл панжараларида бўшлиқнинг кўплигидадир. Улар эриганда бўшлиқлар шу модданинг молекулалари билан тўлади ва натижада зичлик ортади. 273 К да музнинг зичлиги 920 кг/м³ бўлса, сувнинг зичлиги $999,9$ кг/м³ га тенг. 277 К да эса сув

максимал зичлик 1000 кг/м³ га эришади. Тоғ жинсларининг емирилиш ҳолларининг сабабларидан бири сув музлаганда унинг ҳажмининг ортишидадир.

Икки ёки бир неча қаттиқ қисмлардан иборат аралашмалар *қотишмалар* деб аталади. Қотишмалар ажойиб хоссага эга. Уларнинг эриш нуқтаси қотишма таркибидаги энг осон эрувчи модданинг эриш температурасидан ҳам ҳамма вақт паст бўлади. Масалан, икки қисм қалай ва бир қисм қўрғошиндан иборат қотишmani кўрайлик. Бу қотишма 442 К да эрийди, ҳолбуки қўрғошиннинг эриш температураси 600 К, қалайнинг эриш температураси эса 505 К.

Осон эрувчан қотишмалар техникада кенг қўлланилади, масалан, босмахона ишларида стереотиплар тайёрлашда, сақлагич тиқинларини тайёрлашда ва шу сингари жойларда ишлатилади. Қотишмаларнинг соф металллар эга бўлмаган бошқа муҳим хосслари ҳам бор. Масалан, уларнинг эластиклиги, қаттиқлиги, қовушоқлиги, мустаҳкамлиги катта бўлади.

Такрорлаш учун саволлар

1. Буғланиш ва конденсация нима?
2. Суюқликнинг буғланишини молекуляр-кинетик назария асосида қандай тушунтириш мумкин?
3. Солиштирма буғланиш иссиқлиги нима ва у қандай бирликларда ўлчанади?
4. Қайнаш нима, қайнаш нуқтаси ва унинг ташқи босимга боғлиқ бўлишини қандай тушунтирасиз?
5. Тўйинган ва тўйинмаган буғлар орасидаги фарқни тушунтиринг.
6. Намлик ва уни характерловчи параметрлар ҳақида тушунча беринг.
7. Кристалл ва аморф жисмларни тушунтиринг, уларнинг анизотропик ва изотропик хоссаларини қандай тушунасиз?
8. Эриш нуқтаси деб нимага айтилади? Эриш нуқтаси қандай моддаларга хос параметр?
9. Солиштирма эриш иссиқлиги деб нимага айтилади ва у қандай бирликда ўлчанади?
10. Солиштирма эриш иссиқлигини қандай ўлчаш мумкин?
11. Эриш температурасининг ташқи босимга боғлиқлигини тушунтиринг.

Масала ечиш намуналари

1-масала. Бирор очиқ идишга солинган сув сатҳидан вақт бирлиги ичида $3 \cdot 10^{19}$ дона молекула учиб чиқаётган бўлса, 5 суткада қанча миқдор сув буғланади?

$$\text{Берилган: } n = 3 \cdot 10^{19} \frac{\text{дона}}{\text{с}}, \tau = 5 \text{ сутка} = 432000 \text{ с}, \mu = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}, \\ N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль.}$$

Топиш керак: M —?

Ечилиши: Бир дона сув молекуласининг массаси (5а) тенгламага асосан қуйидагича ифодаланади:

$$m_0 = \mu / N_A,$$

бунда μ — 1 кмоль сувнинг массаси, N_A — Авогадро сони. Вақт бирлигида буғланаётган сув массаси $m = m_0 n$ га тенг бўлади. Шунга кўра τ вақт ичида учиб чиққан молекулаларнинг массаси, яъни буғланган сув массаси:

$$M = m \tau$$

га тенг бўлади. Бу тенгликка m ва m_0 ларнинг юқоридаги ифодаларини қўйиб, қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$M = \frac{\mu}{N_A} \cdot n \tau.$$

Ҳисоблаш:

$$M = \frac{18 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}} \cdot 3 \cdot 10^{19} \cdot \frac{1}{c} \cdot 432000 \text{ с} \approx 0,4 \text{ кг}.$$

2-масала. Температураси 283 К бўлган 0,1 кг сувни қайнашгача етказиш ва унинг 0,01 кг ини бугга айлантириш учун қанча иссиқлик миқдори керак?

Берилган: $T_1 = 283 \text{ К}$, $m_1 = 0,1 \text{ кг}$, $T_2 = 373 \text{ К}$, $m_2 = 0,01 \text{ кг}$, $c = 4,19 \cdot 10^3 \text{ Ж/кг} \cdot \text{К}$, $r = 22,6 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$.

