

Х. М. АБДУВОҲИДОВ, Т. Т. ТУРҒУНОВ,  
М. И. ТУРҒУНОВА

# АМАЛИЙ ФИЗИКА

*Ўзбекистон Республикаси  
Халқ таълими вазирлиги  
педагогика институтлари учун  
ўқув қўлланмаси сифатида  
таъсир этган*

ТОШКЕНТ «ЎҚИТУВЧИ» 1996

*Тақризчилар:* Ўзбекистон ФА Иссиқлик физикаси бўлимининг лаборатория мудири, Ўзбекистон ФА мухбир аъзоси, физика-математика фаълари доктори, профессор *Мамадалимов А. Т.*

Ўзбекистон ФА ПФИТИ нинг физика, математика ва ХТ лабораторияси мудири, педагогика фаълари доктори, профессор *Турдиқулов Э. А.*

Ушбу дарслик педагогика олий ўқув юртларида «Меҳнат ва машинашунослик», «Меҳнат ва информатика», «Меҳнат ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш» каби соҳаларда ўқитувчи кадрлар тайёрлаш учун мўлжалланган дастур асосида ёзилган бўлиб, унда умумий физика курсининг «Механика ва молекуляр физика» бўлимига доир материаллар «Тажриба — назария — амалиёт» кетма-кетлигида баён этилган. Тажрибалар асосида ўрганишдан бошланган ҳар бир қонун ва ҳодисаларнинг асосий мазмуни ва ифодаси ҳаётий масалаларга татбиқ этилган. Муайян физик қонун ва тушунчаларга таянган ҳолда ишлайдиган техник қурилмалар, айрим машина ва механизмларнинг ишлаш принциплари қисқача баён қилинган.

А 1604030000—109  
353 (04) — 96 132—95

© «Ўқитувчи» нашриёти  
Т., 1996.

ISBN 5—645—02393—5

## СУЗ БОШИ

«Умумий физика» курсига оид адабиётлар сони анчагина бўлиб, уларнинг асосий қисми рус тилида нашр этилган. Ўзбек тилидаги дарсликларнинг кўпчилик қисми рус тилидан таржима қилинган адабиётлардир. Республикамызда ўзбек тилининг давлат тили этиб қабул қилиниши муносабати билан «Амалий физика» курси юзасидан ўзбек тилида қўлланманинг яратилиши педагогика олий ўқув юртларида студентларнинг ўз она тилидаги ўқув қўлланмасига бўлган эҳтиёжларини маълум даражада қондиришга ёрдам бериши табиийдир.

Ушбу қўлланма муаллифларнинг Тошкент вилоят давлат педагогика институтида умумий физика курсидан кўп йиллар мобайнида ўқилган маърузалари асосида ёзилди. Қўлланма ўқитувчилар тайёрлаш олий ўқув юртларининг уч семестрга мўлжалланган янги дастури асосида ёзилган. Қўлланмада умумий физика курсининг «Механика ва молекуляр физика» бўлимига доир материаллар амалий физика нуқтаи назаридан баён этилган. Унинг ёзилиш услубида экспериментал физиканинг «Тажриба — назария — амалиёт» кўрсатмаси асос қилиб олинган бўлиб, физик қонунлар ва тушунчалар тажриба асосида ўрганилади. Тажрибалар изоҳидан физик қонуниятлар мазмуни ва ифодаси ҳосил қилинади. Қонун ҳулосалари ҳаётий ва амалий масалаларга татбиқ этилган. Физик тушунчалар ва қонуларнинг кундалик турмушда, техника, саноат ва қишлоқ хўжалигининг айрим тармоқларида қўлланишига мисоллар келтирилган. Барча тушунчалар асосан классик (норелятивистик) физика ҳажмида берилган. Айрим қонун ёки физика ҳодисаларининг амалиётда қўлланилишида уларнинг релятивистик ифодаси ҳам келтирилган.

Қўлланма педагогика олий ўқув юртларининг «Меҳ-

нат ва машинашунослик», «Меҳнат ва информатика», «Меҳнат ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш» каби ихтисосликлари бўйича ўқувчи студентлар учун мўлжалланган бўлиб, ундан ўрта мактаб физика ўқитувчилари ҳам фойдаланишлари мумкин.

Қўлланма биринчи марта чоп этилаётгани учун айрим хато ва камчиликлардан ҳоли деб бўлмайди. Китоб ҳақида ўз фикр-мулоҳазаларингизни билдирсангиз, Сиз ўқувчилардан миннатдор бўламиз.

*Муаллифлар*



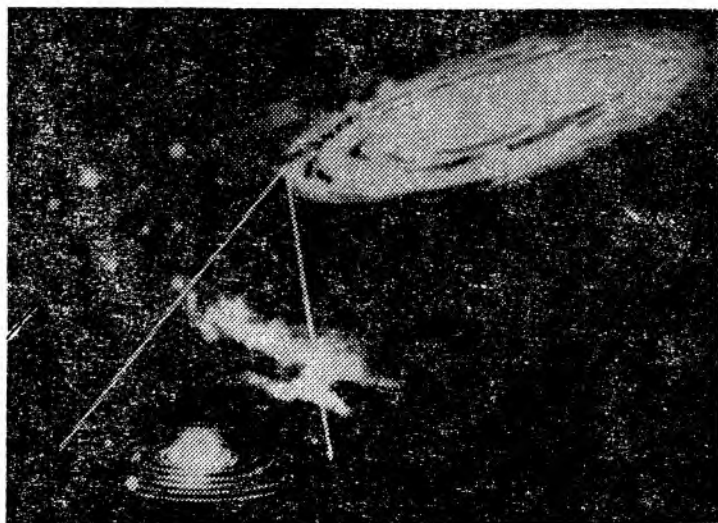
## КИРИШ

### 1- §. Биз яшаб турган олам. Материя, фазо ва вақт

Биз бепоеён оламда яшаймиз. Дунёда санаб бўлмас даражада кўплаб юлдузлар мавжуд. Бу юлдузлар кинотда шунчаки ихтиёрий, тартибсиз жойлашган бўлибгина қолмай, уларнинг фазовий тақсимооти маълум физика қонуниятларига бўйсунди. Юзлаб миллиард юлдузлардан таркиб топган алоҳида юлдузлар тўплами *галактикалар* деб аталади. Поёисиз дунёда бир-биридан жуда узоқ масофаларда бўлган бир нечта галактика туркумлари аниқланган. Галактикалар ва уларнинг таркибларидаги юлдузлар ҳам бир-бирларига нисбатан ҳаракатда бўлади. Бу ҳаракатларни табиат (гравитация) қонунлари бошқаради. Бу туркумлардан бири бизнинг Галактикамиз бўлиб, унинг бир бўлаги «Сомон йўли» деб аталади. Унинг диаметри  $10^{21}$  м ( $10^5$  «ёруғлик йўли») га яқинлиги маълум. Қуёш оддий юлдузлардан бири бўлиб, «Сомон йўли» галактикаси таркибига кирди ва ундаги барча юлдузлар қатори Галактика ўқи атрофида айланма ҳаракатда қатнашади. У Галактика марказидан анча узоқда, унинг деярли сирт қисмида жойлашган (1-расм). Қуёшнинг атрофида айланиб юрувчи бир нечта (11 та) сайёралар бор. Ер сайёраси (бошқа сайёралар ҳам) Қуёш атрофида ва Қуёш билан биргаликда галактика ўқи атрофида ҳам ҳаракатда қатнашади. Сайёралардан Қуёшгача бўлган масофалар Қуёш билан юлдузлар ораларидаги масофаларга нисбатан жуда кичик (1-жадвал).

1-жадвал. Коинотдаги масофалар

Масофа	Масофа	Тавзеҳ
$10^{27}$	метрлар	
$10^{24}$		Коинот чегаралари
$10^{21}$		Яқин галактика
$10^{13}$		Галактика радиуси
$10^{15}$		Яқин юлдуз 1 ёруғлик йили
$10^{12}$		Плутон орбитасининг радиуси
$10^9$		Қуёш ва Ер орасидаги масофа
$10^6$		Ер ва Ой орасидаги масофа
$10^5$		Нью-Йорк — Чикаго орасидаги масофа
$10^3$		Вашингтонга қўйилган ҳайкалнинг баландлиги
10		Одамнинг бўйи
$10^{-3}$		1 см
$10^{-3}$		Туз заррасининг катталиги
$10^{-9}$		Вируснинг катталиги
$10^{-12}$		Водород атомининг радиуси
$10^{-15}$		Атом ядросининг радиуси



1-расм.

Шунинг учун ҳам Ердаги ўзгаришлар асосан Қуёш билан боғлиқ бўлиб, фасллар алмашинувигга Ернинг Қуёш атрофида айланиши асосий сабаб бўлса, кун ва тунинг алмашиб туриши Ернинг ўз ўқи атрофида айланиши натижасидир.

Юлдузлар таркибининг асосий қисмини водород ва гелий, қолган қисмини эса оғир элементлар ташкил этади. Қуёш ва юлдузлар уларда бўлаётган ядровий реакциялар туфайли ўздан кучли электромагнит нурланишлар чиқариб туради. Катта юлдузларда содир бўлаётган термоядро реакциялар натижасида портлашлар рўй бериб, уларнинг ўз сайёралари ҳосил бўлиши эҳтимолдан ҳоли эмас. Вақт ўтиши билан айрим сайёраларнинг совиши натижасида сиртқи қаттиқ қобиқ, сувлар, материклар, ўсимликлар, жониворлар ҳосил бўлиши мумкин. Ер ана шундай сайёралардан биридир.

Ерда Менделеев даврий жадвалига кирувчи барча элементлар ва уларнинг бирикмаларидан иборат бўлган турли хил моддалар мавжуд бўлиб, нормал шароитда қаттиқ (темир, мис, кўмир, ёғоч, шиша ва бошқалар), суюқ (сувлар, нефть, кислота ва тузлар эритмалари) ва газсимон (ҳаво, метан, пропан ва бошқалар) ҳолатларда учрайди. Тоғ ва тошлар, сув ҳамда ҳаво, дарахтлар ва барча ўсимликлар табiiй ҳолда учраса, нисон қўли билан яратилган турли жисмлар: болға, стол, стул, уй, автомобиль, самолёт ва ҳоказолар ҳам табиат маҳсулидир. Ер ва Ой, сув ва ҳаво, тоғ ва тошлар, Қуёш ва юлдузлар, одамлар ва жониворлар, ҳуллас, жонсиз ва жонли табиат реал борлиқдир. Уларнинг баъзиларини тўғридан-тўғри сезги органларимиз орқали сезамиз, баъзи реалликларни (электромагнит нурланишлар, гравитация майдони ва бошқалар) эса маҳсус асбоблар, тажрибалар воситасида ҳис этамиз. Бизнинг оғимиз ёки хоҳишимизга боғлиқ бўлмаган ҳолда табиатда мавжуд бўлган, сезги органларимизга бевосита ёки билвосита таъсир этадиган барча реал борлиқ фан тилида *материя* деб аталади. Материя асосан икки кўринишда: *модда* ва *майдон* кўринишида бўлиб, уларнинг турлари хилма-хилдир: элементар зарралар (электрон, протон, нейтрон, нейтрино ва ҳоказо), шундай зарралар йиғиндиси (атом, молекула, ионлар), жисмлар (атомлар, ионлар, молекулалар бирикмаси) ва физик майдонлар (гравитацион, электромагнит майдонлар ва ҳоказо). Моддаларнинг плазма ҳолати маҳсус лаборатория қўрилмаларида,

Қуёш ва юлдузлар марказларида кузатилади. Қундалик турмушда гравитацион майдон кўриниши Ер, Ой, Қуёш ва юлдузларнинг тортиш майдонлари сифатида сезилса, электромагнит майдон кўриниши эса Қуёш ва юлдузлар нурланишларидан, электр чироқлари ва иситиш асбобларидан, радио ва телеқурилмалари, ядро реакторлари ва бошқалардан фойдаланилганда намоён бўлади. Унинг хусусий кўринишлари, электр ва магнит майдонлари эса ўзгармас ток манбаларида (аккумулятор, генератор), ўзгармас магнитларда (магнит доскалари, реле, магнит юритгичлар) ва бошқаларда сезилди.

Ҳайвонлар ва одамлар нисбатан мураккаб тузилган жонли материядир. Биологик тирик организм тахминан  $10^{16}$  физиологик ҳужайрадан иборат. Ҳар бир ҳужайра элементар физиологик катакчалар бирикмасидан тузилган. Ҳар бир катакчада эса камда биттадан молекуляр тизма қатнашади. Молекуляр тизма таркибидagi атомларнинг боғланиши ва жойлашиш тартиби генетик турни белгилайди. Одам мияси материянинг энг мураккаб кўринишларидан биридир.

Моддий жисмлар геометрик ўлчамларга эга бўлиб, фазонинг бирор бўлагини эгаллайди (1-жадвалга қarang). Уларнинг нисбий вазиятлари ўзаро таъсир ва ҳаракати туфайли ўзгариб туради. Бу ўзгаришлар гўёки жисмларнинг ўзлари билан боғлиқ бўлмагандай, материядан ташқари фазода вақт ўтиши билан мустақил рўй бераётгандай туюлади. Галилей ва Ньютон замонларидан XX аср бошларигача фазо ва вақт тушунчасига қуйидагича дунёқараш ҳукм сурган эди. Ньютон ўзининг «Натурал фалсафанинг математик асослари» асарида «нисбий» ва «абсолют» фазо тушунчаларига таянган: «абсолют» фазо абадий бўлиб, материя ва вақтга боғлиқ эмас, «нисбий» фазо эса «абсолют» фазодаги моддий жисмларининг нисбий ҳолати билан аниқланади деб тушунган.

XIX аср иккинчи ярми ва XX аср бошларида фанда муҳим бурилиш рўй берди. Эйнштейн ўзининг «Нисбийлик назариясини», яъни ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлигига яқин бўлган тезлик ( $v \sim c$ ) билан ҳаракатланувчи жисмлар механикасини яратди. Эйнштейн назариясига кўра фазода бир-биридан узоқ масофаларда жойлашган жисмлар «абсолют бўшлиқ» орқали таъсирлаша олмайди. Уларнинг ўзаро таъсирлари фақат макро ва микро жисмлар ёки майдон кўринишидаги материя орқалигина

рўй беради. «Абсолют бўшлиқ» тушунчаси мазмунсиз бўлиб, бўшлиқ деганда материянинг майдон кўриниши тушунилади: бўшлиқ унда бўлган моддий жисмлар ҳолатига таъсир кўрсатади ва аксинча, материал борлиқнинг хоссалари бўшлиқнинг хоссаларини белгилайди. Жисмларнинг узоқдан ўзаро таъсири чексиз тезлик билан эмас, балки чекланган тезлик — майдоннинг тезлиги билан узатилади. «Фазосиз материя бўлмаганидек, материясиз фазо» ҳам бўлмайди. Материя ва фазо ўзаро узвий боғлиқ бўлиб, фазо — материянинг яшаш шакли ҳисобланади.

Табиатда ўзгаришлар маълум кетма-кетликда, вақт оралиғида содир бўлади. Ҳар қандай ҳодиса ҳам бир онда рўй бермайди. Материянинг абадий ва узлуксиз ривожланиши вақт ўтиши билан сезилади; бўлаётган ўзгаришлар, воқеалар, ҳодисалар кузатилиб, улар содир бўлиши учун «ўтган вақт» ҳақида фикр юритилади. Агар табиатдаги барча моддалар, жисмлар ва бутун реал борлиқ бўлмаганда, яъни ҳеч қандай ҳаракат, ҳодиса ёки воқеалар юз бермаганда «вақт» тушунчаси эгасиз, мазмунсиз ва ўринсиз бўлган бўлур эди. Реал ҳодисалардан, материядан ажралган ва унинг ҳаракати, ўзгариши билан боғлиқ бўлмаган «абсолют» вақт тушунчаси мазмунга эга бўлмаган тушунча (абстракция) бўлиб қолади. Вақт тушунчаси материянинг ривожланиши, ўзгариш тезлигини акс эттиради.

Квант физикасига кўра бирор жисмдаги ҳодисанинг рўй бериш вақти шу жисмнинг ҳаракат тезлигига боғлиқ. Материянинг ҳаракат тезлиги ва вақтнинг ўтиш тезлиги ўзаро узвий боғланган; вақт ҳам, материянинг ўзгариш, ривожланиш тезлигига боғлиқ бўлиб, материянинг яшаш шаклидир. Хусусан, классик физика макроскопик жисмнинг механик ҳаракати фазода бирор вақт оралиғида рўй беради. Фазо ва вақт, ўз навбатида материянинг ўзаро боғланган яшаш шакллари дидир. Шунинг қайд қилиш лозимки, вақт ва фазо тушунчаларига Ньютон дунёқарашлари етарлича илмий бўлмаган бўлса-да, Ньютон механикаси нисбийлик назариясига зид келмайди, аксинча, нисбийлик назариясининг хусусий ҳоли ( $v \ll c$ ) сифатида кичик тезликлар ҳаракати қонуниятларини етарликча аниқликда ифода қилади. Классик механика кичик тезликлар механикаси бўлиб, Ньютон қонунларига таянади. Материя маконда ва замонда, доимо ҳаракатда яшайди, ривожланади, бир турдан

иккинчи турга ўзгаради. Қаттиқ жисм суюқликка, суюқлик эса буғга айланади ва аксинча.

Деформация натижасида металл пластинкасининг шакли ўзгаргани билан унда бўлган модда миқдори ўзгармайди. Металл пластинкани кислотага солиб тўла эритилганда ҳам кислота ва металл массасининг йиғиндисини ўзгармайди. Ҳар қандай агрегат ҳолатларда ҳам металл, суюқлик ёки газ таркибидаги атом ва молекула-лар иссиқлик ҳаракати тўхтаб қолмайди. Элементар зарра парчаланиб, янги заррага ва нурланишга ажралади ёки аксинча, элементар зарра нурланиш ютиб, янги заррага айланади. Бунга ўхшаш мисолларни табиатдан кўплаб келтириш мумкин. Материя ва ҳаракатининг сақланиш қонунини яратган рус олими М. В. Ломоносов таъкидлашича, «Материя бордан йўқ бўлмайди, йўқдан бор бўлмайди, фақат бир турдан иккинчи турга ўтиб ҳаракатда яшайди. Материянинг яшаш тарзи ҳаракатдир...»— Бу қонун материянинг сақланиш қонуни — табиатнинг муҳим қонунларидан биридир.

Урта осийлик Форобий, ал-Хоразмий, Беруний каби олимлар ижодида табиатшунослик фанлари муҳим ўрин тутган. Жумладан, X—XI асрларда яшаб, ижод қилган Абу Райҳон Беруний ибн Сино билан бўлган ёзишмаларида жисмларнинг ҳаракати, Ер геофизикаси, гидростатика, солиштирма оғирлик, иссиқлик ўтказувчанлик, жисмларнинг иссиқликдан кенгайиши ва торайиши, электрланиш ва магнитланиш хусусиятлари, атмосферадаги физик ҳодисалар, ёруғлик нурининг қайтиш ва синиш қонуниятлари, линзада нурнинг йўли ва вакуумнинг мавжудлиги ҳамда моддаларнинг атом тузилиши каби соҳаларда қимматли фикрларни ёзиб қолдириб, баъзиларини тажриба асосида изоҳлаб берган.

**Физика фани ва унинг бошқа фанлар билан боғланиши.** Табиатда турли ҳаракатлар, ҳодиса ва воқеалар табиий қонуниятлар асосида юз бериб туради. Жонсиз ва жонли табиат ҳодисалари, ҳаракати ва ўзгариши орасидаги боғланиш қонуниятларини очиш ва ўрганиш барча табиат фанларининг мақсади ҳисобланади. Физика табиат ҳақидаги фанлардан бири бўлиб, асосан жонсиз табиат қонуनларини, материя хоссаларини ва ҳаракатининг умумий қонуниятларини ўрганиб келган. Хусусан, ҳаракатнинг умумий шакли бўлган механик, атом-молекуляр, гравитацион, электромагнит ва ядровий ҳодисаларни ўрганади. Бугунги физика фанининг тарақ-

қиёт даражасида уни фақат материянинг хоссаларини ва ҳаракат қонунларини ўрганади деб чегаралаб қўйиш тўғри бўлмаган бўлур эди. Тарихан физика фани материя ҳаракатининг энг умумий қонуниятларини очиб бериб, материянинг бошқа табиий фанлар (кимё, биология, геология ва бошқалар) ўрганадиган янада мураккаброқ ҳаракатлари қонуниятларини ўрганиши учун замин тайёрлаб берди. Хусусан, товуш тўлқинларининг қаттиқ жисмларда тарқалиш қонунларининг яратилиши геология соҳасида Ернинг ички тузилишини ўрганиш мақсадларида сейсмология услубларидан фойдаланиш имконини берди. Газ оқимларининг ҳаракати назарияси метеорологияда муҳим роль ўйнайди. Квант физикасининг яратилиши кимёгарларга моддаларнинг тузилишини, кимёвий реакцияларда рўй бераётган мураккаб жараёнларни тушунишга имкон берди.

Физика фани фақат табиат қонуниятлари, физик ҳодисаларни тушунишга ёрдам берибгина қолмай, бошқа фанларнинг ҳозирги тараққиётида ҳам муҳим роль ўйнайди. Физика фанининг сўнгги ютуқлари бошқа табиий ва амалий фанларнинг янада ривож топиши учун зарур бўлган янгидан-янги ўлчов асбоблари, техник қурилмалар ва улар асосида янги илмий-тадқиқот усулларини яратишга имкон бермоқда. Жуда юқори босим, юқори вакуум, юқори частотали электромагнит майдон, ультра-товуш, лазер нурлари таъсирлари шароитларида ҳамда коннот вазнсизлик ҳолати шароитларида кимё, биология, геология соҳаларида, медицина ва амалий техник фанлар соҳасида янги илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Физиканинг барча табиий фанлар билан чамбарчас боғланиб кетиши оқибатида қўшма фанлар соҳалари — астрофизика, биофизика физик-кимё, геофизика ва бошқа фан соҳалари ҳосил бўлмоқда. Академик И. С. Вавилов ибораси билан айтилганда, «Физиканинг томирлари астрономия, геология, кимё, биология ва бошқа фанлар ичига жуда чуқур кириб бормоқда».

Техник тараққиёт заминида физика фани ютуқлари ётади ва аксинча, техника ривожланиши физика тараққиёти учун янги замонавий илмий-техник асбоблар, қурилмалар яратиш имконини беради. Қадимий грекларда механиканинг ривожланиши асосан қурилиш техникаси ва ҳарбий техника талаблари асосида бўлган бўлса, иссиқлик двигателларига бўлган талаб термодинамиканинг тезда ривожланишига сабаб бўлган. Оддий

техник асбоблардан тортиб ҳозирги кунда мураккаб техник қурилмаларнинг ишлаш принциплари асосида ҳам физика қонунилари ётади. Замолавий ишлаб чиқариш тармоқлари, халқ хўжалигининг ҳар бир соҳаси физика ва техника тараққиёти билан узвий боғлиқ. Оддий ўқув ишлаб чиқариш устаноналаридаги станоклардан тортиб ҳозирги замон энергетикаси, радиотехника, электротехника, автоматика, ҳисоблаш техникаси ва бошқа ҳар бир техникавий соҳани физика билан боғламай тасаввур этиб бўлмайди. Техника ютуқларига таянган қишлоқ хўжалик машиналари, тракторлари ва комбайнларидан фойдаланиш, комплекс механизациялаш ва автоматлаштириш ишлари оғир қўл меҳнатини енгиллаштирди. Физика ва техника ютуқлари атом энергиясидан тиҷлик мақсадларида фойдаланиш, халқ хўжалигининг ишлаб чиқариш соҳаларини автоматлаштириш, қудратли ҳарбий техника базасини яратиш имкониятларини берди.

## **2- §. Физик катталиклар ва уларни ўлчаш. Халқаро бирликлар системаси**

Материя ва ундаги ўзгаришларни ифодаловчи катталиклар *физик катталиклар* дейилади. Масалан, жисмнинг узунлиги, майдон энергияси, газ температураси, ҳаракат тезлиги, ток кучи, ёруғлик кучи, зарра импульси ва бошқалар физик катталиклардир. Одатда физик ҳодиса қонунилари аналитик кўринишда, математик формулалар орқали ифодаланади. Формулада бир неча физик катталиклар ўзаро функционал боғланган бўлади. Ифодадаги ҳар бир физик катталиқнинг сон қийматини ҳосил қилиш учун уларни ўлчаш керак бўлади.

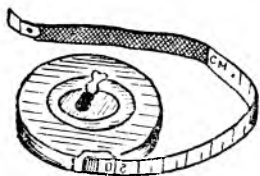
Физик катталиқни ўлчаш деганда, шу катталиқ билан бир жисмни бўлган ва бир бирлик қилиб олинган физик катталиқ билан таққослаш тушунилади. Турлитуман физик ҳодисалар характеристикалари бўлмиш физик катталиқларнинг барчасини ўлчайвериш мумкин эмас. Физик катталиқларнинг баъзиларини тўғридан-тўғри ўлчанса, баъзиларини уларнинг ўзаро аналитик боғланиш ифодасидан ҳисоблаб топилади. Физик катталиқларни ўлчаш учун бирликлар системаси тузилади. Бирликлар системасини тузиш учун эса бир-бирига боғлиқ бўлмаган бир нечта физик катталиқларни ва уларнинг бирликларини асосий катталиқлар билан (қонуний) боғланиш ифодасидан ҳосил қилинади. Бундай



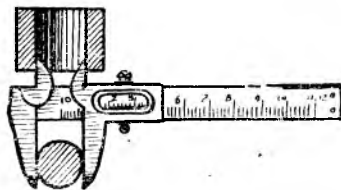
катталиклар *ҳосилавий катталиклар*, бирликлари эса *ҳосилавий бирликлар* дейилади. Асосий бирликларнинг тўплами *бирликлар системаси* дейилади.

1960 йилдан бошлаб Ер юзидаги барча мамлакатлар ўртасида ўзаро келишиб олинган халқаро бирликлар системаси СИ қабул қилинган. Бунда еттига бирлик — метр, килограмм, секунд, ампер, кельвин, моль, кандела ва иккита қўшимча бирлик — радиан ва стерадиан асосий бирликлар деб қабул қилинган. Механика бўлимидаги барча катталиклар бирликларини учта асосий бирлик — узунлик, масса ва вақт орқали ифодалаш мумкин.

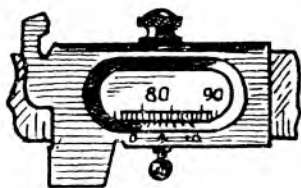
Узунлик бирлиги қилиб метр, қисқача «м» қабул қилинган. 1960 йилга қадар «1 метр узунлик» этиб, Париж яқинида сақланадиган платина билан иридий қотишмасидан тайёрланган махсус намуна стержень (эталон) устида белгиланган иккита параллел чизиқча орасидаги масофа узунлиги қабул қилинган эди. Кейинги вақтда бу эталон узунлигини ўлчаш аниқлиги ўта аниқ илмий мақсадлар учун етарли бўлмай қолди. Шунинг билан биргаликда мамлакатлар учун узунлик ўлчовини Франциядаги стержень узунлиги билан таққослашнинг ўзи ҳам ноқулайдир, албатта. СИ системаси қабул қилинганда барча жойда бир хил бўлган, атом нурланишига асосланган, «табiiй узунлик бирлиги» дан фойдаланишга келишилди. Халқаро узунлик бирлиги «1 метр» узунлик криптон-86 атомининг  $2P_{10}$  ва  $5d_5$  сатҳлари орасидаги ўтишга мос бўлган нурланишнинг вакуумдаги тўлқин узунлигидан  $1650763,73$  марта катта бўлган узунликка тенг. Бирор масофани ўлчаш учун унинг бўйида «1 метр» узунлик бирлигидан неча марта жойлашиши аниқланади. Жисмлар узунлиги майда улушларга (сантиметр, миллиметр) бўлинган чизғич ёрдамида ўлчанади. Нисбатан каттароқ узунликларни тасмасимон ўлчагичлар ёки рулеткалар ёрдамида ўлчаш қулай бўлади (2-расм). Кичик узунликларни штанген-



2- расм.



3- расм.



4- расм.



5- расм.

циркуль, ноннус ёки микрометрлар ёрдамида ўлчаш мумкин (3, 4, 5- расмлар).

Массанинг халқаро эталони 1 килограмм (кг) масса бирлиги қилиб, цилиндр шаклида ясалган платина ва иридий қотишмасидан тайёрланган халқаро прототипнинг массаси қабул қилинган. Бу масса бирлигига нисбатан олинган турли жисмлар массалари қийматлари 2- жадвалда берилган.

2- жадвал. Коинотда массанинг ўзгариши

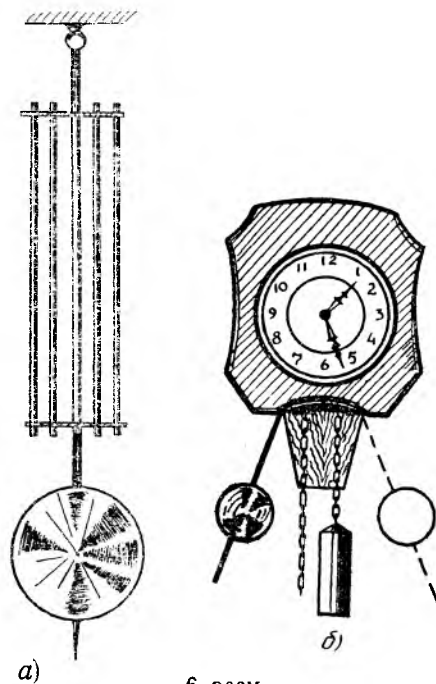
Килограммлар

$10^{50}$		Коинот
$10^{40}$		Бизнинг галактика
$10^{30}$		Қуёш
$10^{20}$		Ер Ой
$10^{10}$		Океан кемаси
1		1 кг
$10^{-10}$		Ёр томчиси
$10^{-20}$		Уран атоми
$10^{-30}$		Протон Электрон массаси

Жадвалдан дунёдаги ҳар хил жисмлар массаларининг бир-бирларидан қапчалик даражада фарқ қилишини

тасаввур этиш мумкин. Узунлик ва вақт бирликлари каби массанинг ҳам атом стандарт бирлиги танлангани маъқул бўлур эди, лекин, афсуски, индивидуал ҳар бир атом ва молекулалар устидаги ўлчашларнинг аниқ усулини тавсия этиш ва бундай усулни қўлланиш қийинчилиги тўла счилган эмас. Амалий мақсадларда тахминан, 1 кг масса 1 литр ҳажмдаги Цельсий шкаласи бўйича олинган 4°C температурадаги тоза сувнинг массасига тенг. Бирор жисмнинг массасини ўлчаш учун уни массалари маълум бўлган тарози тошлари билан таққосланади. Жисмлар массаларини шайинли тарозиларда ўлчанади. Кичик жисмлар массаларини аниқ ўлчашда майда тарози тошларидан фойдаланилади. Стрелкали тарозилардан фойдаланиш ўлчаш аниқлигини бироз ошириш имкониятини беради. Катта жисмлар, масалан, самолёт, юкли вагон, машиналар, трактор ва бошқалар массалари одатда, ричагли тарозиларда тортилади.

Авваллари вақт бирлиги 1 с деб, Ернинг ўз ўқи атрофида 1 марта тўла айланиш вақтининг 86400 дан бир



6- расм.

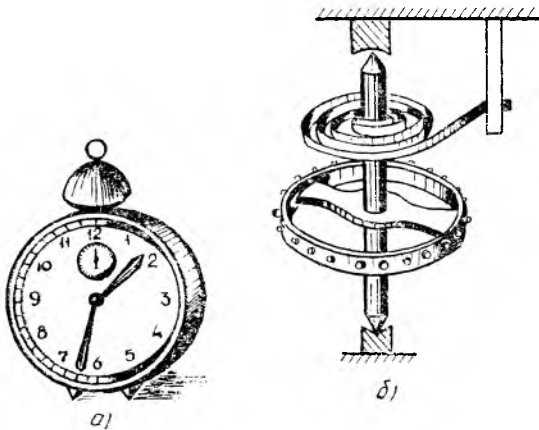
бўлаги қабул қилинган эди. Ернинг ўз ўқи атрофида айланиш даврининг ўзгариб бориши сабабли қабул қилинган вақт бирлиги замонавий талабларга жавоб бермай қолди. Ҳозирги кунда Халқаро вақт эталони 1 с деб, цезий-133 атоми асосий ҳолатининг икки ўта нозик сатҳлари орасидаги ўтишига мос бўлган нурланиш давридан 9192631770 марта катта бўлган вақт оралиғи қабул қилинган. Бу вақт бирлиги цезий атомининг 9192631770 марта тўла тебраниши учун кетган вақтни ифодалайди. Замонавий атом (цезий) соатлари секунднинг  $10^{12}$  дан бир бўлагини таққослаш имкониятини беради ва 30000 йилда 1 с га хатолик беради. Баъзи табиат ўзгаришлари рўй бериши учун миллионлаб йиллар зарур бўлса, баъзи физик ҳодисалар жуда қисқа вақт ( $10^{-15}$  с) оралиғида рўй беради. Табиатда кузатиш мумкин бўлган «жуда тез» ва «жуда секин» рўй берадиган ҳодисаларнинг содир бўлиш вақтлари нисбатан  $10^{40}$  тартибда фарқ қилар экан (3-жадвал).

### 3-жадвал. Коинотда вақт оралиқлари

Секундлар	
$10^{18}$	Коинотнинг ёши
$10^{15}$	Ернинг ёши
$10^{12}$	Ибтидоий одамнинг пайдо бўлиши Миср пирамидаларининг ёши
$10^9$	Одамнинг ўртача ёши 1 йил = $3,156 \cdot 10^7$ с 1 кун = $8,64 \cdot 10^4$ с
$10^3$	Ёруғликнинг Қуёшдан Ерга етиб келиш вақти
1	Юракнинг кетма-кет иккита уришлари орасидаги вақт
$10^{-3}$	Товуш тўлқинининг тебраниш даври
$10^{-6}$	Радиотўлқинларнинг тебраниши
$10^{-9}$	Ёруғлик 30 см масофага ўтади
$10^{-12}$	Молекуланинг тебраниш даври
$10^{-15}$	Атом тебраниш даври

$10^{-18}$		Ёруғлик атом ўлчамига тенг масофа ўтади
$10^{-21}$		Ядронинг тебраниш даври
$10^{-24}$		Ёруғлик атом ядроси ўлчамига тенг масофа ўтади.

Кундалик турмушда ва техникада вақт оралиғини ўлчаш учун тузилишлари ҳар хил бўлишига қарамай ишлаш принциплари ўхшаш бўлган қурилмалар — соатлардан фойдаланилади. Улар асосий қисмининг ишлаш принциплари механик тебранишларга — осма маятникнинг оғирлик кучи майдонида тебранишига (6-а, б расм) ёки спиралсимон пружинанинг (балансир) эластиклик кучи таъсирида айлана бўйлаб тебраниш қонуниятларига асосланган бўлади (7-а, б расм). Аниқ ўлчашлар учун секундомерлар қўлланилади. Техник секундомер-



7- расм.

лар секунднинг  $\frac{1}{20}$  ва ҳаттоки  $\frac{1}{100}$  бўлагигача аниқликда ўлчаш имкониятини беради. Секундомерга қўшимча электрик уланган Браун найчаси (трубкаси) ёрдамида эса  $10^{-8}$  с аниқликда ўлчашлар бажариш мумкин.

1 Ампер (А) — вакуумда бир-биридан 1 м масофада жойлашган икки параллел, чексиз узун, кесим юзлари жуда кичик тўғри ўтказгичлардан ўтганда ҳар бир ўт-

казгичнинг бир метр узунлигида  $2 \cdot 10^{-7}$  Н ўзаро таъсир куч ҳосил қиладиган ўзгармас ток кучига тенг.

Сувнинг учланма нуқтасини характерловчи термодинамик температуранинг  $\frac{1}{273,16}$  улуши (1К) 1 кельвин деб қабул қилинган.

Углерод-12 нинг 0,012 кг массасидаги атомлар сонига тенг структуравий элементлардан (атом, молекула) ташкил топган системадаги модданинг миқдори 1 моль деб қабул қилинган.

1 кандела (1 кд) ёруғлик кучи  $540 \cdot 10^{12}$  Гц частотали монохроматик нурланиш чиқараётган манба ёруғлигининг энергетик кучи  $\frac{1}{683} \frac{\text{Вт}}{\text{ср}}$  га тенг бўлган йўналишдаги ёруғлик кучига тенг.

Айланада узунлиги радиусга тенг бўлган ёйни ажратадиган икки радиус орасидаги бурчак 1 радиан (1 рад) деб қабул қилинган.

Учи сфера марказида жойлашган ва шу сфера сиртидан радиус квадратига тенг юзли сиртни ажратувчи фазовий бурчак 1 стерadian деб қабул қилинган.

## 1 б о б. КИНЕМАТИКА

### 3-§. Механик ҳаракат. Санок системаси. Моддий нуқта траекторияси. Кўчиш ва йўл

Физиканинг механика бўлимида материя ҳаракати ва мувозанати қонуниятлари ўрганилади. Кенг маънода материя ҳаракати деганда унинг ҳар қандай ўзгаришлари тушунилади, масалан: денгиз ва дарёларда сувларнинг буғланиши, сувда қайиқ ва ерда автомобиллар ҳаракати, ерда ётган металл бўлаги атомларининг иссиқлик ҳаракати, ўсимликларнинг ўсиши, биологик организмда бўлаётган ўзгаришлар ва бошқалар.

Материя ҳаракатининг энг содда тури механик ҳаракатдир. Бирор жисмнинг бошқа жисмларга (ёки шу жисм айрим бўлақларининг бир-бирига) нисбатан вазиятининг ўзгариши *механик ҳаракат* деб аталади. Масалан, Ердаги жисмларнинг (вагон, автомобиль, одамлар ва ҳоказо) Ерга ва ўзаро бир-бирларига нисбатан, Ернинг Қуёшга, Қуёшнинг Галактика системасидаги бошқа юлдузларга нисбатан, идишдаги газ молекулаларининг бир-бирларига нисбатан вазиятларининг ўзгариши механик ҳаракат кўринишларидир. Кундалик турмушда механик ҳаракат ҳодисаларини завод ва фабрикаларда, турли ишлаб чиқариш корхоналарида кўра-миз: машина-тракторлар ва улардаги филдирак ҳамда поршенлар ҳаракати, станок элементлари, шкиф ва моторлар ҳаракати, конвейр тасмаси, тасмали ва занжирли узатмалар ҳаракати, юк кранининг қисмлари ҳаракати ва бошқалар.

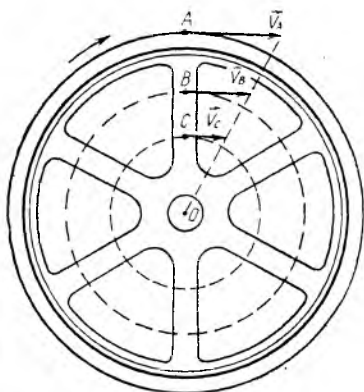
Механик ҳаракат икки содда турга бўлинади: *илгариланма ва айланма* ҳаракат. Жисмнинг ихтиёрий икки нуқтасини туташтирувчи тўғри чизик ҳаракат давомида ўз-ўзига параллел равишда кўчса бу жисм илгариланма ҳаракатда бўлган бўлади. Энг оддий тўғри чизикли илгариланма ҳаракатни транспорт, қишлоқ хўжалик машиналарининг ишлашида кузатиш мумкин. Автомобиль, поезд, самолёт, трактор, ракетаalar умумий ҳара-

катнинг маълум вақт оралиғида тўғри чизиқли илгариланма ҳаракатда бўлади. Масалан, плуг, сеялка ва бошқа қишлоқ хўжалик машиналарининг айрим қисмлари мураккаб ҳаракатда қатнашса, уларнинг ўзлари юрган йўлининг бирор қисмида тўғри чизиқли илгариланма ҳаракатда бўлиб, маълум иш бажаради. Технологик жараёнларда эса қурилмаларнинг ишчи қисмлари илгариланма-қайтма ҳаракатда бўлади. Масалан, поршеньли насослар цилиндри ичида шток ва поршень ҳаракати, ички ёнув двигатели цилиндри ичида поршень ҳаракати, ўсимликлар ўриш машиналари ҳамда ёғоч қирқиш машиналари арраларининг ҳаракати ва бошқалар. Ер сиртининг нисбатан қисқа бўлагида тўғри рельслар бўйлаб кетаётган вагон шунингдек, кўтарилаётган ёки тушаётган лифт ўз-ўзига параллел кўчади ва илгариланма ҳаракатга мисол бўлади. Вагоннинг рельс устида бутун Ер айланаси бўйлаб ҳаракати илгариланма ҳаракат бўлмаслиги тушунарли, албатта. Лекин «кузатиш филдираги» айланаётганда унинг ўриндиқларида ўтирган одамлар ҳаракати илгариланма ҳаракатга мисол бўла олади (8-расм).

Айланма ҳаракат тушунчаси асосан қаттиқ жисмларга тегишли бўлиб, айланма ҳаракатлар ҳақидаги мулоҳазаларда жисм абсолют қаттиқ деб фараз қилинади. Қаттиқ жисм айланма ҳаракатида унинг барча  $A$ ,  $B$ ,  $C$  нуқталари айланалар чизади, айланалар марказлари бир тўғри чизиқ устида ётади; бу тўғри чизиқ эса



8- расм.

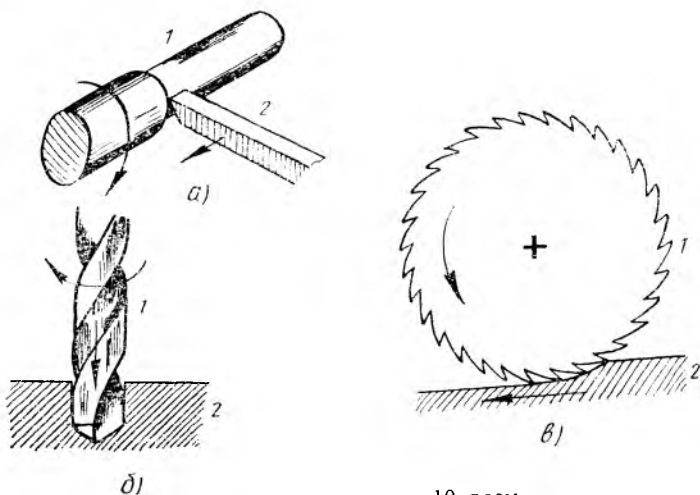


9- расм.



айланиш ўқи бўлиб, у расм текнслигига перпендикуляр йўналишда  $O$  нуқтадан ўтади (9- расм). Айланиш ўқидан узоқлашган сари нуқталарнинг чизиқли тезликлари ортиб боради ( $v_A > v_B > v_C$ ). Қўзғалмас ўқ атрофида дисkning айланиши, станок шкивининг, маховик ва шпинделларнинг ҳаракати айланма ҳаракатга мисол бўла олади.

Умуман олганда, жисмларнинг ихтиёрий ҳаракатлари етарлича мураккаб бўлади. Жисм бир вақтнинг ўзида бир неча ҳаракатда қатнашиши мумкин: сверло ҳам айланади, ҳам илгариланма ҳаракат қилади, Ер ўз ўқи атрофида ва Қуёш атрофида ҳаракат қилади. Токарь станокларида (10- а расм) металл буюмлар сиртига ишлов беришда буюмнинг ўзи (1) айланма ҳаракатда бўлади. Қирқувчи асбоб (2) эса буюмнинг танаси бўйлаб илгариланма ҳаракат қилади ва натижада буюмга маълум ишлов беради. Фрезер станокларида (10- б, в расм) эса, аксинча, қирқувчи фреза (1) айланма ҳаракат қилади, ишлов бериладиган буюм (2) столчаси билан биргалликда илгариланма ҳаракатда бўлади. Экскаваторнинг чўмичли дастаси бир вақтнинг ўзида ҳам илгариланма, ҳам айланма ҳаракат қила олади. Мураккаб ҳаракатларни илгариланма ва айланма ҳаракатлар йнғиндиси сифатида тасаввур этиш мумкин. Текнсликда думалаётган филдиракнинг кўринишдан содда бўлган ҳаракати ҳам аслида мураккаб ҳаракатдир. Филдирак-



10- расм.

нинг массалар маркази оддий илгариланма ҳаракат қилса, чекка нуқталари эса айланма ва илгариланма ҳаракатларда қатнашади.

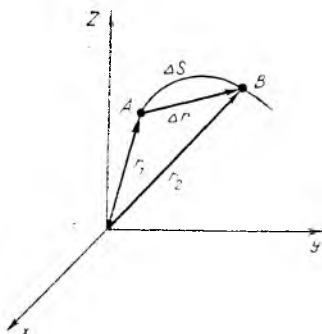
Жисмнинг механик ҳаракат ҳолати ва ҳаракати кўриниши турли жисмларга нисбатан турлича бўлади. Масалан, кетаётган вагон ичида ўтирган одамнинг вагонга нисбатан вазияти ўзгармас (тинч ҳолат), Ерга нисбатан эса ўзгаради, ҳаракатда бўлади. Бу одамнинг қўлидан тушиб кетган шарча вагонга нисбатан тўғри чизиқли ҳаракат қилса, Ерга нисбатан эса эгри чизиқли ҳаракатда бўлади. Шунингдек, велосипед ҳайдаб кетаётган киши ўз оёқлари учларини айланма ҳаракат қилаётганини кузатса, йўлда турган кузатувчига бу ҳаракат тўлқинсимон ҳаракат бўлиб кўринади.

Табиатда абсолют тинч турган жисм бўлмайди. Бирор жисмнинг ҳаракатини ўрганиш учун бошқа бирор жисмни шартли равишда «қўзғалмас» деб олиниб, унга нисбатан ҳаракат қилаётган жисмнинг вақт ўтиши билан вазиятлари аниқланади. Шартли равишда «қўзғалмас» деб олинган жисм, *саноқ система* деб аталади. Жисмнинг ҳаракатини юлдузларга, Қуёшга, Ерга ёки уларга нисбатан ҳаракатда бўлган жисмларга нисбатан ўрганиш мумкин. Амалда имконият борица масалани осонлаштириш мақсаднда саноқ системасини Ер билан боғланган ёки Ерга нисбатан ҳаракат қилмайдиган жисмлар (симёғоч, дарахт, уй ва унинг қирралари ва бошқалар) билан боғланган ҳолда олинади. Ҳаракат қилаётган жисмнинг вазиятларини ифодалаш учун эса саноқ бошланадиган «қўзғалмас» жисм (саноқ системаси) билан боғлиқ бўлган координаталар системасидан фойдаланилади. Энг қулай ва энг кўп қўлланиладиган координаталар системаси Декарт координаталари системасидир. Классик механикада фазо ва вақт изотроп ва бир жиисли, яъни турли йўналишларда фазонинг барча нуқталарининг физик хоссалари бир хил деб ҳисобланади. Катта массали жисмлар (Қуёш, юлдузлар) яқинида ва катта тезликлар ( $v \sim c$ ) механикасида фазонинг эгриланиши, вақтнинг эса ҳаракат тезлигига боғлиқ ўзгариши сезиларли бўлиши мумкин. Масалан, Қуёш сирти яқинидан ўтган ёруғлик нурларининг эгриланиши қайд қилинган. Шунингдек, жуда катта бўлган бошқа юлдузлар яқинида ҳам ёруғлик нурларининг эгриланишини кутиш мумкин. Лекин шунга қарамасдан кичик ( $v \ll c$ ) тезликлар механикасида фазо ва вақтнинг

изотроп ҳамда бир жинсли деб қаралиши амалда хатоликларга олиб келмайди.

Макроскопик жисмларнинг механик ҳаракати ўрганилаётган кўпчилик амалий ҳолларда уларнинг ўлчамлари ва шакли деярли роль ўйнамайди. Масалан,  $A$ , шаҳардан  $B$  шаҳарга учаётган самолёт ҳаракатини моддий нуқта ҳаракати билан алмаштириш мумкин. Бунда ҳаракатланаётган нуқта реал жисмнинг массасига эга деб қаралади.

Ўрганилаётган механик ҳаракат жараёнида шакли ва ўлчамларини эътиборга олмаса ҳам бўладиган макроскопик жисм *моддий нуқта* дейилади. Моддий нуқта тушунчаси абстракт тушунча бўлишига қарамай, амалда кўпчилик масалаларни ечишда қулайликлар яратади. Келгуси мавзуларда махсус кўрсатмага зарурат бўлмаса, «жисм ҳаракати» тушунчаси ўрнида «моддий нуқта ҳаракати» тушунчасини ишлатилиб кетилади. Фа-



11-расм.

зода моддий нуқтанинг ҳаракатида унинг координаталари вақт ўтиши билан ўзгаради (11-расм). Унинг кетмакет турли вақтлардаги геометрик ўринларини туташтирувчи чизиқ *ҳаракат траекторияси* дейилади. Моддий нуқтанинг  $A$  нуқтадан  $B$  нуқтага кўчишини кўриб чиқайлик. Унинг  $A$  ҳолатидаги вазияти  $\vec{r}_1$  радиус-вектор орқали белгиланса,  $B$  ҳолатдаги вазияти  $\vec{r}_2$  радиус-вектор орқали ифодаланади. Траектория бўйлаб босиб ўтилган  $AB$  масофа йўл узунлиги дейилади. Кейинги  $B$  ва дастлабки  $A$  ҳолатларни туташтирувчи энг қисқа масофа  $|\Delta \vec{r}|$  кўчиш катталиги,  $\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$  эса кўчиш вектори дейилади. Эгри чизиқли ҳаракатда кўчиш катталиги  $\Delta \vec{r}$  йўл  $\Delta s$  дан кичик бўлади,  $|\Delta \vec{r}| \leq \Delta s$ . Хусусан, моддий нуқта ёпиқ траектория бўйлаб ҳаракат қилиб, қанчалик йўл юрмасин кўчиш катталиги нолга тенг бўлади. Фақат бир йўналишдаги тўғри чизиқли ҳаракатдагина кўчиш катталиги йўл катталигига тенг бўлиши мумкин.

Одам сочининг ўсиши	$5 \cdot 10^{-9} \text{ м/с} = 15 \text{ см/йил}$
Музликнинг силжиши	$3 \cdot 10^{-6} \text{ м/с} = 0,25 \text{ м/кун}$
Қўл соати секунд стрелкаси учининг ҳаракати	$10^{-3} \text{ м/с} = 1 \text{ мм/с}$
Югурувчи спортчи ҳаракати	10 м/с
Теннис коптогининг ҳаракати	50 м/с
Пойга машинасининг тезлиги	70 м/с = 250 км/соат
Ҳавода товушнинг тарқалиши	330 м/с
Ракетоплан ҳаракати	$2 \cdot 10^3 \text{ м/с} = 2 \text{ км/с}$
Ернинг орбита бўйлаб айланиши	$3 \cdot 10^4 \text{ м/с} = 30 \text{ км/с}$
Водород атомида электронининг ҳаракати	$2,2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$
Бўшлиқда ёруғликнинг тарқалиши	$3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

#### 4- §. Тезлик, ўртача ва оний тезликлар. Тезликларни ўлчаш

Тезлик тушунчаси ҳар бир кишига кундалик турмушдан таниш бўлиб, бирор жисмнинг қанчалик илдамлик билан ҳаракат қилишини билдиради. Турли жисмлар бир хил масофани ҳар хил вақтларда босиб ўтади. Жисмлар ҳаракатлари бир-биридан ҳаракат тезлиги билан фарқ қилади (4- жадвал). Босиб ўтилган  $s$  йўлнинг шу йўлни босиб ўтиш учун кетган  $t$  вақтга нисбати *ўртача тезлик* дейилади:

$$v = \frac{s}{t}; s = vt. \quad (4.1)$$

Тезлик СИ системада  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ , техник ва амалий соҳаларда  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,  $\frac{\text{км}}{\text{соат}}$ ,  $\frac{\text{км}}{\text{с}}$  бирликларда ўлчанади. Транспорт соҳасида тезлик бирлиги сифатида км/соат кўп қўлланилади. Машина ва механизмларнинг ҳаракатланувчи қисмлари тезликларини, одатда, «миллиметр тақсим минут» (мм/мин) ва метр тақсим секунд (м/с) ларда ўлчанади. Ўртача тезлик қиймати йўлнинг айрим бўлақларида ҳаракат қандай илдамликларда рўй берганликларини билдирмайди. Масалан, автомобиль ҳайдовчи  $A$  шаҳардан  $B$  шаҳарга  $s$  йўлни босиб ўтиши учун тоғдан ошиб ўтишга тўғри келди ва  $t$  вақт сарфлади. Бутун йўл  $s = s_1 + s_2$  бўлақлардан иборат бўлиб, уларни босиб ўтиш учун кетган вақт мос равишда  $t_1$  ва  $t_2$  бўлса, ўртача тезлик:

$$\bar{v} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} \quad (4.2)$$

бўлади, 100 км масофанинг ярмида автомобиль 40 км/соат, қолган ярмида 120 км/соат тезликлар билан ҳаракат қилган бўлса, ўртача тезлик

$$v = \frac{120 \frac{\text{км}}{\text{соат}} + 40 \frac{\text{км}}{\text{соат}}}{2} = 80 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$$

бўлмай, балки (4.2) формулага асосан аниқланади ва  $\bar{v} = \frac{s_1 + s_2}{\frac{s_1}{v_1} + \frac{s_2}{v_2}} = 60 \text{ км/соат}$  га тенг бўлади. Ўртача тезлик

тушунчаси механик ҳаракат ҳақида умумий таассурот ҳосил қилади, албатта. Лекин ҳаракатнинг ҳар бир дақиқаларида унинг жадаллиги ва йўналиши ҳақида тасаввур қилиб бўлмайди. Агар автомобиль 1 соат давомида 60 км йўлни босиб ўтган бўлса, унинг тезлигини 60 км/соат деймиз. Лекин бу ҳаракат ўзгармас тезлик (60 км/соат) билан содир бўлдими ёки шу 1 соат вақт ичида бир неча тўхташлар ва юришлардан иборат бўлдими, билмаймиз. Демак,  $\bar{v} = 60 \text{ км/соат}$  тезлик ҳаракатнинг ўртача тезлигини ифодалайди, холос. Агар йўлнинг 30 км ни 15 мин давомида 120 км/соат ва қолган қисмини 30 км/соат тезлик билан 45 минутда босиб ўтган бўлса ҳам ўртача тезлик 60 км/соат га тенг бўлиб чиқади. Шунинг учун босиб ўтилган бутун йўлни босиб ўтиш учун кетган вақтга нисбати фақат ўртача тезлик ифодасини беради.

Етарликча кичик  $dt$  вақт ораллигида ўртача тезликнинг  $dv$  ўзгариши кичик бўлади. Траекториянинг бирор нуқтасидан ўтиш пайтида 1 с да босиб ўтилган йўл катталиги шу нуқтадаги оний тезлик қийматини беради. Траекториянинг ҳар бир нуқталарида тезликнинг қиймати ва йўналиши маълум бўлса, ҳаракат ҳақида тўлиқ тушунча ҳосил бўлади. Шунинг учун оний тезлик тушунчаси киритилади ва у траекториянинг ҳар бир нуқталаридаги ҳаракатнинг қайси йўналишида боришини кўрсатади. Тезлик вектор катталиқдир. Ихтиёрий нуқтадаги оний тезлик қиймати, шу нуқта соҳасида, бир бирлик вақт ичида қанчалик йўл босиб ўтишини кўрсатади. Оний тезлик ифодаси қуйидагига тенг бўлади:

$$v_{\text{ошиш}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left| \frac{\vec{\Delta r}}{\Delta t} \right| = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}. \quad (4.3)$$

Ҳар бир нуқтада  $v_{\text{ошиш}}$  вектор йўналиши  $\vec{\Delta r}$  векторнинг  $\Delta t$  даги лимит йўналишида, яъни уринма йўналишида бўлади. Оний тезлик қиймати йўлдан биринчи тартибли олинган ҳосиллага тенг бўлиб, унинг йўналиши  $\Delta t \rightarrow 0$  даги  $\vec{\Delta r}$  кўчиш векторининг йўналишида бўлади, яъни траекториянинг ҳар бир нуқтасида траекторияга ўтказилган уринма вектор йўналишида бўлади. Хусусий ҳолда, бир томонлама тўғри чизиқли ҳаракатда эса кўчиш катталиги йўл катталигини беради;  $\vec{\Delta r}$  вектори ва демак, тезлик вектори тўғри чизиқ устида ётади. Ҳаракат бирёр вақт оралиғида  $t_0 = 0$  дан  $t$  гача рўй берса, босиб ўтилган йўлни  $s = \int_0^t v dt$  дан топish мумкин. Агар оний тезликлар қиймати бир хил бўлса, бундай ҳаракат текис ҳаракатдан иборат бўлади:

$$s = v \int_0^t dt = vt. \quad (4.4)$$

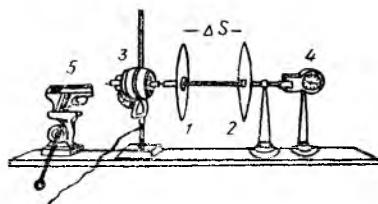
Бундан

$$v = \frac{s}{t} = \text{const}; \quad \vec{v} = \vec{v} = v_1 = v_2 = \dots$$

Текис ҳаракатларга мисол сифатида метролардаги эскалатор ҳаракати, темир йўлнинг текис қисмларидаги поезд ҳаракати, машина ва механизмларда айлантирадиган қайиш ҳаракатини, соатлар стрелкаларининг ҳаракати ва бошқаларни келтириш мумкин.

Автомобиль, мотоцикл, поезд ва бошқа жисмлар тезликларини уларда ўрнатилган асбоб — спидометр ёрдамида ўлчанади. Гилдираклар ўлчамларига, уларнинг айланиш тезлигига ва натижада жисм тезлигига мос равишда спидометр стрелкаси циферблат бўйлаб силжийди, текис ҳаракат ҳолатида стрелка кўрсатиши ўзгармас сақланади. Жисмлар тезликларини ташқаридан ўлчаш учун хилма-хил ўлчов асбоблари мавжуд бўлиб, (масалан, ДАН ходимлари қуроолланган асбоблар ва бошқалар) улар бир бирлик вақт ичида босиб ўтган йўлни ўлчаш принципига асосланган. Ҳаётда жисмлар тезликлари секундига бир неча мм дан тортиб бир неча минг км

ларгача бўлади. Оний тезлик таърифига асосан, уларни ўлчаш учун баъзан секунддан кичик вақт оралиқларини ўлчаш зарур бўлади. Масалан, отилган ўқ лаборатория хонаси узунликларини секунднинг кичик улушларига тенг вақтда босиб ўтади. 1 секундда эса 200—300 метр масофани ортда қолдиради. Юқорида эслатилганидек, амалий ҳаётда тезликларни ўлчашнинг турли усуллари мавжуд. Лаборатория шароитида эса ўқнинг пистолет оғзидан чиқиш тезлигини хронограф ёрдамида ўлчаш мумкин (12- расм). Юпқа картон дисклари (1, 2) орасидаги масофани  $\Delta s \approx 22,5$  см қилиб олайлик. Дисклар умумий айланиш ўқиغا маҳкамланган ва мотор (3) орқали бир маромда тез айлантирилади. Айланиш частотасини айланиш ўқиغا маҳкамланган частотамер (4) томонидан қайд қилинади. Пистолетдан (5) отилган ўқ, даставвал, чап томондаги (1) дискини тешиб ўтади. Бу тешик вақтни ўлчаш учун биринчи белги бўлиб хизмат қилади. Ўқ (2) дискагача бўлган  $\Delta s \approx 22,5$  см масофани босиб ўтгунча бу диск бирор  $\Delta \varphi$  бурчакка бурилади, яъни ўнг дискдаги тешик чапдаги дискдаги тешикка нисбатан  $\Delta \varphi$  бурчакка бурилган бўлади. Дисклар ҳаракатдан тўхтатилгач,  $\Delta \varphi$  бурчакни аниқлаб,  $\Delta t$  ни ва демак, (4.3) ифодага асосан  $v_{\text{оний}}$  қийматини топиш мумкин.



12- расм.

Масалан,  $v = 50 \text{ с}^{-1}$  ва  $\Delta \varphi = 18^\circ$  бўлса,  $\Delta t = \frac{1}{20} \cdot \frac{1}{50} = 10^{-3}$  с ва  $v_{\text{оний}} = 225$  м/с бўлади. Таърибани  $\Delta s$  масофани ўзгартириб такрорлаш мумкин. Натижа бир хил бўлса, йўл элементи  $\Delta s$  етарлича кичик қилиб олинган бўлади, ҳисоблаш натижасида эса ўртача тезликни эмас оний тезлик — ўқнинг бошланғич тезлигини ўлчанган бўлади. Тезлик тушуничаси кундалик турмушда ва техникада муҳим аҳамиятга эга. Барча транспорт воситаларининг (автомобиль, трактор, поезд, самолёт ва ҳоказо) тезликлари қанчалик катта бўлса, пассажирлар ва тегишли юклар керакли манзилга тезроқ етказилади. Станоклар ва техник қурилмалар қисмларининг тезликлари қанча катта бўлса, иш унумдорлиги шунча юқори бўлади.

## 5- §. Тезланиш. Нормал ва тангенциал тезланишлар

Юқорида кўриб ўтганимиздек, тезлик вектор катталик бўлиб, ихтиёрий ҳаракатда унинг ҳам қиймати, ҳам йўналиши ўзгариши мумкин. Хусусий ҳолларда, унинг йўналиши ўзгармас сақланганда қиймати ўзгариши (тўғри чизиқли ҳаракат) ва аксинча, тезликнинг қиймати ўзгармаган ҳолда йўналиши ўзгариши мумкин (эгри чизиқли текис ҳаракат). Ҳар иккала ҳолда ҳам тезлик ўзгаради дейилади, чунки у вектор катталик бўлиб, унинг бирор ўзгариши рўй беради. Тезликнинг ҳар қандай ўзгариши тезланиш тушунчаси билан боғлиқ ва тезланиш тезликнинг соң қиймати ёки йўналишини вақт бирлиги ичида қанчалик ўзгаришини ифодалайди. Бошланғич тезлиги  $v_0$  ва охириги тезлиги  $v$  бўлган жисмнинг тезлиги  $\Delta t$  вақт ичида  $\Delta v = v - v_0$  га ўзгарган бўлса, ўртача тезланиш қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}. \quad (5.1)$$

$\Delta t$  вақт оралиғидаги ҳар бир дақиқалардаги оний тезланиш эса

$$\vec{a}_{\text{оний}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad (5.2)$$

ифодадан тонилади.

Тезланиш ҳам тезлик каби вектор катталикдир. Унинг йўналиши тезлик орттирмаси  $d\vec{v}$  йўналиши билан аниқланади. Оний тезланиш қиймати тезликдан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосилага тенг:

$$a_{\text{оний}} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2} \quad (5.3)$$

яъни, тезланиш қиймати йўлдан вақт бўйича олинган иккинчи тартибли ҳосилага тенг экан. Тезланишнинг СИ системасида ўлчов бирлиги (5.1) ифодага кўра метр тақсим секунд квадрат ( $\text{м/с}^2$ ) бўлади:



$$[a] = \frac{[v]}{[t]} = \frac{m}{c^2}$$

Тезликнинг қиймати ва йўналиши ўзгариши билан боғлиқ бўлган айрим хусусий ҳоллар билан танишиб чиқамиз.

*Тўғри чизиқли ҳаракатда тезланиш.* Тезлик вектори ҳар бир онларда тўғри чизиқ устида ётади ва унинг йўналиши ўзгармас сақланади, тезликнинг фақат сон қиймати ўзгариши мумкин, холос.

Тезлик қиймати ортиб борса,  $\Delta v = v - v_0 > 0$  ва  $a > 0$  яъни тўғри чизиқли тезланувчан ҳаракат содир бўлган бўлади, ихтиёрий  $t$  вақтдаги тезлиги  $v_t = v_0 + at$  ва босиб ўтилган йўл:

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t (v_0 + at) dt = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (5.4)$$

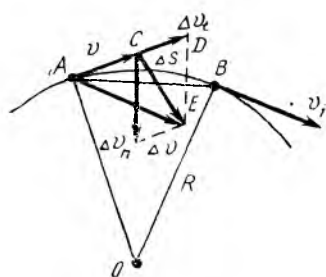
ифодалардан аниқланади. Аксинча, тўғри чизиқли ҳаракатда тезлик вақт ўтиши билан камайиб борса, ( $\Delta v < 0$ ,  $a < 0$ ) секинланувчан ҳаракат кузатилади ва (5.4) ифодада ҳадлар орасида айирув белгиси ишлатилади. Тўғри чизиқли ҳаракатда тезланиш тезликнинг фақат сон қийматининг ўзгаришига боғлиқ.

Агар жисм ўз ҳаракатини тинчлик ҳолатидан тезланиш билан бошласа,  $t$  вақт ўтгандан сўнг тезлиги  $v_t = at$  ифодадан, тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатидан бошласа  $v_t = v_0 + at$  ифодадан аниқланади. Бу ифодаларга кўра вақтнинг катта қийматлари учун  $v_t$  нинг ҳам ихтиёрий катта қийматларини ҳосил қилиш мумкиндек кўринади. Аслида бу ифодалар тезликнинг чекланган соҳасида ( $v_t \ll c$ ) ўринли бўлиб, катта тезликлар учун қуйидаги

$$v_t = \frac{at}{\sqrt{1 + \left(\frac{at}{c}\right)^2}} \quad (5.5)$$

кўринишга эга ҳар қандай жисмларнинг тезликлари  $t \rightarrow \infty$  да ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с билан чекланган ( $v_t \leq c$ ):  $\left(\frac{at}{c}\right) \gg 1$  бўлганда  $(v_t)_{\max} = c$  бўлади.

Массалари кичик зарраларга, махсус қурилмалар ёрдамида жуда катта тезликлар бериш мумкин. Телевизорларнинг 20 киловольтли электрон нур трубкаларида тезликлари  $8 \cdot 10^7$  м/с га яқин бўлган электронлар ҳосил қилинади.



13- расм.

Серпуховадаги тезлаткич эса протонларни 0,9999 с тезликкача тезлатади. Қанчалик узоқ вақт тезлатмасин ҳеч қандай жисм тезлиги ёруғлик тезлигидан катта тезликка эриша олмайди.

**Эгри чизиқли ҳаракатда тезланишлар.** Эгри чизиқдан иборат траекториянинг ҳар бир нуқталарига ўтказилган уринмалар, ва демак тезлик векторлари йўналишлари ҳар хил

бўлмай иложи йўқ. Демак, эгри чизиқли ҳаракатда тезлик векторининг йўналиши албатта ўзгаради ва бу ўзгариш билан боғлиқ алоҳида тезланиш бўлаги мавжуд. Агар ҳаракатда тезликнинг сон қиймати ҳам ўзгарса, бу ўзгаришни ифодаловчи алоҳида тезланиш тушунчаси киритилади. Моддий нуқтанинг дастлабки  $t$  momentiда  $A$  нуқтада тезлиги  $\vec{v}$  бўлсин (13-расм). Тезлик қиймати ва йўналиши ўзгариб,  $\Delta t$  вақтдан сўнг  $B$  нуқтада  $\vec{v}_1$  бўлсин.  $\vec{v}_1$  векторни  $A$  нуқтага кўчирайлик ва  $\Delta \vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}$  ни аниқлайлик. Умумий тезланишнинг айрим бўлаклари, яъни тезлик йўналиши ўзгариши билан ва тезлик сон қийматининг ўзгариши билан боғлиқ ташкил этувчиларни ажратиш мақсадида  $\Delta \vec{v}$  векторини ўз навбатида  $\Delta v_n$  ва  $\Delta v_t$  ташкил этувчиларга ажратамиз. Бунинг учун  $A$  нуқтадан  $\vec{v}$  йўналишида қиймати  $v_1$  га тенг  $\vec{AD}$  вектор ўтказамиз  $\Delta \vec{v}_t$  — тезликнинг сон қийматининг ўзгаришини ифодаласа,  $\Delta v_n$  — тезлик векторининг фақат йўналиши ўзгаришига боғлиқ. Тезланишнинг тангенциал (уринма) ташкил этувчиси:

$$a_t = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_t}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} \quad (5.6)$$

га тенг ва бир бирлик вақт ичида тезликнинг қиймати қанчалик ўзгариб боришини ифодалайди.

Кичик  $\Delta t$  вақт оралиғида  $B$  нуқта  $A$  нуқтага етарлича яқин бўлади.  $AB = \Delta s$  ни бирор  $R$  радиусли айлана бўлаги деб ҳисобланса,  $\Delta \vec{v}$  узунлиги  $AB$  кесма узунлигидан кўп

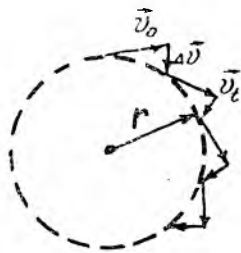
фарқ қилмайди. Ушаш учбурчаклар  $AOB$  ва  $EAD$  дан  $\frac{\Delta v}{AB} = \frac{v_1}{R}$ , бунда  $\Delta s = AB = v \cdot \Delta t$  ни ҳисобга олинса,  $\frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v \cdot v_1}{R}$  ҳосил бўлади.

Лимитда  $\Delta t \rightarrow 0$  да  $v_1 \rightarrow v$  ва  $\angle ADE \rightarrow 90^\circ$  интилади, яъни  $\Delta v_n$  ҳолати  $v$  га перпендикуляр бўлади. У ҳолда  $a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_n}{\Delta t}$  тезланиш йўналиши  $A$  нуқтада  $v$  га перпендикуляр бўлиб,  $R$  радиус бўйлаб  $O$  марказга томон йўналган бўлади ва марказга *интилма тезланиш* дейилади. Унинг сон қиймати

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_n}{\Delta t} = \frac{v^2}{R} \quad (5.7)$$

га тенг бўлиб, чизиқли тезликнинг ўзгаришига эмас, қийматига боғлиқ ва тезлик векторининг йўналиши ўзгариши туфайли ҳосил бўлади.

Моддий нуқта айлана бўйлаб текис ҳаракат қилганда ҳам ( $v = \text{const}$ ,  $a_t = 0$ ) марказга интилма тезланишга эга бўлади ва бу ҳаракат тезланишли ҳаракат бўлади. Марказга интилма тезланиш, тезлик вектори йўналишига ҳар доим нормал бўлганлиги учун тезлик қийматини ўзгартирмайди, фақат йўналишини узлуксиз ўзгартиради. Ҳар бир кичик  $\Delta t \rightarrow 0$  вақтдан кейинги тезлик вектори йўналиши  $\vec{v}_t = \vec{v}_0 + \Delta \vec{v}$  вектор йўналиши



14- расм.

шида бўлиб,  $\Delta \vec{v}$  вектор  $\vec{v}_0$  йўналишини  $\vec{v}_t$  йўналишига ўзгартириб туради (14- расм).

Демак, моддий нуқта, марказга интилма тезланиш туфайли кичик  $\Delta t$  вақт ичида  $\Delta v$  масофага радиус бўйлаб тушиб туради ва шунинг учун айлана бўйлаб ҳаракат сақланади.

Мисол учун илнинг учига боғланган кичик тошни олайлик. Тошга узлуксиз марказга интилма тезланиш бериб турсакгина, у айлана бўйлаб ҳаракат қилади, ип қўйиб юборилса, тош уринма йўналишдаги  $\vec{v}_0$  тезликда учиб кетади. Марказга интилма тезланишни (5.7) дан топиш учун



15- расм.

бирор стационар орбита бўйлаб текис ҳаракат ҳолатига ўтган жисмининг  $v$  чизиқли тезлигини ва  $R$  орбита радиусини аниқлаш зарур. Масалан, Ернинг сунъий йўлдошлари тахминан айлана бўйлаб ҳаракат қилади деб фараз қилинса (15-расм), (5.7) ифодага асосан

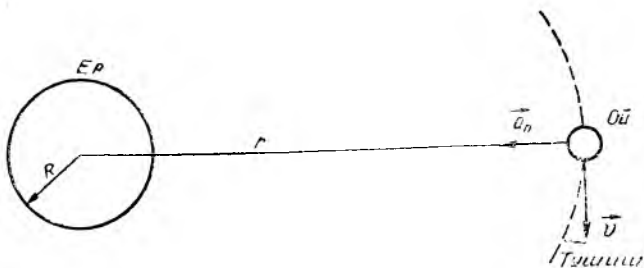
$$a_n = \frac{v^2}{R+h}, \quad (5.8)$$

бу ерда  $R$  — Ернинг радиуси,  $h$  — сунъий йўлдошнинг Ер сиртидан баландлиги,  $v$  — сунъий йўлдошнинг чизиқли тезлиги.

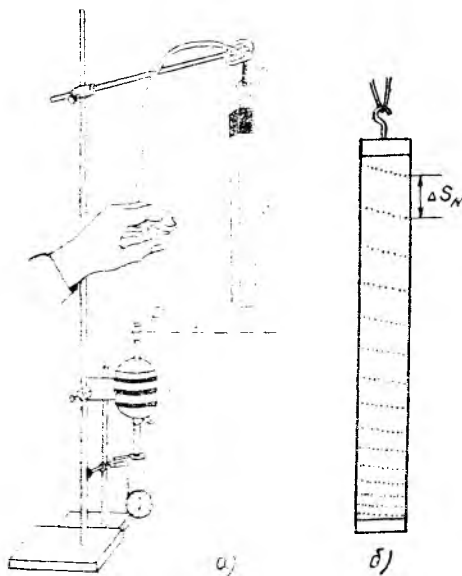
Орбитадаги йўлдош тезлиги биринчи космик тезлик  $v = 8 \cdot 10^3$  м/с,  $R = 6,4 \cdot 10^6$  м ва  $h = 1,6 \cdot 10^5$  м деб олсак,  $a_n = 9,8$  м/с ҳосил бўлади.

Демак, Ер сунъий йўлдошларининг марказга интилма тезланишлари, Ернинг гравитация майдони таъсиридаги эркин тушиш тезланишига ( $g = 9,8 \frac{m}{c^2}$ ) тенг бўлган ҳолда йўлдошлар стационар орбиталар бўйлаб ҳаракат қилади. Улар эркин тушиш тезланишига тенг нормал тезланиш билан радиус бўйлаб узлуксиз Ерга томон «тушиб» боради ва шунинг учун унинг Ер атропоиди доиравий орбитаси сақланади.

Ҳар хил баландликда учирилган сунъий йўлдошлар  $v = \sqrt{g(R+h)}$  ифодага кўра, ҳар хил чизиқли тезликларга эга бўлиши керак. Ойнинг орбитал тезлиги  $v = 1,02 \cdot 10^3$  м/с



16- расм.



17-расм.

ва Ердаш Ойгача бўлган масофа  $r \sim 3,84 \cdot 10^8$  м эканлигини билган ҳолда Ойнинг марказга интилма тезланишини  $a_{\text{О}} \approx \approx 0,0027$  м с<sup>-2</sup> ҳам тахминан ҳисоблаб топши мумкин (16-расм).

Тангенциал тезланишни ўлчаш учун қуйидаги тажрибани бажарайлик (17-а расм). Электромотор (1) ёрдамида маълум частотада ( $\nu = 50\text{с}^{-1}$ ) айланиб турган илгичка горизонтал йўналишдаги сибҳ йўли (2) ҳосил қилинади. Бу сибҳ йўлидан бирор тезланиш билан ҳаракат қилаётган жисм (3) ўтказилади. Қўлайлик учун илгичка ва узунроқ қилиб олинган жисм (3) оқ қоғозга ўралган ва С нуқтада осиб қўйилган. Керакли моментда бу жисмини қўйиб юборамиз ва у горизонтал йўналишдаги илгичка сибҳ йўлидан бирор тезланиш билан ўтади. Ҳар бир тенг вақтлар оралиқлари

$t = \frac{1}{50}$  с га мес сибҳ чизиқлари орасидаги масофалар  $\Delta s_1, \Delta s_2, \dots, \Delta s_N$  (17-б расм) ўлчаниб  $v_1, v_2, \dots, v_N$  тезликлар ва уларнинг ўзгаришлари топилади: натижада  $a_t = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  аниқланади.

Тажриба шароитларини бироз ўзгартириб, горизонтал текисликда ҳаракатда бўлган жисмлар учун ҳам қўллаш мумкин. Мазкур тажрибада эса деярли эркин тушгани учун тезланиш қиймати  $a_t = 9,8 \frac{m}{c^2}$  га яқин чиқади.

Эгри чизиқли ҳаракатда тўла тезланиш икки бўлақдан  $a_n$  ва  $a_t$  дан иборат бўлиб,  $a = \vec{a}_n + \vec{a}_t$  га ва унинг қиймати эса  $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$  га тенг. Тўғри чизиқли ҳаракатда тўлиқ тезланиш тангенциал тезланишининг ўзгинасидир, чунки тўғри чизиқ эгриликка эга эмас (эгрилик радиуси  $R \rightarrow \infty$ ) ва нормал тезланиш бўлмайди ( $a_n = \frac{v^2}{R} = 0$ ).

Тангенциал тезланиш тезликнинг фақат сон қийматини ўзгартириб, йўналишга таъсир этмайди. Шунинг учун ҳаракат тўғри чизиқли бўлади. Аксинча, нормал тезланиш тезлик векторига перпендикуляр йўналишда таъсир этганлиги учун тезликнинг сон қийматини ўзгартирмайди, фақат тезлик йўналишини узлуксиз ўзгартиради. Шунинг учун тангенциал тезланиш бўлмаса, эгри чизиқли ҳаракат айлана бўйлаб текис ҳаракатга ўтади.

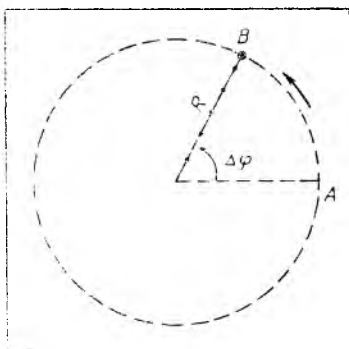
Ернинг тезлик вектори, орбитанинг ҳар бир нуқталарида, орбитага уринма бўлиб, йил давомида унинг ҳам йўналишлари, ҳам қиймати узлуксиз ўзгариб туради. Ернинг ўз ҳаракатидаги тўла тезланиши нормал ва тангенциал тезланишлардан иборат. Ер Қуёш атрофида эллиптик орбита бўйлаб жуда катта  $v = 30$  км/с (биринчи космик тезлик атиги  $v = 8$  км/с) тезлик билан ҳаракат қилади. Демак, инсон ва барча жониворлар ҳам Ер билан биргаликда фазода Қуёшга нисбатан жуда катта тезликда ҳаракат қилади (4-жадвалга қarang). Шунинг учун улар Ернинг катта тезлигини сезмайди. Дарҳақиқат, одамлар Коперникгача (1473—1543) Ернинг айланishi ва ҳаракатини билмаганлар.

Аксинча, инсон организми тезликлар ўзгаришини, яъни тезланиши жуда тез сезар экан ва нисбатан катта тезланишли ҳаракатлар одам организмига зарар бўлиб,  $50$  м/с<sup>2</sup> дан ортиқ тезланишларда одам ҳаттоки ҳушидан кетиши ва жуда катта тезланишларда эса ҳалок бўлиши ҳам мумкин экан. Шунинг учун космонавтлар ҳамда тез учар самолётлар учувчиларининг «умумий» саломатлигига алоҳида аҳамият берилади ва улардан узоқ муддатли ҳамда мураккаб жисмоний кўникish машғулотларини бажариб туриш талаб этилади.

## 6- §. Бурчакли тезлик ва тезланиш.

### Чизиқли ва бурчакли катталиклар орасидаги боғланиш

Моддий нуқта  $R$  радиусли айлана бўйлаб ҳаракат қилаётган бўлсин (18-расм). Дастлабки  $A$  ҳолатидан  $B$  ҳолатига кўчиши учун  $\Delta t$  вақт кетади, бунда радиус вектор  $\Delta\varphi$  бурчакка бурилади.  $\Delta\varphi$  бурилиш бурчагининг шу бурилиш учун кетган  $\Delta t$  вақтга нисбати *бурчакли тезлик* дейилади ва одатда  $\omega$  ҳарфи билан белгиланади:



$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad (6.1)$$

18- расм.