Топиш керак: $Q = ?$

Ечилиши: m_1 массали сувни T_1 температурадан T_2 қайнаш температура-сигача иситиш учун сарфланган иссиқлик миқдори, (42) тенгламага асосан, қуйидагича ифодаланади (нормал атмосфера босимида $T_2 = 373 \text{ К}$ га тенг):

$$Q_1 = m_1 c (T_2 - T_1).$$

Қайнаш температурасида m_2 массали сувни бугга айлантириш учун сарфланган иссиқлик миқдори (56) тенгламага асосан, қуйидагича тенг:

$$Q_2 = m_2 r.$$

Умумий сарфланган иссиқлик миқдори

$$Q = Q_1 + Q_2$$

га тенг бўлади. Иссиқлик миқдорларининг юқоридаги ифодаларини охириги формулага келтириб қўйиб, қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$Q = m_1 c (T_2 - T_1) + r m_2.$$

Ҳисоблаш:

$$Q = 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 90 \text{ К} + 22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \cdot 0,01 \text{ кг} = 60,3 \cdot 10^3 \text{ Ж} = 60,3 \text{ кЖ}.$$

3-масала. Температураси 288 К бўлган 3 кг сув 0,5 кг массали алюминий чойнакка қуйилган. Чойнак қуввати 3,5 кВт, ФИК 42% бўлган газ горелка-сига қўйилган, 15 минутдан кейин сув қайнаб, қанчаси буғланиб кетади?

Берилган: $T_1 = 288 \text{ К}$, $m_1 = 3 \text{ кг}$, $m_2 = 0,5 \text{ кг}$, $T_2 = 373 \text{ К}$, $N = 3,5 \text{ кВт} = 3,5 \cdot 10^3 \text{ Вт}$, $\eta = 42\% = 0,42$, $\tau = 15 \text{ мин} = 900 \text{ с}$, $r = 22,6 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$, $c_1 =$

$$= 4,19 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}, c_2 = 896 \frac{\text{Ж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Топиш керак: $\Delta m = ?$

Ечилиши: m_1 массали сувни қайнатиш, m_2 массали чойнакни иситиш ва Δm массали сувни бугга айлантириш учун сарфланган иссиқлик миқдорларининг йи-гиндиси

$$Q_{\Phi} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

Фойдали иссиқлик миқдори ҳисобланади, бу ерда Q_1 — сувнинг олган иссиқлик миқдори, Q_2 — чойнакнинг олган иссиқлик миқдори, Q_3 — Δm массали сувни бугга айлантиришдаги сарфланган иссиқлик миқдори. Бу иссиқлик миқдори газ горелкасининг берган Q умумий иссиқлик миқдори билан $Q_{\Phi} = \eta Q$ муносабат орқали боғланган. Q катталик жиҳатидан горелканинг τ вақт ичида берган уму-

мий иссиқлик миқдорига тенг, яъни $Q = N \tau$ бўлгани учун $Q_{\Phi} = \eta N \tau$ деб ёза оламиз, бу ерда N — газ горелкасининг қуввати, τ — сувнинг қайнаши ва буғланиши учун сарфланган вақт.

Чойнакдаги сув ҳамда чойнакнинг олган иссиқлик миқдорлари қуйидагича ифодаланади:

$$Q_1 = m_1 c_1 (T_2 - T_1), \quad Q_2 = m_2 c_2 (T_2 - T_1).$$

Δm массали сувни буғлатиш учун сарфланган иссиқлик миқдори

$$Q_3 = r \cdot \Delta m$$

бўлади. Q , Q_1 , Q_2 ва Q_3 лар учун ҳосил қилинган ифодаларни иссиқлик баланси тенгламасига қўйиб, қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$\eta \cdot N \tau = (c_1 m_1 + c_2 m_2) (T_2 - T_1) + r \Delta m,$$

бу муносабатдан Δm ни топсак, у ҳолда

$$\Delta m = \frac{\eta N \tau - (c_1 m_1 + c_2 m_2) (T_2 - T_1)}{r}$$

ҳосил бўлади.

Ҳисоблаш:

$$\Delta m = \frac{0,42 \cdot 3,5 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{с}} \cdot 900 \text{ с} - (4190 \cdot 3 + 896 \cdot 0,5) \frac{\text{Ж} \cdot \text{кг}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \cdot 85 \text{ К}}{22,6 \cdot 10^6 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}} \approx 0,094 \text{ кг}.$$

4-масала. Сиртининг юзи $2,0 \text{ м}^2$ бўлган кўлмак сув 273 К температурада 2 мм қалинликдаги муз билан қопланган. Бунда атроф-муҳитга қанча иссиқлик миқдори ажралган?

Берилган: $S = 2,0 \text{ м}^2$, $T = 273 \text{ К}$, $h = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$, $\rho = 0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Топиш керак: Q —?

Ечилиши: Кўлмак сув сиртидаги музнинг ҳосил бўлишидаги атрофга ажратган иссиқлик миқдори (58) тенгламага асосан, қуйидагича ифодаланади:

$$Q = \lambda m,$$

бунда λ — музнинг солиштирма эриш иссиқлиги, m — кўлмак сув сиртида ҳосил бўлган музнинг массаси.

Масала шартида m берилмаган, лекин масала шартида берилган катталиклар орқали зичлик формуласидан фойдаланиб, массани қуйидагича топиш мумкин:

$$m = \rho V,$$

бу ерда ρ — музнинг зичлиги, V — музнинг ҳажми, у музнинг юзи S ва қалинлиги h орқали қуйидагича топилади:

$$V = Sh,$$

у вақтда музнинг атроф-муҳитга ажратган иссиқлик миқдори $Q = \lambda \rho Sh$ бўлади.