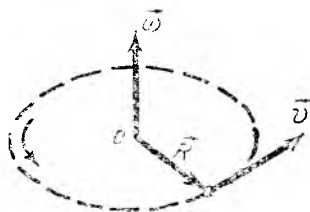
Бурилиш бурчаги радианда, вақт секундларда, бурчакли тезлик эса рад/с да ўлчанади. Айлана бўйлаб бир марта тўла айланиш учун кетган вақт *айланиш даври* дейилади. 1 с вақт ичидаги айланишлар сони эса *айланиш частотаси* дейилади. Қўринадик, давр ва частота ўзаро тескари боғланган, частотани  $\nu$  ҳарфи билан белгиласак, қуйидаги ифода ҳосил бўлади:

$$T = \frac{1}{\nu} \text{ ёки } \nu = \frac{1}{T}. \quad (6.2)$$

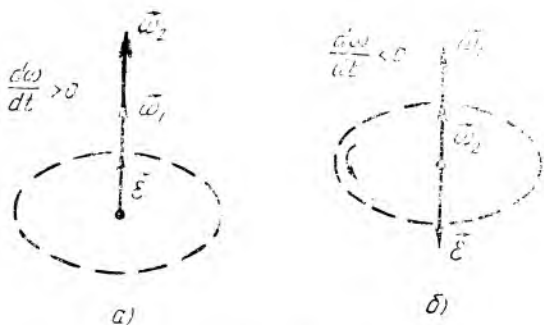
Давр секундларда, частота эса  $\text{с}^{-1}$  ёки рад/с да ўлчанади. Бир марта тўла айланиш учун кетган вақт  $\Delta t = T$  бўлса, бурилиш бурчаги  $2\pi$  радианга тенг бўлади, демак

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu \text{ ёки } T = \frac{2\pi}{\omega}. \quad (6.3)$$

Бурчакли тезлик вектор катталик бўлиб, унинг йўналиши парма қондасига асосан аниқланади (19-расм); парма дастасининг айланиш йўналиши моддий нуқтанинг айланиш йўналишида бўлганда парманинг илгариланма ҳаракати йўналиши  $\omega$  бурчакли тезлик вектори



19- расм.



20-расм.

Йўналишини ифodalайди. Айланма ҳаракатда қаттиқ жисмнинг бурчакли тезлик вектори айланиш ўқи устида етади.

Бурчакли тезланиш вектор катталик бўлиб, сон жиҳатидан бурчакли тезлиكنинг вақт бирлиги ичида қанчаллик ўзгаришини кўрсатади:

$$\vec{\epsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad (5.4)$$

$\vec{\epsilon}$  бурчакли тезланиш векторининг йўналиши  $d\vec{\omega}$  бурчакли тезлик вектори орттирмаси йўналишида бўлади (20-а расм), яъни  $d\omega > 0$  ёки  $\omega_2 > \omega_1$  бўлса, кейинги  $\omega_2$  бурчакли тезлик вектори йўналишида ва аксинча  $d\omega < 0$  бўлса, дастлабки бурчакли тезлик вектори  $\omega_1$  йўналишига тесқари бўлади (20-б расм). Бурчакли тезланиш  $\text{рад/с}^2$  ёки  $\text{с}^{-2}$  бирликда ўлчанади. Моддий нуқта айлана бўйлаб текис ўзгаришдан ҳаракат қилганда ( $v = \text{const}$ ) бурчакли бурчакли ва бурчакли тезлик вақтга боғлиқ ҳолда қуйидагича ўзгаради.

$$q_t = \omega_0 t = \frac{v^2}{2}; \quad \omega_t = \omega_0 \pm \epsilon t, \quad (5.5)$$

буида  $\omega_0$  — бошланғич бурчакли тезлик.

Айлана бўйлаб ҳаракат қиладиган моддий нуқта ҳам чизиқли тезлик, ҳам бурчакли тезликларга эга ва 18-расмга асосан:

$$\vec{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \cdot R = \omega R, \quad \vec{a} = [\vec{\omega} \vec{R}]. \quad (5.6)$$



Чизиқли ва бурчакли тезликлар векторларининг ўзаро боғланиши нарма қондасига бўйсунади (19-расмга қараи). Тезлавишининг тангенциал ташкили этувчиси:

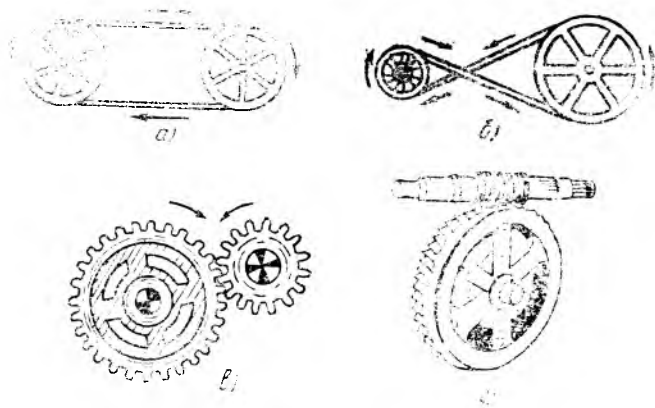
$$a_t = \frac{dv}{dt}; a_n = \frac{d\omega}{dt} R = \epsilon R; \vec{a}_t = [\epsilon \vec{R}]. \quad (67)$$

Чизиқли тезлавишининг нормал ташкили этувчиси

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R; \vec{a}_n = -\omega^2 \vec{R}. \quad (68)$$

Бу ифодада минус ишора нормал тезлавиш векторининг радиус-векторига тескари, яъни айлавиш маркази томонга йуналганлигини ифодалайди.

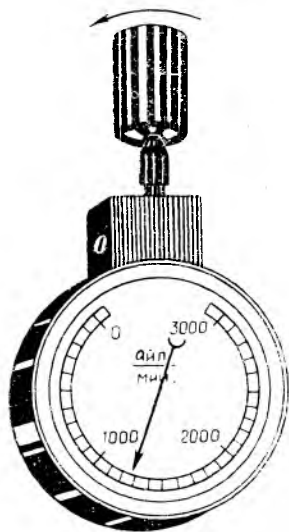
Бурчакли тезлик ва ушнинг ўзгаришини кузатиш учун қуйидаги тажрибани кўриб чиқайлик. Радиал. битта оқ чизиқ чизилган қора дискни электромотор орқали бир теклида айлантирсак, чизиқча кўринмай кетади ва диск юзи қора эмас, бирозгина хиралашган қора рангда бўлиб кўрилади. Агар даврий равишда, тенг вақтлар оралиқлари билан узилган стробоскопик ўрувлик туширилса, дискда тенг  $\Delta t$  бурчаклар билан ажратилган бир неча оқ чизиқларни кўрамиз. Тенг  $\Delta t$  вақтлар оралиқларида тенг  $\Delta \varphi$  бурчаклар билан ажратилган чизиқлар ҳолати ўзгармас бурчакли тезликдаги дискнинг айланма ҳаракатига мос келади. Дискни айлантитувчи электромотор ўчирилса, диск бурчакли тезлиги сенин-аста камаяди. Бунда дискко чизилган оқ чизиқлар орасидagi бурчаклар ҳар хил бўлиб, уларнинг камайиш бурчакли



21-расм.

тезликнинг камайишига (6.5- формулага асосан) мос келади.

Жуда кўпчилик машина ва механизмлар ишлаш принциплари айланма ҳаракат, бурчакли тезлик ва тезланиш тушунчаларига асосланган. Машиналар, механизмлар, станоклар ва шунга ўхшаш қурилмаларда бир қисмдаги айланма ҳаракат бошқа қисмларига турли узатмалар орқали узатилади. 21- а ва б- расмларда таъмин узатмалар ёрдамида гилдираклардаги айланма ҳаракатнинг узатилиши, 21- в ва г- расмларда эса тишли узатмалар ёрдамида ҳаракатнинг узатилиши кўрсатилган. Бирор қисмдаги айланма ҳаракат бошқа қисмдаги илгариланма ҳаракатга (ёки аксинча) кривошип механизмлар, винтли узатмалар ва бошқалар ёрдамида айлантириб берилади. Маълум ҳолатларда узатма орқали узатилаётган ҳаракатнинг характери ўзгармай қолади: тўғри чизиқли ҳаракат тўғри чизиқли кўринишда, айланма ҳаракат эса айланма ҳаракат кўринишда қолади. Бошқа ҳолларда айланма ҳаракат тўғри чизиқли ҳаракат кўринишига ва аксинча, ўзгаради. Масалан, автомобиль мотори поршеннинг тўғри чизиқли ҳаракати маховикнинг айланма ҳаракатига айлansa, электромоторнинг айланма ҳаракати токар станок суппортининг



22- расм.

тўғри чизиқли илгариланма ҳаракатига айланади. Айланма ҳаракатни илгариланма ҳаракатга айлантириш учун кривошип механизмлар, эксцентриклар, винтли узатмалар ва бошқа механизмлар қўлланилади. Турли қурилмалар ҳаракатланувчи қисмларининг бурчакли тезликлари ва айрим нуқталарининг чизиқли тезликлари ўзаро боғланган бўлиб, бирининг ўзгариши иккинчисининг ўзгаришига сабаб бўлади. Машина ва механизм қисмларининг айланма ҳаракат тезликлари бир бирлик вақт oralигидаги айланишлар сон билан аниқланади ва «тахометр» деб аталувчи асбоб ёрдамида ўлчанади (22- расм), тахометр айланма ўқчига ёки валга уланган бўлади.

Транспорт воситаси ғилдираги сиртқи нуқтасининг чизиқли тезлиги *доиравий тезлик* деб юритилади. Паровоз, тепловоз, автомобиль ва бошқа транспорт турларининг илгариланма ҳаракат тезлиги доиравий тезлигига тенг. Ғилдиракнинг айланишлар частотаси  $\nu$ , диаметри  $d$ , айлана узунлиги  $l = \pi d$  бўлса, доиравий тезликинн

$$v = \omega R = \frac{2\pi R}{T} = l \cdot \nu = \pi d \cdot \nu = 3,14d \cdot \nu \quad (6.9)$$

ифодадан топиш мумкин. Бу ифодадан кўринадикн айланиш частотаси бир хил бўлган ҳолда, ғилдирак диаметри қанчалик катта бўлса, чизиқли тезлик шунчалик катта бўлади.

Чизиқли ва бурчакли тезлик тушунчалари металлларга қирқиб ишлов беришда муҳим аҳамиятга эга. Токар станогни патронига қўйилган металл хом ашёнинг айланиш частотаси қанчалик катта бўлса, уни қирқиб ишлов бериш тезлиги шунчалик катта бўлади. Масалан, диаметри  $5 \cdot 10^{-2}$  м ли металл жисм бўлагига токар станогнда ишлов берилади. Жисмнинг минутига  $\nu = 600$  айл/мин =  $= 20\pi$  рад/с га мос келувчи қирқиш тезлигини аниқлаш керак. Қирқиш тезлиги доиравий тезлик билан аниқланади:

$$v = \pi d \cdot \nu = 3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \text{ м} \cdot 20 \cdot 3,14 \text{ рад/с} = 9,86 \text{ м/с.}$$

## И Б О Б. ИЛГАРИЛАНМА ҲАРАКАТ ДИНАМИКАСИ

### 7- §. Куч ва инертлик ҳақида тушунча

Динамика бўлимида механик ҳаракат ҳодисалари уларни вужудга келтирувчи ташқи сабаблар—кучлар билан биргаликда ўрганилади. Куч деганда, даставвал, бирор жисмни тортиш, қўтариш ёки итариш учун зарур бўлган мускул кучини кўз олдимизга келтирамиз. Стол тенниси ўйинида теннис шарчасининг кичик таъсир кучи натижасида ҳаракатга келтириш мумкин бўлса, автомобильни ўрнидан қўзғатиш учун эса анча катта куч талаб этилади. Автомобиль массаси теннис шарчаси массасидан кўп марта катта бўлганлиги учун уларга бир хил катталикедаги куч билан таъсир этганда, автомобиль тезлигининг ўзгариши (шарчага нисбатан) жуда кичик бўлишини биламиз. Демак, массаси катта бўлган жисмнинг ҳаракат ҳолатини сезиларли ўзгартириши учун каттароқ куч талаб этилар экан. Жисмнинг массаси,

таъсир этувчи куч ва жисмнинг ҳаракат ҳолатининг ўзгарishi орасида ўзвий боғланиш мавжуд. Бу боғланиш қонуниятлари динамика қонуниятларида ўз аксини топади.

Қувидалиқ таърибалардан қувианинг яна бир муҳим хусуси маълум. Тинч турган жисмга қайси йўналишда турган берсак, у шу йўналишда ҳаракатга келади, ҳаракат йўналиши куч йўналиши билан белгиланади, яъни куч ўз қийматига ва йўналишига эга. Демак, куч — вектор катталиқдир.

Куч тушунчаси фақат мускул кучи билангина чегараланиб қолмайди, албатта. Ер атрофида барча жисملарга Ернинг тортиш кучи таъсир этади. Мураккаб машиналар ва қурилмалар айрим бўлаклари бир-бирларига маълум кучлар билан таъсир қилади ва оқибатда, қурилманинг тўла иш жараёни ҳосил бўлади. Миҳга болга бирор куч билан келиб урилади, автомобиль двигателининг поршени ёшилгининг босим кучини сезади ва ҳаракатга келади, самолёт мотори тортиш ҳамда кўтариш кучларини ҳосил қилади ва ҳоказо.

Реал шароитда, ҳаракатдаги ҳар қандай жисмга одам тўмонидан, машина ва механизм ёки бирор жисм тўмонидан таъсир этувчи ҳаракатландирувчи кучлар билан бир қаторда ҳаракатга тўққилиқ қилувчи, қарма-қарши йўналишдаги ишқаланиш кучлари таъсир қилади. Ишқаланиш кучтарини имкони борича камайтиришга эришиш мумкин, лекин бутунлай йўқотиб бўлмайди. Ишқаланиш кучлари жисм ҳаракатининг ҳар бир бўлакларида доимо ҳаракат йўналишига тескари йўналишда таъсир этади, га демал, тормозловчи, ҳаракатни еусайтирувчи кучлар ҳисобланади. Ҳар қандай кўришдаги барча кучлар табиатига кўра электр-магнит таъсир ёки гравитация кучларидан ёки ядровий ва элементар зарралар орасидаги оқиб таъсир кучларидан иборат бўлади.

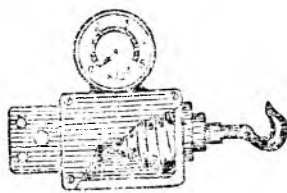
Массаси катта бўлган жисмни тинчлик ҳолатидан қўзғатиш қанчалик қийин бўлса, у ҳаракатланаётганда тўхтатиш ҳам инерциялик кийин бўлади. Аксинча, массаси кичик жисмни тинчлик ҳолатидан қўзғатиш ҳам, ҳаракатдан тўхтатиш ҳам инебатан осон бўлади. Кўришиб турибдики, жисмнинг массаси қанчалик катта бўлса, унинг тинчлик ҳолати ёки дастлабки ҳаракат ҳолатини сақлаш қобилияти катта бўлади. Бешқача айтганда, жисмнинг массаси катта бўлса, унинг дастлабки тинч ёки ҳаракат ҳолатини ўзгартирувчи ташқи таъсирга тўққилиқ кўрсатиш, қаршилиқ кўрсатиш қо-

билляти катта бўлади. Материянинг ўз ҳолатининг ўзгаришига қаршилик кўрсатиш, тўсқинлик кўрсатиш қобилияти инерция қобилияти ёки *жисмнинг инертлиги* дейилади.

Демак, жисмнинг массаси қанчалик катта бўлса, унинг инертлиги шунча катта бўлади ва аксинча. Шунинг учун ҳаракат ҳодисаларида жисмнинг массаси унинг инерция ўлчовидир дейилади. Жисмларнинг инертлигини ўлчаш учун уларнинг массаларини ўлчайди. Жисмларнинг массалари ва уларни ўлчашга доир тушунчалар курсимизнинг кириш қисмида физик катталарнинг ўлчаш бўлимида қисқача берилган. Кучларни бевосита ўлчаш учун динамометрлардан (динмос — грекча куч демакдир) фойдаланилади. Динамометр асосан кўрсаткич стрелка билан боғланган, даражаланган эластик пружинадан иборат бўлади. Гук қонунига кўра, эластиклик чегарасида пружинанинг чўзилдиш катталиги деформацияловчи куч қиймати билан чизиқли боғланган бўлади. 23-а расмда бир неча ньютон кучларни ўлчаш учун ишлатиладиган оддий динамометрнинг намунаси келтирилган. Техникада нисбатан каттароқ кучларни ўлчаш учун 23-б расмда кўрсатилган каби кўринишга эга бўлган динамометрлардан фойдаланилади. Ер ва Ой ёки Қуёш ораларидаги тортишниш кучларини динамометрлар ёрдамда бевосита ўлчаш мумкин бўлмаганлиги учун уларни механика қонунилари асосида



23-а



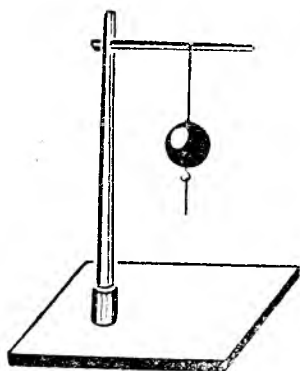
б)

23-б расм.

ҳисоблаб тегилади. Ишлаб чиқаришда ва кундалик турмушда турли хил механизм ҳамда машиналар ҳаракатлари бошқарилади. Токар станокни тўхтатади ва ишга туширади, шпиндел ва роторлар айланиш тезликларини ўзгартиради; ҳайдовчи автомобилв ҳаракатини бошқаради; кран бошқарувчи юк кранининг турли қисмларини бир-бирларига нисбатан ҳаракатга келтириб юкни кўтаради, кўчиради ва туширади; экскаватор ҳайдовчи экскаватор чўмичи ҳаракатларини бошқаради ва ҳоказо. Станоклар, машина ва механизмлар ишлаш принципларини тушуниш ва бошқариш учун механик ҳаракат ҳодисалари билан уларни вужудга келтирувчи кучлар орасидаги боғланиш қонунларини билиш зарур.

### 8- §. Ньютоннинг биринчи қонуни ва унинг баъзи татбиқлари

Ньютоннинг биринчи қонунини инерция қонуни деб ҳам юритилади, чунки у жисмларнинг инерция хоссалари билан боғлиқ қонундир. Инертлик ҳақида тушунчадан биламизки, ҳар қандай жисм ўзининг тинч ҳолатини ёки дастлабки ҳаракат ҳолатини сақлаш қобилиятига, яъни инерцияга эга. Массаси катта жисмларнинг тинч ҳолати ёки ҳаракат ҳолатини сақлаш хоссалари кучлироқ, сезиларлироқ бўлади. Шунинг учун инерция ҳодисаларини кўзатиш, намоён этишда массаси каттароқ жисмлар билан тажрибалар ўтказилади. Масалан:



24- расм.

ингичка енгил ип орқали штативга осилган массаси етарлича катта бўлган тошга ташқарида таъсир бўлмаса, у ўзининг нисбатан тинч ҳолатини сақлайди (24- расм). Агар унинг остидан боғланган ип орқали кескин силтаб тортсак, тош остидаги ип узилдиб улғуради, лекин тош ва юқоридаги ип ўзининг аввалги тинч ҳолатида қолади. Тошнинг тагидаги ипдан секин-асталик билан, узоқ муддат давомида пастга тортсак, юқоридаги ип узилди. Шунингдек, массалари етарлича катта бўлган иккита тош ингичка иплар билан кет-

ма-кет боғланган бўлса, пастдаги тошни пастга секин-асталик билан қўйиб юборсак, юқоридаги ип узилади. Аксинча, пастки тошни бироз кўтариб ташлаб юборсак, пастдаги ип узилиб улгуради, лекин юқоридаги тош ўзининг тинч ҳолатини сақлайди.

Тажрибалардан кўринадики, ташқаридан ташқи таъсир бўлмаса, жисмлар ўзларининг тинч ёки ҳаракат ҳолатини ўзгартирмайди. Ташқи таъсир мавжуд бўлса ҳам, лекин у жуда қисқа вақт оралиғида, бир зумда содир бўлса, жисм ҳаракат ҳолатининг ўзгариши сезилмайди. Худди шу ҳодиса жисмларнинг инерция хоссасини ифодалайди, яъни тинч турган жисм ўзининг тинчлик ҳолатини ўзгантириши, бирор тезликка эга бўлиши учун ёки ҳаракатдаги жисм ўз ҳаракат ҳолатини (тезлигини) ўзгантириши ва бирор тезланишга эга бўлиши учун унга бирор чекли вақт оралиғида узлуксиз куч таъсир этиб туриши зарур.

Жисмларнинг тинч ёки ҳаракат ҳолатларини ўзгантириш, яъни инерциясини енгил учун жуда қисқа вақтдаги, бир ондаги таъсирнинг етарли бўлмаслигини қуйидаги тажрибадан ҳам кўриш мумкин. Ватман қоғоздан ясалган, штативга осилган иккита ҳалқачаларни етарликча қалинликдаги ёғоч таёқчага кийдирайлик. Оғирроқ металл таёқча билан ёғоч таёқча ўртасига урилса у сиғиб кетади-ю, лекин қоғоздан ясалган ҳалқачалар йиртилиб улгурмайди, яъни инерциясига кўра ўзларининг аввалги тинч ҳолатида қолади. Ёғоч таёқчанинг ўртасидан металл таёқча билан секин-аста босилса, қоғоз ҳалқачалар йиртилиб кетади.

Юриб кетаётган автомобилнинг тормоз педалини охиригача босиб, тўртала гилдиракни бир зумда тормозлаб тўхтатиб бўлмайди, чунки у ҳолда автомобиль ўзининг инерцияси бўйича думалаб бўлса ҳам ҳаракат ҳолатини давом эттирган бўлур эди. Силлиқ муз устида сирпанаётган хоккей шайбаси ва муз орасидаги узоқ муддатли ишқаланиш кучлари таъсирида шайбанинг ҳаракат тезлиги ўзгаради. Аксинча, ҳеч қандай ишқаланиш кучлари бўлмаганда эди, шайба ўзининг тўғри чизиқли текис ҳаракатини узоқ вақт давом эттирган бўлар эди.

Галилей оддий тажрибалар натижасида инерция қонунига асос солган. Бирор баландликдан думалаб тушаётган шарча қия текислик бўйлаб дастлабки баландлик даражасига кўтарилишга ҳаракат қилади. Агар қия текисликни горизонтал ҳолга келтирсак, шарча ўзининг

ластабдики баландлик ҳолатига кўтарила олмайди, шунинг учун унинг горизонтал текисликдаги ҳаракати сўнмас бўлиши керак. Шунга ўхшаш бир пача тажрибалардан хулоса қилиб, Галилей «ҳар қандай жисмга ташқи таъсир бўлмаса, у ўзининг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлайди», деган фикрга келган эди. Бу ишун Галилейнинг инерция қонуни деб ҳам юритилди.

Ньютон ўзидаи олдин яшаб, ижод қилган озимларнинг ишларини, айниқса Галилейнинг тажрибалари ва нолларини умумлаштириб, ўзининг динамика қонуналарини яратди. Ньютоннинг I қонуни: *агар жисмга таъсир этгани натижавий куч бўлмаса, у ўзининг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлайди*, яъни

$$\vec{F}_{\text{ит}} = 0; \vec{a} = 0 \text{ ёки } \vec{v} = \text{const.}$$

Албатта, ташқи таъсирдан бутунлай ҳолмс бўлган жисмнинг ўзи йўқ. Ташқи таъсирдан бутунлай ажратилган жисмин яратини ва Ньютоннинг биринчи қонуни идеал шаклда тешириб кўриш анча мураккаб. Ньютоннинг бунданги ҳам шундаки, у тажрибада тешириб бўлмас даражадаги фикрини, яъни ҳеч қандай ташқи таъсир бўлмаганда жисм тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлаши мумкинлигини айтиб бера олди.

Тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлган автомобиль мотори ўширилган секкираган тўхтайдн. Лекин ўз-ўзидан тўхтамайди, балки уни ишқаланиш ва ҳавонинг қаршилик кучлари тўхтаилади. Агар мотор томонидан  $F_{\text{ит}}$  ишқаланиш ва  $F_{\text{қ}}$  қаршилик кучлари йиғиндисига еси жиҳатдан тенг бўлган  $F_{\text{т}}$  торгани кучи таъсир этганда у ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилган бўлар эди.

Ньютоннинг биринчи қонундан  $\vec{F}_{\text{ит}} = 0$  бўлса,  $\vec{a} = 0$ , яъни тинч турган жисм тезлигини олмайди,  $\vec{v} = 0$  ҳолат сақланади. Агар жисм тўғри чизиқли текис ҳаракатланаётган бўлса, унинг тезлиги ўзгармас сақланади.

**Инерциал ва нонинерциал санок системалари.** Жисмнинг «тинчлик» ёки «тўғри чизиқли текис» ҳаракат ҳолатлари инсбий бўлиб, ҳаракат ҳолати қайси санок системасига инсбатан курилшига боғлиқ. Масалан, Ер устида тинч турган вагон (санок системаси) ичиндаги одам Ерга (санок системаси) инсбатан тинч ҳолатда бўлиб, вагон ўрнидан кескин кўзгалса, орқа томонга



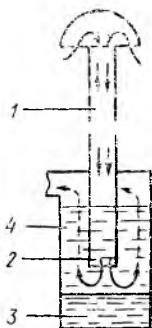
силкинади, яъни Ерга nisбатан аввалги вазиятини сақлашга интилади. Аксинча, Ер сиртига nisбатан тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлган вагон кескин секинлашганда эса одам олдига қараб силкинади, яъни Ерга nisбатан аввалги тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлашга интилади. Ер ва вагон билан bogлиқ бўлган sanoқ системалари бир-бирига nisбатан ўзгармас тезлик билан тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлса, вагон ичида ўғирган ёки юриб кетаётган одамнинг олдинга ёки орқага силкиниши кузатилмайди. Демак, бир-бирларига nisбатан тезланишсиз тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлган sanoқ системаларида «тўғри чизиқли текис» ҳаракат ҳолати ўзгармайди. Бир-бирига nisбатан тезланишсиз, ўзгармас тезликда бўлган ҳар бир sanoқ системасида инерция қонуни, яъни Ньютоннинг биринчи қонуни бажарилади. Шу сабабли бундай sanoқ системалари, яъни бир-бирига nisбатан тезланишсиз, ўзгармас тезликда ҳаракатланаётган sanoқ системалари *инерциал sanoқ системалари* дейилади. Аке холда эса, бир-бирига nisбатан тезланишли ҳаракатда бўлган sanoқ системалари *ноинерциал sanoқ системалари* дейилади.

Келтирилган таърифга асосан, Ер билан bogлиқ бўлган sanoқ системаларини, аслида, инерциал системалари деб бўлмайди, chunki Ер ўз ўқи атрофида айланади ва Қуёш атрофида эллиптик орбита бўйлаб айланади: ҳар қандай эгри чизиқли ҳаракат эса тезланишли ҳаракатдир. Лекин маълум аниқлик чегарасида амалий масалалар учун Ер сиртига nisбатан тўғри чизиқли текис ҳаракатда бўлган вагон билан ва Ер билан bogлиқ бўлган sanoқ системаларини тахминан инерциал системалар деб қараш мумкин. Аникроқ масалалар учун инерциал sanoқ системаси сифатида гелиоцентрик («гел-йис» — Қуёш) система қабул қилинади. Бу системада координата боши Қуёшда, координата ўқлари эса жуда узоқдаги юлдузлар томон йўналтирилган бўлади.

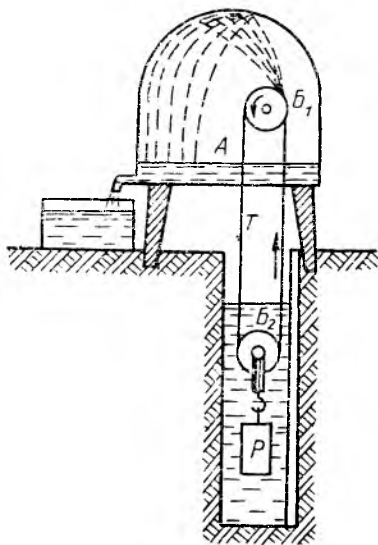
Текис ҳаракатдаги вагон ичида ҳодисалар тинч турган хонадаги ҳодисалар каби вечади: тутуннинг кўтарилиши, одамнинг бир жойдан бошқа жойга ўтиши, ирғитилган шарчалар ҳаракати ва бошқалар. Ҳаракатланаётган вагон ичида юқори ўринидан настига сакраган киши секинлар давомида полга тушади, лекин бу вақт ораллигида вагон ерга nisбатан 5—10 метр силжиганлигига қарамай, у ўзини тинч турган уй хонасида сакрагандек сезади, chunki вагондаги одам ва барча жисмлар вагон билан биргалликда ҳаракат қилади.

Агар темир йўлнинг эгриланган жойига ўзгармас тезликда етиб келган вагоннинг бурилиши рўй берса, эгри чизиқли ҳаракатга кўчган вагон билан боғлиқ ноинерциал саноқ системамида одам ва барча жисмларнинг тезланиши нолга тенг бўлмайди. Одам ва жисмларга инерция кучи таъсир этади. Энди вагон ичида эркин ҳолатда тик тура олмайсиз, бунинг учун таяниб ўзингизни айланиш маркази томон йўналган  $F = m\omega^2 r$  куч билан марказга томон итаришингиз керак бўлади.

**Инерция қонунининг қўлланилишига оид мисоллар.** Жисмларнинг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлаш хоссаси техникада, қишлоқ хўжалигида, саноатда ва ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларида кенг қўлланилади. Масалан, оддий тракторларнинг ён томонига ўрнатилган, ҳаво сўрувчи қалпоқли тозалагич бор. Двигатель нормада ишлаши учун унга берилувчи ҳаво таркибида чанг ва ҳар хил ифлосликлар бўлмаслиги зарур. Тракторнинг ҳаво тозалагич қурилмаси ҳаво инерцияси қонунига асосан ишлайди. Ҳаво оқими тозалагичнинг юқориги (1) наъидан сўрилиб, пастки (2) қисмига етгач, бирданига йўналишини ўзгартиради (25-расм). Ҳаво оқими таркибидаги массаси катта чанг зарралари ўз инерцияси бўйича тўғри чизиқли ҳаракатини давом



25- расм.

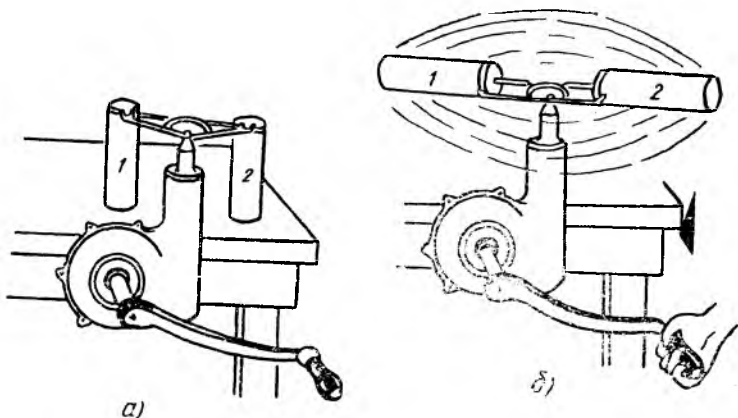


26- расм.

эттириб, тозалагич тубидаги (3) ёғга бориб тушади. Иўналишини ўзгартирган ва қисман тозаланган ҳаво оқими ўз навбатида махсус (4) фильтрлардан ўтиб янада тозаланади ва двигателга берилади.

Инерция қонунидан фойдаланган ҳолда, қудуқдан сув чиқариш мумкин (26-расм). Қудуқ устига ўрнатилган кўзгалмас блок  $B_1$  ва қудуққа туширилган  $B_2$  блок тасма  $T$  орқали бириктирилган. Пастки блокка маҳкамланган  $P$  юк тасмага бироз таранглик беради. Двигатель ёрдамида блок айланма ҳаракатга келтирилади. Блок билан тасма ҳам ҳаракатга келади ва қудуқдаги сувни илаштириб юқорига кўтаради. Сув зарралари юқориги блок баландлигига етгач ўз инерцияси бўйича  $B_1$  блокдан ажралиб,  $A$  тарновга тушади.

Ҳар қандай қишлоқ хўжалик машиналарида кўплаб айланувчи механизмлар бор. Масалан, оддийгина пичан ўрувчи машинада ҳаракат тишли гилдирак ва валиклар (айланувчи цилиндрлар) орқали пичоққа узатилади. Машинанинг барча айланувчи қисмларининг инерцияси туфайли пичоқ бир текис ҳаракат қилади. Нонинерциал саноқ системасида вужудга келувчи инерция кучлари амалий аҳамиятга эга. Мисол учун бирор суюқлик аралашмасида муаллақ ҳолатда бўлган майда зарраларни ажратиб олишда инерция қонунидан фойдаланилади. Суюқликни центрифуга идишларига қўйилади ва центрифуга тез айлантрилади (27-расм). Центрифуга ичидаги 1, 2— идишлари инерциясига кўра тўғри чизиқ-



27- расм.

ли ҳаракатини сақлаш учун горизонтал ҳолатга келади. Идишлардаги зарралар ҳам инерцияси туфайли тўғри чизиқли ҳаракат қилишга интилади ва айланма ҳаракатга тўсқинлик қилади.

Центрифуга роторига нисбатан қўзғалмас бўлган кузатувчига ҳар бир зарраларга  $F = m\omega^2 r$  га тенг марказдан қочма куч таъсир этаётгандай бўлади. Зарраларнинг идиш сиртқи девори томон ҳаракатига эса уларни ўраб турган суюқлик молекулалари томонидан қаршилик кучи таъсир этади. Массалари ҳар хил бўлган зарраларга таъсир этувчи марказдан қочма кучлар катталиги ҳам турлича бўлганлиги учун улар турли тезликлар билан ҳаракатга келади. Шунинг учун центрифуга ёрдамида турли зарраларни бир-бирларидан ажратиш мумкин. Оқдйй ҳисоблашлар шуни кўрсатадики, инерция кучи ва нормал тезланиш қийматлари анча катта бўлар экан. Шунинг учун центрифуга айланиш тезлиги етарлича катта бўлганда турли зарраларнинг идиш тубига чўкиб қолиш имконияти қолмайди. Масалан, центрифуга айланиш тезлиги  $1000 \frac{\text{об/м}}{\text{с}}$  бўлганда бурчакли тезлик  $\omega = 2\pi \times 10^3 \approx 6 \cdot 10^3$  рад/с, айланиш марказидан 10 см узқликда бўлган зарранинг чизиқли тезлиги  $v = \omega r \approx 6 \cdot 10^3 \cdot 10^{-1} = 6 \cdot 10^2$  м/с, нормал тезланиши эса  $a = \omega^2 r = (6 \cdot 10^3)^2 \times 10^{-1} = 3,6 \cdot 10^6$  м/с<sup>2</sup> бўлади.

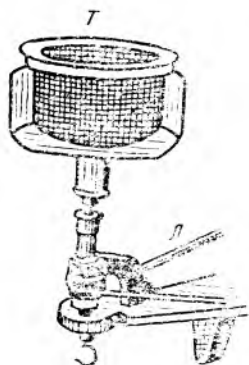
Нормал тезланишнинг оғирлик кучи тезланишга нисбати қуйидагига тенг бўлади:

$$\frac{a}{g} \approx \frac{3,6 \cdot 10^6}{9,8} \approx 4 \cdot 10^5,$$

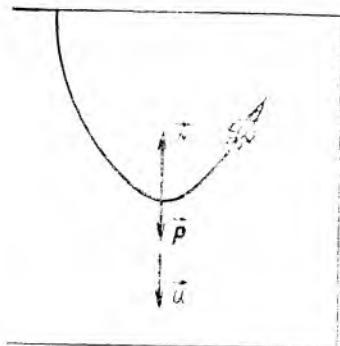
яъни, нормал тезланишга нисбатан оғирлик кучи тезланиши тахминан 400000 марта кичик.

Сепараторлар ишлаш принципида ҳам инерция кучлари санок системасида вужудга келувчи инерция кучлари ётади. Сепараторларнинг айланма ҳаракатида сутга нисбатан енгилроқ бўлган қаймоқ айланиш ўқи яқинида тўпланади ва алоҳида найча орқали идишга оқиб тушади.

Қуритиш машиналари ишлаш принципида ҳам инерция қонунидан фойдаланилади (28-расм). Қуритиш машинаси тўр  $T$  барабандан иборат бўлиб, унинг ичига қуритилиши лозим бўлган материал солинади. Барабан  $L$  — таъма орқали тез айлантирилганда, материалнинг сув зарралари инерциясига кўра тўғри чизиқли ҳаракат



28- расм.



29- расм.

долатини сақлашга интилади ва тўр ораларидан чиқиб кетади. Қуриштиш машиналаридан рудаларни қуриштишда ҳам фойдаланса бўлади.

Бомбардимончи самолёт катта тезлик ( $\sim 1000$  км/соат) билан ерга нисбатан перпендикуляр равишда нашлаб тушади ва юкни бўшатгач, радиуси  $\sim 1000$  м чамаси довравий траектория чизиб қайтадан тез кўтарилади. Учувчининг оғирлиги  $\vec{P}$  ва реакция кучи  $\vec{N}$  бўлса, инерция кучи  $\vec{Q}$  бўлади дейлик (29-расм). Инерция кучи сон жиҳатидан жисм массаси билан унинг тезлашиш қўлайтмасига тенг бўлиб, тезлашиш векторига тескари йўналишда бўлади. Инерция кучини ҳисобга олinsa, динамик масала статик масалага кўчади:

$$N - P - Q = 0. \quad (8.1)$$

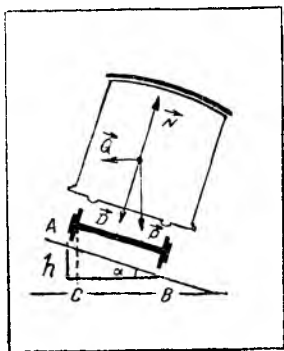
Бу ифодадан учувчининг ўзи ўтирган ўриндиққа таъсир кучини қуйидагича топиш мумкин:

$$N = P + Q = P + ma_n = P \left( 1 + \frac{v^2}{gR} \right). \quad (8.2)$$

Учувчи массаси  $m = 80$  кг бўлса,  $N = 80 \left( 1 + \frac{278^2}{9.8 \cdot 1000} \right) = 660$  кг. Демак, учувчи инерцияси туфайли ўзининг оғирлигидан тахминан саккиз марта катта куч таъсирида бўлар экан.

Фараз қилайлик, горизонтал текисликда оғир шарча думалаётган ва унга ҳеч қандай куч таъсир этмаётган ҳамда у ўз инерцияси бўйича келаётган бўлсин. Унинг йўлини қўлимиз билан тўссак, қўлимизга шарнинг босим

кучи сезилади. Шарнинг қўлимизга таъсир кучи инерция кучининг ўзгинасидир. Шунингдек, эгри чизиқли ҳаракатда траекториянинг ҳар бир нуқтасида чизиқли тезлик траекторияга уринма бўйлаб йўналган бўлганлиги учун жисм ўз инерцияси туфайли



30-расм.

уринма вектор ( $v$ ) йўналишида тўғри чизиқли ҳаракат ҳолатини сақлашга интилади. Лекин унинг йўналишини ўзгартириб, эгри чизиқли ҳаракатга кўчирувчи тўсиқ инерция кучини, яъни марказдан қочирма кучини сезади. Темир йўлларнинг буралган қисмларида сиртқи рельс ички рельсдан бир оз баландроқ ўрнатилган бўлади (30-расм). Вагонга  $\vec{P}$  оғирлик кучи  $\vec{N}$  реакция кучи ва  $\vec{Q}$  инерция кучи таъсир этади. Барча кучларнинг горизонтал йўналишга проекциясини олиб қуйида-

гини ёзамиз:  $Q - N \sin \alpha = 0$ . Расмдан

$$N = D = \frac{P}{\cos \alpha}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{AC}{CB} = \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}} \quad \text{ва} \quad Q = P \operatorname{tg} \alpha$$

эканлигини ҳисобга олиб, ушбу ифодага эга бўламиз:

$$\frac{mv^2}{r} = P \frac{h}{\sqrt{l^2 - h^2}}, \quad (8.3)$$

бу ерда  $AB = l$ ,  $AC = h$ ,  $CB = \sqrt{l^2 - h^2}$ .

Бу ифодада эгрилик радиуси  $r \sim 400$  м, вагон тезлиги  $v \sim 10$  км/соат, рельслар орасидаги масофа  $l \sim 1,5$  м десак,  $h \simeq 4,1 \cdot 10^{-2}$  м = 4,1 см бўлар экан.

Демак, инерция кучини мувозанатлаш учун сиртқи рельснинг жойлашиш баландлигини ҳар бир йўл бўлаклари учун алоҳида ҳисоблаш зарур экан. Одатда, техник талабларга биноан  $h \leq 12,5$  см,  $r \geq 600$  м қилиб олинади. Фақат айрим тоғли шароитларда эгрилик радиуси  $r = 200 \div 300$  м қилиб олиншига мажбур бўлиш мумкин.

Техникада ва кундалик турмушда кўп ишлатиладиган металл қувурларни қуйишда ҳам айланма ҳаракатда инерция қонунидан фойдаланилади. Эритилган металл чўмичдан айланиб турган цилиндр — роторга оқиб ту-

шади. Суюқ металл инерцияси билан ҳаракат қилиб, ротор цилиндрининг ички сиртига ёпишади. Ёпишган металл қатлами қалинлиги керакли даражага етгач, 2—3 минутда совутилади ва тайёр қувур сугуриб олинади.

Маълумки, автомобиллар тормозлар билан жиҳозланган. Ҳаракатланаётган автомобилни тезда тўхтатиб олиш учун оёқ тормозлари етарлича «тормозлаш даражаси» га эга бўлиши керак. Автомобиллар турига кўра минимал тормозланиш даражаси одатда  $(1,5—2,5) \text{ м/с}^2$  чегарасида бўлиши керак. Автомобилнинг қанчалик секинлаш имкониятини махсус «тормозлаш даражаси» ни ўлчовчи асбоб ёрдамида ҳисобланади. Бу асбобда ичига суюқлик қўйилган  $U$  симон шаклдаги найчадан фойдаланилади. Найчадаги суюқлик сатҳининг кўтарилиши эса унинг инерциясига боғлиқ бўлади.

Инерциянинг намоён бўлишига кундалик турмушдан жуда кўплаб мисоллар келтириш мумкин: оддий сув томчисининг нақадар «юмшоқ» лигини биламиз. Кафтмизга олиб сиқиб кўрсак, томчининг таъсирини ҳаттоки сезиш ҳам қийин. Агар томчи катта тезлик билан ҳаракат қилса-чи? Автомобиль ёки мотоциклни тезлик билан бошқариб бораётган ҳайдовчи юзига ва қўлларига тушган оддий ёмғир томчиси жуда қаттиқ тегишини билади. Найчасимон тирқишдан катта тезлик билан отилиб чиқаётган сув оқимини таёқ билан кесиб уриш натижасида таёқни синдириб олиш ҳам мумкин. Сувнинг тезлиги ортиши билан унинг мустаҳкамлиги ортади. Шунингдек, катта баландликдан ташланганда «юмшоқ» сув билан тўқнашини хатарсиз деб бўлмайди. Сувга катта тезлик билан урилганда қаттиқ жисм билан урилгандай таъсир сезилади Албатта, жисм тезлиги ортиши билан ҳаракат импульси ва энергияси ортади. Лекин «юмшоқ» сув томчисининг ва қўрғошиннинг тўқнашишда тезда сочилиб кетмай, мустаҳкамлигининг ортишини фақат импульс ёки энергия тушунчалари орқали изоҳлаш билан чегараланиб бўлмайди. Ҳодисаларни қисман инерцияга боғлаб тушунса бўлади. Биз сувга аста-секин тушганда у деярли тўсқинлик қилмайди, чунки сув зарралари силжиб, тарқалиб бизга ўз ўрнини бўшатиб бериб улғуради. Баландликдан сувга сакраган одам ёки отилган ўқ сувга катта тезлик билан кирмоқчи бўлади. Инерциясига кўра сув зарралари эса тезда силжиб, тарқалишга улгурмайди, натижада одам ҳам, ўқ ҳам сув зарраларини ажратиб, майдалаб ва

силжатиб ўтиш учун кўп энергия талаб қилади. Шунинг учун катта тезлик билан ҳаракатланаётган ёмғир томчиен, қаттиқ зарралар каби тегса, сув оқими эса ёғоч таёқни синдириши қобилиятига эга бўлади. Ҳақиқатан ҳам, оддий картон қоғоздан ясалган диск билан ёғочни арралаб бўлмаслигини биламиз. Агар картон қоғоздан ясалган дискни электромотор валига ўрнатиб, катта тезликда айлантирилса, картон диск ёғочни ҳам кесиши мумкин.

Трамвай ёки автомобиль жойидан қўзғалганда (ёки тормоз берилганда) ичидаги одамлар ва жисмларнинг силжиниши, юриб кетаётган трамвайдан сакраб тушганда тўхтата олмай олға қараб бир неча қадам югуриб кетиш, отилган снаряд ва ўқларнинг стволдан чиққандан кейин инерцияси билан ҳаракати ва бошқалар.

Инерция тўфайли ҳаракат ташқи ишқаланиш ва қаршилик кучлари қанчалик кам бўлса, шунчалик узоқ муддат давом этади. Планеталараро фазода газлар ва айрим жисм зарралари жуда сийрак бўлганлиги сабабли ишқаланиш ҳамда тўсқинлик кучлари жуда кам, шунинг учун Ер ва бошқа планеталар ўз ўқи ҳамда Кўёш атрофида миллиард йиллар давомида ўз тезликларини деярли ўзгармас сақлаб ҳаракат қилиб келади. Жисмнинг (инерцион) массаси инерция ўлчовидир деб айтиб ўтган эдик.

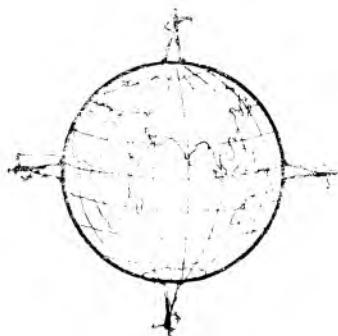
Ольстердаги электростанцияда ўрнатилган маховикнинг диаметри 3 м ва массаси 160 тонна экан. Мабодо станцияда бирор авария рўй берган тақдирда ҳам, кичик таъмирлаш ишлари тугатилгунга қадар ўрнатилган генератор асоси 20 мегаватт қувват бериб тура олар экан.

Гидротаран ва гидротурбиналарнинг ишлаш принциплари ҳам сувнинг инерциясидан фойдаланишга асосланган. Эскеваторлар, юк кўтариш кранлари, робот механизмлар ва турли хил қишлоқ хўжалиги машина ва механизмлари айрим жисмларининг инерцияларидан тўғри фойдаланиш ҳамда ҳаракатларини тўғри қўшиш нагжасида иш унумдорлигини оширишга эришиш мумкин.

## **9- §. Ньютоннинг иккинчи қонуни ва унинг қўлланиши**

Ньютоннинг биринчи қонунига асосан жисмга ташқи таъсир бўлмаса, у ўзининг инерциясига кўра, тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлайди. Лекин





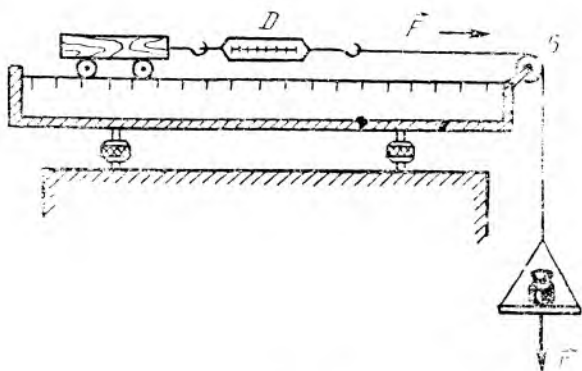
31- расм.



32- расм.

табиатда ҳеч қандай таъсир остида бўлмаган, ташқи таъсирдан ажратиб, чегаралаб қўйилган жисмининг ўзи йўқ. Реал шароитда, нисбатан тинчлик ҳолатида бўлган ҳар қандай жисм ҳам бирор жисмининг таъсирида бўлади, бу таъсир кучи бошқа куч билан мувозанатланган бўлиши мумкин. Ер устидаги ҳаракат ҳолатлари мисолда, тинч турган дарахтлар ядизлари орқали Ерга боғланган. Оғирлик кучи ва ишқаланishi кучлари ядизларининг чиқиб кетишига йўл қўймайди. Оғирлик кучи Ер сиртининг барча нуқталарида ўзининг маркази томон йўналганлигига 31-расмдан ишонч ҳосил қилиш мумкин.

Тинч турган биво ёки автомобилга Ернинг торткиш кучи  $\vec{P}$ , Ер томонидан эса реакция кучи  $\vec{N}$  ва жисм билан Ер орасидаги ишқаланishi кучи  $\vec{F}_n$  таъсир этади. Ер сиртидаги қияликларда турган жисмлар ҳам сирланиб кетмай «тинч» туради (32-расм). Оғирлик кучи  $\vec{P}$ ни икки ташкил этувчи  $P_t$  ва  $P_n$  га ажратиш мумкин.  $\vec{F}_n$  ишқаланishi кучи  $\vec{P}$  оғирлик кучининг  $P_t = P \sin \alpha$  ҳаракатлантирувчи ташкил этувчисини мувозанатлаб туради. Ишқаланishi кучи  $\vec{F}_n$  оғирлик кучининг ҳаракатлантирувчи  $P_t$  ташкил этувчисини мувозанатлай олмаса ( $F_n < P_t$ ) жисм албатта сирланиб туради ва нисбатан тинч ҳолатини ўзгартiriшига мажбур бўлади. Ҳаёт кетаётган самолёт сирлик кучи ўзининг қанчаларининг кўтерishi кучи билан ҳавонинг қаршилик кучи эса моторнинг торткиши



33-расм.

кучи билан мувозанатланса ( $\vec{F}_{\text{нат}} = 0$ ,  $\vec{a} = 0$ ) унинг тўғри чизиqli текис ҳаракат ҳолати сақланади. Агар жисмга таъсир этувчи кучлар ўзаро мувозанатланмаган ( $F_{\text{нат}} \neq 0$ ) бўлса, жисм тинч ҳолатда ҳам тўғри чизиqli текис ҳаракат ҳолатида ҳам қола олмайди, жисм ҳаракат ҳолатини ўзгартириб, натижавий куч қиймати ва йўналишига боғлиқ тезланиш олади.

Горизонтал стол устида жуда кичик ишқаланиш билан айлангирувчи  $B$  блокдан ўтувчи вазисиз ипнинг бир учига  $m$  массали аравача  $D$  динмометр орқали уланган бўлиб, иккинчи учига  $P$  паллача осилган бўлсин (33-расм). Аравача тинч ҳолатда турини учун  $P$  паллачанинг оғирлик кучи аравачанинг столга ишқаланиш кучи билан мувозанатланган бўлиши зарур. Паллачага  $\vec{F}$  кучи билан таъсир этсак, кучлар мувозанати бузилади ва аравача натижавий ўзгармас  $\vec{F}$  куч таъсирида текис тезланувчан ҳаракат қилади. Аравачага ҳар хил миқдордаги кучлар билан таъсир этиб, унинг олган тезланишлари аниқланади. Ҳаракат вақти  $t$  ни секундомер воситасида, босиб ўтилган  $s$  йўлни чизғич ёрдамида ўлчаб,

$$s = \frac{1}{2} at^2 \quad (9.1)$$

ифодадан ҳар бир тажриба учун  $a$  тезланишни ҳисоблаш мумкин. Ўлчаншлар кўрсатадики ўзгармас куч таъсирида жисмнинг ҳаракати текис тезланувчан бўлади. Тезланишлар қийматлари эса таъсир этувчи кучлар қийматларига пропорционал равишда ўзгаради ( $a \sim F$ ).

Энди тажрибани бир оз ўзгартирайлик: паллага қўйилган  $\vec{F}$  кучни ўзгармас сақлаган ҳолда аравача устига ҳар хил юклар (50 г, 100 г, 150 г. . .) қўйиб борайлик. Иш-қаланиш кучининг ортишини ҳисобга олиб, тезланишларни ўлчаб, ўзгармас куч таъсирида жисмнинг олган тезланиши унинг массасига тескари пропорционал равишда ўзгаринини аниқлаймиз ( $a \sim \frac{1}{m}$ ).

Кўриб ўтилган тажрибанинг ҳар икки хулосасини бирлаштириб қуйидаги қонуниятга келамиз: *жисмнинг ўзгармас куч таъсирида олган тезланиши жисмга таъсир этувчи кучга тўғри пропорционал, унинг массасига эса тескари пропорционал*дир. Бу қонун *Ньютоннинг иккинчи қонуни* дейилади ва унинг математик ифодаси қуйидаги кўринишга эга:

$$a = \frac{F}{m}. \quad (9.2)$$

Ифодадаги  $m$  масса скаляр,  $F$  куч ва  $a$  тезланиш вектор катталик бўлиб, тенглик вектор кўрилишида қуйидагича ёзилади:

$$\vec{F} = m\vec{a} \text{ ёки } \vec{F} = m \frac{d\vec{v}}{dt}. \quad (9.3)$$

Демак, жисмга таъсир этувчи куч қиймати шу жисм массаси билан унинг шу куч таъсирида олган тезланиши кўпайтмасига тенг бўлиб, тезланиш вектори йўналиши куч векторининг йўналиши билан бир хил бўлади.

Ньютоннинг иккинчи қонунидан, хусусий ҳолда, жисмга таъсир этувчи натижавий куч нолга тенг ( $F=0$ ) бўлса, унинг олган тезланиши ҳам нолга тенг ( $a=0$ ) бўлади; жисмга ташқи таъсир бўлмаса, у тезланиш олмайди, яъни жисм ўзининг тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлайди. Демак, Ньютоннинг биринчи қонуни иккинчи қонунининг хусусий ҳолидир.

Милтик патрондаги порох ёнмаган ҳолда ўқ тинч туради, чунки унга ҳаракатлантирувчи куч таъсир этмайди. Порох ёқилса, унинг ёнишидан ҳосил бўлган газларнинг босим кучи ўқни ҳаракатга келтиради, (9.2) формулага асосан, у сувел ичида тезланиш билан ҳаракат қилади ва  $a = \frac{F}{m}$  тезланишида отилиб чиқади. Порох заряди қанчалик кўп бўлса, газнинг босим кучи ва демак, ўқнинг тезланиши шунчалик катта бўлади. Ўқ массаси қан-

чалик катта бўлса, акенича, унинг тезланиши шунчалик кичик бўлади.

Қайиқда ўтирган одам эшакларнинг қанчалик катта куч билан ҳаракатга келтирса, шу куч таъсир этиш давомида қайиқнинг олган тезланиши ҳам шунчалик катта бўлади. Акенича, қайиқ ва одам массалари ҳамда ишқаланиш кучлари катта бўлса, тезланиш кичик бўлади.

Икки моторли самолётнинг тезланиши унинг икки моторининг тортиш кучига пропорционал бўлса, тўрт моторли самолёт тезланиши ундан икки барабар катта бўлади.

Сн системасида масса бирлиги кг, тезланиш бирлиги  $\text{м/с}^2$ , куч бирлиги «ньютон» бўлганлиги учун 1 ньютон кучга қуйидагича таъриф берилади: *1 ньютон куч деб. 1 кг массали жисмга  $1 \text{ м/с}^2$  тезланиш бера оладиган куч катталигига айтилади ва қуйидагича белгиланади:*

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1 \text{ кг} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

1 кг массали жисм эркин тушаётганда  $9,8 \text{ м/с}^2$  тезланиш олади ва  $F = 1 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 9,8 \text{ Н}$  кучни техникада 1 кГ куч деб юритилади. Демак, тинчликдаги массаси 1 кг жисмининг оғирлиги  $P = mg = 1 \text{ кГ}$  кучга тенг; 5 кг массали жисмининг оғирлиги 5 кГ кучга тенг ва ҳоказо.

Жисм инебатан кичик баландликдан эркин тушганда оғирлик кучи таъсирида текис тезланувчан ҳаракатланади. Жисмининг оғирлик кучи унинг массасига тўғри пропорционал бўлади. Масалан, 1 кг массали жисмга қараганда 10 кг массали жисмга 10 марта катта оғирлик кучи таъсир қилади. Ер сиртига яқин нуқталарда жисмининг массаси неча марта ортса, оғирлик кучи ҳам шунча марта ортади. Шунинг учун эркин тушувчи барча жисмларнинг тезланиши бир хил:

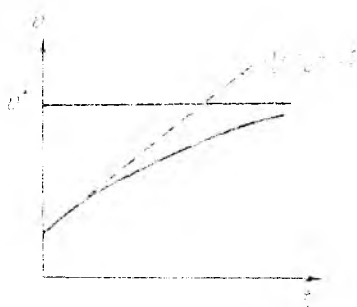
$$\frac{P_1}{m_1} = \frac{P_2}{m_2} = \dots = g = \text{const} \text{ бўлиб, } g = 9,81 \text{ м/с}^2 \text{ га тенг.}$$

Агар жисман Ердан бирор  $h$  баландликка кўтарилса, унинг оғирлик кучи (Ер билан жисм орасидаги тортишни кучи

$$P = G \frac{M \cdot m}{(R + h)^2}) \text{ камайди, лекин массаси ўзгармайди ва}$$

Ньютоининг иккинчи қонунига асосан жисмининг эркин тушиш тезланиши  $g_h = \frac{P_h}{m}$  камайди. Масалан, 400 км баландликка кўтарилган ракета эркин тушиш тахминан  $g = 8,87 \text{ м/с}^2$

тезланиш билан тушади ва Ерга яқинлашганда унинг тезланиши  $9,81 \text{ м/с}^2$  га етади. Оғирлик кучи Ойда Ерга нисбатан олти марта кичик бўлганлиги учун (жиём массаен Ойда ҳам, Ерда ҳам бир хил) Ойга тушувчи метеоритларнинг эркин ту-



34-расм.

шиш тезланиши ( $g_n =$

$= \frac{P_n}{m}$ ) Ерга нисбатан олти марта кичик бўлади.

Жиёмлар ҳавода эркин тунганда, ҳавонинг қаршилик кучи ҳам таъсир қилади ва Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан:

$g = \frac{\vec{P} + \vec{F}_{к.к}}{m}$  ёки  $g = \frac{P - F_{к.к}}{m}$  га тенг бўлади. Тезлик ортиши билан қаршилик кучи  $F_{к.к}$  оғирлик кучи  $P$  билан тенглашгунга қадар ҳаракат нотекис тезланувчан, ундан кейин эса ( $g = 0$ ,  $P - F_{к.к} = 0$ ) жиём ўзгармас тезлик билан тушади. Жиёмларнинг ҳавода тушиш тезлигининг ортинин ҳавонинг қаршилик кучи таъсирда камайиб боради ва тезлик чизикли ( $v_t = v_0 + gt$ ) ортиб бормай, балки бирор барқарорлашган  $v^*$  тезлик қийматига яқинлашади (34-расм).

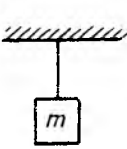

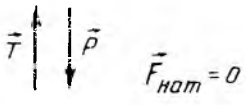
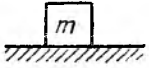
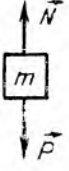
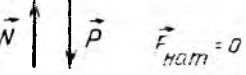
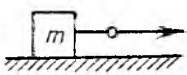
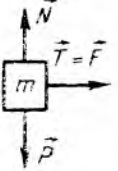
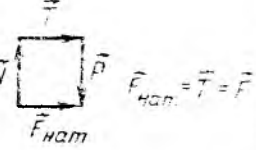
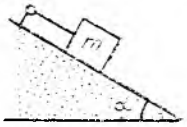

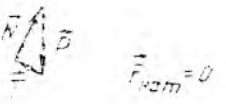


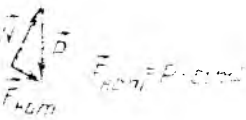
Қайд қилиб ўттиш лозимки, жиёмга тезланиш берувчи  $\vec{F}$  натижавий куч векторидир. Жиёмга бир неча куч таъсир этганда  $\vec{F}$  куч айрим таъсир этувчи кучларнинг вектор йиғиндисига тенг бўлади.

35-расмда келтирилган айрим ҳоллар учун натижавий куч ва тезланиш қийматларини кўриб чиқайлик.

а)  $m$  массали жиёмга иккита куч таъсир этади: пастрга йўналган жиёмнинг  $\vec{P}$  оғирлик кучи ва юқорига йўналган ишнинг  $\vec{T}$  гаранглик кучи. Бу кучлар ўзаро мувозанатда, натижавий куч ва демак, тезланиш нолга тенг бўлади:

$$F_{\text{нат}} = P - T = 0; \quad a = \frac{F_{\text{нат}}}{m} = 0.$$

б) Жиём тич турибди.  $\vec{P}$  оғирлик кучи ва юқорига йў-

<p>a)</p> 		 $\vec{F}_{\text{нат}} = 0$
<p>б)</p> 		 $\vec{F}_{\text{нат}} = 0$
<p>в)</p> 		 $\vec{F}_{\text{нат}} = \vec{T} = \vec{F}$
<p>г)</p> 		 $\vec{F}_{\text{нат}} = 0$
<p>д)</p> 		 $\vec{F}_{\text{нат}} = P \cdot \sin \alpha$

35- расм.

налга:  $\vec{N}$  реакция кучи ўзаро мувозанатда. Нативжий куч ва тезлашиш нолга тенг:

$$F_{\text{нат}} = P - N = 0; a = \frac{P - N}{m} = 0.$$

в) Горизонтал йўналишда таъсир этувчи  $\vec{F}$  куч ипнинг  $\vec{T}$  таранглик кучини ярагади ва таранглик кучи жисмга таъсир этади,  $\vec{P}$  оғирлик кучини  $\vec{N}$  реакция кучи мувозанатлайди:

$$F_{\text{нат}} = P - N + T = T; \quad a = \frac{T}{m}.$$

г) Жисмни қия текисликда ип тутиб турибди. Ипнинг  $\vec{T}$  таранглик кучи  $\vec{N}$  нормал реакция кучи билан  $\vec{P}$  оғирлик кучларининг вектор йиғиндисига, натижавий куч эса нолга тенг:

$$F_{\text{нат}} = 0; \quad a = \frac{F_{\text{нат}}}{m} = 0.$$

д) Тутиб турувчи ипни олиб ташласак, жисмга тезланиш берувчи натижавий куч нолга тенг бўлмайди (ишқаланиш кучини кичик деб ҳисобласак):

$$F_{\text{нат}} = P \cdot \sin\alpha; \quad a = \frac{F_{\text{нат}}}{m} = g \cdot \sin\alpha.$$

Жумладан, поездга паровознинг тортиш кучидан ташқари ҳавонинг қаршилик кучи ва рельсларнинг ишқаланиш кучлари таъсир қилишини ҳисобга олсак, Ньютоннинг иккинчи қонунини вектор кўринишда

$$a = \frac{\vec{F}_{\text{т.к}} + \vec{F}_{\text{қ.к}} + \vec{F}_{\text{и.к}}}{m} = \frac{\vec{F}_{\text{нат}}}{m} \quad (9.4)$$

ва скаляр кўринишда

$$a = \frac{F_{\text{т.к}} - F_{\text{қ.к}} - F_{\text{и.к}}}{m} = \frac{F_{\text{нат}}}{m} \quad (9.5)$$

деб ёзиш мумкин.

Ҳавонинг қаршилик кучи ва ишқаланиш кучлари паровознинг тортиш кучига тенглашгандан сўнг ( $a=0$ ), поезд ўзгармас тезлик билан текис ҳаракат қила бошлайди. Тортиш кучини янада орттирилса, поезд тезланувчан ҳаракатга ўтади.

Спортчи мотоциклчилар мусобақаларида кузатиш мумкинки, баъзи спортчилар старт берилгандан бошлаб, кучдан ютиш учун, мотоцикл олдинги ғилдирагини Ер (муз) дан кўтариб олади. Бу билан (9.5) формулага асосан, ишқаланиш кучини камайтириб, тезроқ катта

тезлашиш олашга ва катта тезликкә эришишга интиладилар.

**Ўзгарувчан массали жисм учун Ньютоннинг иккинчи қонуни.** Ньютон яшаган даврда жисмлар массасининг ҳаракат тезлигига боғлиқ равишда ўзгариб бориши маълум эмас эди. Жисмнинг массаси унда бор бўлган модда миқдори деб тушунилар эди. Массани ўзгармас миқдор деб ҳисоблаб, дифференциал белгиси остига киришиб ўзилса, Ньютоннинг иккинчи қонунини

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt} \quad (9.6)$$

кўринишида ифодалаш мумкин. У ҳолда динамиканинг иккинчи қонунини қуйидагича таърифлаш мумкин: жисм ҳаракат миқдорининг ўзгариши жисмга таъсир этувчи кучга пропорционал бўлиб, йўналиши эса таъсир қилувчи куч йўналишида бўлади. (9.6) ифодага кўра инерция қонунини қуйидагича изоҳлаш мумкин: жисмга ташқаридан таъсир этувчи куч бўлмаса ( $F=0$ ), унинг ҳаракат миқдори ( $m\vec{v} = const$ ) ўзгармайди, яъни тинч ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат ҳолатини сақлайди. Агар жисмга кучнинг таъсир этиши жуда тез ва қисқа вақт оралиғида юз берса у ўз инерциясига кўра аввалга тинч ёки текис ҳаракат ҳолатини сақлайди (тўнқариқланган бутилка тешидан қорозини тез тортиб олганинда унинг тик туриб қолганини эсланг), яъни ҳаракат миқдорининг ўзгариши сезилмайди.

Жисм массасининг унинг тезлигига қўнайтмаси ҳаракат миқдори деб аталган. Бу ном жисм массасининг қадимий таърифига боғлиқ равишда, яъни масса жисмда бор бўлган модда миқдори бўлса,  $p = m\vec{v}$  ҳаракат миқдори мазмунида қабул қилинган. Эйнштейннинг нисбийлик назариясига кўра, жисм массаси унинг тезлигига боғлиқ равишда ўзгаради:

$$m_c = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad \vec{F} = \frac{m_0 \vec{a}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (9.7)$$

Нисбийлик назариясининг бу ифодаларига кўра, жисмнинг массаси тезлик ортини билан ортиб боради ва шунинг учун масса жисмда бор бўлган модда миқдори эмас. Шундан жисм массасини унинг ҳаракат тезлигига қўнайтмасини ҳаракат импулси деб атаган маънада бўлади.



Жисмга таъсир этувчи  $\vec{F}$  кучининг шу куч таъсир этган вақти  $dt$  га кўпайтмасидан иборат  $\vec{F}dt$  вектор катталик *куч импульси* дейилади. Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан жисм ҳаракат импульсининг ўзгариши унга таъсир этувчи куч импульсига тенг:

$$d\vec{p} = \vec{F}dt \quad \text{ва} \quad d\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \int \vec{F}dt, \quad (9.8)$$

бунда  $\vec{p}_1$  ва  $\vec{p}_2$  жисмининг  $t_1$  ва  $t_2$  вақтдаги ҳаракат импульсларидир.

Агар жисмининг массаси унинг тезлиги ўзгарганлиги учун эмас, ҳаракат давомида жисмдаги модда миқдорининг ажралиши ёки қўшилиши эвазига ўзгарса (масалан, ракета ҳаракатида ёнилғи массасининг камайиши) илгариланма ҳаракат қонуни Мещерский тенгламаси орқали ифодаланади:

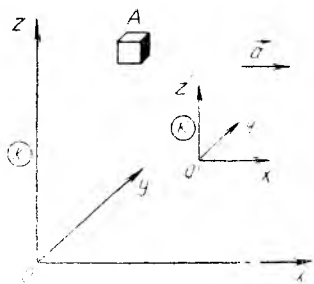
$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F} + (\vec{v}_1 - \vec{v}) \frac{dm}{dt}, \quad (9.9)$$

бунда  $m$  ва  $\vec{v}$  масса ва тезлик,  $\vec{F}$  ташқи куч,  $\vec{v}_1$  — ажралиб чиқувчи ( $\frac{dm}{dt} < 0$ ) ёки қўшилувчи ( $\frac{dm}{dt} > 0$ ) модда тезлиги.  $\vec{F}_p = -(\vec{v}_1 - \vec{v}) \frac{dm}{dt} = \vec{u} \frac{dm}{dt}$  куч эса жисмга қўшимча таъсир этувчи *реактив куч* дейилади.

Ньютоннинг иккинчи қонунининг (9.9) кўриниши инерциал саноқ системаларида бажарилади.  $K$  инерциал саноқ системада тинч турган  $A$  жисм  $a$  тезлиги билан ҳаракатланаётган  $K'$  нонинерциал саноқ системага нисбатан ( $-a$ ) тезланишга эга бўлади (36-расм).

$K'$  нонинерциал саноқ системада Ньютоннинг иккинчи қонуни бажарилмайди, ваҳоланки ҳеч қандай куч таъсирида бўлмаган ( $K$  — системада) тинч турган жисм бу  $K'$  системада ( $-a$ ) тезланишга эга бўлади. Ньютоннинг иккинчи қонуни  $K$  инерциал саноқ системасида қуйидаги кўринишга

$$\vec{F} = m \vec{a} \quad (9.10)$$



36-расм.

эга бўлса,  $K'$  ноинерциал саноқ системада бу қонун бажарилиши учун  $\vec{F}$  ташқи таъсир кучига  $\vec{F}_и$  инерция кучини қўшиш зарур, яъни

$$\vec{F} + \vec{F}_и = m\vec{a}. \quad (9.11)$$

Жисмга таъсир этувчи барча кучларни қўшиб, унинг ҳаракат тенгламасини статик тенглама кўринишига келтириш мумкин (Даламбер принципи). Механиканинг динамик масалаларни статика методлари билан ечиш усулларига асосланган бу бўлим кинетостатика дейилади. Кинетостатика методлари айниқса машина ва механизмлар назарияси курсида кўп қўлланилади.

**Ньютоннинг иккинчи қонунини қўлланишига доир мисоллар**

1. Пружинали тарозиде турган одамга унинг  $\vec{P}$  оғирлик кучи ва пружинанинг  $\vec{N}$  эластиклик кучи таъсир этади.

а) Одам тинч турибди дейлик. Одамнинг оғирлик кучи пружинанинг эластиклик кучи билан мувозанатда бўлиб, уларнинг сон қийматлари ўзаро тенг, йўналишлари эса қарама-қаршидир, Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан:

$$\vec{a} = \frac{\vec{P} + \vec{N}}{m}; \quad P = N; \quad a = \frac{P - N}{m} = 0.$$

б) Одам тезланишли ҳаракат қилиб тиззаларини буксин. Одам тезланишли ҳаракати давомида юқорига йўналган  $\vec{N}$  куч пастга йўналган  $\vec{P}$  оғирлик кучидан кичик бўлади. У ҳолда натижавий куч вектори  $\vec{P} + \vec{N}$  ва демак,  $\vec{a}$  тезланиш вектори ҳам пастга қараб йўналган, унинг қиймати эса қуйидагига тенг:

$$a = \frac{P - N}{m}.$$

в) Одам тезланишли ҳаракат қилиб, тиззаларини тиклаб дастлабки ҳолатига қайтганда эса пружинанинг  $\vec{N}$  эластиклик кучи  $\vec{P}$  оғирлик кучидан катта бўлади. Натижавий  $\vec{F}$  куч вектори ва  $\vec{a}$  тезланиш вектори ҳам юқорига йўналган бўлади, тезланиш қиймати эса қуйидаги тенгликдан топилади:

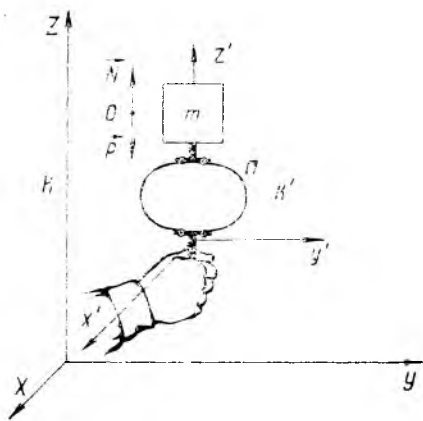
$$a = \frac{F}{m} = \frac{N - P}{m}. \quad (9.12)$$

Юқорида келтирилган мисолни қуйидаги тажрибадан ҳам тушуниш мумкин. Ҳалқасимон пружинадан иборат бўлган  $\Pi$  куч ўлчогични вертикал ҳолатда тутиб турайлик (37-расм).

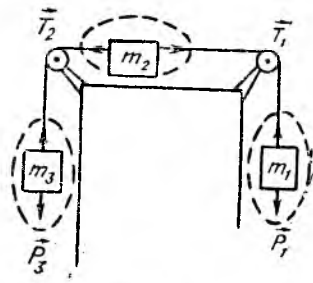
Унинг юқори қисмига  $m$  массали жисми ўрнатайлик. Қўлни ўзгармас тезлик билан юқорига ёки пастга ҳаракатлантирилганда пружинанинг сиқилиш даражаси ўзгармайди ( $K'$  система  $K$  га нисбатан ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилади). Агар аксинча, қўлни юқорига ёки пастга тезланиш билан ҳаракатлантирсак, пружина мос равишда кўпроқ ёки камроқ қисилади, яъни  $\vec{P}$  куч  $\vec{N}$  дан мос равишда катта ёки кичик бўлади.

Қундалик турмушда ушбу ҳолатни лифтда кўтарилганда ёки тушганда, айниқса лифтнинг қўзғалиши ва тўхташ пайтларида аниқ сезиш мумкин. Агар лифт юқорига  $a$  тезланиш билан ҳаракат қилса, оғирлигимиз  $P = mg$  эмас  $mg + ma$  га тенг бўлиб, оёқларимиз босим кучининг ортақчилигини сезади. Аксинча, пастга қараб тезланиш билан тушганда эса  $P = mg - ma$  бўлиб, оёқларимизга тагликнинг таъсири камайганлигини сезамиз. Тасодифан, лифт сими

узалиб кетиб лифт билан биргаликда «эркин» тушсангиз  $a = g$  бўлиб вазнингиз, яъни тагликка босим кучингиз  $P = m(g - g) = 0$  бўлади ва вазнсизлик ҳолати ҳосил бўлади. Вазнсизлик ҳолатида сизнинг оғирлигингиз, яъни Ернинг тортишиш кучи  $F = mg$  нолга тенг эмас, лекин вазнингиз тагликка босим кучи нолга тенг бўлади.



37-расм.



38-расм.

2. 38-расмда келтирилган қурлма классик Ативуд машинасининг асосини танкил этади.  $m_1$ ,  $m_2$  ва  $m_3$  массали учта жисмни биргаликда битта система деб ҳисоблаб, системанинг тезланишини топиш мумкин. Ньютоннинг иккинчи қонунини татбиқ этсак, қўйидаги нфода ҳосил бўлади:

$$F = P_1 - P_2; a = \frac{P_1 - P_2}{m} = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2 + m_3} g, \quad (9.13)$$

$P_1$ ,  $P_2$  ва  $P_3$  — жисмларнинг бирлик кучлари.

Агар  $m_1$ ,  $m_2$  ва  $m_3$  массали жисмларнинг ҳар бирини алоҳида система деб қаралса, уларнинг ҳар бири учун Ньютоннинг иккинчи қонунини татбиқ этиб, учта тенглама ҳосил қиламиз:

$$\left. \begin{aligned} m_1 g - T_1 &= m_1 a \\ T_1 - T_2 &= m_2 a \\ T_2 - m_3 g &= m_3 a \end{aligned} \right\} \quad (9.14)$$

бунда  $T_1$  ва  $T_2$  — таранглик кучлари.

Системани биргаликда ечиб, тезланишни зинқлаймиз:

$$m_1 g - m_3 g = (m_1 + m_2 + m_3) a; \quad a = \frac{m_1 - m_3}{m_1 + m_2 + m_3} g. \quad (9.15)$$

3. Тинч турган автомобиль тезланиш олиб ҳаракатлансин. Ер билан бөөглик бўлган  $K$  системани инерциал саноқ система деб фараз қилайлик. Ерга нисбатан  $a$  тезланиш билан ҳаракатланаётган автомобиль билан бөөглик бўлган  $K'$  ноинерциал саноқ системасида автомобилга қўйидаги кучлар таъсир этади:  $F_{\parallel}$  — ноинерциал саноқ системасида таъсир этувчи инерция кучи,  $N_1$  ва  $N_2$  — вертикал йўналишда, йўл томонидан олдинги ва орқадаги ўқларга таъсир этувчи кучлар,  $P$  — автомобиль оғирлик кучи,  $F_{\text{ишқ}}$  — орқадаги тортувчи вилдирақлар билан йўл орасидаги ишқаланиш кучи.

$K'$  ноинерциал саноқ системасига нисбатан тинч турган автомобилнинг мувозанат шартларини ўрта мактабдан маълум қондаларга асосланиб ёзамиз: барча кучларнинг геометрик йиғиндисини нолга тенг ва автомобиль ихтиёрий нуқтасига нисбатан барча кучлар моментларининг йиғиндисини нолга тенг, яъни

$$\left. \begin{aligned} N_1 + N_2 - mg &= 0 \\ F_{\parallel} - F_{\text{ишқ}} &= 0 \\ Pl_2 - N_1(l_1 + l_2) - F_{\parallel}(h) &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (9.16)$$

Автомобиль жуда катта тезликка эришганда олдинги гилдираклари ердан кўтарилиб орқага тўнтарилиб кетиши ҳам мумкин. Тўнтарилиш ҳолатидан аввал олдинги гилдиракларнинг Ерга босим кучи полга тенг ва демак, (9.16) тенгламадан  $N_1 = 0$ ;  $N_2 = mg$  бўлади, яъни тўла оғирлик орқадаги гилдиракларга тушади. Шу босдан автомобильнинг олдинги гилдиракларига камроқ, орқа гилдиракларга эса кўпроқ ҳаво босими берилади.

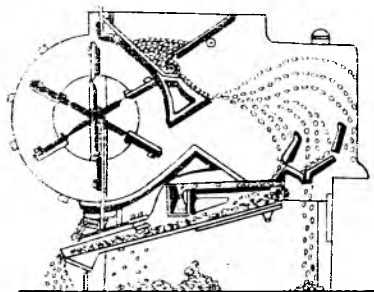
Ишқаланиш кучи ортиб,  $F_{\text{тр}} = kN_2 = kmg$  ва  $F_{\text{тяг}} = kmg$  га тенг бўлади. Инерция кучи фодасини (9.16) тенгламака кўйиб, қуйидаги муносабатларни ҳосил қиламиз:

$$Pl_2 - kmg h = 0; \quad mgl_2 = kmg h; \quad k = \frac{l_2}{h}. \quad (9.17)$$

Сўнги  $l_2 = kh$  тенглама автомобиль олдинги гилдиракларининг Ердан ажралиш шартидир. Агар  $k < \frac{l_2}{h}$  бўлса, ҳар қандай тезликларда ҳам гилдираклар Ердан узилмайди,  $k > \frac{l_2}{h}$  бўлган ҳолда автомобиль орқага тўнтарилиб кетиши мумкин.

Демак, автомобилни ағанаб кетмаслиги, яъни турғунлигини ошириш учун унинг ўқлари орасидаги масофа каттароқ, масса марказининг Ердан баландлигини эса кичикроқ қилиб ясаш зарур экан. Бинобарин, юк машиналарига инсбатан катта тезликларга мўлжалланган енгил машиналарининг узунлигини сақлаган ҳолда, инсбатан масса марказини Ерга яқин қилиб ясалиши ҳам Ньютон қонунарига асослангандир.