Ҳисоблаш:

$$Q = 3,3 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \cdot 0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 2 \text{ м}^2 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 11,88 \cdot 10^6 \text{ Ж}.$$

5-масала. Автомобиль қорли йўлда ўрнидан жилмай, ғилдираклари сирпаниб айланаётганда 15 кВт қувват сарф қилди. Температураси 273 К бўлган қордан 10 кг ни эритиш учун автомобиль ғилдираклари қанча вақт ҳаракатланиши керак? Қорнинг солиштирма эриш иссиқлиги $3,35 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$.

Берилган: $N = 15 \text{ кВт} = 15 \cdot 10^3 \text{ Вт}$, $T_1 = 273 \text{ К}$, $m = 10 \text{ кг}$, $\lambda = 3,35 \cdot 10^5 \text{ Ж/кг}$.

Топиш керак: τ —?

Ечилиши: m массали қорни эритиш учун сарфланган иссиқлик миқдори (58) тенгламага асосан қуйидагича ифодаланади:

$$Q = \lambda m.$$

Энергиянинг бир турдан иккинчи турга айланиш қонунига асосан, автомобилнинг сарфлаган қуввати ҳисобига бажарилган $A = N\tau$ механик иш 10 кг қорни эритишга сарфланади, шунинг учун қуйидаги тенгликни ёза оламиз:

$$\lambda m = N \tau,$$

бундан

$$\tau = \frac{\lambda m}{N}$$

эканлиги келиб чиқади.

Ҳисоблаш:

$$\tau = \frac{3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ кг}}{15 \cdot 10^3 \text{ Вт}} = 223,3 \text{ с} \approx 3 \text{ мин } 43 \text{ с}.$$

Мустақил ечиш учун масалалар

143. Нима учун ҳовуздаги сув сиртидан музлайди?

144. Нима учун очиқ ҳавзалардаги сув ҳарорати ёз кунлари атроф ҳароратидан паст бўлади?

145. Ботқоқлик ерларда куннинг исиб кетиши қуруқ ерларга нисбатан киши организмига ёмон таъсир кўрсатади. Сабабини тушунтиринг.

146. 273 К температурали 0,04 кг музни 373 К температурали бугга айлантириш учун қанча иссиқлик миқдори сарфлаш лозим?

147. Температураси 273 К бўлган дўл донаси Ерга урилиб эриб кетиши учун қандай баландликдан тушиши керак? Ҳавонинг қаршилигини ҳисобга олмаг.

148. 10 кг сувни 373 К гача иситиш ва бугга айлантириш учун $26 \cdot 10^6$ Ж иссиқлик миқдори сарфланган. Сувнинг бошланғич температураси қанча бўлган?

149. Температураси 263 К бўлган 1 кг музни эритиш ва температурасини 293 К гача кўтариш учун қанча иссиқлик миқдори сарфланган?

150. Температураси -10°C бўлган 20 кг музни 100°C температурали сувга айлантириш учун қанча иссиқлик керак?

151. Массаси 200 г бўлган мисдан ясалган калориметрга температураси 16°C бўлган 100 г сув қуйилган. Сувга 9,3 г массали 0°C температурали муз парчаси солинганда, у батамом эриган. Сувнинг охири температураси 9°C бўлиб қолган. Шу сонларга асосан музнинг солиштирма эриш иссиқлигини аниқланг.

152. Температураси 100°C бўлган 500 г сув буғи сувга айланиб, шундан ҳосил бўлган сув 20°C гача совиганда қанча иссиқлик чиқаради?

153. 0°C температурали 30 кг сув қуйилган идишга температураси 100°C бўлган, 1,84 кг сув буғи юборилди, натижада сувнинг температураси 37°C га чиқди. Сувнинг солиштирма буғланиш иссиқлигини топинг.

И Л О В А

Халқаро система (СИ)даги асосий ва қўшимча бирликлар

| Катталикларнинг номи | Номи | Катталикнинг ўлчов бирлиги | |
|-------------------------|-----------|----------------------------|--|
| | | Белгиси | Таърифи |
| Асосий бирликлар | | | |
| Узунлик | Метр | м | Криптон-86 атомининг $2p_{10}$ ва $5d_5$ сатҳлари орасидаги ўтишга мос бўлган нурланишнинг вакуумдаги тўлқин узунлиги 1 650 763, 73 га тенг бўлган узунликни 1 метр деб қабул қилинган. |
| Масса | Килограмм | кг | Килограммнинг халқаро прототипининг массаси 1 килограмм деб қабул қилинган. |
| Вақт | секунд | с | Цезий-133 атом асосий ҳолатининг икки ўта нозик сатҳлари орасидаги ўтишга мос бўлган 9 192 631 770 нурланиш даврига тенг вақт 1 секунд деб қабул қилинган. |
| Электр тоқининг кучи | ампер | А | 1 ампер ток вакуумдаги бир-бирдан 1 м масофада жойлашган икки параллел чексиз узун, лекин кўндаланг кесими жуда кичик тўғри ўтказгичлардан ўтганда ўтказгичнинг ҳар бир метр узунлигида $2 \cdot 10^{-7}$ Н куч таъсир қилади. |
| Температура | кельвин* | К | Сувнинг учланма нуқтасини характерловчи температуранинг $\frac{1}{273,16}$ улуши 1 кельвин деб қабул қилинган. |
| Модда миқдори | моль | моль | Углерод 12 нинг 0,012 кг массасидаги атомлар сонига тенг структуравий элемент (масалан, атом, молекула ёки бошқа зарра) лардан ташкил топган системадаги модданинг миқдори 1 моль деб қабул қилинган. |
| Ёруғлик кучи | кандела | кд | 101 325 Па босим остидаги платинанинг қотиш температурасига тенг температурадаги тўла нурлангичнинг $\frac{1}{600000}$ м ² юзидан тик йўналишда чиқётган ёруғлик кучини 1 кандела деб қабул қилинган. |