Ернинг сунъий йўлошларини орбитага чиқаришда, яъни катта космик тезлик қийматига эришишда, Ньютоннинг иккинчи қонуни амалий аҳамиятга эга. Бунда одатда кўн босқичли баллистик ракеталардан фойдаланилади. Дастлаб, ракета биринчи босқич двигатели ёрдамида вертикал йўналишда ҳаракат олади. Ракета маълум баландликда етарлича тезликка эришгач, махсус қурилмалар ёрдамида ракетанинг ўқи вертикал йўналишдан бурилади. Ракета бир неча ўнлаб километр баландликка кўтарилиб, (7000—7500) км/соат тезликка эришганда биринчи босқич ёпилғи тугайди ва бўш ёқилғи баклари ҳамда двигатель ва қўшимча қисмлар автоматик равишда ракетадан ажралади. Массаси анча камайган ракетага иккинчи босқич двигатели янада катта тезланиш беради. Иккинчи босқич охирида авто-



39- расм.

да ишлатиладиган кўпчилик машина ва механизмларнинг ишлаш принципи асосида Ньютон қонунлари ётади. Қишлоқ хўжалик соҳасида донларни тозалаш ва навларга ажратиш учун мўлжалланган машиналарда оғирлик кучи таъсирида тушаётган дон зарраларига ҳаво оқими таъсир қилади (39- расм).

Ҳаво оқимининг таъсир кучи ҳар хил массали дон зарраларига турлича тезланиш беради. Массаси катта, йирик дон зарралари нисбатан кичик тезланиш олади ва яқинроққа тушади. Массаси кичик, майда дон зарралари эса катта тезланиш олиши натижасида узоқроққа тушади, натижада дошнинг майда бўлаклари алоҳида, йирик бўлаклари алоҳида йиғилади.

## 10- §. Ньютоннинг учинчи қонуни

Ньютоннинг биринчи қонуни ташқаридан ҳеч қандай таъсир остида бўлмаган жисм ҳаракати ҳақидаги қонун эди. Иккинчи қонуни эса ташқи таъсир бўлган ҳолда жисмнинг олган тезланишини унинг массасига ва таъсир кучига боғланишини ифодалайди. Лекин бу қонунларни ўрганишда, таъсир остида бўлган жисмнинг таъсир берувчи жисм билан динамик боғланиш қонунияти назардан четда қолди. Таъсир остида бўлган жисмнинг таъсир берувчи жисм билан динамик боғланиш қонуни «таъсир ва аке таъсир» қонунидан иборат бўлиб, Ньютоннинг учинчи қонунининг мазмунини ташкил этади.

Ньютоннинг иккинчи қонунига кўра, паровознинг тортиш кучи катта бўлса, вагонга катта тезланиш беради. Агар паровознинг двигатели билан ёлдиракларини

матик ажралош натижасида ракета массаси янада камайди, учинчи босқич двигатели янада катта тезланиш беради. Шундай қилиб, охириги босқичда ракетанинг олд қисмига жойлашган сунъий йўлдош тезлигини керакли бўлган катта космик тезлик ( $\sim 8$  км/с) қийматига етказилади.

Техника, транспорт, қишлоқ хўжалик соҳаси-

рельсларга теккизмай кўтариб қўйсақ, паровознинг ўша қувватли двигатели вагонга тезланиш бера оладими? Албатта, йўқ. Нега? Бу ҳолда Ньютоннинг иккинчи қонуни бажарилиши учун, яъни паровоз вагонга таъсир эта олиши ва Ерга нисбатан бирор йўналишда тезланиш олиши учун у Ерга таяниши ва унга тескари йўналишда тезланиш бериши керак. Рельс билан ғилдирақлар орасидаги ишқаланиш туфайли паровоз Ерни ўзидан итарди ва Ер паровозга куч билан таъсир этиб тезланиш беради. Ньютоннинг иккинчи қонунига кўра, Ернинг массаси нисбатан жуда катта бўлганлиги учун унинг ҳаракат ҳолати деярли ўзгармайди. Шунингдек, автомобиль асфальт йўлда керакли тезланиш олиши мумкин, қор ёки муз билан қопланган йўл бўлагидея эса двигатель тортиш кучи ўзгармаган ҳолда катта тезланиш олиши қийин. Ернинг аке таъсир кучи бўлмаса, паровоз ёки автомобиль ҳаракатга кела олмайди.

Демак, кучлар жисмларнинг ўзаро таъсиридан намоён бўлади. Жисмларнинг таъсирлашуви эса ўзаро бўлиб, таъсир ва аке таъсирдан иборатдир. Бинобарин, Ер сиртида тинч турган жисм ўз вазнига кўра тагликка  $P$  босим кучи билан таъсир этса, таглик томонидан жисмга  $N$  реакция кучи таъсир этади. Ипга осилган жисм оғирлиги ипга таъсир этади ва уни бирор тарангликда чўзади, ўз навбатида ип юкни сон жиҳатдан унинг оғирлигига тенг куч билан юқорига кўтаради; бу сўнгги куч бўлмаганда жисм Ерга тушиб кетган бўларди.

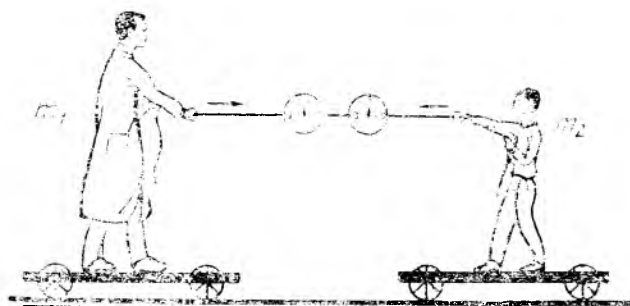
Токаръ станогининг кескичи бирор куч билан ишлов берилаётган жисмга таъсир этади, жисм ўз навбатида кескичга таъсир этади, вақт ўтиши билан кескич ўтмас бўлиб қолади.

Футболчи тўпни қанчалик катта куч билан тепса, тўп ҳам, унинг оёғига шунчалик катта куч билан таъсир этади (40-расм).  $\vec{F}_2$  аке таъсир кучининг қиймати  $\vec{F}_1$  таъсир кучи қийматига тенг бўлиб, йўналиши қарма-қаршидир. Ранда дастасига ёки арра дастасига қўл кучи билан таъсир этиб, дастанинг қўлимизга таъсирини хусусан, кафтимизнинг эзилганини сезамиз.



40- расм.

Хуллас, кучлар жиемларнинг ўзаро таъсири маҳсулидир. Механикада ягона куч, ягона таъсир бўлмайди, фақат жуфт кучлар мавжуд бўлиб, жиемларнинг таъсири ўзаро, яъни таъсир ва аке таъсирдан иборат бўлади. Таъсир ва аке таъсирнинг моҳияти шундан иборатки, бир жием иккинчи жиемга бирор куч билан таъсир этса, иккинчи жием ҳам ўз навбатида бириинчи жиемга таъсир этади. Таъсир ва аке таъсир кучлар ҳар хил жиемларга қўйилган.



41-расм.

Тажрибалар шунни кўрсатадики, массалари қандай бўлишидан қатъи назар, икки жиемнинг ўзаро таъсир кучлари сон жиҳатидан бир-бирига тенг. Йўналишлари эса қарама-қарши бўлади (41-расм). Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан  $m_2$  массали бола катта тезлашиш олаё, аксинча, массаси  $m_1$  бўлган киши кичик тезлашиш олади. Тажрибани қуйидаги ҳолларда бажариб кўриш мумкин: бола ҳам, киши ҳам ҳар иккаласи арқонини тортадилар; иккинчиси махсус тортмаган ҳолда улардан бири арқонини тортади. Барча ҳолларда ҳам динамометрлар кўрсатишлари бир хил, яъни таъсир ва аке таъсир кучлари тенг. Ўзаро таъсирлашувчи жиемларнинг тезлашишлари қарама-қарши йўналишида бўлади.

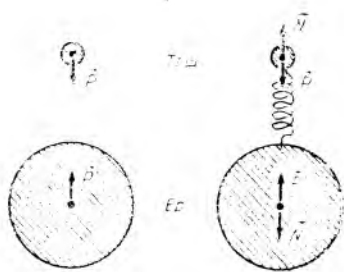
42-расмда чўзилган ёйеим-чи пружина, иккала қўлга қийматлари тенг, йўналишлари бўйича қарама-қарши бўлган  $F_1$  ва  $F_2$  кучлар билан таъсир этади. Пружина бир қўлда тутиб турилганда деформацияланмайди ва куч ҳам таъсир этмайди.

Ер ва тош мисолида (43-а расм) ҳар иккала жием орасида ўзаро  $\vec{P}$  тортиш кучи мавжуд. Ер ҳам, тош ҳам





42-расм.



43-расм.

массаларига пропорционал равишда тезланиш олиб бир-бирига яқинлашади. Лекин Ернинг массаси тошнинг массасидан жуда катта бўлганлиги учун тезланиши жуда кичик бўлади ва Ернинг тош томонга қараб силжишини сезиш қийин. Шунинг учун, аслида, Ердан туриб юқорига отилган барча жисмлар тортиш кучи таъсирида Ерга тезланиш билан қайтиб тушади. Улар орасига эластик пружина жойлаштирилса (43-б расм), ўзаро тортишвий кучларини мувозанатловчи икки куч ҳосил бўлади. Энди ҳар бир жисмга қийматлари тенг, йўналишлари қарама-қарини бўлган иккитадан  $\vec{P}$  ва  $\vec{N}$  ҳамда  $\vec{P}_1$  ва  $\vec{N}_1$  кучлар таъсир этади ва ҳар бир жисм бир-бирига нисбатан тинч ҳолатда қолади. Жисмларнинг ўзаро таъсирини ўрганиш учун кўплаб тажриба ва ҳисобларни келтириш мумкин.

Ньютон ўзаро таъсир қонуниятларини ўрганиб, ўзаро таъсирда бўлган икки жисм бир-бирига сои қийматлари тенг, лекин йўналишлари қарама-қарини бўлган кучлар билан таъсир қилади, деган хулосага келади, яъни

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \quad (10.1)$$

бунда  $\vec{F}_{12}$  — биринчи жисмнинг иккинчи жисмга таъсир кучи,  $\vec{F}_{21}$  — иккинчи жисмнинг биринчи жисмга таъсир кучи.

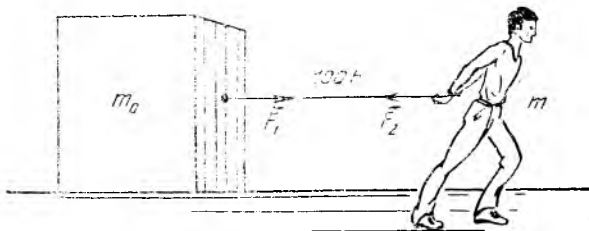
$\vec{F}_{12}$  ва  $\vec{F}_{21}$  куч векторлари икки жисмни туташтирувчи түгри чизиқ ўстида ётади. (10.1) ифода Ньютоннинг учинчи қонунининг математик ифодасидир. Динамиканинг иккинчи қонунидан фойдаланиб, бу ифодани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2; \quad m_2 = - \begin{pmatrix} \vec{a}_1 \\ \vec{a}_2 \end{pmatrix} m_1. \quad (10.2)$$

Агар биринчи жисм массаси масса эталони қилиб олинса, жисмлар тезланишларининг муносабатини ўлчаш натижасида иккинчи жисм массаси  $m_2$  ни аниқлаш мумкин.

(10.1) ва (10.2) нфодалардаги минус ишораси таъсир ва акс таъсир кучларнинг йўналиши қарама-қаршилигини ва таъсирлашувчи жисмлар ҳаракатга келса, уларнинг олган тезланишлари қарама-қарши йўналишда бўлишлигини билдиради. Қайд қилиб ўтиш лозимки, иккинчи жисмга биринчи жисм томонидан таъсир этувчи  $\vec{F}_{12}$  куч иккинчи жисмга қўйилган,  $\vec{F}_{21}$  куч эса биринчи жисмга қўйилган. Шунинг учун бу кучларни ўзаро қўшиш ёки уларнинг таъсир этувчисини топиш мумкин эмас.

**Таъсир ва акс таъсир.** Ер устидаги ўзаро таъсирлашувчи иккита жисмнинг бир йўналишдаги механик ҳаракати содир бўлишлиги учун фақат икки жисм ўзаро таъсир кучларининггина бўлиши етарли эмас. Одатда, от аравани, электровоз вагонни, одам бирор юкни куч билан таъсир этиб ҳаракатга келтиради, деб айтилади;



44-расм.

бунда ўзаро таъсир ва акс таъсир кучлари билан биргаликда ишқаланиш ҳамда қаршилик кучларини ҳам ҳисобга олиш керак бўлади. Масалан, одам ердаги юкни судрай олса, ҳар иккала ўзаро таъсирлашувчи жисмлар — одам ва юк бир йўналишда ҳаракатга келади (44-расм). Одамнинг юкка таъсир кучи  $F_1 = 100\text{Н}$  бўлсин. Нютоннинг учинчи қонунига асосан юк ўз навбатида одамга  $F_2 = 100\text{Н}$  куч билан тескари йўналишда таъсир этади. У ҳолда ип 100 Н куч билан таранг тор-

тилади. Юк массаси  $m_0$ , одам массаси  $m$  бўлсин. Юк билан Ер орасида ҳаракат йўналишига тескари  $\vec{F}_{1\text{юк}}$  ишқаланиш кучи ҳам таъсир этади. Одам оёқлари билан Ер орасида  $\vec{F}_{2\text{юк}}$  ишқаланиш кучи таъсир этади. Одамнинг ҳаракатга келиши учун имконият берувчи муҳим куч ҳам ма-на шу  $\vec{F}_{2\text{юк}}$  ишқаланиш кучидир, одам оёқларини Ерга тираб, Ерни ўнгдан чапга итаради ва натижада ўзи ўнгга ҳаракатланади. Юк ва одам учун Ньютоннинг иккинчи қонунини алоҳида қўйидагича ёзиш мумкин:

$$100\text{Н} - F_{1\text{юк}} = m_0 a,$$

$$F_{2\text{юк}} - 100\text{Н} = m a.$$

Бу икки тенгламадан қўйидаги муносабатни ҳосил қиламиз:

$$F_{2\text{юк}} - F_{1\text{юк}} = (m_0 + m) a. \quad (10.3)$$

Агар одам оёқларининг Ерга  $\vec{F}_{2\text{юк}}$  ишқаланиш кучи юк билан Ер орасидаги  $\vec{F}_{1\text{юк}}$  ишқаланиш кучидан катта бўлса, одам яшикка тезланиш бера олади ва иккала жисм бир йўналишда ҳаракатга келади. Демак, динамиканинг учинчи қонунига асосан акс таъсир бўлмаса, таъсир ҳам бўлмайди ва аксинча.

Ҳар қандай жисм ўзидан бошқа ҳеч бўлмаганда битта ташқи жисм билан таъсирлашмагунча ўз-ўзидан ҳаракатга кела олмайди, масалан, осиб қўйилган мотоцикл ва автомобиль гилдираклари қанчалик айланмасин ўрнidan қўзғалмайди; ракета ҳам ёнилғи газлари билан, Ер ва атмосфера билан таъсирда бўлади. Келтирилган мисолларни ҳаётда у ёки бу кўринишда ҳар биримиз кўзатганмиз. Ҳақиқатан ҳам, лой йўлда тиқилиб қолган автомобилга қўшимча одамлар ўтқазиб ёки юк ортиб ишқаланиш кучини  $F = kP$  орттириш натижасида чиқиб кетиш ҳолларини кўрганмиз.

Икки киши куч синашмоқчи бўлиб, арқоннинг икки учидан қарама-қарши томонга тортади. Таъсир ва акс таъсир қонунига кўра, ҳар бир киши арқонни қандай куч билан тортса, арқон ҳам уни шундай, лекин қарама-қарши йўналишдаги куч билан тортади. Улардан қайси бирининг оёқлари билан Ер орасидаги ишқаланиш кучи катта бўлса, рақибини судраб кетади. Паровоз, электро-возларнинг оғирлиги, одатда, оддий вагонларникига

нисбатан катта бўлади. Чунки бир неча вагонлардан иборат бўлган катта юкин ҳаракатга келтириш учун уларнинг гилдираклари билан рельслар орасида етарлича ишқаланиш кучи бўлиши керак.

Таъсир ва аке таъсир кучларининг тенглиги милтиқ отилганда намоён бўлади. Пороҳ газлари ўққа қанчалик куч билан таъсир этса, шундай катталиклдаги аке таъсир кучи милтиққа тесқари тезланиш беради. Милтиқ массаси ўқнинг массасига нисбатан мишглаб маротаба катта бўлганлиги учун тенки кучи унчалик катта бўлмайди (10.2 тенгликка қаранг).

Реактив снаряд нчида етарли миқдорда ёнувчи порох заряди бўлади. Махсус ёниш камерасида юқори босимли ва температурали газлар ҳосил бўлади. Газлар камера орқа деворининг махсус тешигидан катта тезлик билан чиқиб, реактив эффект беради. Ньютоннинг учинчи қонунига асосан чиқибган газлар снарядга газ оқмига қарама-қарши йўналишда таъсир этади. Пороҳ қанчалик узоқ вақт ёниб, снарядга узоқ муддат таъсир қилиб турса, куч импульси ва снаряд тезлиги шунчалик катта бўлади ва унинг учинчи масофаси ҳам ортади.

Автоматик қуролларда: автомат, пулемёт, пистолетларда тенки кучидан қуролни қайта автоматик равишда ўқлаш мақсадида ҳам фойдаланиш мумкин. Пороҳ газларининг босим кучи махсус механизмин суриб, фойдаланилган патрон гильзасини чиқариб ташлайди ва етволга янги патронни киритади. Тенки кучининг камайиши пистолет ва автоматик қуроллардан нишонга тенгиши аниқлигини оширади.

Парракли ва барча янги хилдаги реактив самолётлар ҳаракати ҳам таъсир ва аке таъсир қонунига асосланади. Самолёт парраги айланганда ҳавони катта тезлик билан орқа томонга итаради. Аке таъсир қонунига кўра реактив куч паррақларга таъсир этиб, самолётни илгариданма ҳаракатга келтиради.

Ракеталар ва реактив двигателли самолётлар ҳаракати уларнинг ўзларининг нчидаги ёнилгининг ёниши натижасида ҳосил бўлган газ массасининг отилиб чиқишига, яъни тўғри реакция принципига асосланган: ўзаро таъсирлашувчи жиемлар системаси «газ — ракета», «газ — самолёт» дан иборат. Тўғри реакция принципининг мўҳияти шундан иборатки, система массасининг бир қиеми орқага йўналган бир қилди ҳаракат импульси олса, қолган қиеми тесқари томонга, яъни олдинга йўнал-

га-г  $m_2 v_2$  ҳаракат импульси олади. Бунда система умумий масса марказининг ҳолати ўзгармайди.

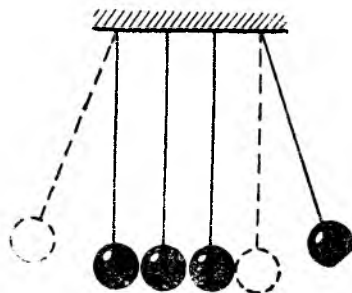
## 11- §. Ҳаракат импульси.

### Импульсининг сақланиш қонуни ва унинг баъзи бир татбиқлари

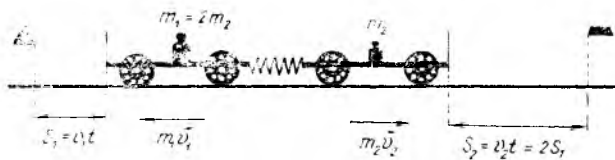
Оддий милтиқ ўқининг массаси кичик бўлиб, тахминан 2 г келади. Бундай ўқни улоқтириб юборилса, осонгина тутиб оламиз. Лекин шу ўқ милтиқдан отилиб чиқса-чи? Қўл билан эмас, тўрт қават қўлқоп кийиб ҳам тута ололмаймиз. Демак, жисмининг массаси кичик бўлса ҳам тезлиги катта бўлса тўхтатиш қийин масала экан.

Агар биз томонга болалар ўйинчоқ аравачаси юриб келаётган бўлса, оёғимизни тўсиб осонгина тўхтатамиз. Агар худди шундай тезлик билан юк машинаси келаётган бўлса, оёғимизни олиб қочамиз. Нега? Чунки, тезлиги кичик бўлса ҳам массаси катта жисмин тўхтатиш қийин. Демак, жисм массасини тезлигига кўнайтмаси муҳим катталиқ экан. Жисм массасининг унинг тезлигига кўнайтмаси  $p = mv$  алоҳида физик катталиқ бўлиб, ҳаракат импульси дейилади. Импульс вектор катталиқлар. Жисмининг ҳаракат импульси уни тўхтатиш учун маълум вақт ораллиғида қандай куч билан узлуксиз таъсир этиш кераклигини кўрсатади ёки тинч турган жисм шу тезлиги даражасига эришгунча қандай куч билан узлуксиз таъсир этиш кераклигини билдиради.

Ньютоннинг иккинчи қонунига кўра, жисм ҳаракат импульсининг ўзгариши куч импульси билан ўлчанади (9.6 формулага қаранг). Ҳаракат импульси, унинг ифодасига кирувчи айрим  $m$  ва  $v$  физик катталиқларга нисбатан фундаментал катталиқ ҳисобланади ва сақланиш қонунига бўйсунди. Лекин импульс асосий, фундаментал физик катталиқ бўлишига қарамасдан унинг бирлиги махсус ном билан аталмаган. СИ системасида импульс, масса ва тезлик кўнайтмаси



15- расм.



46- расм.

бирлиги кг·м/с да ўлчавади.

Штативга осилган математик маятник кўринишидаги, тўртта бир хил массали пўлат шарчадан (45- расм) ўнг-даги биттасини кичик бурчакка оғдириб қўйиб юборсак, қолган шарчаларга урилиб тўхтайти. Чапдаги энг сўнгги битта шарча эса ҳаракатга келади, ўнгдагисини кўтариб қўйиб юборилган шарча қандай бурчакка оғдирилган бўлса, бу шарча чап томонга шундай бурчакка оғади. Ўртадаги эластик шарчалар фақат таъсир кучини узатувчи жисмлар вазифасини ўтайди. Қўйиб юборилган шарча тўқнашш пайтида  $v$  тезликка ва  $p = mv$  импульсга эришади. Тўқнашгандан сўнг чапдаги шарча ҳаракатга келиб  $p = mv$  импульс олади. Тажрибадан хулоса қилиб шунни айтиши мумкинки, жисмлар системасининг импульси тўқнашгунча қандай бўлса, тўқнашгандан кейин ҳам шундайлигича сақланади.

Жисмлар ҳаракати қарама-қарши йўналишда бўлса ҳам тўла импульсининг сақланишини кузатиш мумкин (46- расм). Массалари бир-биридан икки марта фарқ қилувчи, сиқилган эластик пружина билан бириктирилган иккита аравачани олайлик. Дастлабки ҳолатида ҳар бир аравача тишч турибди ва системанинг тўла импульси нолга тенг. Пружинани бўшатиб юборилса, Нютоннинг учинчи қонунига асосан аравачаларга қиймати жиҳатидан тенг, лекин йўналиши қарама-қарши бўлган кучлар таъсир этади. Ҳар бир аравача қарама-қарши йўналишда  $p_1 = m_1 v_1$  ва  $p_2 = m_2 v_2$  импульс олади. Аравачаларнинг тенг вақт оралиғида босиб ўтган  $s_1$  ва  $s_2$  йўллари ҳар хил бўлиб, ўнгдаги енгил аравача, нисбатан икки марта катта йўл босади.  $s_1 = v_1 t$ ,  $s_2 = v_2 t$  ва  $m_1 = 2m_2$  бўлганлиги учун  $v_2 = 2v_1$  га тенг. У ҳолда  $m_1 v_1 = -m_2 v_2$  га тенг, яъни аравачаларнинг олган импульслари қиймати жиҳатидан тенг, йўналишлари қарама-қаршидир. Системанинг тўла импульси  $p = p_1 + p_2 = 0$  га тенг.

Тажрибаларнинг аниқ чиқиши учун ҳар бир таъсирлашаётган жисмга уларнинг бир-бирига кўрсатаётган таъсир кучларидан бошқа кучлар таъсир этмаслиги керак. Аввалги тажрибада (45-расмга қаранг) шарчалар ичларининг осиллиш нуқтасида ишқаланиш кучлари бўлмаслиги, ҳозирги тажрибада эса аравачалар гилдираклари деярли ишқаланишсиз айланиши керак.

Кўриб ўтилган ҳар икки тажрибадан аниқ бир хулосага келиш учун очиқ ва ёпиқ система тушунчаларини кўриб ўтайлик. Системага ташқи жисмлар томонидан таъсир кучи бўлмаса, бундай система *ёпиқ система* деб аталади. Система таркибидаги жисмларнинг ўзаро таъсир кучларини *ички кучлар*, системадан ташқаридаги жисмларнинг таъсир кучларини эса *ташқи кучлар* деб аталади.

Ер устидаги ўзаро таъсирлашувчи ҳар қандай жисмлар системасига Ернинг тортиш кучи таъсир қилади. Шунинг учун назарий олганда, Ер устидаги бирор жисмлар системасини ёпиқ система деб бўлмайди. Бу жисмлар системасини Ер билан биргаликда қўшган ҳолда ёпиқ система дейиш мумкин. Лекин бундан деярли ҳеч нарса ўзгармайди, чунки Ер массаси жуда катта бўлганлиги учун, унинг тезлиги ва импульси деярли ўзгармайди. Шунинг учун кўп масалаларда Ернинг ёпиқ системага таъсири ҳисобга олинмайди.

Горизонтал йўналишдаги тўқнашув ҳодисаларида айрим системаларни ёпиқ система деб ҳисоблаш мумкин. Масалан, термос ичидаги суюқлик молекулалари ўзаро таъсирлашади, лекин улар ташқи муҳит билан импульс ва энергияни деярли алмашмайди. Ер билан Ой орасидаги ўзаро таъсир кучини асосий, бошқа планеталар билан таъсир кучларини эса нисбатан кичик деб олинса, Ер ва Ойдан иборат системани ёпиқ система деб қараш мумкин. Баъзи амалий масалаларда Қуёш системасини ёпиқ система деб қаралади. Гарчи, Қуёш ва унинг атрофидаги планеталар бошқа юлдузлар билан таъсирлашса ҳам, бу ташқи таъсир кучлари Қуёш ва унинг планеталари орасидаги ички кучлардан анча кичик деб ҳисобланади. Системага бир неча ташқи кучлар таъсир этса, ва улар ўзаро мувозанатлашса, бундай системани ёпиқ деб ҳисоблаш мумкин.

Юқорида келтирилган тажрибалардан хулоса қилиб, импульснинг сақланиш қонунини қуйидагича изоҳлаш мумкин. Таъсир кучларининг табиатидан қатъи назар,

Ўзаро таъсирлашувчи икки жисм тўла ҳаракат импульси ўзгармас сақланади. Бу қонуinning математик ифодасини қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const}. \quad (11.1)$$

$\vec{p}_1$  ва  $\vec{p}_2$  — мос равишда биринчи ва иккинчи жисм импульси векторлари.

Ёшиқ система ўзаро таъсирда бўлган  $N$  та жисмдан иборат бўлса ҳам, системанинг тўла импульси ўзгармас сақланади ва импульсининг сақланиш қонуни қуйидагича ифодаланади:

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^N \vec{p}_i = \text{const}, \quad (11.2)$$

бунда  $i$  — системадаги жисмнинг тартиб номери,  $N$  — ўзаро таъсирланувчи жисмлар сони.

(11.2) кўринишда ифодаланувчи импульсининг сақланиш қонуни қуйидагича ҳам таърифлаш мумкин: ёшиқ системада барча жисмлар импульсларининг вектор йиғиндисен ўзгармас сақланади. Импульсининг сақланиш қонуни табиатда маълум бўлган асосий сақланиш қонуниларидан биридир.

Тўқнашувчи жисмлар туфайли ёшиқ система таркибидagi ҳар бир жисмнинг импульси албатта ўзгариб туради, лекин биринчисининг импульси камайса, иккинчисиники ортади, учинчисиники ортса, дўртинчисиники камайди ва ҳоказо. Импульсининг сақланиш қонунига кўра, ички кўчлар система айрим жисмларининг қисман ёки тўлиқ импульс алмашишига сабаб бўлади. Ўзаро импульс алмашувлар система тўла импульсининг ўзгаришига олиб келмайди. Тўқнашувлар икки назарий ҳолда, абсолют эластик ва абсолют ноэластик кўринишда ўрганилади.

Маълумки, табиатда «абсолют» ибора билан характерланувчи ҳеч нарса йўқ. Эластик ва ноэластик тушунчалари ҳам висбийдир. Абсолют қаттиқ ёки эластик жисмнинг ўзи йўқ. Лекин туб маънода абсолют қаттиқ ёки эластик жисмлар моделларига ҳос ҳодисалар назарий ўрганилганда қаттиқлик даражаси етарлича юқори бўлган жисмларга онд ҳодисалар назарда тутилади. Жисмлар тўқнашувда улар деформацияланса, лекин урилишдан сўнг аввалги шакли инеланса, тўқнашув эластик бўлади. Буида кинетик энергия потенциал энер-



гняга, ўз шаклини тиклаш натижасида эса потенциал энергияси кинетик энергияга айланса, тўқнашув абсолют эластик урилишга яқин бўлади. Нозластик урилишда эса акенича, урилишдан сўнг ҳам жисмлар деформацияси сақланади. Деформацияланиш учун сарф бўлган кинетик энергия яна қайта кинетик энергияга тўла айланмайди. Энергиянинг қолган қисми жисмлар ички энергиясига айланади. Нозластик тўқнашувлардан сўнг жисмлар биргаликда умумий тезлик билан ҳаракатланади ёки инсбатан тиш ҳолатга ўтади. Эластик урилган жисмлар эса, деформацияланиши тикланиши натижасида, ҳар бири аввалгидек мустақил жисмлар сифатида элҳида ҳаракатланади. Эластиклик даражаси юқори бўлган фил суяги, пўлат каби моддалардан иборат жисмларнинг урилиши абсолют эластик урилишга яқин бўлади. Лой, пластилин, қўргошин каби моддалардан иборат жисмларнинг урилиши абсолют нозластик урилишга мисол бўлади.

Абсолют эластик урилишда система импульсининг сақланиш қонуни (11.1) ва (11.2) кўринишда ифодаланса, нозластик урилишда эса

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v} \quad (11.3)$$

кўринишга эга бўлади. Бунда  $\vec{v}_1$  ва  $\vec{v}_2$  жисмларнинг тўқнашувигача бўлган тезликлари бўлса,  $\vec{v}$  эса иккита жисм бирикмасидан иборат системанинг умумий тезлигидир.

Жисмнинг релятивистик массаси унинг тезлигига боғлиқ ва катта тезликлар учун импульс қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot \vec{v} \quad (11.4)$$

бунда  $m_0$  — жисмнинг тишчиликдаги массаси,  $\vec{v}$  — тезлиги,  $c$  — ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги,  $m$  — ҳаракатдаги масса ёки релятивистик масса деб аталади. Эластик тўқнашувда тишчиликдаги массалари  $m_{01}$  ва  $m_{02}$  бўлган иккита жисмдан ташкил топган ёпиқ система импульсининг сақланиш қонуни қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{m_{01}}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} \vec{v}_1 + \frac{m_{02}}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \vec{v}_2 = \frac{m_{01}}{\sqrt{1 - \frac{v_1'^2}{c^2}}} \vec{v}_1' +$$

$$+ \frac{m_{02}}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \vec{v}_2' \quad (11.5)$$

Ноэластик тўқнашишда эса импульснинг сақланиш қонуни

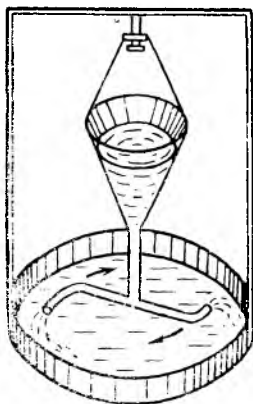
$$\frac{m_{01}}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}} \vec{v}_1 + \frac{m_{02}}{\sqrt{1 - \frac{v_2^2}{c^2}}} \vec{v}_2 = \frac{(m_{01} + m_{02})}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \vec{v} \quad (1.6)$$

кўринишда ифодаланади.

Ер устидаги макроскопик жисмлар ҳаракатлари учун  $\frac{v^2}{c^2} \ll 1$  ва массанинг тезликка боғлиқлигини ҳисобга олмасам ҳам бўлади. Ҳақиқатан ҳам, биринчи космик тезлик билан ҳаракатланаётган жисм учун  $\left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{7,9}{300000} = 7 \times 10^{-10}$  га тенг. Бундай тузатмани назарга олмаслик мумкин.

Масса ва импульснинг тезликка боғлиқ равишда ўзгаришини микро дунё физикасида, элементар зарралар динамикасида албатта ҳисобга олиш керак бўлади. Махсус тезлатилган зарралар массаси ва импульси (11.4) ифодага асосан тезлик ортиши билан тез ортиб боради ва ёруғлик тезлигига яқинлашганда релятивистик эффект кескин намоён бўлади.

**Импульс сақланиш қонунининг баъзи татбиқлари.** Ёпиқ системада массалар маркази ўзгармайди. Шунинг учун жуда сирпанчиқ музда югуриш, ёшилгини орқага чиқармай туриб ракетани ҳаракатга келтириш қийин. Ўт ўчирувчиларнинг шлангдан кучли босим остида чиқаётган сув оқимини аланга томон йўналтирилган ҳелда тўтиб туриши учун катта куч керак эканлигини биламиз.



47- расм.

Сегнер паррагида эгилган найчалардан оқиб чиқаётган сув (47- расм) найчани оқим йўналишига қарама-қарши томонга итарди. Аравачага ўрнатилган ва оғзини тикни билан беркитилган сувли пробиркани қайнаш даражасигача пентилганда тикнининг

бир томонга отилишини, аравачанинг эса пробирка билан биргаликда тескари томонга ҳаракатга келишини мактаб физика курсидан биламиз. Бу ҳодисалар табиатнинг муҳим қонунин — импульснинг сақланиш қонунини ақс эттиради.

Импульснинг сақланиш қонуни кундалик ҳаётимизда кўп-лаб учраб туради. Қирғоққа яқин тинч турган ( $\vec{p} = 0$ ) қайиқдан қирғоққа  $\vec{v}_1$  тезлик билан сакрасак, қайиқ тескари йўналишда  $\vec{v}_2$  тезлик билан қирғоқдан узоқлашади ( $m_2 \vec{v}_2 = -m_1 \vec{v}_1$ ). Милтиқдан отилган ўқ  $\vec{v}_1$  тезлик билан стволдан чиқиб кетса, милтиқ тескари йўналишда  $\vec{v}_2$  тезлик билан ҳаракатга келади ва елкага тепки кучи таъсир этади. Отилиб чиққан енгил ўқнинг ҳаракат импульси сон жиҳатдан оғир милтиқнинг ҳаракат импульсига тенг. Ўқ ва милтиқнинг ҳаракат йўналиши эса уларнинг импульс векторларининг йўналишлари билан белгиланади.

Шу ҳодисага хос амалий масалани кўриб чиқайлик. Массаси 4,5 кг бўлган милтиқдан 11 г массали ўқ 800 м/с тезлик билан отилиб чиқади. Милтиқнинг тепки тезлигини топиш керак. Импульснинг сақланиш қонунига асосан

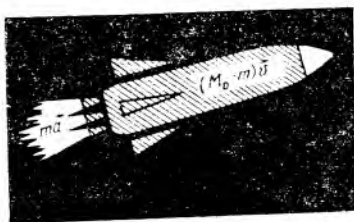
$$m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2 \quad (11.7)$$

$$v_1 = -\frac{m_2}{m_1} v_2 = \frac{0,011 \cdot 800 \text{ м/с}}{4,5 \text{ кг}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Бундай тезлик етарлича катта бўлиб, қўндоқнинг елкага катта куч билан урилишини кўрсатади. Агар милтиқни елкага қаттиқ тираб туриб отилса, импульснинг сақланиш қонунин қўйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\vec{v}_1 = -\frac{m_2}{(m_1 + m_3)} \cdot \vec{v}_2 \quad (11.8)$$

Бу ерда  $m_3$  одамнинг массаси бўлиб, уни 100 кг десак,  $v_1 = -0,084 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  га тенг бўлади. Ҳақиқатан милтиқ массасига одамнинг массаси қўшилиши натижасида тепки кучининг кўп марта камайишини турмушдан биламиз.



48- расм.

Ракета ёки реактив снарядларда порох заряди секин-ас-та ёниб, ёнилги газлари орқа тирқиндан чиқади. Ракета ва ундан чиқаётган ёнилги газларини битта система деб қараб, импульсининг сақланиш қонунини қўллаш мумкин (48-расм):

$(M_0 - m) \vec{v} = m \vec{u}$ ;  $t$  вақтдан кейинги ракета массаси  $M = M_0 e^{-\frac{v_0 t}{u}}$  га тенг бўлиб, бу тенглама ракетанинг ҳаракат тенгламаси дейилади.

Ёпиқ системада ички кучлар системанинг масса марказини ҳам, тўла импульсини ҳам ўзгартира олмайди. Система тўла импульсини унинг таркибидagi барча жисмлар импульсининг йиғиндиси ( $\vec{p} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots$ ) ёки система тўла массасининг масса маркази тезлигига кўпайтмаси ( $\vec{p} = M \vec{v}_c$ ) сифатида кўриш мумкин. Система масса маркази  $C$  нинг радиус-вектори қуйидагича топилади:

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^N m_i} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \vec{r}_i}{M} \quad (11.9)$$

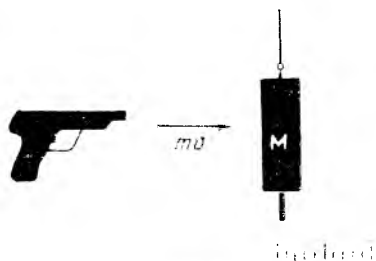
Система масса марказининг тезлиги эса радиус-вектордан олинган дифференциалга тенг:

$$\vec{v}_c = \frac{d \vec{r}_c}{dt} = \frac{d \vec{p}_c}{M}; \quad \vec{p}_c = M \vec{v}_c \quad (11.10)$$

Система импульсининг кейинги кўрinishи масса марказининг тезлигини топиш керак бўлган ҳолатда қўл келади. Масалан, тасмали узатмада ҳар бир шкивнинг оғирлик маркази айланиш ўқи устида ётади. Шкивларнинг айланишига қарамай уларнинг масса марказлари ва демак, системанинг масса маркази кўзгалмайди. Тасманинг юқори қисми ўннга, пастки қисми эса чапга ҳаракатга келади (21-расмга қаранг), лекин бу ҳаракатлар «шкив—тасма—шкив» системанинг масса марказини ўзгартирмайди. Системанинг масса маркази ўзгармаганлиги учун тасмали узатманинг импульси ҳам нолга тенг бўлади. Ракета ҳамда милликдан отилган ўқ misолида ҳам система тўла импульси нолга тенг бўлиб, ички кучлар система импульсини ўзгартира олмайди.

Нисбатан кичик тезликларни, масалан, велосипедни,

мотоцикл ёки автомобилъ тезлигини осонгина ўлчашни биламиз: бунинг учун босиб ўтган йўлни ва вақтни ўлчаш kifоя. Бу усул билан инебатан катта тезликларни, масалан, ўқнинг тезлигини ўлчаш қийин. Бунинг учун эса импульснинг сақланиш қонунидан фойдаланиш мумкин. Ҳ тезлик билан



49- расм.

отилган  $m$  массали ўқ массаси  $M$  бўлган оғир жиемга бериб урилиб, унинг ичига киради (49- расм). Ҳар иккала жием биргалликда (иоэластик урилиш) ўнг томонга  $u$  тезлик билан ҳаракатга келади. Бу умумий тезликин иккита фотоэлемент ва электрон соат ёрдамида осонгина ўлчаш мумкин. Ўқ тезлигини эса (11.7) формуладан ёки баллистик маятник тебранма ҳаракат қонуниларидан осонгина ҳисоблаб топиш ҳам мумкин ( $u = \omega_0 x_0$ ;  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ ,  $x_0$  — силжини). Иоэластик тўққанишда энергиянинг сақланиш қонунидан фойдаланиш маъқул эмас. Чунки иоэластик урилишда кинетик энергиянинг бир қисми жием ички энергиясига айланади.