* Кельвин ва унинг белгиланиши температуралар интервали ва фарқини ифодалашда ҳам қўлланилади.

| Катталикларнинг номи | Номи | Катталикининг ўлчов бирлиги | |
|--------------------------|-----------|-----------------------------|---|
| | | Белгиси | Таърифи |
| Қўшимча бирликлар | | | |
| Ясси бурчак | радиан | рад | Айланада узунлиги радиусга тенг бўлган ёни ажратадиган икки радиус орасидаги бурчак 1 <i>радиан</i> деб қабул қилинган. |
| Фазовий бурчак | стерадиан | ер | Учи сфера марказида жойлашган ва шу сфера сиртидан радиус квадратига тенг юзли сиртни ажратувчи фазовий бурчак 1 <i>стерадиан</i> деб қабул қилинган. |

Ўнли ва каррали бирликлар ҳосил қилиш учун СИ да қўлланиладиган кўпайтувчилар ва олд қўшимчалар ҳамда уларнинг номлари

| $1\ 000\ 000\ 000\ 000 + 10^{12}$ | Олд қўшимча | Белгиси |
|---|-------------|---------|
| $1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$ | тера | Т |
| $1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$ | гига | Г |
| $1\ 000\ 000 = 10^6$ | мега | М |
| $1\ 000 = 10^3$ | кило | к |
| $100 = 10^2$ | гекто | г |
| $10 = 10^1$ | дека | да |
| $0,1 = 10^{-1}$ | деци | д |
| $0,01 = 10^{-2}$ | сант | с |
| $0,001 = 10^{-3}$ | милли | м |
| $0,000\ 001 = 10^{-6}$ | микро | мк |
| $0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$ | нано | н |
| $0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$ | пико | п |
| $0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$ | фемто | ф |
| $0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$ | атто | а |

Изоҳ. Олд қўшимчалар шундай танланадики, катталикларнинг сон қийматлари 0,1... 1000 чегарасида бўлиши керак.

ЖАВОБЛАР

- 1) 6,4 м; 4 м; -5 м; 2) $\approx 3,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $s = v \cdot t$. 3) 216 м; $21 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 4) $1,75 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;
 5) $7,1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 7) 0,4 м; 5,2 м; 18 м. 8) $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 9) $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $0,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $-1,6 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$;
 15 с; $4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 10) ≈ 10 с; $100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 11) $\approx 0,5$ с. 12) 2,2 с. 13) 14,7 м. 14) 78,4 м.
 39,2 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. 15) $2,7 \cdot 10^{-3}$ м/с². 16) $3,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}$. 17) $32 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $228 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 18) 20 м.
 19) 4 с. 80 м; 8 с; 240 м. 20) $\sim 30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 34,4 м. 21) $\sim 10,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; 30°.
 22) $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 23) 0,26 кг; 0,09 кг. 24) ~ 66 м. 25) $\approx 8,3 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 26) 10^{-4} МН,
 0,1 кН, 10^5 мН, 10^8 мкН. 27) 74 Н. 28) $4 \cdot 10^3$ Н. 29) 98 кг. 30) 10 марта.
 31) 0,2 кг. 32) $1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 33) $2 \cdot 10^7$ кг $\frac{\text{м}}{\text{с}}$; $2 \cdot 10^5$ Н. 34) 510 м. 35) ~ 25 Н;
 ~ 8 Н; ~ 12000 Н; $\sim 0,5$ Н. 36) 153 Н. 37) 1078 Н. 39) 0,041. 40) ~ 1225 кг.
 41) ~ 65 м. 42) 100 Н. 43) 10^{-2} м. 44) 25 Н. 45) 220 Н; 380 Н; 430 Н.
 46) $1,35 \cdot 10^{-3}$ м. 47) $k \geq 0,03$. 48) 0,33 Н. 49) ~ 18 м. 50) 2,8 кН. 51) $1,2 \times$
 $\times 10^4$ кг. 52) $8,5$ м/с². 53) ~ 2600 км. 54) ~ 28 марта. 55) ~ 700 Н; ~ 900 Н;
 ~ 700 Н. 56) 10 м/с. 57) $1,7 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$: 1 соат 50 минут. 58) $-12,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 59) $0,04 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
 га камаяди. 60) 620 м. 61) 500 Н. 62) $4,3 \cdot 10^3$ Ж. 63) $\sim 5 \cdot 10^3$ Ж.
 64) $5 \cdot 10^4$ Ж. 65) $\sim 35 \cdot 10^3$ Ж. 66) $1,3 \cdot 10^8$ Ж. $6,5 \cdot 10^3$ Вт. 67) 15 минут.
 68) 58,8 Ж. 69) 0,2. 70) $4,8 \cdot 10^3$ Н. 71) 8,5 м. 72) $74 \cdot 10^3$ кг. 73) $u_1 = 0,6$ м/с;
 $u_2 = 2,6$ м/с; $u_1 = u_2 = 1,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 74) 7,5 Ж. 75) 500 Н; 76) 400 Н.
 77) 50 Н; ~ 87 Н. 78) 5,8 Н; 11,6 Н. 79) Ўртасидан 1,5 м масофада енгил
 бола томонга. 80) ~ 30 Н. 81) 200 Н; 400 Н. 82) Иккинчи учи томон 0,2 м га
 кўчади. 83) 90 марта; 100 марта. 84) 29,4 кН. 85) 4,9 кПа; 3,9 кПа; 66,6 кПа.
 86) ~ 40 м. 88) 27,2 мм. 89) $0,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 90) 0,02 м. 91) ~ 460 м. 92) $2,5 \times$
 $\times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. 93) $0,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}$. 94) Ҳа. 95) 1,53 м². 96) $x = 10 \sin 4 \pi t$ см. 97) 1
 секунддан сўнг. 98) 15 см; 2 с; $\frac{3\pi}{2}$; $47 \frac{\text{см}}{\text{с}}$; $150 \frac{\text{см}}{\text{с}^2}$. 100) 0,7 с. 101) $9,86 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.
 102) 42°50'. 103) $\sim 15,8$ Н/м. 104) 0,4 м. 105) 0,1 м. 106) 0,049 Ж. 107) 4 Гц.
 2,8 Ж; $3,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 108) $2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 109) $x = 0,05 \sin 2 \pi t$ $= -0,05 \cos 2 \pi t$.
 110) 4,35 марта. 111) 0,51 км. 112) $1,7 \cdot 10^{-2}$ м. 113) $\sim 349,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 114) $350 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

- $30 \frac{M}{c}$. 115) 180° . 116) $0,025 \text{ м}$. 117) $\sim 3,3 \cdot 10^{-21} \text{ кг}$; $5,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$.
 118) $2,7 \cdot 10^{25}$ дона. 119) $3,3 \cdot 10^{22}$ дона. 120) $1,1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. 121) $11,2 \text{ м}^3$.
 122) $2,7 \cdot 10^{-28}$ дона. 123) $0,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$. 124) $\sim 12,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. 125) а) (1—2)
 изотерма, (2—3) изобара, б) (1—2)—изобара, (2—3)—изотерма. 126) $1,41 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;
 127) $\sim 5,7 \cdot 10^{-21} \text{ Ж}$. 128) $22,5 \cdot 10^{15}$. 129) $\sim 77,3 \text{ кг}$. 130) $\sim 40 \text{ кг}$.
 131) $29,2 \cdot 10^3 \text{ Ж}$. 132) $2,3 \cdot 10^2 \text{ кЖ}$; $22,3 \cdot 10^2 \text{ кЖ}$. 133) $328,5 \text{ К}$. 134) 300 К .
 135) 10^3 м . 136) $1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \text{с}}$. 137) $510 \frac{\text{Ж}}{\text{кг.К}}$. 138) 784 кЖ . 139) 196 кЖ .
 140) 34% ; 489 К . 141) $\sim 4,15 \cdot 10^3 \text{ кЖ}$. 142) 80 кЖ ; $2,2 \cdot 10^2 \text{ кЖ}$. 143) Сув
 музлаганда унинг зичлиги камаяди ва натижада зичлиги кичик бўлган муз сув
 сиртида бўлади. 144) Сувнинг буғланиши учун керак бўлган энергия очик ҳав-
 задаги сувнинг ички энергияси ҳисобидан бўлади. 145) Буғланиш ортиши нати-
 жасида атмосферадаги сув буғларининг босими ортади. 146) $1,20 \cdot 10^5 \text{ Ж}$.
 147) $\sim 34 \text{ км}$. 148) 292 К . 149) $43,5 \cdot 10^4 \text{ Ж}$. 150) $15,4 \text{ МЖ}$. 151) $3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг.К}}$.
 152) $\sim 1,3 \text{ МЖ}$. 153) $22,6 \cdot 10^5 \frac{\text{Ж}}{\text{кг}}$.