Жиемга ёки жиемлар системасига ташқи мувозанатланмаган куч таъсир этса, ҳаракат импульси ўзгаради. Ҳаракат импульсининг ўзгариши ҳақидаги қонунга кўра, бирор вақт оралигида система импульсининг ўзгариши рўй берса, у ўша вақт оралигида таъсир этувчи ташқи куч импульси билан ўлчанади.

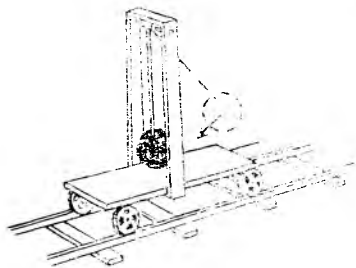
Ҳаракат импульсининг ўзгариши ҳақидаги тушунчани қуйидаги амалий масалага татбиқ этайлик. Темир йўл станциясида юклари билан турган бир неча вагон тизмасининг массасини тарозига киритмасдан аниқлаш керак бўлсин. Поезд тизмаси импульсининг ўзгариши унга таъсир этувчи натижавий ташқи куч импульси билан белгиланади. Теилеовоз билан вагонлар орасига динамометр ўрнатиб бирор вақтдаги ўртача тортиш кучини ва бу вақт охиридаги поезд тизмаси тезлигини ёзиб олсак, унинг массасини топиш қийин бўлмайди. Айтайлик,  $\Delta t = 2$  минут давомида динамометр ўртача  $F = 100,8$  т кучни кўрсатди, синидометр кўрсатиши  $v =$

$= 57,08$  км/соат га етди дейлик. Ишқаланиш коэффициенти  $k = 0,02$  бўлса,

$$mv = (F - kP') \Delta t. \quad (11.11)$$

Бу ерда  $F$  — тортиш кучи,  $F_{\text{ишқ}} = kP'$  ишқаланиш кучи бўлиб,  $\frac{P'}{9,8} \cdot 16 = (100,8 - 0,02 P') \cdot 120$  га тенг.  $U$  ҳолда  $P' = 3000$  тонна куч,  $m \simeq 3000$  тонна экан.

Импульс вектор катталиқ бўлиб, импульснинг сақланиш қонуни вектор кўринишида ҳам бажарилиши керак. Бошқача айтганда, агар  $p = \text{const}$  сақланса, унинг ташкил этувчилари  $p_x$ ,  $p_y$  ва  $p_z$  ҳам сақланади. Масалан, системага вертикал йўналишида оғирлик кучи таъсир этгани билан бу кучнинг бирор горизонтал йўналишидаги ташкил этувчиси нолга тенг бўлса,  $p_x = \text{const}$  шарт бажарилиши керак, яъни система импульснинг горизонтал ташкил этувчиси ўзгармас сақланади. Бунга қуйидаги оддий ҳаётий тажриба асосида ишонч ҳосил қилиш мумкин. Горизонтал рельсда деярли ишқаланишсиз ҳаракатланиши мумкин бўлган аравачага массаси етарлича каттароқ бўлган маятник ўрилатилган (50-расм). Аравачани тутиб туриб маятникни бирор бурчакка оғдирамиз ва ҳар иккаласини бараварига қўйиб юборамиз. Маятник тебраниши билан аравача ҳам рельслар бўйлаб қайтма-



50-расм.

илгариланма ҳаракатга, яъни тебранима ҳаракатга келади. Аравача тезлиги ҳар доим маятник масса маркази тезлигининг горизонтал ташкил этувчиси йўналишига тескари йўналишида бўлади. Маятник шарчаси тебранишнинг чекка нуқталарида бир охи тўхтаб, тебраниш йўналишини ўзгартирганда, аравача ҳам

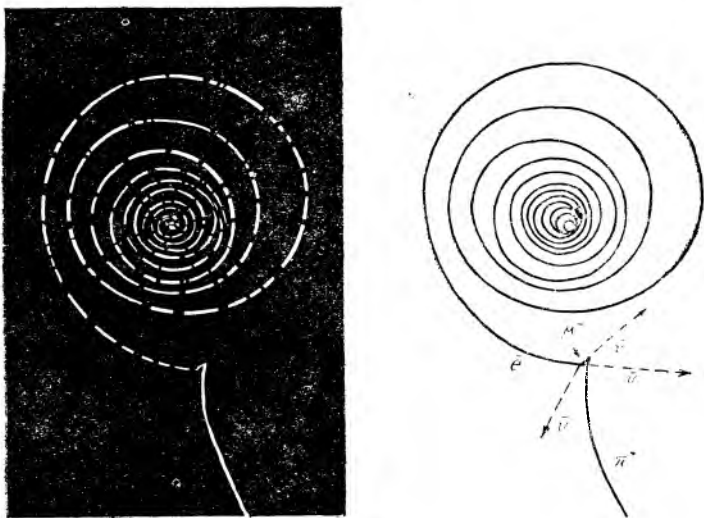
тўхтаб ҳаракат йўналишини ўзгартиради.

Отилган снаряд ҳавода портласа, унинг айрым бўлақлари шундай ҳаракат қиладикки, уларнинг импульсларининг вектор йиғиндиси системанинг тўла импульс векторига тенг бўлади. Бу шарт снаряд бўлақлари тезликлари қиймати ва йўналишига маълум чеклашлар қўяди. Бинобарин, снаряд траекториянинг ўртасида тенг икки бўлақка бўлинган бўлсин. Улардан бирининг

бўлингандаги тезлиги портлашдаги тезлигига тенг бўлиб, горизонтал тескари йўналишда бўлса, унинг тезлик қиймати нолга айланади ва ўзи вертикал йўналишда пастга тушади. Чунки импульснинг сақланиш қонуни бажарилиши учун иккинчи бўлаги олға томон йўналган, қиймати эса портлашгача бўлган тезликдан икки баробар катта бўлган горизонтал тезликка эга бўлиши керак: бўлқачанинг импульси снаряднинг портлашгача бўлган импульси  $mv$  га тенг. Снаряд иккинчи бўлагининг портлашдан кейинги учуш масофаси эса (горизонтал йўналишда) портлаш рўй бермаган ҳолдаги снаряднинг учуш масофасидан икки марта катта бўлади.

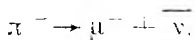
Табиатда шундай ҳодисалар рўй берадики, уларни бевосита кузатиш қийин. Хусусан, микро дунё ҳодисаларини билвосита ўрганамиз. Физика қонунларини билиш атом ва ядро физика соҳасида содир бўлаётган кўзга кўринмас ҳодисаларни тушуниш ва баъзи ҳодисаларни олдиндан айтиб бериш имкониятини беради.

Импульс сақланиш қонунининг ядровий реакцияларга татбиқи янги зарра «антинейтрино»нинг очилишига олиб келади. 51-расмда антинейтринонинг очилиши билан боғлиқ  $\mu$  мезоннинг  $\mu$  мезон чиқариши ва  $\mu^-$  мезоннинг ўзидан электрон чиқариб парчаланishi ҳо-



51-расм.

дисиен акс эттирилган.  $\mu^-$  зарра тезлиги камайиб тўхтайдиган ва ўзидан  $\mu^-$  мион чиқариб парчалангани (парчаланishi даври  $10^{-6}$  с). Расмда қисқа ва йўгон парчаланishi маҳсулига ҳос низиқ  $\mu^-$  деб кўрсатилган. Парчаланishiдан аввал  $\mu^-$  зарра нзининг йўгонлашиши унинг тезлигининг камайишини билдиради.  $\mu^-$  зарра секинлашиб тўхтаб, ҳаракат йўналишидан четга фақат битта зарра  $\mu^-$  чиқариши билан парчаланishi содир бўлиши мумкин эмас.  $\mu^-$  зарранинг парчаланishiда ҳаракат йўналишидан четга томон йўналган  $\mu^-$  зарранинг импульси билан қўшилиб  $\mu^-$  зарранинг дастлабки импульсини берувчи яна бошқа зарра бўлиши керак. Бу заррани антинейтрино деб аташган. Парчаланishi реакциясини қуйидагича ифодалаш мумкин:



Лекин камерада  $\mu^-$  зарранинг изидан бошқа из қолмаган эди. Камерада барча зарралар магнит майдонинда ҳаракатланади. Антинейтрино электр зарядига эга бўлмагани учун из қолдирмайди. Кейинги  $\mu^- \rightarrow e^-$  парчаланishiда ( $\sim 10^{-6}$  с) ҳам  $\mu^-$  зарра тезлиги камайиб бориб тўхтайдиган ва кейин парчаланishi рўй беради. Электрон етарлича импульс олиш учун камда яна иккита зарра ҳосил бўлиши керак.

Қўшимча маълумотлардан маълумки,  $\mu^-$  мионнинг парчаланishiда электрон билан нейтрино ва антинейтрино ҳосил бўлади:  $\mu^- \rightarrow e^- + \nu + \bar{\nu}$ . Албатта, нейтрино ва антинейтринони кўра олмаймиз, лекин импульсининг сақланиш қонунига асосан уларнинг импульсларининг йиғиндисини электрон импульсига тенг бўлиб, йўналиши эса қарама-қарши бўлиши керак.

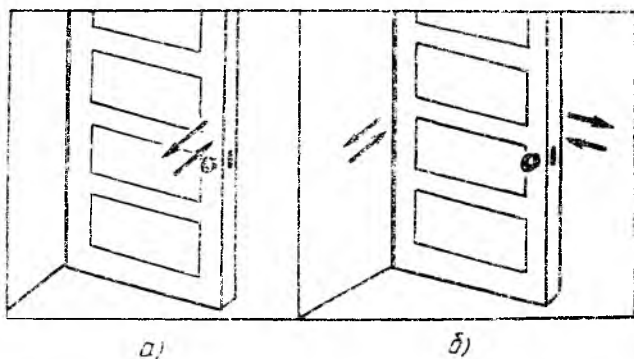
Электрон траекториясининг спиралекмон кўриниши эса унинг тезлигини камайиб боришини ва траекториясига Лоренц кучи таъсирининг тобора ортиб боришини билдиради. Чизиқларнинг кенлиги электроннинг жуда катта тезлик билан (пнтячка чизиқ), бошқа зарраларнинг эса нисбатан кичик тезликлар билан ҳаракат қилганлигини кўрсатади.

Табиатнинг муҳим сақланиш қонунларидан бири бўлган импульсининг сақланиш қонунини фазонинг бир жиислигининг натижасидир.

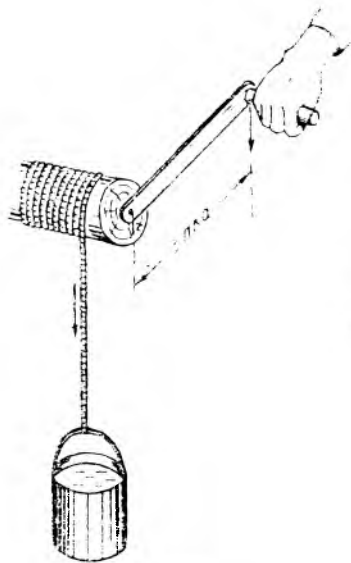


12- §. Куч momenti

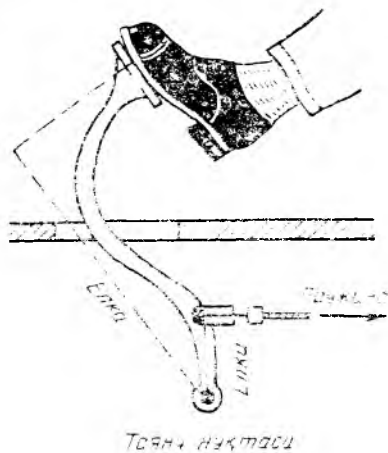
Илгариланма ҳаракат динамикасида ҳаракат ҳолисаларини ҳаракатлантирувчи куч катталиги ва йўналиши белгилар эди. Айланма ҳаракат динамикаси қонунлари эса куч momenti ва импульс momenti тушунчалари билан боғлиқ. Қўзғалмас ўққа ўринатилган дискка унинг айланмиш ўқидан ўтувчи чизиқ йўналишида бирор  $\vec{F}$  куч билан таъсир этсак, жисм айланма ҳаракатга келмайди. Ташқи таъсир кучи жисмни ва унинг ўқини фақат бир оз деформациялаши мумкин, ҳолос. Агар таъсир кучи йўналиши айланмиш ўқидан ўтмаса, жисм айланма ҳаракатга келади. Уйдаги эшик дастасини тортиш ёки итариш билан эшикни очиб ёки ёпиш мумкин (52-а расм). Агар таъсир кучимиз йўналиши ошиқ мошиқларни туташтирувчи (айланмиш ўқи) вертикал чизикдан ўтса, эшикни очиб олмаймиз ҳам, ёпи олмаймиз ҳам (52-б расм). Демак, жисмни айланма ҳаракатга келтириш учун таъсир этувчи мувозанатлашмаган натижавий кучнинг ўзигина старли бўлмай, бу куч йўналиши билан айланмиш ўқи орасидаги масофа ҳам нолга тенг бўлмаслиги керак экан. Айланмиш ўқидан таъсир этувчи куч йўналишига туширилган перпендикуляр узунлиги *куч олқаси* дейилади. Кучнинг куч олқасига қўйилмаси соя жиҳатдан куч momentiга тенг. Куч momenti қанчалик катта бўлса, жисмни ай-



52- расм.



53- расм.



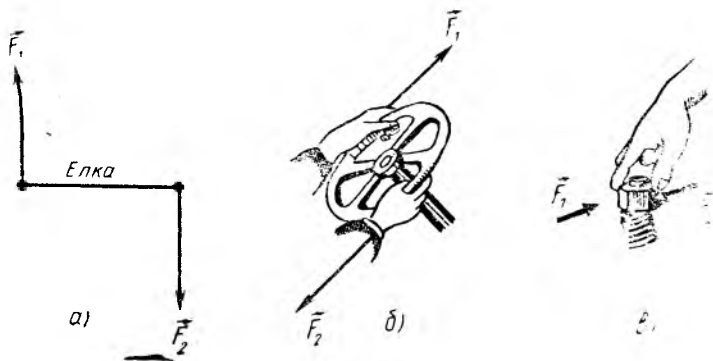
54- расм.

ланма ҳаракатга келтириш шунчалик осон бўлади. Бунда куч елкаси катта бўлган ҳолда, кичик куч таъсирида ҳам ричаглар ёрдамида эришни мумкин. Масалан, оддий қудуқлардан сувли челакни тортиб олиш учун ричагдан фойдаланамиз (53-расм).

Ричаглар мувознати икки ва ундан кўп кучлар моментларининг мувозанатидан иборат бўлиб, табиатда ва техникада кўп ишлатилади. Хусусан, ҳайдовчи тормоз педалини босиш билан бирор куч моментини яратди (54-расм).

Иккита ўзаро параллел, сон қийматлари тенг, лекин йўналишлари қарама-қарши бўлган (жуфт) кучларнинг тенг таъсир этувчиси нолга тенг. Шунга қарасдан,  $\vec{F}_1$  ва  $\vec{F}_2$  жуфт кучлар таъсирида жисм айланма ҳаракатга келади (55-а, б, в расм). Чунки бу кучлар momenti ҳеч қачон нолга тенг бўлмайди.

Айланма ҳаракат динамикасида жисмни ҳаракатга келтирувчи ташқи сабабнинг миқдорий характери-каси сифатида куч тушунчаси эмас, куч momenti тушунчасидан фойдаланилади. Куч momenti ҳар қандай моментлар каби вектор катталиқдир. Каттиқ жисмнинг



55- расм.

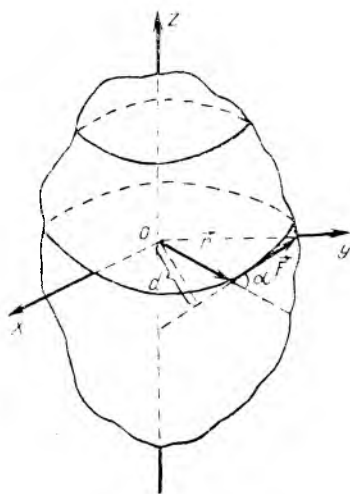
бирор нуқтасига куч таъсир этаётган бўлсин (56- расм).

Бу кучнинг қўзғалмас  $O$  нуқтага нисбатан  $\vec{M}$  моменти деганда  $O$  нуқтадан кучнинг қўйилиш нуқтасига ўтказилган радиус-вектор ( $\vec{r}$ ) ва  $\vec{F}$  кучнинг вектор кўпайтмаси тушунилади, яъни

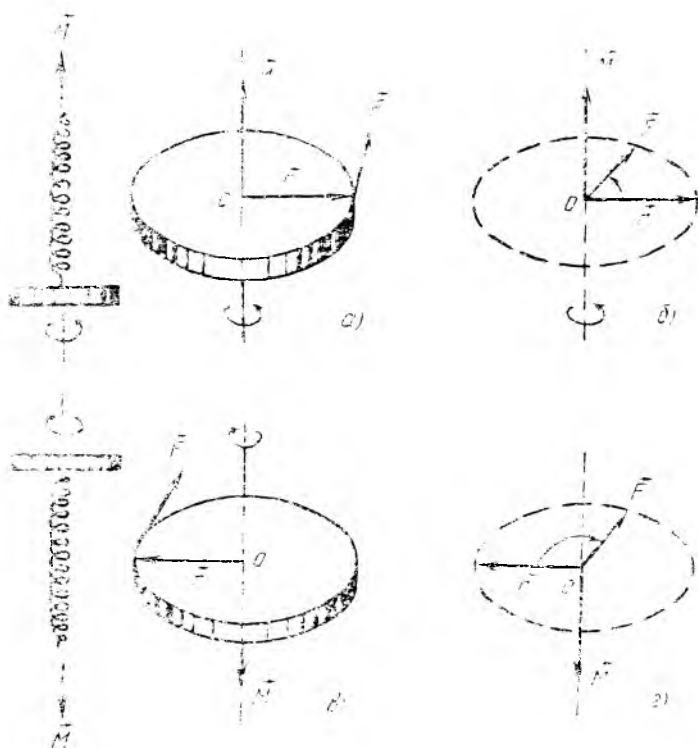
$$\vec{M} = [\vec{r} \vec{F}] \quad (12.1)$$

куч моментининг модули  $M = Fr \sin \alpha$  ифодани расмдан осонгина ҳосил қилиш мумкин.

Ҳақиқатан ҳам, таърифга кўра  $M = Fd$  да  $d = r \sin \alpha$  га тенг,  $\alpha$  —  $\vec{r}$  радиус-вектор билан  $\vec{F}$  куч вектори орасидаги бурчак. Куч моменти  $\vec{M}$  вектори  $\vec{r}$  радиус-векторга ҳамда  $\vec{F}$  куч векторига перпендикуляр вектор бўлганлиги учун расмда  $XOY$  текислигига перпендикуляр  $\vec{M}$  вектор сифатида тасвирланган. Таъсир этувчи кучнинг қўзғалмас нуқтага нисбатан моменти умумий ҳолда айланиш ўқи-



56- расм.



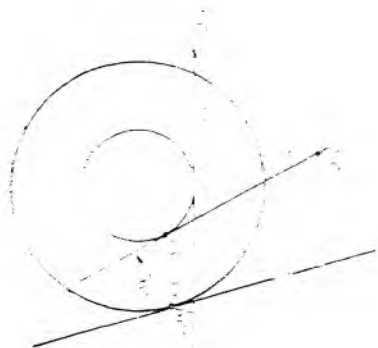
57-расм.

да ётмайди. Хусусий ҳолда  $\vec{r}$  радиус-вектор билан  $\vec{F}$  таъсир кучи айланиш ўқиغا перпендикуляр текисликда бўлганда, кучнинг қўзғалмас нуқтага нисбатан моменти айланиш ўқи устида ётади. Қўзғалмас нуқтага нисбатан куч моменти вектор катталиқ бўлиб, унинг йўналиши жисмнинг айланиш йўналишини белгилайди. Куч моменти векторининг йўналиши фақат  $\vec{F}$  куч йўналиши билан эмас,  $\vec{F}$  ва  $\vec{r}$  векторлари йўналишлари билан белгиланади. 57-а расмда айланиш ўқи устида ётувчи  $O$  қўзғалмас нуқта жисмга таъсир этувчи  $\vec{F}$  кучнинг йўналишига нисбатан чапда жойлашган. (12.1) ифодага асосан  $\vec{M}$  куч моменти вектори тоқорига томон йўналган бўлади. Юқоридagi тарафдан диққатингизни айланиш сент-стрелкасининг маркази тўра-

лишига тескари йўналишда бўлиб, куч momenti вектори йўналиши билан жисмнинг айланиш йўналиши ўнг винт (парма) қондаси асосида боғланган: ўнг винтти қаттиқ жисмнинг айланиш йўналишида бураганда, винт илгариланма ҳаракатининг йўналиши бурувча куч momenti  $\vec{M}$  векторининг йўналишини кўрсатади.

57-б расмда  $\vec{r}$ ,  $\vec{F}$  ва  $\vec{M}$  векторларининг оддий математик боғланиши, яъни икки векторнинг ўзаро вектор кўпайтмасидан иборат вектор кўриниши тасвирланган. 57-в расмда эса, жисмга таъсир этувчи  $\vec{F}$  куч йўналиши аввалгидек йўналишда бўлиб, қўзғалмас  $O$  нуқта эса кучнинг таъсир йўналишига нисбатан ўнгда жойлашган. Айланish марказидан кучнинг қўйилиш нуқтаси томон ўтказилган  $\vec{r}$  радиус-вектор йўналиши аввалгига нисбатан тескари йўналишда бўлиб, гўёки жисмга  $\vec{M} = [(-\vec{r})\vec{F}] = -[\vec{r}\vec{F}]$  момент таъсир этади. Демак, куч momenti вектори пастга томон йўналган ва шунинг учун жисм тескари йўналишда айланма ҳаракатга келади (57-г расм).

Қўзғалмас нуқтага нисбатан куч momenti-нинг вектор характери-ни қуйидаги тажриба-да кузатиш мумкин. Картон қозоғи ёки ти-ниқ плексигласдан ясалган галтакка ип ўралган бўлсин (58-расм). Тажриба аниқ-роқ чиқиши учун гал-так цилиндри радиуси-ни унинг цилиндрлари радиусидан тахминан акки барабар кичик қи-либ олган маъқул бў-

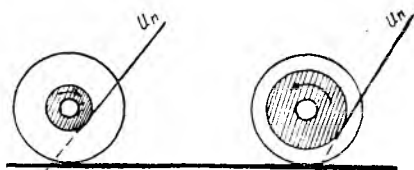


58-расм.

лади. Галтакни стол устига қўйиб, ипнинг цилиндр паст-ки сиртидан чиққан  $C$  учидан биринчи чизик йўналишида тортсак, галтак ипни ечилиш ўрнига, аксинча, галтакка яна ўралади ва галтакнинг ўзи ўнгга думалайди. Ипни иккинчи чизик йўналишида тортсак ип ечилиб, галтак-нинг чапга думаланиши кузатамиз. Ҳар иккала ҳолда, мисал тариқасида, қўзғалмас  $O$  нуқтага нисбатан куч momen-

ти векторлари  $\vec{M}_1 = [\vec{r}_1 \vec{F}_1]$  ва  $\vec{M}_2 = [\vec{r}_2 \vec{F}_2]$  бўлиб, уларнинг йўналишлари қарама-қарши бўлади ва шунинг учун ҳам ғалтак у ёки бу томонга думалайди. Бунда ғалтак ўзининг симметрия маркази атрофида эмас, балки оний айланнинг маркази  $O$  нуқта атрофида айланади. Оний айланнинг маркази  $O$  нуқта ғалтакнинг думалаши натижасида горизонтал йўналишда силжийди, лекин бу нуқта ҳар бир онда «айланнинг маркази» бўлганлиги учун «қўзғалмас» нуқта ҳисобланади. Масалан, катта тезлик билан кетаётган поезднинг, тезлиги нолга тенг бўлган нуқталари ҳам бор дейилади. Поезд гилдираklarининг қўзғалмас рельсага тегиб турган нуқталари оний айланнинг марказлари ҳисобланади ва, демак, у нуқталар оний тезлиги нолга тенг бўлган нуқталардир.

Қўзғалмас нуқтага нисбатан куч моментининг вектор характери кундалик турмушда ҳам намоён бўлади. Айтайлик, оддий ғалтакли ил қўлимиздан полга тушиб думалаб кетди дейлик. Уни илнинг қўлимизда қолган учидан тортиб чиқаришга ҳаракат қилайлик. Илнинг учидан тортганимизда баъзи ил ғалтаклари итоаткорлик билан биз томонга думаласа, баъзилари илдан



59-расм.

тортилган сари аксинча, биздан нарига кетади. Бу қизиқ ҳодиса юқорида кўрилган тажрибанинг амалда намоён бўлишидир. Илнинг учидан горизонтга нисбатан бир хил бурчда етида тортганимизда, ил ўрамлари сони кам қолган ғалтак итоаткорлик билан биз томон думаласа, ил ўрамлари сони анча кўп бўлган ғалтак, аксинча, ил ўрамлари тобора енига бориб биздан қолади (59-расм).

Биринчи ҳолда куч momenti вектори биздан расм текислиги томон йўналган бўлса, ўнг винт қондасига кўра ғалтак соат стрелкаси бурилиши йўналишида айланади ва демак, ўнг томонга думалайди. Аксинча, иккинчи ҳолда эса радиус-вектор йўналиши аввалги ҳолга нисбатан тескари бўлиб, куч momenti вектори расм текислигидан биз томон йўналган. Натижада, ғалтак соат стрелкаси бурилишига тескари йўналиш-

да айланади ва чап томонга думалайди. Агар ипни жуда ётиқ ҳолда, горизонтал билан кичик бурчак ҳосил қилган куч йўналишида тортсак ҳар қандай ғалтакни ҳам бўйсиндириш мумкин.

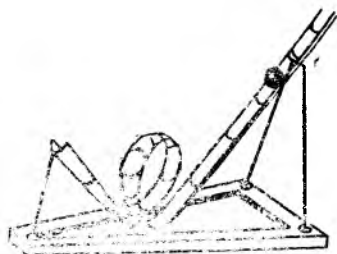
Қайд қилиб ўтиш лозимки, кучнинг қўзғалмас нуқтага нисбатан momenti билан кучнинг айланиш ўқиға нисбатан momenti тушунчалари бир хил тушунчалар эмас: кучнинг ўқда ётувчи қўзғалмас нуқтага нисбатан momenti вектор катталиқдир, кучнинг ўққа нисбатан momenti эса скаляр катталиқ бўлиб, ўқда ётувчи нуқтага нисбатан куч momenti векторнинг мазкур ўққа проекциясидир.

Куч momenti СИ системасида Н·м (Ньютон-метр) бирликларида ўлчанади ва унинг ўлчамлиги —  $L^2MT^{-2}$ .

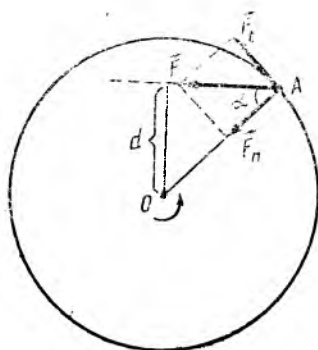
### 13- §. Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракати. Инерция momenti

Моддий нуқта айлана бўйлаб ҳаракатланиши учун марказга интилма куч уни айланага уринма йўналишидан доимо буриб туриши керак. Марказга интилма куч чизиқли тезликка перпендикуляр бўлгани учун моддий нуқта тезлигининг фақат йўналишини ўзгартириб, қийматини ўзгартирмайди.

Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракатини қуйидаги тажрибадан кузатайлик (60- расм). Ингичка рельслардан ясалган, юқори қисми узилган, доғравий сиртмоқ тарновининг юқори қисмидан кичик шарчани қўйиб юборсак, сиртмоқ айланаси бўйлаб барқарор



60- расм.



61- расм.

ҳаракат қилади ва қурилманинг иккинчи учидан бирор тезлик билан чиқиб кетади. Тарновнинг пастроқ киемидан қўйиб юборсак, шарча сиртмоқнинг айлана чизиги бўйлаб фақат айланибгина улгуради, лекин сиртмоқ юқори нуқтасида пастрга тушиб кетмайди. Ундан ҳам пастроқдан қўйиб юборсак, шарча сиртмоқнинг юқори нуқтасига стиб бормай парабола чизиб пастрга қайтиб тушади. Шарчанинг чизикли тезлик вектори ҳар доим траекторияга уринма йўналишида бўлганлиги учун у рельсга таъсир кўрсатмайди. Тажрибадан кўринадиги, шарчага таъсир этувчи марказга интилма куч рельефларнинг реакция кучи эмас. Бундай ҳаракатнинг чизикли ва бурчакли тезлигини ўзгартириш учун радиал йўналишида эмас, балки тангенциал йўналишида куч таъсир этиши лозим.

Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракати учун Ньютон тенгламаларига ўхшаш тенгламани ҳосил қилайлик. Бунинг учун  $r = OA$  радиусли айланада (61-расм) вазнесиз стержень ёрдамида тутиб турилган  $m$  массали  $A$  моддий нуқтанинг ҳаракатини кўриб чиқайлик. Айтайлик,  $A$  нуқтага  $F$  доимий куч таъсир этаётган бўлсин. Агар бу куч йўналиши  $A$  моддий нуқтанинг радиус вектори билан  $\alpha$  бурчак ҳосил қилаётган бўлса, у ҳолда унинг  $F_{\parallel} = F \cos \alpha$  нормал танкил этувчиси бевосита стерженни қисади.  $F_{\perp} = F \sin \alpha$  тангенциал танкил этувчиси эса моддий нуқта тезлиги катталигини ўзгартирувчи  $a_t$  тангенциал тезланиш ҳосил бўлишига олиб келади. Бу тезланиш траекторияга уринма бўйлаб йўналган. Тангенциал тезланиш учун Ньютоннинг иккинчи қонумини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$ma_t = F \cdot \sin \alpha. \quad (13.1)$$

Бурчакли тезланиш ва тангенциал тезланиш орасидаги  $a_t = \epsilon r$  боғланишига асосан (13.1) тенглик қуйидаги кўринишга келади:

$$F \cdot \sin \alpha = mr \epsilon. \quad (13.2)$$

Бу тенгламанинг иккала томони  $r$  радиусга қўлайтириб, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$F \sin \alpha = m r^2 \epsilon. \quad (13.3)$$

Куч йўналишига айланиш марказидан туширилган перпендикуляр узунлиги  $d = r \sin \alpha$  га тенг. Сиз қиймати  $F$  кучининг куч елкаси  $r \sin \alpha$  га қўлаймасига тенг бўлган



$M = F \cdot r \sin \alpha$  катталикин  $O$  нуқтага нисбатан куч momenti дейилади.

Моддий нуқта массасининг унинг айланиш марказигача масофаси квадратига кўрайтмасига тенг бўлган  $I = mr^2$  катталikka моддий нуқтанинг  $O$  нуқтага нисбатан инерция momenti дейилади, у ҳолда

$$M = I \cdot \varepsilon \quad (13.4)$$

тенглама моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракати учун Ньютоннинг иккинчи қонунини ифодалайди.

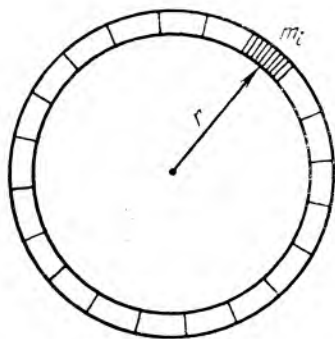
Ҳақиқатан ҳам, моддий нуқтанинг илгариланма ҳаракати учун динамиканинг иккинчи қонуни  $F = ma$  ифодасидаги куч ўрнида, айланма ҳаракатда жисмни ҳаракатга келтирувчи ташқи сабабнинг миқдорий ҳарактеристикаси бўлган куч momenti, чизиқли тезланиш ўрнида бурчакли тезликнинг вақт бирлиги ичида қанчалик ўзгаришини ифодаловчи катталик — бурчакли тезланиш бор. У ҳолда инерция momenti  $I$  ҳам, илгариланма ҳаракатдаги масса инерция ўлчови бўлгани каби, жисмнинг айланиш вақтидаги инертлик ўлчови ҳисобланади.

Жисмнинг массаси ўзгармас бўлса, унинг инерция momentини оёсигина ўзгартриш мумкин. Бинобарин, юқорида кўрилган моддий нуқтадан иборат оддий ҳолда ҳам, инерция momenti фақат масса катталигигагина эмас, балки унинг айланиш ўқидаги қанчалик узоқ жойлашганига ҳам боғлиқ эди. Шунинг учун моддий нуқтани стержень бўйлаб айланиш ўқидан узоқлаштириш йўли билан бундай системанинг инерция momentини ерттириш мумкин ва аксинча. Инерция momenti ўлчамлиги  $L^2M$  бўлиб, СИ системасида  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$  birlikларда ўлланади.

#### 14- §. Қаттиқ жисмларнинг инерция momentлари

Қаттиқ жисм деганда зарралари ораларидаги масофалар ўзгармайдиган моддалар тушинилади. Шунинг учун қаттиқ жисмни фикран массалари  $\Delta m$ , ҳажми  $\Delta V$  бўлган майда элементар бўлакчалар тўплами деб қараш мумкин. У ҳолда, қўзғалмас айланиш ўқига эга бўлган қаттиқ жисмнинг инерция momenti, унинг ҳар бир элементар бўлакчаларининг мазкур ўққа нисбатан инерция momentларининг йиғиндисига тенг, яъни

$$I = \sum_{i=1}^N \Delta m_i \cdot r_i^2 \quad (14.1)$$



62- расм.

бунда  $\Delta m_i$  — жисмнинг  $i$ - бўлаги массаси,  $r_i$  — унинг айланмиш ўқиғача бўлган масофаси.

Қаттиқ жисмнинг инерция моменти шу жисм массасининг қўзғалмас ўққа нисбатан тақсимоти билан характерланади. Жисмнинг массаси айланиш ўқиға яқин жойлашса, инерция моменти кичик бўлади. Жисмнинг массаси ўқдан қанчалик узоқда жойлашса, инерция моменти шунчалик катта бўлади. Масалан, симметрия марказидан ўтувчи ай-

ланиш ўқиға нисбатан ҳалқасимон қаттиқ жисмнинг инерция моменти унинг айрим бўлақчалари инерция моментлари йиғиндисига тенг (62- расм):

$$I = \sum_{i=1}^N I_i = \Delta m_1 r^2 + \Delta m_2 r^2 + \dots = (\Delta m_1 + \Delta m_2 + \dots) r^2. \quad (14.2)$$

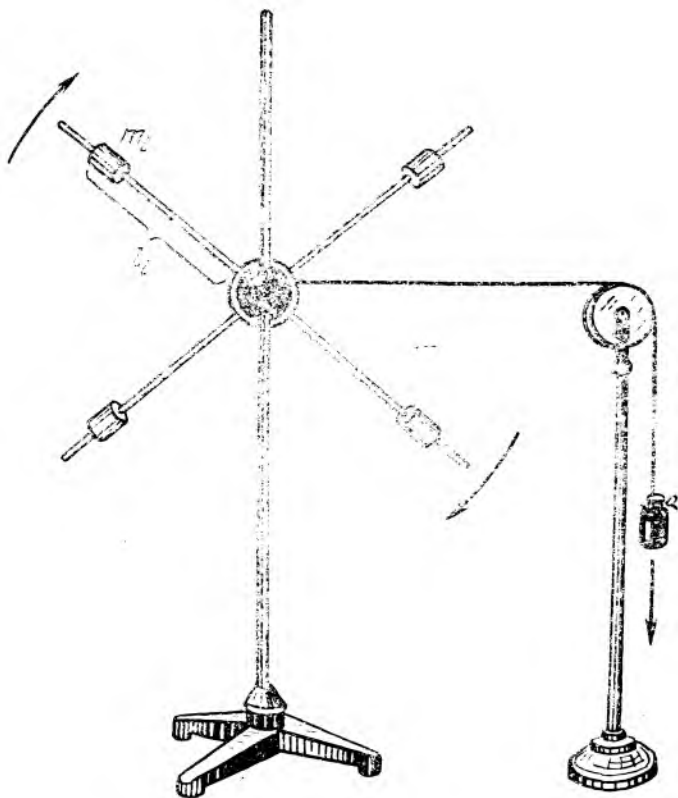
Жисм айрим бўлақлари массаларининг йиғиндисини қаттиқ жисмнинг массасига тенг бўлгани учун (14.2) ифодани

$$I = mr^2$$

кўринишда ёзиш мумкин; бунда  $m$  — қаттиқ жисмнинг тўла массаси,  $r$  — ҳалқа радиуси.

Горизонтал ўқ атрафида айлана оладиган, ўзаро перпендикуляр ҳолатда жойлашган енгил стерженлардан иборат қурилмага Обербек маятниги дейилади (63- расм). Стерженларга тўртта юк кийдирилган бўлиб, уларни стрежень узунлиги бўйлаб силжитиш натижасида қурилманинг инерция моментини ўзгартириш мумкин. Енгил стерженлар ва шкивнинг массаларини ҳисобга олмаган ҳолда, маятникнинг горизонтал ўққа нисбатан инерция моменти тахминан тўртта юк инерция моментларининг йиғиндисига тенг бўлади:

$$I = \sum_{i=1}^4 I_i = \sum_{i=1}^4 m_i l_i^2 = 4m_0 l^2, \quad (14.3)$$



63- расм.

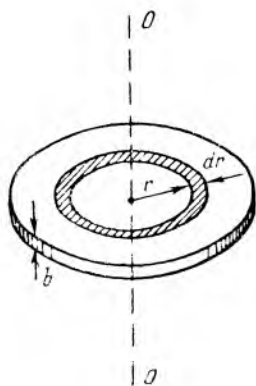
бунда  $m_0$  — стерженга кийдрилган юк массаси,  $l$  — айланиш ўқидан юкларгача бўлган масофа.

Жисм массасини зичлиги орқали ифодаланса, (14.1) тенглик қуйидаги кўринишга келади:

$$I = \sum_{i=1}^N \rho_i r_i^2 \Delta V_i. \quad (14.4)$$

Иккинчи белгисини интеграл белгиси билан алмаштириб, ихтиёрий жисм инерция моментини ҳисоблаш формуласини ҳосил қиламиз:

$$I = \int \rho r^2 dV. \quad (14.5)$$



64-расм.

Бир жинсли дисkning (64-расм) унинг текислигига перпендикуляр бўлган симметрия ўқига нисбатан инерция моментини аниқлаш учун уни кенлиги  $dr$  бўлган ҳалқаларга ажратамиз. Диск қалинлиги  $b$  бўлса,  $dV = b \cdot 2\pi r dr$  га тенг ва

$$I = 2\pi b \int_0^{R_0} r^2 dr = 2\pi b r \frac{R_0^3}{4}. \quad (14.6)$$

Бунда  $R_0$  — диск радиуси,  $m = \rho b R_0^2$  га тенг. У ҳолда дисkning инерция momenti

$$I = \frac{1}{2} m R_0^2$$

га тенг.

Кўпчилик масалаларда қаттиқ жисми ўзининг масса марказидан ўтувчи ўқ атрофида айланиши ўрганилади. Думалаётган жисмлар инерция моментларини ҳисоблашда, уларнинг оний айланиш ўқига нисбатан ҳисоблаш қулай бўлади. Маълумки, оний айланиш ўқи жисмининг тағлиққа тегиб турган нуқтаси орқали ўтади. Бундай ҳолларда Штейнер теоремасидан фойдаланиш қулай бўлади: жисмининг бирор  $CO'$  ўққа нисбатан инерция momenti  $I_{C'}$  шу ўққа параллел бўлиб, жисм масса марказидан ўтувчи  $OO'$  ўққа нисбатан инерция momenti  $I_0$  билан жисм массасининг ўқлар орасидаги  $d$  масофа квадратига кўпайтмасининг йиғиндисига тенг, яъни

$$I_{C'} = I_0 + md^2. \quad (14.7)$$

Штейнер теоремасига асосан дисkning оний айланиш ўқи  $OO'$  га нисбатан инерция momenti:

$$I_{C'} = \frac{1}{2} m R_0^2 + m R_0^2 = \frac{3}{2} m R_0^2. \quad (14.8)$$

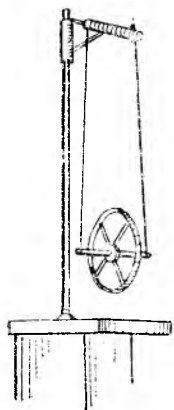
Шу усулда аниқланган турли шаклдаги жисмларнинг инерция моментлари 5-жадвалда берилган.

Жисм айланма ҳаракатда бўлиши ёки бўлмаслигидан қатъи назар, у ихтиёрий ўққа нисбатан бирор инерция momentига эга. Инерция momenti жисмининг айланиш

## Жисмларнинг инерция моментлари

Жисм шакли	Жисмнинг кўриниши	Инерция momenti	
		Масса марказидан ўтувчи ўққа нисбатан	Сирт нуқтасидан ўтувчи ўққа нисбатан (оний айл. ўқи)
Ҳалқа		$mR^2$	$2mR^2$
Қалин деворли цилиндр		$\frac{1}{2}m(R_1^2 + R_2^2)$	$\frac{1}{2}m(R_1^2 + 3R_2^2)$
Бир жинсли яхлит диск		$\frac{1}{2}mR^2$	$\frac{3}{2}mR^2$
Товак шар		$\frac{2}{3}mR^2$	$\frac{5}{3}mR^2$
Яхлит шар		$\frac{2}{5}mR^2$	$\frac{7}{5}mR^2$
Бир жинсли юққа стержень		$\frac{1}{12}ml^2$	$\frac{1}{3}ml^2$

вақтидаги инертлик ўлчови ҳисобланади ва илгариланма ҳаракатдаги масса родини бажаради. Илгариланма ҳаракат ҳодисаларида жисмнинг массаси ўзгармас бўлса, айланма ҳаракат ҳодисаларида жисм инерция моменти осон ўзгариши мумкин. Берилган жисмда массанинг ўққа нисбатан тақсимотини ўзгартириш натижасида жисмнинг айланиш вақтидаги инертлик ўлчови ўзгаради.



65-расм.

Қўйидаги тажрибага муражаат қилайлик. Ўқнинг учларидан иккита ипга осилган ёлдиракни олайлик (65-расм). Ипларни ўққа ўрасак ёлдирак кўтарилади. Бу асбоб Максвел маятнини бўлиб, қаттиқ жисм ҳаракатининг қатор қизиқарли қонуниятларини очишга имкон беради. Хусусан, қаттиқ жисм инерция моментидаги инерция ўлчови эканлигини намоён қилиш мумкин. Энди ёлдиракни қўйиб юборсак у туша бориб, тезроқ айлана бошлайди. Пастки нуқтага етгач ипларга силтов бериб, тўхтаб қолмай, ўз инерциясига кўра айланишда давом этади ва ҳаракат йўналишини ўзгартириб юқорига кўтарилади. Мана шундай тебранишларини у тўхтагунча давом эттиради. Дискнинг айланма ҳаракатида унинг масса маркази вертикал йўналишда илгариланма ҳаракат қилади. Энг пастки нуқтада эса илгариланма ҳаракат йўналиши тескарига ўзгаради. Ипларга берилган силтов ўз навбатида илгариланма ҳаракатда инерциянинг намоён бўлишидир.

Тажрибани турли шаклдаги, турли радиусли ёлдирақлар билан такорлаш шунинг кўрсатадигани, маятникнинг тебраниш даври уларнинг массасига боғлиқ бўлмай, балки радиусига, массанинг ўққа нисбатан жойлашишига боғлиқ бўлар экан. Тебраниш даври ёлдирак радиусига деярли тўғри пропорционалдир:

$$T = 2 \sqrt{\frac{2l}{g} \left( 1 + \frac{I}{mr^2} \right)}; \quad (14.9)$$

бунда  $l$  — ипнинг узунлиги,  $r$  — ёлдирак ўқининг радиуси,  $I$  — инерция моменти,  $R$  — дискнинг радиуси. 5-жад-

валдан кўринадики, жисмлар шакллари қандай бўлишидан қатъи назар уларнинг инерция моментлари  $mR^2$  катталигини бирор соннинг улуши  $C = \frac{A}{B}$  га кўпайтмасига тенг, яъни

$$I = CmR^2$$

Маятникнинг тузилишига тегишлича кичик ўзгартиришлар киритиб, тажрибани жадвалда келтирилган турли кўринишдаги жисмлар билан бажариб кўриш ва жисмнинг инерция momenti айланма ҳаракат ҳодисаларида инерция ўлчови эканлигига ишонч ҳосил қилиш мумкин.

### 15- §. Қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси

Ушбу мавзуда қаттиқ жисмнинг айланма ҳаракати деганда, унинг огирлик марказидан ўтувчи қўзғалмас ўқ атрофида айланиши назарда тутилади. Бунда қаттиқ жисмнинг барча нуқталари айланалар чизади, барча айланалар марказлари бир тўғри чизиқ устида ётади, бу чизиқни *айланиш ўқи* дейилади. Қаттиқ жисмнинг айланма ҳаракатини ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларида, техникада, саноатда, қишлоқ хўжалигида ва бошқа соҳаларда кузатиш мумкин. Ҳар хил машиналарда валлар, маховиклар, станокларнинг шкивлари, қишлоқ хўжалиги техника воситаларининг барабанлари, вентиляторлари, турли чиғириклар, тегирмон тошлари айланма ҳаракат қилади.

Ташқи таъсир бўлмаса, қаттиқ жисм ўзининг огирлик марказидан ўтувчи ўқ атрофида мувозанатда тинч туради. Уни айланма ҳаракатга келтириш учун нолга тенг бўлмаган бирор куч momenti ёки жуфт куч momenti таъсир этиши лозим. Қаттиқ жисмнинг ўқларида ишқаланиш кучлари мавжуд бўлиб, жисмга ташқи куч ҳамда ишқаланиш кучидан иборат жуфт куч momenti таъсир этади. Кўпчилик ҳолларда ўқларни мойлаш ва подшипниклар қўйиш билан ишқаланиш кучларини камайтиришга ҳаракат қилинади.

Қуйида ишқаланиш кучларини йўқ даражада деб ҳисоблаб, қаттиқ жисмнинг куч momenti таъсиринда, қўзғалмас ўқ атрофида айланма ҳаракати динамикаси билан танишайлик. Обербек маятнинг юкларини суриб стерженларнинг учларига маҳкамлайлик (63-расмга қаранг). Мазкур ҳолатда маятник энг катта инерция

моментига эга бўлади. Жисм инерция momenti ўзгармас бўлганда жисмга таъсир этувчи куч momenti билан унинг бурчакли тезлигининг ўзгариши орасидаги боғланишни кўрайлик. Кичик диаметрли шкивга ўралган ипнинг учига  $P$  юк осайлик; секундомер ёрдамида юкнинг Ерга тушиш вақтини ўлчаймиз. Ипнинг учига  $P$  юкни икки, уч ва ҳоказо марта орттириб, тажрибани такрорлаймиз. Ўлчашлар кўрсатадики, таъсир этувчи куч ва демак, куч momenti икки марта ортса, маятник бурчакли тезлигининг ўзгариши ( $\Delta\omega = \epsilon\Delta t$ ) ҳам икки марта ортади.  $\epsilon$  бурчакли тезланиш  $M$  куч моментига пропорционал  $\epsilon \sim M$  равишда ўзгаради. Ипнинг учига осилган юкни ўзгартирмаган ҳолда, ўралган ипни диаметри биринчи шкив диаметридан икки марта катта бўлган иккинчи шкивга ўтказиб, тажрибани такрорласак ҳам юқоридаги натижага келамиз. Бу ҳолда юк ўзгармас қолса ҳам куч елкаси икки марта ортганлиги учун куч momenti ва бурчакли тезланиш икки марта ортади.

Юкларни стерженларнинг ўртасига силжитиб, жисмнинг инерция momentини тахминан тўрт марта камайтираемиз ва тажрибани айнан такрорлаймиз. Ҳар бир ҳолда маятникнинг тезлиги аввалгига нисбатан ортиб боради, юкларнинг Ергача тушиш вақти тахминан тўрт марта камаяди. Демак, маятникнинг бурчакли тезланиши шунча марта ортади. Ўлчашлар кўрсатадики, маятникнинг бурчакли тезланиши унинг инерция momentига тескари пропорционал  $\epsilon \sim \frac{1}{I}$  равишда ўзгаради. Ҳар иккала тажриба натижаларини умумлаштирган ҳолда қуйидаги қонуният ҳосил бўлади:

$$\epsilon \sim \frac{M}{I} \text{ ёки } M \sim I \epsilon, \quad (15.1)$$

яъни қаттиқ жисмнинг бурчакли тезланиши унга таъсир этувчи куч моментига тўғри пропорционал, жисмнинг инерция momentига эса тескари пропорционал равишда ўзгаради. Ушбу муносабатни оддий назарий усул билан ҳам ҳосил қилиш мумкин. Айланаётган қаттиқ жисмнинг ҳар бир кичик элементи учун қуйидаги тенглик ўринали:

$$F_i r_i \sin \alpha_i = m_i r_i^2 \epsilon_i. \quad (15.2)$$

Барча элементар бўлаклари бўйича олинган йиғинди



$$\sum_{i=1}^N F_i r_i \sin \alpha_i = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \varepsilon_i \quad (15.3)$$

Тенгликнинг чап томонидаги йиғиндини қаттиқ жисмга таъсир этувчи натижавий куч momenti  $M = \sum_{i=1}^N M_i$  деб қараш мумкин. Қаттиқ жисм ва унинг бўлаклари учун  $\varepsilon$  бурчакли тезланишнинг умумийлигини ҳисобга олсак,  $I = \sum_{i=1}^N J_i$  инерция momenti қаттиқ жисмнинг айланish ўқиға нисбатан инерция momentидир. У ҳолда:

$$M = J \varepsilon \quad (15.4)$$

тенглама ҳосил бўлади.

Бу тенглама қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенграмаси дейилади. Бу тенграмани илгариланма ҳаракат динамикасининг асосий тенграмаси:

$$F = ma \quad (15.5)$$

билан таққослайлик. Кўриниб турибдики, ушбу ҳолда чизиқли тезланиш, масса ва куч ролини мос равишда бурчакли тезланиш, инерция momentи ва куч momentи ўтайди.  $M$  куч momentи  $\varepsilon$  бурчакли тезланиш илгариланма ҳаракатни тавсифлашдаги уларга мос катталиклар — куч, чизиқли тезланишлар каби вектор катталиклардир. Бу  $\vec{M}$  ва  $\vec{\varepsilon}$  векторлар айланish ўқиға ётади, уларнинг йўналиши парма қондасидан аниқланади (57-расмга қаранг), яъни дастаси жисм билан бир хил йўналишда айланаётган парманинг илгариланма ҳаракати йўналишига тўғри келади. У ҳолда (15.4) муносабат вектор кўринишда қуйидагича ёзилади:

$$\vec{M} = J \cdot \vec{\varepsilon}. \quad (15.6)$$

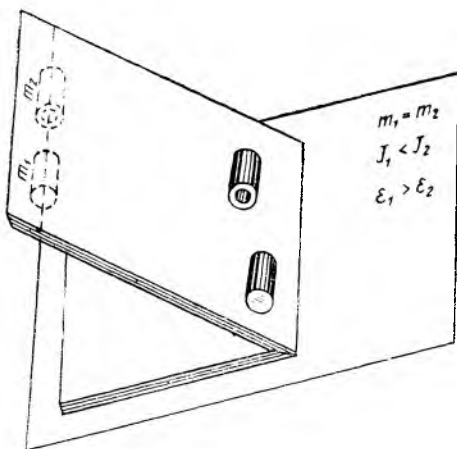
Агар жисмга ташқи куч momentи таъсир этмаса,  $\vec{M} = 0$ ,  $\vec{\varepsilon} = 0$ ,  $\vec{\omega} = \text{const}$  ва демак, жисм ўзининг тинч ёки текис айланма ҳаракат ҳолатини сақлайди. Бу хулоса Ньютоннинг биринчи қонунини эслатади. Реал шароитда, айланма ҳаракат қилаётган жисм ишқаланиш кучлари momentи таъсирида секин-аста тўхтайдди. Жисм текис айланма ҳара-

кат ҳолатини сақлаши учун ишқаланиш кучлари моментига мувозанатловчи ташқи куч momenti таъсир этиб туриши лозим.

Ҳақиқатан ҳам, автомобиль текис ўзгармас чизиқли тезликда ғилдираклари эса текис айланма ҳаракатда бўлишлиги учун ҳайдовчининг оёғи акселератор педалидан бутунлай узилмайдди, аксинча, кичик куч билан таъсир этиб, ишқаланиш кучлари моментини мувозанатловчи ташқи куч momenti яратиб туради.

**Айланма ҳаракат динамикаси асосий қонунининг баъзи татбиқлари.** Айланма ҳаракат динамикасининг асосий қонунига кўра, бир хил куч momenti таъсирида ҳар хил инерция моментига эга бўлган жисмлар турлича бурчакли тезланиш олади: инерция momenti катта бўлган жисмнинг бурчакли тезланиши кичик, яъни бундай жисм ўзининг тезлигини осонликча ўзгартира олмайди, инертлиги катта бўлади.

Ҳақиқатан ҳам, қуйидаги ҳаётий тажриба юқорида қайд этилган фикрларни тасдиқлайди. Қия текисликда диаметри ва массаси бир хил бўлган иккита цилиндрни, уларнинг ўқлари бир тўғри чизиқ устида ётадиган қилиб ушлаб туриб бараварига қўйиб юборамиз (66-расм). Улардан бири ёғочдан ясалган бутун цилиндр бўлиб массаси ҳам бўйича текис тақсимланган. Иккинчиси эса, юпқа металдан ясалган ичи бўш цилиндр,



66- расм.

массаси айланиш ўқидан анча узоқда жойлашган. Тажриба кўрсатадики, ёғочдан ясалган бутун цилиндр катта тезланиш олади ва металл цилиндрдан анча ўзиб кетади. Цилиндрлар диаметрлари бир хил ва қия текислик улар учун умумий бўлганлиги учун ҳар иккала цилиндрга таъсир этувчи айлантирувчи куч momenti

ҳам бир хил бўлади ва  $\vec{M}_1 = \vec{M}_2 = [r P]$  га тенг. Жисملарнинг бир хил куч momenti таъсирида ҳар хил тезланиш олишини, уларнинг инерция ўлчовларининг ҳар хиллиги билан тушунтириш мумкин.

Ҳақиқатан ҳам, металл цилиндрнинг массаси айланиш ўқидан анча узоқда жойлашган бўлганлиги учун унинг инерция momenti ёғоч цилиндрга нисбатан анча катта, айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасига кўра унинг бурчакли тезланиш аксинча, анча кичик бўлади. Жисмнинг ташқи куч momenti таъсирида олган бурчакли тезланиш инерция momentига тескари пропорционал бўлганлиги учун жисм массаси айланиш ўқиға яқин жойлашган ва кучнинг қўйилиш нуқтаси ўқдан узоқда бўлса, уни айланма ҳаракатга келтириш осон бўлади.

Шунинг учун амалда юкни қўзғатувчи рычаг дасталари иложи борица енгил ва узун қилиб ясалади. Урнидан осон қўзғалувчи, тез орада юқори тезликка эришиш имкониятига эга бўлган енгил автомобиль ёлдиракларини нисбатан кичик диаметрли бўлишлиги ҳам бежиз эмас, уларнинг инерция momentининг кичик бўлиши тезланиш олишини осонлаштиради. Ёлдиракнинг баллонларни тутиб турувчи дисклари массаси ҳам иложи борица кичик бўлгани маъқул. Бунинг учун қаттиқ ва енгил материалдан фойдаланилади. Дисклардаги тешикчалар ҳам уларға фақат вироф бериш учунгина эмас, балки уларнинг чидамлилигини сақлаган ҳолда массаси ва инерция momentини кичрайтириш мақсадда қолдирилади. Шу нуқтан назардан қаралганда маховикнинг асосий массасини айланиш ўқиға яқин жойлаштириш лозимдек туюлади. Аслида эса аксинча, асосий массаси ўқдан узоқроқда жойлашган бўлади. Маховикнинг тезда катта бурчакли тезликка эришини муҳим масала бўлмай, унинг асосий вазифаси двигателлар ёки баъзи механизмларнинг силкинмай, бир меъёردа ишлашини таъминлашдан иборат ва шунинг учун унинг инерция momenti билан бир қаторда айлан-

ма ҳаракат кинетик энергиясининг катта бўлиши ҳам мақсадга мувофиқдир.

Илгариланма ҳаракат динамикаси қонунларига кўра жисм ташқи куч йўналишида тезланиш олар эди. Агар куч таъсири тўхтатилса, жисм ўзининг инерциясига кўра тўғри чизиқли текис ҳаракатни сақлар эди. Шунингдек, айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасидан кўринадикки, куч моменти таъсири тўхтаса ( $M=0$ ), жисм ўзининг бурчакли тезлиги вектори йўналишини ва ҳаракат ҳолатини сақлайди.

Ҳақиқатан ҳам, тез айланма ҳаракатга келтирилган жисмнинг бурчакли тезлиги ҳамда айланиш ўқининг фазодаги вазияти сақланади. Масалан, болалар ўйинчоқлари — пилдироқ, бизбизакни айлантариб Ерга қўйиб юборсак, оғирлик маркази таянч нуқтасидан анча юқорида бўлишига қарамасдан йиқилмайди. Айланма ҳаракатда бўлмаган гнадиракни ерга қўйсак йиқилади, думалатиб юборсак йиқилмайди, чунки айланма ҳаракатда инерция моменти инерция ўлчови ролини ўтайди ва ҳаракат ҳолати сақланади. Юриб кетаётган велосипед ҳам бурчакли тезлик ва тезланиш векторлари йўналиши сақланиши эвазига йиқилмади.

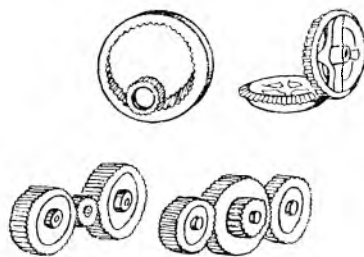
Қаттиқ жисмни хусусан, гнадиракни ҳам фикран жуда кўп элементар бўлакчалардан ташкил топган деб кўриш мумкин. Қаттиқ жисмнинг айланишида бу ҳар бир бўлакчалар инерциясига кўра тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилишга интилади. Аммо уларнинг ҳар бири битта қаттиқ жисм бўлаклари бўлганликлари учун умумий ўқ атрофида айланишга мажбур бўлади. Ҳар бир элементга таъсир этувчи марказдан қочма куч жисмнинг бошқа бўлаклари орасида боғланиш кучи билан мувозанатлашади. Шунинг билан бир қаторда жисмнинг ҳар бир элементи ўз инерциясига кўра айланиш ўқиға перпендикуляр текисликдан оға олмайди. Натижада қаттиқ жисмнинг фазодаги айланиш ўқининг йўналиши сақланади. Барқарор айланма ҳаракатдаги қаттиқ жисм сифатида Ерни мисол қилиб келтириш мумкин. Ер Қуёш атрофида эллиптик орбита бўйлаб кўчиб юрганда ўз ўқи атрофида айланма ҳаракат қилади ва ўқининг фазодаги вазияти сақланади. Унинг инерция моменти  $I = \frac{2}{5} mR^2$  га тенг бўлиб, айланма ҳаракатда инерция ўлчови вазифасини ўтайди. Ернинг ҳозирги барқарорлашган ҳаракатида унга таъсир этувчи айлантирув-

чи куч momenti деярли йўқ даражада ва шунинг учун у ўзгармас бурчакли тезлик ( $\omega = 7,292 \cdot 10^{-5} \text{ c}^{-1}$ ) билан ҳаракат қилади. Унинг айланиш даври  $T = 24 \text{ соат} = 86400 \text{ с}$  бўлиб, 1 сутка вақт оралиғига тенг. Аниқроқ фикрлаш учун Ойнинг Ерга таъсирини, океан сувларининг кўтарилиши ва қайтиши натижасида ҳосил бўладиган ишқаланиш кучларининг momentини ҳисобга олиш керак.

Милтиқ стволи ички томондан винтсимон ўйилган бўлиб, отилган ўқ стволдан маълум бурчакли тезликка эга бўлиб чиқади. Айланиш ўқиға нисбатан  $J$  инерция моментига эга бўлган ўқ ўз инерциясига кўра айланиш ўқи йўналишини сақлашга интилади, натижада узоқ масофага ва мўлжалга етиб боради. Спортчи велосипедчилар мусобақасида велосипеднинг орқадаги ғилдирагини массив ва дисксимон ғилдирак билан алмаштириб олганларини учратамиз, бу билан ғилдиракнинг инерция momenti катта бўлишига эришилади. Старт бошида тезланиш бирмунча қийин бўлса-да, инерция momentининг ортиши спортчининг катта тезликка эришиб олгандан кейин барқарор тезлигини узоқ муддат сақлашга ёрдам беради ва нисбатан узоқроқ масофаларда ёки каттароқ вақт оралиғида юқори ўртача тезлик қийматларини сақлаш имкониятини беради.

Техника ва транспорт соҳасида, машина ва механизмларнинг иш жараёнида айлантирувчи қисмларининг бурчакли ва чизиқли тезлик ҳамда тезланишлари уларга қўйилган куч momentлари билан белгиланади. Кучларнинг таъсири ва узатилиши тишли ғилдираклар, шкив, шестерня ва барабанларнинг радиусига тўғридан-тўғри боғлиқ;

уларнинг радиуси куч елкаси вазифасини ўтайди. Ғилдирак ёки шкив радиуси қанчалик катта бўлса, айлантирувчи куч momenti шунчалик катта бўлади. Тишли узатмаларда буровчи куч momenti кичик радиусли ғилдиракдан катта радиусли ғилдиракка узатилганда кучайтирилса, катта радиусли ғилдиракдан кичик радиусли ғилдиракка узатилганда эса камаяди (67-рasm).



67-рasm.

Айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасини горизонт билан  $\alpha$  бурчак ташкил этувчи қия текисликдан сирпанишсиз думалаб тушаётган  $R$  радиусли массив цилиндр ҳаракатига татбиқ этайлик. Цилиндрга урта куч огирлик кучи  $P$ , реакция кучи  $N$  ва ишқаланиш кучи  $F$  таъсир этади. Лекин огирлик кучи билан реакция кучининг цилиндр масса марказидан ўтувчи айланиш ўқиغا нисбатан моментлари нолга тенг. Цилиндрнинг айланма ҳаракатидаги бурчакли тезланиши қиймати ишқаланиш кучи momenti ва жисм инерция momenti катталикларига боғлиқ:

$$J \frac{d\omega}{dt} = FR, \quad (15.7)$$

Жисм масса марказининг чизиқли тезланишини эса ишқаланиш кучи билан огирлик кучининг ҳаракат йўналишидаги ташкил этувчиси белгилайди:

$$ma = P \sin \alpha - F. \quad (15.8)$$

Чизиқли ва бурчакли тезланишлар орасидаги  $a = \varepsilon R$  боғланишини назарда тутган ҳолда (15.7) ва (15.8) тенгламалар системасидан

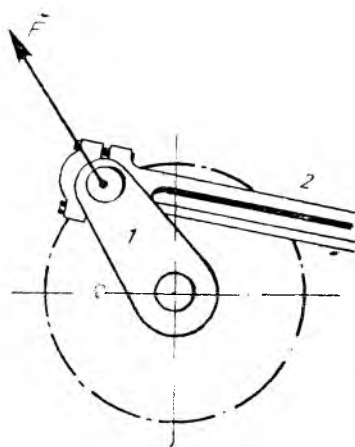
$$a = \frac{P \cdot \sin \alpha}{m + \frac{J}{R^2}} = \frac{g \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{J}{mR^2}}. \quad (15.9)$$

$$F = \frac{P \cdot \sin \alpha}{1 + \frac{mR^2}{J}} \quad (15.10)$$

муносабатларни ҳосил қиламиз ва жисмнинг инерция momenti қанчалик кичик бўлса, унинг тезланиши шунчалик катта бўлади ва аксинча ҳулосага келамиз. Жисмнинг инерция momenti қанчалик катта бўлса, ишқаланиш кучи шунчалик катта бўлади.

Айланиш ўқиға нисбатан жисмнинг массаси симметрик тақсимланадиган бўлиши керак, аке ҳолда, айланма ҳаракатдаги жисм турли қисмларининг инерция momentлари турлича бўлиши оқибатида бу айрим қисмларига таъсир этувчи марказдан қочма кучлар ҳам турлича бўлиб, улар бир-бирини мувозанатлай олмайди оқибатда, жисмнинг айланишида ўққа қўшимча куч

таъсир этади. Масалан, 2 шатунли 1 кривошипнинг айланма ҳаракатида (68-расм) ўққа мувозанатланмаган,  $\vec{F}$  марказдан қочма куч таъсир қилади.

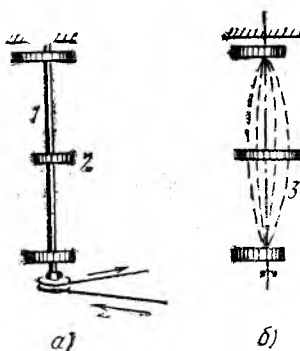


68- расм.

Марказдан қочма кучни мувозанатлаш учун қаттиқ жисмнинг турли қисмларининг ўққа нисбатан инерция моментларини тенглаштирилади. Бунинг учун, массанинг носимметрик тақсимотини тўғрилаш мақсадида қўшимча юкчалар қўйилади. Жисмнинг ўққа нисбатан қайси қисмида масса камроқ бўлса, шу то-

монга қўшимча юкча қўйилади; албатта юкчанинг ўрни ва массаси ҳам танлаб қўйилади. Юкчага таъсир этувчи марказдан қочма куч кривошип томонидан ўққа таъсир этувчи кучни мувозанатлай оладиган бўлиши керак.

Автомобиль гилдираklarини балансировка қилиш моҳияти ҳам шунинг ўзгинасидир. Машина ва механизмлар айланувчи қисмлари ўқларининг йўналиши, масса марказидан ўтувчи геометрик ўқи йўналиши билан устма-уст тушадиган қилиб ясалади. Агар геометрик ва айланиш ўқлари устма-уст тушмаса, бурчакли тезликнинг катта қийматларида айланиш ўқи ва ўқнинг подшипник ҳамда шарнирларига катта динамик нагрузка тушади. Дарҳақиқат, кўпчилик машина ва механизмларнинг қисмлари катта бурчакли тезлик билан айланади. Масалан, оддий комбайннинг барабанининг минутига айланишлар сон миңдан ортади, техник вентиляторлар 150 000 айл/мин, буғ трубина-



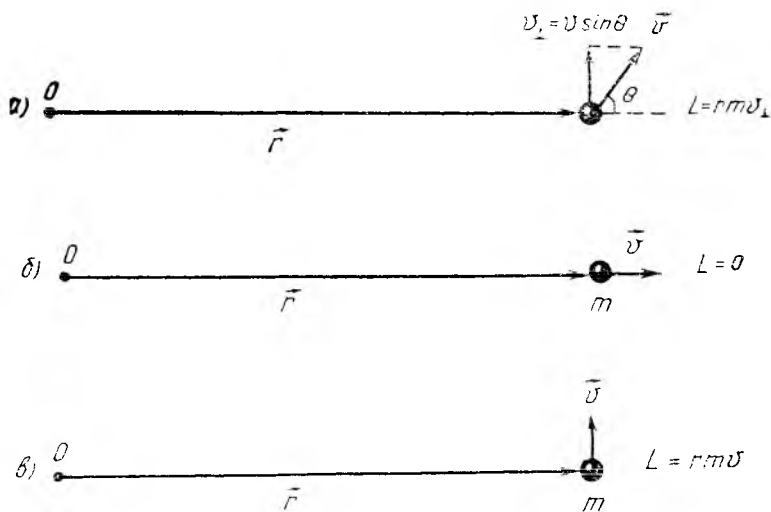
69- расм.

сининг ишчи ғилдираги 30000 айл/мин бурчакли тезликлар билан айланади.

Динамик нагруккаи камайтириш мақсадида, жуда тез айланувчи, массив механизмлар ва ишчи ғилдираклар эгилувчан, эластик I валга ўрнатилади (69-а расм). Катта айланишларда I валнинг эгилиши (69-б расм) натижасида айланувчи жисм огирлик маркази унинг I геометрик ўқиға яқинлашади. Ҳар қандай жисмларда уларнинг масса марказидан ўтувчи ва ўзаро бир-бирига перпендикуляр бўлган эркин ўқлар мавжуд бўлиб, жисмнинг бу ўқлари атрофида айланиши энг барқарор ҳаракат бўлади.

### 16-§. Моддий нуқта импульс моменти ва унинг сақланиш қонуни

Илгариланма ҳаракат динамикасида моддий нуқтага таъсир этувчи натижавий куч нолға тенг бўлса, унинг импульси ўзгармас сақланади, деган муҳим сақланиш қонунини биламиз. Табиатда жуда муҳим бўлган сақланиш қонунларидан яна бири импульс моменти нинг сақланиш қонуни бўлиб, бу қонун айланма ҳаракат ҳодисаларида муҳим аҳамиятга эга.  $m$  массали мод-



70- расм.



дий нуқта  $\vec{v}$  тезлик билан ҳаракатланаётган бўлсин (70-а расм).

Моддий нуқтанинг импульс моменти ундан айланиш ўқиғача бўлган масофа билан импульснинг перпендикуляр ташкил этувчиси кўпайтмасига тенг:

$$L = r \cdot p_{\perp} = rmv_{\perp} = rmv \cdot \sin \theta, \quad (16.1)$$

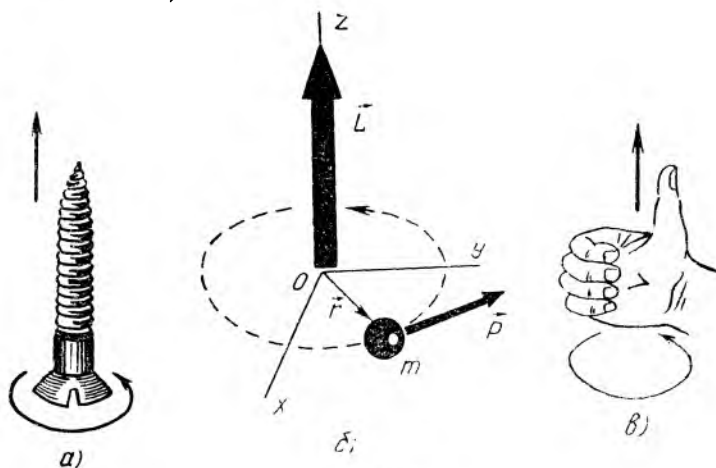
бунда  $\theta$  тезлик  $\vec{v}$  вектори йўналиши билан  $\vec{r}$  радиус вектори орасидаги бурчак бўлиб,  $v_{\perp} = v \cdot \sin \theta$  га тенг бўлади. Чизиқли ва бурчакли тезликлар орасидаги  $v = \omega r$  боғланишдан фойдаланиб (16.1) ифодани

$$L = mr^2 \omega \sin \theta = J \omega \sin \theta \quad (16.2)$$

кўринишда ёзиш мумкин.  $J = mr^2 \sin^2 \theta$  — моддий нуқтанинг айланиш ўқиғига нисбатан инерция моментиدير. Агар  $\theta = 0^\circ$  бўлса, (70-б расм)  $L = 0$  ва  $\theta = 90^\circ$  бўлса, (70-в расм) импульс моменти қуйидагича бўлади:

$$L_z = J \omega = rmv. \quad (16.3)$$

Барча моментлар каби  $\vec{L}$  импульс моменти ҳам вектор катталиқ бўлиб, моддий нуқта  $\vec{r}$  радиус вектори билан  $\vec{p}$  ҳаракат импульси векторларининг вектор кўпайтмасига тенг (71- расм):



71- расм.

$$\vec{L} = [\vec{r} \vec{p}] = [\vec{r} m \vec{v}] = J \vec{\omega}. \quad (15.4)$$

Импульс momenti  $\vec{L}$  вектори айланиш ўқи устида ётади (71-б расм) ва унинг йўналиши ўнг винт (71 а, б, в-расм) қондасига асосан аниқланади. Импульс моментидан вақт бўйича олинган ҳосила импульс моментининг вақт ўтиши билан ўзгариш қонуниятини беради:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \left[ \frac{d\vec{r}}{dt} \vec{p} \right] + \left[ \vec{r} \frac{d\vec{p}}{dt} \right]. \quad (16.5)$$

(16.5) да  $\vec{v}$  тезлик ва  $\vec{p}$  импульс векторлари йўналишлари бир хил бўлганлиги учун биринчи қўшилувчи ҳад нолга тенг. Иккинчи қўшилувчи ҳадда  $\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}$  моддий нуқтага таъсир этаётган куч вектори бўлиб

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = [\vec{r} \vec{F}] = \vec{M} \quad (16.6)$$

тенглик ҳосил бўлади.  $\vec{L}$  вектор импульс momenti вектори бўлса  $\vec{M}$  таъсир этувчи куч momenti векторидир. Демак, импульс моментининг ўзгариши таъсир этувчи кучнинг momenti билан белгиланади. Агар моддий нуқтага таъсир этувчи кучнинг momenti нолга тенг бўлса, унинг импульс momenti ўзгармас сақланади ва қуйидагича белгиланади:

$$\vec{L} = J\vec{\omega} = J_1\vec{\omega}_1 = J_2\vec{\omega}_2 = \text{const}. \\ L = mr_1^2\omega_1 = mr_2^2\omega_2 = \text{const}; \quad \omega_1 r_1^2 = \omega_2 r_2^2. \quad (16.7)$$

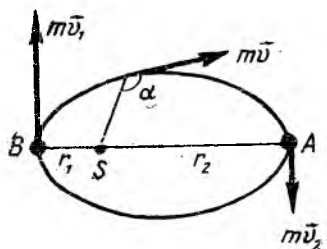
Моддий нуқта импульс моментининг сақланиш қонуни (16.7) ни қуйидаги тажрибада текшириб кўрайлик. Енгил стержень бўйлаб осонгина силжийдиган  $m$  массалари тенг бўлган иккита шарча стерженга кийдирилган. Шарчалар айланиш ўқидан бир хил узоқликда жойлашган бўлиб, ўзаро ингичка ип билан боғланган. Стержень шарчалари билан қаттиқ тагликка ўрнатилган. Қурплмани бирор  $\omega_1$  бурчакли тезлик билан айлантирайлик. Бу ҳолда шарчалар  $L_1 = mr_1^2\omega_1$  импульс momenti га эга бўлади. Агар ипни ёқиб юборсак, шарча сирпаниб стержень учларига кўчади. Уларнинг инерция моментлари ортади ва импульс моментлари  $L_2 = mr_2^2\omega_2$  га тенг бўлади. Ишқаланиш кучлари кичик бўлган ҳолда, ташқи куч мо-

менти нолга тенг бўлса,  $L_2 = L_1 = \text{const}$  ўзгармас сақланади. Ҳақиқатан ҳам, қурилманинг бурчакли тезлиги камайиб  $\omega_2 = \omega_1 \frac{r_1^2}{r_2^2}$  тенгликка бўйсунди. Тажрибани тескари тар-

тибда бажариб кўриш ҳам мумкин. Шарчаларни пружина билан туташтирамиз. Дастлабки ҳолатда умумий ип орқали шарчаларни стержень учларига яқин жойлаштирамиз ва қурилмани айланма ҳаракатга келтирамиз. Ипни ёқиб юборилса шарчалар айланиш маркази томон пружина таъсирида кўчади ва инерция моменти камаяди. Импульс моментининг сақланиш қонуни (16.7) га кўра эса уларнинг бурчакли тезлиги, аксинча, ортади.

### Импульс моменти сақланиш қонунининг қўлланиши.

Моддий нуқта импульс моментининг сақланиш қонунини Қуёш системаси таркибидаги планеталар ҳаракатига татбиқ этайлик. Планеталарнинг ўлчамлари уларнинг Қуёшгача бўлган масофаларга нисбатан кўп марта кичик бўлиб, уларнинг ҳар бирини моддий нуқта деб қараш мумкин (72- расм). Барча планеталар ҳаракатини Қуёшга нисбатан қаралганда айланиш ўқи Қуёш марказидан ўтади. Қуёш томондан планеталарга таъсир этувчи кучлар Қуёш маркази томон йўналган бўлганлиги учун уларнинг моментлари нолга тенг бўлади. У ҳолда барча планеталарнинг Қуёш марказидан ўтувчи айланиш ўқи га нисбатан импульс моменти ўзгармас сақланади:



72- расм.

$$L = mvr = \text{const.} \quad (16.8)$$

Ихтиёрний планета учун унинг массаси ўзгармаган ҳолда

$$v_1 r_1 = v_2 r_2 = \dots = \text{const} \quad (16.9)$$

тенглик ўринли бўлади, яъни планетадан Қуёшгача бўлган масофа  $r$  энг кичик  $r_1$  га тенг бўлганда (перигелий) унинг тезлиги энг катта ва  $r$  энг катта  $r = r_2$  бўлганда (афелий) энг кичик бўлади. Траекториянинг бошқа нуқталарида  $r \sin \alpha > r_1$  ва тезлик перигелийдаги тезликдан кичикдир.  $r$  радиус векторнинг бирлик вақт ичида чизган юзасини асосан  $v$  га ва баландлиги

$r$  га тенг бўлган учбурчак юзаси деб қараш мумкин. У ҳолда (16.9) тенгликка асосан траекториянинг ихтиёрлий нуқталарида радиус векторнинг бир бирлик вақтда чизган юзалари ўзаро тенг бўлиб, (16.9) тенглик эса Кеплернинг иккинчи қонунини ифодалайди, яъни Қуёшдан планеталар томон ўтказилган радиус вектор тенг вақтлар оралиғида тенг юзалар чизади.

Афсуски, Кеплерга импульс моментининг сақланиш қонунини маълум эмас эди. Агар бу қонун билан таниш бўлганида ўзининг планеталар ҳаракати ҳақидаги иккинчи қонунини оддий кичик ип бўлаги ва кичик шарча ёрдамида кашф этиши ҳам мумкин эди. Масалан, кичикроқ найча ичидан ўтказилган ипнинг учига шарчани боғлаб айлантирайлик. Шарча  $r_1$  радиусли айлана бўйлаб  $v_1$  тезлик билан ҳаракат қилади ва  $L_1 = mv_1r_1$  импульс моментига эга бўлади. Найча ичидаги ипни бироз тортиб  $r_2$  айлана радиусигача кичрайтирилса, шарча  $L_2 = L_1 = mv_2r_2$  импульс моментига эга бўлади. Айлана радиуси неча марта камайса, шарчанинг тезлиги шунча марта ортади ва  $v_2 = v_1 \frac{r_1}{r_2}$  га тенг бўлади, инерция моментининг камайиши ўз навбатида бурчакли тезликнинг ортишига олиб келади.

Ернинг сунъий йўлдошлари ҳам эллиптик орбиталар бўйлаб ҳаракат қилади. Ерга энг яқин ва энг узоқ нуқталарда сунъий йўлдошнинг тезлиги, мос равишда, энг катта ва энг кичик қийматларга эришади.

Импульс моментининг сақланиш қонунини универсал қонун бўлиб, уни ҳаётнинг турли соҳаларида кузатиш мумкин. Қундалик турмушда Ер устида ҳаракатда бўлган поездлар, автомобиллар, тракторлар, ҳайвонлар-у одамлар ҳаракати ҳам импульс моментининг сақланиш қонунига бўйсунди. Ер сирти бўйлаб қадам қўйишимизда, Ерни бироз орқага итарамиз, ўзимизни эса олдинга итарамиз, лекин бу билан фақат ўзимиз ҳаракат қиляпмиз деб ўйлаймиз. Аслида Ернинг импульси ва импульс momenti ҳам ўзгаради ва фақат системанинг тўла импульс momenti ўзгармай қолади. Лекин Ернинг массаси жисмлар ва одамлар массасидан кўп марта катта бўлганлиги учун унинг импульс моментининг ўзгариши кўп марта кичик бўлиб, деярли сезилмайди.