ҲОИДАЛАНИЛГАН ВА ТАВСИЯ ЭТИЛАДИГАН АДАБИЁТ РЎИХАТИ

1. Н. Н. Евграфова, В. Л. Каган. Курс физики для подготовительных отделений, М., «Высшая школа», 1978.
2. Н. Д. Битько. Физика. 1 ва 2 қисмлар, Тошкент «Ўқитувчи», 1973.
3. Элементарный учебник физики. под ред. акад. Г. С. Ландсберга, М., «Наука» 1969, 1-том.
4. И. П. Гурский. Элементарная физика с примерами решения задач, М., «Наука», 1984.
5. С. П. Мясников, Т. Н. Осанова, Пособие по физике. М., «Высшая школа», 1976.
6. Л. С. Жданов. Физика курси. Тошкент, «Ўқитувчи», 1980.
7. А. К. Кикоин, И. К. Кикоин, Физика—9, Тошкент, «Ўқитувчи», 1990.
8. Б. Б. Буховцев, Ю. Л. Климантович, Г. Я. Мякишев, Физика—10, Тошкент, «Ўқитувчи», 1990.
9. Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, Физика—11, Тошкент, «Ўқитувчи», 1990.
10. А. В. Пёришкин, Н. А. Родина, Физика—8, Тошкент, «Ўқитувчи», 1990.
11. А. В. Пёришкин, Н. А. Родина. Физика—7, Тошкент, «Ўқитувчи», 1990.
12. А. П. Римкевич, Физикадан масалалар тўплами, Тошкент, «Ўқитувчи», 1990.
13. В. П. Демкович, Л. П. Демкович. Физикадан масалалар тўплами, Тошкент, «Ўқитувчи», 1975.
14. Б. Б. Буховцев. Элементар физикадан масалалар тўплами, Тошкент, «Ўқитувчи», 1973.
15. Р. А. Гладкова, В. Е. Добронравов, Л. С. Жданов, Ф. С. Цодиков. Сборник задач и вопросов по физике. М., «Наука», 1980.
16. Физика. Пособие для подготовительных отделений. под ред. проф. М. В. Белоуса. Киев, «Вища школа», 1984.

МУНДАРИЖА

| | |
|--|----|
| Сўз боши | 3 |
| Кириш | 5 |
| 1-§. Физика предмети. Физика ва табиий фанлар орасидаги боғланиш | 5 |
| 2-§. Физик катталиклар ва уларни ўлчаш. Бирликлар системаси | 6 |
| 3-§. Скаляр ва вектор катталиклар. Векторларни қўшиш ва айириш | 7 |
| 4-§. Векторни скаляр катталikka қўпайтириш ва бўлиш | 10 |
| 5-§. Векторларнинг скаляр ва вектор қўпайтмаси | 10 |
| 6-§. Векторларни ташкил этувчиларга ажратиш | 11 |
| Такорлаш учун саволлар | 13 |

I Қ И С М

МЕХАНИКА

I б о б. Кинематика

| | |
|---|----|
| 7-§. Механик ҳаракатнинг нисбийлиги ва саноқ системаси | 14 |
| 8-§. Моддий нуқта. Траектория. Қўчиш ва йўл | 15 |
| 9-§. Тезлик. Уртача ва оний тезликлар | 16 |
| 10-§. Тезланиш. Тезланишнинг нормал ва тангенциал ташкил этувчилари | 18 |
| 11-§. Тезликларни қўшиш. Ньютон механикасида нисбийлик принципи | 19 |
| 12-§. Тўғри чизиқли текис ҳаракат ва унинг ҳаракат тенгламаси. Тезлик ва йўл графиклари | 22 |
| 13-§. Тўғри чизиқли ўзгарувчан ҳаракат. Тезлик графиги | 24 |
| 14-§. Текис ўзгарувчан ҳаракатнинг тенгламаси. Йўл графиги | 26 |
| 15-§. Жисмларнинг эркин тушиши | 28 |
| 16-§. Юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракати | 29 |
| Такорлаш учун саволлар | 31 |
| Масала ечиш намуналари | 32 |
| Мустақил ечиш учун масалалар | 36 |
| 17-§. Эгри чизиқли ҳаракат. Айлана бўйлаб текис ҳаракат. Бурчак тезлик | 37 |
| 18-§. Чизиқли тезлик билан бурчак тезлик орасидаги боғланиш. Айланиш даври ва айланиш частотаси | 38 |
| 19-§. Жисмнинг айлана бўйлаб текис ҳаракатидаги тезланиши. (Марказга интилма тезланиш) | 40 |
| 20-§. Ҳаракатнинг мустақиллик принципи | 41 |
| 21-§. Горизонтга нисбатан бурчак остида отилган жисмнинг ҳаракати | 43 |
| 22-§. Горизонтал отилган жисмнинг ҳаракати | 45 |
| Такорлаш учун саволлар | 46 |
| Масала ечиш намуналари | 47 |
| Мустақил ечиш учун масалалар | 49 |

II б о б Динамика

| | |
|--|----|
| 23-§. Куч. Механикада кучларнинг турлари | 50 |
| 24-§. Ньютоннинг биринчи қонуни | 52 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 25-§. | Жисмнинг массаси ва зичлиги | 54 |
| 26-§. | Ньютоннинг иккинчи қонуни | 55 |
| 27-§. | Масса, зичлик ва кучнинг бирликлари | 57 |
| 28-§. | Кучлар таъсирининг мустақиллик қонуни | 58 |
| 29-§. | Жисмнинг импульси. Куч импульси | 59 |
| 30-§. | Ньютоннинг учинчи қонуни | 60 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 61 |
| | Масала ечиш намуналари | 62 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 66 |
| 31-§. | Оғирлик кучи ва жисмнинг оғирлиги | 67 |
| 32-§. | Эластиклик кучи. Гук қонуни | 67 |
| 33-§. | Ишқаланиш кучлари | 69 |
| 34-§. | Жисмларнинг илгариланма ҳаракатига Ньютон қонунларининг татбиқи | 72 |
| 35-§. | Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракатига Ньютон қонунларининг татбиқи | 74 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 79 |
| | Масала ечиш намуналари | 79 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 85 |
| 36-§. | Бутун олам тортишиш қонуни | 86 |
| 37-§. | Ер айланма ҳаракатининг эркин тушиш тезланишига таъсири | 88 |
| 38-§. | Эркин тушиш тезланишининг баландликка қараб ўзгариши | 90 |
| 39-§. | Тезланиш билан ҳаракатланаётган жисмнинг оғирлиги. Вазн-сизлик | 91 |
| 40-§. | Сайёра ва сунъий йўлдошларнинг ҳаракати ва космик тезликлар | 94 |
| 41-§. | Епиқ система. Импульснинг сақланиш қонуни | 97 |
| 42-§. | Реактив ҳаракат. К. Э. Циолковский реактив ҳаракат асосчиси | 99 |
| 43-§. | Классик механиканинг қўлланиш чегараси | 101 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 102 |
| | Масала ечиш намуналари | 103 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 106 |

III б о б. Иш, қувват ва энергия

| | | |
|-------|---|-----|
| 44-§. | Механик иш ва унинг бирликлари | 107 |
| 45-§. | Қувват ва унинг бирликлари | 109 |
| 46-§. | Механик энергия. Кинетик ва потенциал энергия | 110 |
| 47-§. | Жисмга қўйилган кучнинг бажарган иши билан кинетик энергия ўзгариши орасидаги боғланиш | 112 |
| 48-§. | Оғирлик кучининг бажарган иши билан потенциал энергия ўзгариши орасидаги боғланиш | 113 |
| 49-§. | Эластиклик кучининг бажарган иши. Эластик деформацияланган жисмнинг потенциал энергияси | 114 |
| 50-§. | Механик энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга айланиш қонуни | 116 |
| 51-§. | Механизмларнинг фойдали иш коэффициенти | 118 |
| 52-§. | Эластик ва ноэластик урилишга энергия ва импульснинг сақланиш қонунларининг татбиқи | 119 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 122 |
| | Масала ечиш намуналари | 123 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 128 |

IV б о б. Статика элементлари

| | | |
|-------|---|-----|
| 53-§. | Абсолют қаттиқ жисм ҳақида тушунча. Қаттиқ жисмнинг ҳаракати. Жисмларнинг масса маркази | 129 |
| 54-§. | Кучлар таъсирида жисмнинг мувозанат шартлари | 131 |
| 55-§. | Куч моменти. Жуфт кучлар моменти | 134 |
| 56-§. | Куч моментларини қўшиш. Айланиш ўқиға бириктирилган жисмнинг мувозанат шартлари | 136 |
| 57-§. | Параллел кучларни қўшиш | 137 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 139 |

| | |
|--|-----|
| Масала ечиш намуналари | 139 |
| Мустақил ечиш учун масалалар | 142 |

У б о б. Суяқлик ва газлар статикаси

| | |
|---|-----|
| 58-§. Суяқлик ва газларнинг босими | 144 |
| 59-§. Босим бирликлари | 146 |
| 60-§. Суяқлик ва газлар учун Паскаль қонуни | 146 |
| 61-§. Гидравлик пресснинг ишлаш принципи | 148 |
| 62-§. Суяқликнинг идиш туби ва деворларига босими | 149 |
| 63-§. Гидростатик парадокс | 151 |
| 64-§. Туташ идишлар қонуни | 153 |
| 65-§. Атмосфера босими. Торричелли тажрибаси | 154 |
| 66-§. Босимни ўлчаш | 156 |
| 67-§. Суяқлик ва газлар учун Архимед қонуни | 158 |
| 68-§. Жисмларнинг сузиш шартлари | 159 |
| Такрорлаш учун саволлар | 160 |
| Масала ечиш намуналари | 161 |
| Мустақил ечиш учун масалалар | 163 |

И Қ И С М

МЕХАНИК ТЕБРАНИШЛАР ВА ТЎЛҚИНЛАР

VI б о б. Механик тебранишлар

| | |
|---|-----|
| 69-§. Тебранишлар ҳақида умумий маълумотлар | 165 |
| 70-§. Гармоник тебранишлар | 166 |
| 71-§. Гармоник тебранишларда тезлик ва тезланиш | 168 |
| 72-§. Эркин гармоник тебранишлар | 170 |
| 73-§. Математик маятник | 171 |
| 74-§. Пружинали маятник | 172 |
| 75-§. Гармоник тебранишлар энергияси | 173 |
| 76-§. Сўнувчи тебранишлар | 174 |
| 77-§. Мажрубий тебранишлар | 175 |
| 78-§. Резонанс | 177 |
| Такрорлаш учун саволлар | 178 |
| Масала ечиш намуналари | 179 |
| Мустақил ечиш учун масалалар | 182 |

VII б о б. Механик тўлқинлар

| | |
|--|-----|
| 79-§. Эластик тўлқинлар | 183 |
| 80-§. Қўндаланг ва бўйлама тўлқинлар | 184 |
| 81-§. Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги. Тўлқин узунлиги | 186 |
| 82-§. Ясси ва сферик тўлқинлар | 187 |
| 83-§. Ясси тўлқин тенгламаси | 188 |
| 84-§. Тўлқин интерференцияси | 190 |
| 85-§. Турғун тўлқинлар | 192 |
| 86-§. Тўлқин дифракцияси. Гюйгенс принципи | 195 |
| 87-§. Товуш тўлқинлар. Товуш тезлиги | 198 |
| 88-§. Товушнинг баландлиги, қаттиқлиги ва тембри | 199 |
| 89-§. Ультратовуш | 200 |
| Такрорлаш учун саволлар | 201 |
| Масала ечиш намуналари | 201 |
| Мустақил ечиш учун масалалар | 203 |

И Қ И С М

МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ИССИҚЛИК

VIII б о б. Модда тузилишининг молекуляр-кинетик назарияси асослари

| | |
|--|-----|
| 90-§. Молекуляр-кинетик назариянинг асосий қонун-қондалари | 205 |
| 91-§. Молекула ва атом ўлчамлари | 208 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 92-§. | Молекула массаси. Модда миқдори. Авогадро сони | 209 |
| 93-§. | Газ, суюқ ва қаттиқ ҳолатдаги модда молекулаларининг ҳаракати ҳақида молекулаларнинг ўзаро таъсири | 212 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 213 |
| | Масала ечиш намуналари | 213 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 215 |
| 94-§. | Молекуляр физикани ўрганишнинг статистик ва термодинамик усуллари | 216 |
| 95-§. | Ҳарорат ва уни ўлчаш | 216 |
| 96-§. | Идеал газ ҳолати | 218 |
| 97-§. | Идеал газлар молекуляр-кинетик назариясининг асосий тенгламаси | 219 |
| 98-§. | Дальтон қонуни | 223 |
| 99-§. | Клапейрон — Менделеев тенгламаси. Универсал газ доимийси | 224 |
| 100-§. | Газнинг тажриба қонунлари | 226 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 232 |
| | Масала ечиш намуналари | 233 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 235 |

IX б о б. Термодинамика элементлари

| | | |
|--------|--|-----|
| 101-§. | Ички энергия. Бир атомли идеал газнинг ички энергияси | 236 |
| 102-§. | Иссиқлик алмашиниш ва иш бажариш — жисм ички энергияси ўзгаришининг икки кўринишидир | 238 |
| 103-§. | Иссиқликнинг механик эквиваленти | 240 |
| 104-§. | Иссиқлик алмашинув турлари | 242 |
| 105-§. | Термодинамиканинг биринчи бош қонуни | 243 |
| 106-§. | Газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш | 244 |
| 107-§. | Термодинамика биринчи қонунини газ жараёнларига татбиқ этиш | 245 |
| 108-§. | Адиабатик жараён | 246 |
| 109-§. | Моддаларнинг иссиқлик сиғимлари | 248 |
| 110-§. | Иссиқлик баланси тенгламаси | 249 |
| 111-§. | Иссиқлик машиналари ва уларнинг фойдали иш коэффициенти | 250 |
| 112-§. | Иссиқлик двигателлари ва атроф-муҳитни муҳофаза қилиш | 256 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 257 |
| | Масала ечиш намуналари | 258 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 261 |

X б о б. Модда агрегат ҳолатининг ўзгариши

| | | |
|--------|--|-----|
| 113-§. | Суюқлик хоссаси | 262 |
| 114-§. | Суюқликнинг сирт таранглиги. Сирт қатлам энергияси | 263 |
| 115-§. | Ҳўлловчи ва ҳўлламайдиган суюқликлар. Капиллярлик | 266 |
| 116-§. | Буғланиш ва конденсация | 269 |
| 117-§. | Тўйинган ва тўйинмаган буғлар, уларнинг хоссалари | 270 |
| 118-§. | Қайнаш | 273 |
| 119-§. | Қайнаш ҳароратининг ташқи босимга боғлиқлиги | 274 |
| 120-§. | Ҳавонинг намлиги | 275 |
| 121-§. | Намликни ўлчаш | 276 |
| 122-§. | Қаттиқ жисмлар. Кристалл ва аморф жисмлар | 278 |
| 123-§. | Эриш. Солиштирма эриш иссиқлиги | 280 |
| | Такрорлаш учун саволлар | 283 |
| | Масала ечиш намуналари | 283 |
| | Мустақил ечиш учун масалалар | 286 |
| | Илова | 287 |
| | Жавоблар | 289 |
| | Фойдаланилган ва тавсия этиладиган адабиёт рўйхати | 291 |

МУХАББАТ ҲАМДАМОВНА ЎЛМАСОВА
ЖАЛОЛ КАМОЛОВ, ТУРСУНОЙ ЛУТФУЛЛАЕВА

ФИЗИКА

Механика, молекуляр физика ва иссиқлик

Қайта ишланган ва тўлдирилган 2- наشري

1 китоб

Тошкент «Ўқитувчи» 1997

Таҳририят мудир *М. Пулатов*
Муҳаррирлар *М. Пулатов, У. Ҳусанов*
Бадий муҳаррир *М. Кузряшова*
Тех. муҳаррир *Т. Грешикова*
Мусахҳиҳ *З. Содиқова*

ИБ № 6845

Теришга берилди 6.02.96. Босишга рухсат этилди 21.10.96. Юқори босма усулида босилди. Шартли 6. л. 18.5. Шартли кр.-отг. 18.75. Нашр. л. 15.52. 5000 нусхада босилди. Буюртма № 2831.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, 129, Навоий кўчаси, 30. Шартнома 09-165-95.

Ўзбекистон Республикаси Давлат қўмитасининг Тошполиграфкомбинати. Тошкент, Навоий кўчаси, 30, 1997.