Планеталар ҳаракатига онд мисоллардан кўринадики, Кеплернинг биринчи ва иккинчи қонунлари импульс моментининг сақланиш қонунини ўз ичига олар

экан. Қуёш системасини ёпиқ система деб қаралса, унинг импульс моменти ўзгармас сақланади. Икки жисм — Қуёш ва планетадан иборат системани тахминан ёпиқ система деб қараш мумкин. Аниқ ҳисоблашлар учун бошқа планеталарнинг ҳам таъсирини ҳисобга олиш зарур. Юпитер, Венера ва бошқа планеталар таъсири натижасида Ернинг орбитаси ўзгаради. Тақрибан 25000 йилдан сўнг Ернинг орбитаси доиравий кўринишга келиши мумкин. Планеталарнинг ўзаро таъсири натижасида деярли барча планеталарнинг импульс моменти Қуёш системасининг тўла моменти атрофида бурилади. Планеталар орбита текислигининг бурилиш ҳодисаси *прецессия* дейлади.

Моддий нуқталар системасининг тўла импульс моменти система таркибидаги айрим зарралар импульс моментларининг геометрик йнғиндисига тенг:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{L}_i = \sum_{i=1}^N [m_i \vec{r}_i \vec{v}_i], \quad (16.10)$$

бунда  $m_i$ ,  $\vec{r}_i$  ва  $\vec{v}_i$  — система таркибидаги  $i$ -моддий нуқтанинг массаси, радиус вектори ва чизиқли тезлик вектори.

Система таркибидаги айрим зарраларнинг ўзаро таъсири бўлган ҳолда, ташқаридан таъсир бўлмаса, бундай система ёпиқ система бўлади. Ёпиқ системанинг тўла импульс моменти эса ўзгармас сақланади:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{L}_i = \text{const.} \quad (16.11)$$

Система импульс моментининг сақланиш қонуни табиат ҳодисаларини тушунишга имкон беради. Курсимизнинг кириш қисмида бир неча Галактика туркумларини борлиги ҳақида, хусусан, бизнинг Галактикамиз унинг айланиш ўқиға параллел йўналишда сиқилганлиги, шаклан болалар ўйинчоғи бизбизак шаклини эслатиши ҳақида гапирилган эди.

Галактикалараро ўзаро таъсирларини ҳисобга олмаган ҳолда, айрим Галактика системасини тақрибан ёпиқ система деб қараш мумкин. Галактика таркибидаги барча юлдузлар орасида ўзаро гравитациявий таъсир кучлари мавжуд. Ўзаро тортишиш кучлари радиал кучлар бўлиб, уларнинг бурувчи моментлари нолга тенг. У ҳолда, ёпиқ система сифатида кўрилаётган биз-

нинг Галактикамизнинг дастлабки импульс momenti ўзгармас сақланиши лозим.

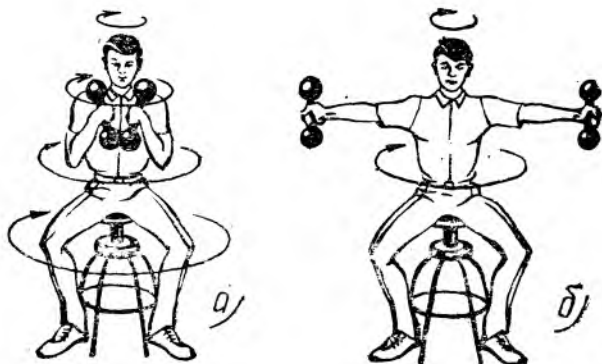
Галактика таркибидаги барча юлдузларнинг бири-бирига тортилиши натижасида унинг ҳажми сиқилади. Сиқилиш асосан гарвитаццион тортишни ҳисобига бўлгани учун экваториал текисликда сиқилиш нисбатан чекланган бўлади. Тўла импульс momenti  $L$  векторига параллел йўналишда сиқилиш кучлироқ бўлиб, Галактика кўриниши пилдиरोқ шаклига ўхшаб кетади. Галактика умумий массаси ўзгармаган ҳолда, ҳажмининг сиқилиши натижасида айланиш ўқиға нисбатан инерция момент камаяди. Импульс моментининг сақланиш қонунига кўра, инерция моментининг камайишиға система бурчакли тезлик билан айланаётган Галактика таркибидаги ҳар бир юлдузлар эса Галактика айланиш ўқиға нисбатан ўзларининг тутган ўринларига мос бўлган чизиқли тезликлар билан ҳаракат қилади.

Қуёш эса Галактика айланиш ўқидан тахминан  $r \sim 2 \cdot 10^4$  парсек  $= 3 \cdot 10^{20}$  м масофада туради. У Галактика ўқи атрофида орбита бўйлаб  $v = 3 \cdot 10^5 \frac{м}{с}$  тезлик билан ҳаракат қилади (космик тезликлар билан таққослаб кўринг).

### 17- §. Қаттиқ жисм импульс моментининг сақланиш қонуни

Ҳар биримиз фигурачиларнинг муз майдоидаги чиқишларини, жозибали тугаллашларини ҳайратланиш ва завқ билан кузатганмиз. Улар битта конькиларини айланиш марказига қўйиб, қўлларини кенг ёйганларича иккинчи конькилари билан итарилиб, анчагина бурчакли тезликда айланишға эришадилар ва кейин тезгина қўлларини таналарига ёпиштириб оладилар. Шундан сўнг айланиш бурчак тезлиги кескин ортади. Бунинг сабаби нимада? Фақат қўлларини танасига ёпиштириб ва қўшимча ҳеч қандай куч сарфламай фигурачи ўз айланиш бурчак тезлигини қандай қилиб кескин оширишға эришади?

Бу саволға қаттиқ жисм импульс моментининг сақланиш қонуни жавоб беради. Қонуннинг моҳиятини тушуниш учун қуйидаги тажрибаға мурожаат этайлик. Вертикал ўқ атрофида шарикли подшипникларда деярли ишқаланишсиз эркин айлана оладиган курсида



73- расм.

(Жуковский курсисид) ўтирган одам айланма ҳаракатга келсин (73-расм). Курси билан биргаликда у бирор  $\omega_0$  бурчакли тезлик билан айланади. Агар у қўлларини ёзиб юборса бурчакли тезлиги камайиб  $\omega$  га тенг бўлади. Тажриба эффе́ктини кучайтириш учун одам қўлларига оғир гантел тошларини олади. Тошларни айланиш ўқидан узоқлаштирганда (73-б расм) инерция моменти бир неча марта ортади, лекин бурчакли тезлиги эса шунча марта камаяди. Бу ҳолатдаги инерция моментини  $J_2$  ва бурчакли тезлигини  $\omega_2$  деб белгилайлик. Одам тошларни танасига ёпиштириб олса (73-а расм) инерция моменти камайиб  $J_1$  бўлиб қолади, бурчакли тезлиги, аксинча, бир неча марта ортади ва  $\omega_1$  га тенг бўлади. Тажриба натижаларига кўра айланма ҳаракатдаги жисмнинг бурчакли тезлиги инерция моментига тескари пропорционал  $\omega \sim \frac{1}{J}$  ўзгаради:

$$J\omega = \text{const}; \quad J_1\omega_1 = J_2\omega_2 = \dots = \text{const}. \quad (17.1)$$

(17.1) муносабат ишқаланиш кучлари ва қаршилик кучлари қанчалик кичик бўлса, шунчалик ўринли бўлади, яъни айланма ҳаракатдаги жисмга ташқи таъсир бўлмаса, унинг инерция моменти билан бурчакли тезлигининг кўпайтмаси ўзгармас сақланади.

Илгариланма ҳаракатда жисм массасининг унинг тезлигига кўпайтмасини ҳаракат импульси деб аталар эди. Айланма ҳаракатда  $m$  масса ролини  $J$  инерция моменти ўтаса, чизиқли тезлик  $v$  ролини бурчакли тез-

лик  $\omega$  ўтайти. Шунинг учун  $J\omega$  ни айланма ҳаракат импульси деб аталishi керакдек туюлади. Лекин  $J\omega$  ни  $L$  билан белгиланади ва жисмнинг импульс моменти деб аталади. Демак, тажриба натижаларига кўра, айланма ҳаракатдаги жисмга ташқи таъсир бўлмаса унинг импульс моменти ўзгармас сақланади.

Қаттиқ жисм айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламасини келтирайлик:

$$\vec{M} = J \vec{\epsilon} = J \frac{d\vec{\omega}}{dt}. \quad (17.2)$$

Қаттиқ жисмнинг қўзғалмас ўққа нисбатан инерция моменти ўзгармаслигини назарга олиб, (17.2) тенгликни қуйидагича ёзиш мумкин:

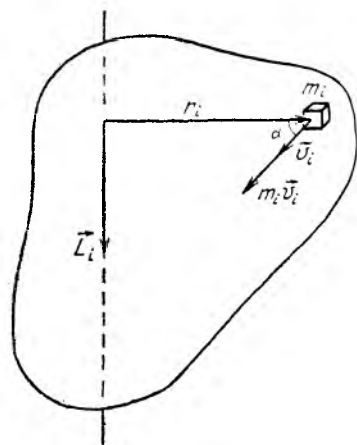
$$\vec{M} = \frac{d(J\vec{\omega})}{dt} = \frac{d\vec{L}}{dt}. \quad (17.3)$$

(17.3) тенглама моментлар тенгламасидир; қаттиқ жисмнинг айланиш ўқиға нисбатан импульс моменти-дан вақт бўйича олинган биринчи тартибли ҳосила, шу ўққа нисбатан жисмга таъсир этувчи ташқи кучлар моментига тенг.

Агар айланма ҳаракатдаги жисмга унинг айланиш ўқиға нисбатан таъсир этувчи ташқи кучлар моменти  $\vec{M}$  нолга тенг бўлса, жисмнинг айланиш ўқиға нисбатан  $\vec{L}$  импульс моменти ўзгармас сақланади:

$$\vec{L} = J\vec{\omega} = \text{const}. \quad (17.4)$$

Бу қонун қаттиқ жисм импульс моментининг сақланиш қонуни бўлиб, тажриба натижаларини тасдиқлайди. (17.4) ифодада  $J$  — қаттиқ жисмнинг айланиш ўқиға нисбатан инерция моменти;  $\vec{L}$  — қаттиқ жисмнинг айланиш ўқиға нисбатан импульс моменти.



74- расм.



Қаттиқ жисмни фикран айрим элементар бұлақчаларга ажратиш мумкин (74-рasm). Элементар бұлақчалар ұлчамлари айланиш ўқигача бұлган масофаларга нисбатан жуда кичик ва уларни моддий нуқта деб қаралади. У ҳолда қаттиқ жисмнинг айланиш ўқига нисбатан тўла импульс моменти, унинг айрим элементар бұлақлари импульс моментларининг алгебраик йиғиндисига тенг:

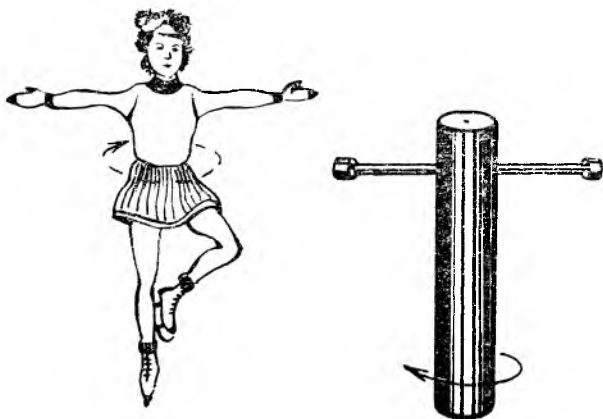
$$L = \sum_{i=1}^N L_i = \sum_{i=1}^N r_i m_i v_i. \quad (17.5)$$

Қаттиқ жисмнинг  $\vec{L}$  тўла импульс моменти унинг элементар бұлақчалари  $\vec{L}_i$  импульс моментларининг вектор йиғиндисига тенг:

$$\vec{L} = \sum_{i=1}^N \vec{L}_i. \quad (17.6)$$

Бунда  $\vec{L}_i = [\vec{r} \ m \ \vec{v}_i]$  бўлиб,  $L_i = r_i m v_i \sin \alpha$  га тенг,  $\alpha$  — радиус вектор  $\vec{r}_i$  билан  $\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i$  импульс вектори орасидаги бурчак.

Муз майдонидаги фигурачининг ҳаракатларига боғлиқ импульс моментининг сақланиш қонунини қуйидаги модель асосида тушуниш мумкин (75-рasm). Фигу-



75-рasm.

рачи гавдасни радиуси 15 см, массаси 60 кг бўлган цилиндр билан, қўлларини айланиш ўқидан 80 см узоқликдаги умумий массаси 4 кг бўлган юк билан алмаштирилса, моделнинг тўла импульс momenti қуйидагига тенг бўлади:

$$[0,5 \cdot 60 \text{ кг} (0,15 \text{ м})^2] \omega + [4 \text{ кг} (0,80 \text{ м})^2] \omega = \\ = 0,68\omega + 2,6\omega.$$

Фигурачи қўлларининг импульс momenti масса айланиш ўқидан узоқда бўлганлиги учун гавда импульс momentидан тўрт марта катта бўлади. Агар дастлабки бурчакли тезлиги  $\omega = 3,1 \text{ рад/с}$  бўлса, тўла импульс momenti  $L_0 = (3,3 \text{ кг/м}^2) (3,1 \text{ рад/с}) = 10 \text{ кг м}^2/\text{с}$  га тенг бўлади. Фигурачи қўлларини танасига ёпиштириб олгандан сўнг тўла импульс momenti ўзгармас сақланиши учун кейинги бурчакли тезлигини қуйидаги тенгликдан толамиз:

$$10 \text{ кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 0,68\omega + 4 \text{ кг} (0,15 \text{ м})^2 \cdot \omega = (0,77 \text{ кг} \cdot \text{м}^2) \cdot \omega;$$

$$\omega = 13 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Демак, бурчакли тезлиги тўрт мартадан кўпроқ ортар экан. Фигурачи бурчакли тезликларининг ҳар хил бўлишлиги унинг инерция momentининг ўзгаришига боғлиқ. Фигурачи қўлларини танасига ёпиштириб олганда импульс momentининг сақланиш қонунига асосан инерция momentининг камайиши натижасида бурчакли тезлиги ортади. Аксинча, қўлларини ёзганда унинг инерция momenti ортади, бурчакли тезлиги эса камаяди; ҳар иккала ҳолда ҳам  $J$  ва  $\omega$  кўпайтмаси ўзгармас сақланади.

### Импульс momenti сақланиш қонунининг қўлланишига мисоллар

Бу қонунининг амалда қўлланишига жуда кўплаб мисоллар келтириш мумкин. Спорчи турли салт ҳаракатларини бажариш учун танасини букиб инерция momentини камайтиради, бунда унинг бурчакли тезлиги ортади. Керакли айланишлар сонни бажарилгач сакровчи яна танасини ростлаб олиб, кичик бурчакли тезлик билан тушади. Балет ўйинчисининг ҳаракати ҳам спортчи ва фигурачи ҳаракатларининг айнан ўзгинаси-

дир. У пируэт бажараётганда қўллари ва оёқлари айланиш ўқиғига яқинлашган бўлиб инерция моменти кичик, бурчакли тезлиги эса катта бўлади. Айланишдан тўхташ учун балет ўйинчиси қўлларини ёзиб, оёқларини ён томонга чўзади ва инерция моментини ошириш эвазига бурчакли тезлигини камайтиради.

Шу каби ҳодисаларни турникда машқ бажараётган гимнастлар, циркдаги акробатлар ҳаракатларида ҳам кузатиш мумкин.

Қундалик турмушда ҳар биримиз бирор ариқ устига ташланган тахтача ёки тўсин устидан ўтишда беихтиёр қўлларимизни ён томонга чўзиб оламиз, инерция моментимизни орттириб тўсин атрофида бурчакли тезлигимизнинг камроқ бўлишига, яъни йиқилиб кетмасликка олдиндан тайёргарлик кўрамыз. Дорбозларнинг таёғи инерция моментини оширади, сим ёки арқонга инсбатан бурчакли тезлигини эса камайтиради, яъни дорбознинг сим устида турғунлигини таъминлайди.

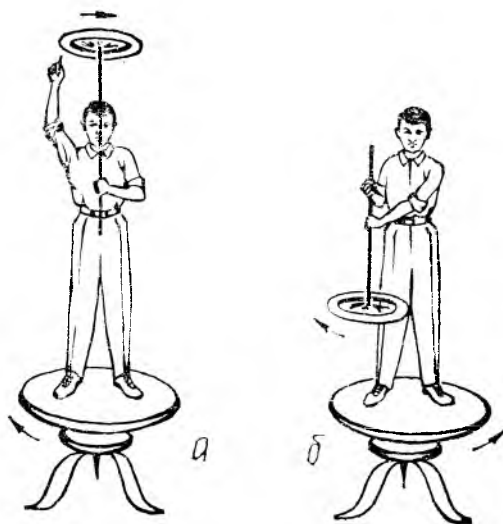
Биз яшаб турган Ер шарни ҳам Жуковский курсисини эслатади. Ернинг инерция моментининг ўзгариши айланиш бурчакли тезлигини ўзгаришига олиб келади, назарий қаралганда тоғларнинг йўқолиши, пайдо бўлиши, вулканлар, одамларнинг бир жойдан кўплаб, ер массасини олиб бошқа жойда баланд бинолар қуриши, метеоритларнинг тушиши, денгиз ва океанларда сув сатҳининг тебраниб туриши ва ҳоказолар унинг инерция моментининг ва демак, бурчакли тезлигининг ўзгаришига олиб келади. Ернинг бурчакли тезлигини, яъни кеча ва кундуз давомийлигини ўзгаришига кўпроқ ташқи таъсирлар сабаб бўлади. Асосан, Ой Ерга тор-моз беради. Унинг гравитацион тортиши билан боғлиқ денгиз ва океанлардаги сув сатҳининг кўтарилиши ва тушиши натижасида ҳосил бўладиган ишқаланиш кучлари моменти таъсир қилади.

Ҳисоблашлар кўрсатадики, кеча ва кундуз давомийлиги юз йилда тахминан  $1,640 \cdot 10^{-3}$  секундга узаяди. Шунинг учун, кириш қисмида айтилгандек, вақт эталони «секунд» бирлиги Ернинг ўз ўқи ёки Қуёш атрофида айланиш давридан олинмасдан, кварц кристалли панжарасининг тебраниши ҳамда атом ва молекулааларнинг спектрал чизиқлар нурланишига мос тебранишлари ёрдамида белгиланади. Балки қачонлардир Ер ҳам ўз навбатида Ойга таъсир кўрсатиб, ўз ўқи атрофида айланиш тезлигининг камайишига сабабчи

бўлгандир. Ойнинг массаси ва ўз ўқиғига нисбатан инерция моменти нисбатан кичик бўлганлиги учун у айланнишдан тўхтаб улгурган, натижада, биз томонга фақат бир томони билан қараб қолган.

Алоҳида қайд қилиб ўтиш лозимки, импульс моментининг сақланиш қонунини жисмлар системасига татбиқ этилганда, кўпчилик ҳолларда, жисмларни моддий нуқта деб қараш тўғри бўлмайди. Чунки қаттиқ жисм ўз ўқи атрофида ҳам айланиши мумкин ва уни моддий нуқта деб қараш оқибатида жисмнинг хусусий импульс моменти назардан четда қолиб кетади. Қўрилган мисолларда биз, асосан, импульс моментининг миқдорий сақланиши билан танишдик.

Импульс моменти векторининг сақланишини қуйидаги тажрибаларда кузатиш мумкин. Жуковский курсисида демонстратор қўлида оғирлаштирилган гардишли велосипед филдирагининг унинг ўқиши вертикал ҳолатда тутиб турибди (76- расм). Бу система импульс моментига эга бўлиши мумкин бўлган икки қисмдан, яъни одами билан биргаликда Жуковский курсиси ва ўз ўқи атрофида айланиши мумкин бўлган велосипед филдирагидан иборат (76-а расм). Дастлабки ҳолатда



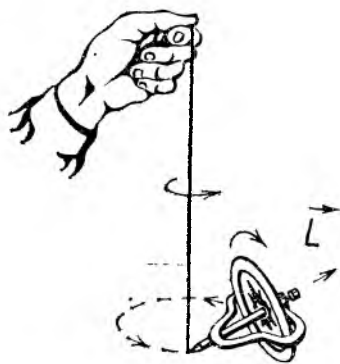
76- расм.

системанинг тўла импульс моменти  $\vec{L}$  нолга тенг, чунки унинг ҳар бир қисмларининг импульс моментлари  $\vec{L}_1$  ва  $\vec{L}_2$  нолга тенг. Демонстратор ғилдиракни соат стрелкаси йўналиши бўйича қаттиқ айлантурса, унинг ўзи курси билан биргаликда ғилдиракнинг айланишига тескари йўналишда айлана бошлайди. Системанинг бирор қисмида  $\vec{L}_2 = J_2 \vec{\omega}_2$  импульс моменти ҳосил бўлса, тўла импульс моменти  $\vec{L}$  ўзгармас сақланиши учун, бошқа қисмида унга сон жиҳатидан тенг, лекин йўналиши қарама-қарши бўлган  $\vec{L}_1 = J_1 \vec{\omega}_1$  импульс моменти ҳосил бўлади:  $\vec{L}_1 = -\vec{L}_2$ , яъни  $J_1 \vec{\omega}_1 = -J_2 \vec{\omega}_2$  бўлиб, тўла импульс моменти  $\vec{L} = \vec{L}_1 + \vec{L}_2$  га тенг бўлади.

Демонстратор қўли билан айланаётган ғилдиракни тутиб қолса, унинг ўзи ҳам ғилдирак билан бир зумда айланишдан тўхтайди, яъни  $\vec{L}$  ўзгармас сақланади. Агар тинч турган демонстратор қўлида айланаётган ғилдиракни 75-б расмда тасвирланган ҳолга бурса, ғилдиракнинг импульс моменти  $J_2 \vec{\omega}_2$  тескарига ўзгаради. Системадаги импульс ўзгариши ички кучлар таъсирида рўй берганлиги учун курси ва одам ғилдиракнинг дастлабки йўналишида импульс моменти олади.

Таҷрибалардан кўринадики, айланма ҳаракатда бўлган жисм ёки жисмлар сисетмасининг тўла импульс моменти вектори ўзгармас сақланади. Турли ғилдирақлар, бизбизак ўйинчоқлардан тортиб, катта кемалар чайқалишини пасайтирувчи, замонавий техник гироскоплар ҳаракати асосида импульс моменти векторининг сақланиш қонуни ётади.

Мактаб физика курсидан маълумки, ўзининг геометрик ўқи атрофида тез айланувчи, ўқига нисбатан симетрик жисм *гироскоп* деб аталар эди. Айланаётган гироскоп ўзгармас импульс моментига эга, бу импульс



77- расм.

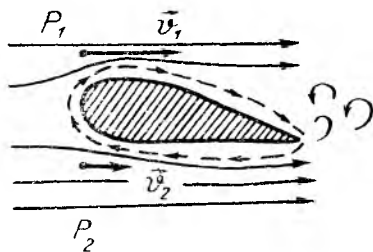
моментининг вектори гироскопнинг ўқи бўйлаб йўналади. Импульс momenti векторининг сақланиш қонунига кўра, гироскоп айланиш ўқи йўналиши сақланади ва шунинг учун у йиқилмайди (77-расм). Гироскопнинг бундай хоссаси жуда хилма-хил навигация асбоблари гиригоризонт, гироскопнас ва бошқаларни ясашда муҳимдир. Механика соҳасида гироскопнинг бу хоссасидан битта рельсада юрвчи, икки гилдиракли вагонларнинг мувозанатини сақлашда фойдаланилади. Францияда битта рельса йўлда поездлар соатига 130 км дан ортиқ тезлик билан ҳаракат қилади.

Агар гироскоп қия ҳолатда айлантириб юборилса унга  $\vec{P}$  оғирлик кучи ва реакция кучларидан иборат жуфт  $\vec{M}$  куч momenti таъсир қилади. Бу момент гироскопнинг вертикал ўқ атрофидаги прецессиясини вужудга келтиради. Прецессия ҳаракати йўналиши Грюз — Жуковский қондасига асосан аниқланади: гироскоп ўз айланиш ўқи йўналишини ташқи куч momenti йўналиши томон буради. Гироскопнинг прецессия ҳаракати техникада турли мақсадларда қўлланилади.

Ер ҳам ўз ўқи атрофида айланувчи гироскопнинг ўзгинасидир. Ойнинг таъсири натижасида унинг айланиш ўқи фазода прецессия ҳаракати қилади ва айланиш ўқи билан орбита текислиги орасидаги бурчак ўзгариб туради.

Ҳар биримиз қаттиқ жисм импульс momenti векторининг сақланиш қонунидан кундалиқ турмушда фойдаланамиз. Бинобарин, электр манбага уланмаган вентилятор тинч туради, унинг тўла импульс momenti нолга тенг:  $\vec{L} = 0$ . Вентиляторни ток манбага уласак, парраги айланма ҳаракатга келади. Системанинг бир бўлагида нолдан фарқли  $\vec{L}_1 = J_1 \vec{\omega}_1$  импульс momenti вужудга келади, яъни паррак ва ҳаво оқими айланма импульс олади. Импульс моментининг сақланиш қонунига кўра вентиляторнинг ўзи эса парракининг импульс моментига соғ жиҳатдан тенг, лекин йўналиши қарама-қарши  $\vec{L}_2 = J_2 \vec{\omega}_2$  импульс моментига эга бўлади.  $\vec{L}_2 = -\vec{L}_1$  бўлганили учун системанинг тўла импульс momenti ўзгармай қолади. Парракининг олдида қараганимизда у соат стрелкаси йўналиши бўйлаб ҳаракатга келган бўлсин дейлик. Дастлаб, вентилятор горизонтал йўналишида ҳаво оқими яратади,  $\vec{L}_2$  векторининг вертикал ташкил этувчиси

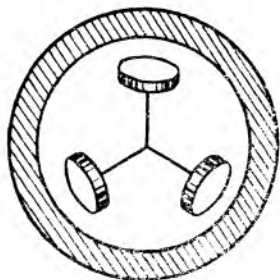
нолга тенг бўлади ва штатив тинчлик ҳолатини сақлайди. Паррак айланиш ўқи йўналиши горизонтал йўналишдан бурилса, юқоридан қараганда, штатив ўқи соат стрелкасига тескари йўналишда секин ҳаракатга келади, чунки  $\vec{L}_2$  импульс моментининг вертикал ташкил этувчиси нолдан фарқли бўлади. Вентилятор ток манбаидан узилганда унинг вертикал ўқ атрофида айланиши секинлашиб бориб аввал бир он тўхтади ва яна тескари йўналишда бироз айлангандан кейин батамом тўхтади. Бунинг сабаби мотор ротори ва вентилятор парраги подшипниклардаги ишқаланиш кучлари momenti таъсирида уларнинг тўла айланма ҳаракат импульс momenti йўқолиб, ғилофга ўтади. Ғилоф импульс моментининг вертикал ташкил этувчиси эса тескари йўналишдаги кичик айланма ҳаракат кўришида сезилади.



78- расм.

Импульс моментининг сақланиш қонунини татбиқ этиб самолёт қаноти кўтариш кучининг ҳосил бўлишини осонгина тушуниш мумкин (78- расм). Тинч турган қанот ва ҳаво системаси тўла импульс momenti  $\vec{L}$  нолга тенг. Парраklar айланиши натижасида қанотлар томон тўғри йўналган ҳаво оқими ҳосил бўлади. Қанотлар орқа қирраси яқинида эса соат стрелкасига тескари йўналишда ҳавонинг кучли, уюрмавий айланма ҳаракати ҳосил бўлади, уюрмавий айланма ҳаракатдаги ҳаво массаси  $\vec{L}_1$  импульс моментига эга бўлади. Парраklar айланишлар сони катта қийматларга эришганда қанотлар томон йўналган кучли ҳаво оқими қанот орти уюрмавий ҳаракатни олиб кетади. Импульс моментининг сақланиш қонунига биноан, йўналиши уюрмавий ҳаво оқими ҳаракатига тескари йўналишда бўлган, қанотни сирпаниб айланувчи кучли ёпиқ ҳаво оқими ҳосил бўлади. Унинг импульс momenti  $\vec{L}_2$  сони қиймати  $\vec{L}_1$  нинг сон қийматига тенг ва йўналиши қарама-қаршидир. Қанотнинг уст қисмидаги сирпаниб айланувчи ёпиқ ҳаво оқимининг тезлик вектори йўналиши парракнинг қанот томон йўналтирганда ҳаво оқими тезлиги йўналиши билан бир хил

бўлиб, улар қўшилади. Қанот тагида эса, аксинча, бу ўқимлар тезликларни қарама-қарши йўналган. Гидродинамика қонунларига биноан  $v_1$  тезлик катта бўлган қанотнинг уст қисмида  $p_1$  босим кам бўлиб, қанот остида эса  $p_2$  босим катта бўлади. Қанот юзасига таъсир этувчи натижавий босим кучи юқорига йўналган бўлиб, кўтариш кучини ташкил этади.



79- расм.

К. Э. Циолковский ракеташиг фазода йўналишини ўзгартириш учун импульс моментининг сақлаиш қонушидан фойдаланиш йўлларини кўрсатиб берган эди. Космик кема ичида ўзаро перпендикуляр бўлган ўқларга ўрнатилган учта маховикни галма-гал айлантириш натижасида кемага керакли йўналиш бериш мумкин (79-расм). Шу усулда бошқарилувчи гироскопик системалар галма-гал ишга туширилиб, «Луна-3» да ўрнатилган объективлар донмо Ойга аниқ йўналтирилиб турили-

ши натижасида Ойнинг орқа томони суратлари олин-шига муваффақ бўлинди.

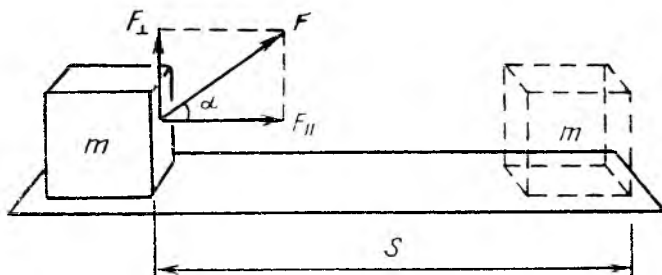
#### IV. б о б. ИШ, ҚУВВАТ, ЭНЕРГИЯ

##### 18- §. Иш ва қувват

Кундалик турмушда ва ишлаб чиқаришда иш ҳақида кўп гапирилади: айланаётган мотор ёки станок иш бажаради, юк ташувчи ишчи ёки юк кўтараётган кран иш бажаради ва ҳоказо. Иш тушунчаси энергия тушунчаси билан узвий боғланган. Мотор ёки станок иш бажариши учун электр манбаига уланган бўлиши ва ундан энергия олиши керак. Ишчи ишлай олиши учун овқатланиши, автомобиль ёки самолёт иш бажариши учун бензин ёқилиши, паровоз ёки пароход иш бажариши учун кўмир ёқиш керак ва ҳоказо.

Иш бажариши жараёнида жисмларнинг кучлар ёки куч моментлари воситасида ўзаро таъсирлашиши рўй беради. Уларнинг таъсирлашувчи натижасида жисмлар кўчади ёки айланма ҳаракатга келади. Агар  $F$  куч таъ-





80- расм.

сирида жисм бирор  $s$  масофага кўчган бўлса, у ҳолда  $F$  куч билан таъсир қилган жисм иш бажарган ҳисобланади.  $F$  куч ўзгармас бўлган ва жисм шу куч йўналишида кўчган энг содда ҳолда ишни шу катталиклар кўпайтмаси аниқлайди:

$$A = F \cdot s. \quad (18.1)$$

Агар куч кўчиш векторига нисбатан  $\alpha$  бурчак остида йўналган бўлса (80- расм), у ҳолда уни икки ташкил этувчига: кўчиш вектори бўйлаб йўналган  $F_{\parallel} = F \cos \alpha$  бўйлама ташкил этувчига ва унга тик йўналган  $F_{\perp} = F \sin \alpha$  кўндаланг ташкил этувчига ажратиш мумкин. Бундай ҳолда кучнинг иши фақат унинг бўйлама ташкил этувчиси билан аниқланади:

$$A = F_{\parallel} \cdot s = Fs \cdot \cos \alpha. \quad (18.2)$$

(18.2) формула  $\vec{F}$  ва  $s$  векторларининг скаляр кўпайтмасидир:

$$A = (\vec{F} \cdot \vec{s}).$$

Шундай қилиб, ўзгармас  $\vec{F}$  кучнинг жисмнинг  $s$  кўчишида бажарган иши ўша икки векторнинг скаляр кўпайтмасига тенг бўлган скаляр катталиқдир.

Жисм буровчи  $M$  куч momenti таъсирида  $\varphi$  бурчакка бурилса, бажарилган элементар иш:

$$dA = M \cdot d\varphi \quad (18.3)$$

га тенг бўлади. У ҳолда тўла иш  $A = \int_0^{\varphi} M \cdot d\varphi$  ифодага

кўра аниқланади. Агар ишчи вагонеткага куч билан таъсир этса, лекин уни ўрнидан силжити олмаса ҳеч қандай иш бажармаган бўлади.

Шунингдек, (18.2) ифодага асосан жисмга куч таъсир қилиб кўчиш рўй берса, аммо  $\alpha = 90^\circ$  бўлса, кучнинг иши нолга тенг бўлади, чунки  $\alpha = 90^\circ$  бўлганда кучнинг кўчиш йўналишига проекцияси ҳам нолга тенг бўлади ва иш бажарилмайди.

Демак, айлана бўйлаб ҳаракатланаётган жисм кўчишида тик йўналган марказга интилма кучнинг иши ҳамма вақт нолга тенг. Ишнинг таърифига асосан ҳолада оғир яшиқни қанча кўтариб турсак ҳам таъсир кучи йўналиши билан горизонтал йўналиш орасидаги бурчак  $\alpha = 90^\circ$  бўлган учун бажарилган иш  $A = F \cdot s \times \cos 90^\circ = 0$  га тенг. Ҳеч қандай иш бажарилмаслиги тўғрими? Ҳар биримиз мободо шундай иш билан шуғуллансак, қанчалик чарчашлигимизни, мускулларимизнинг оғирлигини биламиз.

Горизонтал йўналишда иш бажарилмаслиги ва (18.2) иш ифодаси тўғри формуладир. Жисмни кўтариб юриш учун унга вертикал йўналишда куч билан таъсир этамиз. Жисмни кўтариб туриш учун бизнинг мускулларимизга куч тушади ва кичик силжишлар рўй бериши мумкин. Қўллардаги ҳар бир ричаг ишида бир нечадан мускул қатнашади. Ричаг ишлаганда мускуллар таранглашган бўлиб, бир-бирига қарама-қарши йўналишда таъсир қилади. Акс таъсирлашувчи мускулларнинг узлуксиз бўшашиб ва таранглашиб туришида кичик силжишлар рўй бериб туради. Кичик силжишлар бўлмаган тақдирда ҳам, юкни тутиб туриш учун қўл мускуллари юкнинг оғирлик кучига қарши иш бажаради. Шунинг учун чарчаймиз, мускулларимиз ҳақиқатан оғрийди. Лекин бу чарчашлик юкка горизонтал йўналишда тезланиш бериш ва уни кўчиришда бажарилган иш эвазига бўлмайди.

Иш тушунчаси системанинг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтишида механик энергиянинг ўзгариши билан боғлиқ. Система энергиясининг ўзгариши таъсир этаётган ташқи кучлар бажарган ишга тенг бўлади. Механик иш фақат механик энергияга эмас, балки бошқа турдаги энергияларга ҳам ўтади. Масалан, ишқаланиш кучлари бажарган иш иссиқлик энергиясига ўтса, динамомашина ротори айланганда бажарилган иш эса

электромагнит энергияга айланади. СИ системасида иш бирлиги  $1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Ж} = 1 \text{ Дж}$ .

$$\begin{aligned} \text{СГС системасида } 1 \text{ дина} \cdot \text{см} &= 1 \text{ г} \frac{\text{см}^2}{\text{с}^2} = 1 \text{ эрг} \text{ бўлиб, } 1 \text{ Ж} = \\ &= 1 \text{ кг} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 10^7 \text{ эрг. га тенг.} \end{aligned}$$

MKS (метр-килограмм секунд) системасида куч бирлиги сифатида 1 килограмм-куч (1 кгс) ишлатилади. Шу сабабли, техникада иш бирлиги сифатида 1 кГм (килограммометр) бирлик ҳам кўп ишлатилади.  $1 \text{ кГ} = 9,8 \text{ Н}$  бўлса,  $1 \text{ кГм} = 9,8 \text{ жоульга}$  тенг.

Берилган иш ҳажмини ҳар хил кишилар ёки турли механизмлар ҳар хил вақтларда бажаради. Бинобарин, эски уйдаги лифтнинг сизни бешинчи қаватга кўтариши учун бир минут талаб этилса, баланд бинолардаги замонавий тезкор лифтлар учун бир неча секунд kifоя. Иккала механизмнинг оғирлик кучига қарши бажарган иш бирдай бўлса-да, лекин у ҳир хил вақт ичида бажарилган. Қишиларнинг ва механизмларнинг ишни бажариш тезлигини қувват тушунчаси орқали ифодаланади. Қувват ишнинг бажарилиш тезлигини ифодалайди. Бир бирлик вақт ичида бажарилган иш *қувват* дейилади. *A* ишни бажариш учун *t* вақт кетган бўлса,

$$\bar{N} = \frac{A}{t} \quad (18.4)$$

*ўртача қувват* дейилади.

Оний қувват

$$N = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt} \quad (18.5)$$

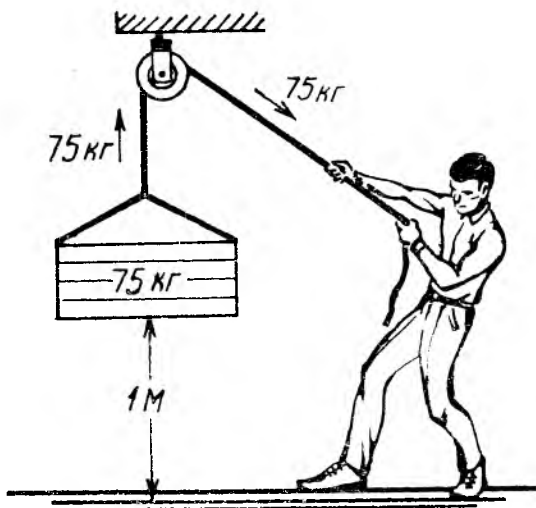
ифодадан аниқланади.

$$\begin{aligned} \text{СИ системасида қувват бирлиги } [N] &= \frac{1 \text{ Ж}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Ватт} = \\ &= 10^7 \frac{\text{эрг}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Буғ машинасининг sanoатда қўлланишига сабабчи бўлган Шотландиялик инженер Жеймс Уатт (1736—1819) қувват бирлиги сифатида «1 от кучи» бирлигини киритган:

$$\text{Бир от кучи (1 о.к.)} = 746 \text{ Вт} \approx \frac{3}{4} \text{ кВт} = 0,75 \text{ кВт.}$$

Бир от кучи қувват бирлигини тасаввур этиш учун техникада қўлланиладиган 1 кГм иш бирлигини эслай-



81- расм.

лик. 1 кГм иш бирлиги 1 кГ юкни 1 метр баландликка кўтаришда бажарилган ишга тенг эди. Оғирлиги 75 кг бўлган юкни 1 м баландликка 1 секундда кўтара оладиган одам ёки механизм қувватини «1 от кучи» дейилади (81- расм):

$$1 \text{ о. к.} = 75 \frac{\text{кГ} \cdot \text{м}}{\text{с}} \simeq 746 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = 746 \text{ Вт.}$$

(18.4) формуладаги ишни (18.1) тенгликка асосан ифодаласак:

$$\bar{N} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot \bar{v}, \quad (18.6)$$

$\bar{v}$  — ўртача тезлик бўлиб, қувват ҳаракатлантирувчи кучнинг ҳаракат тезлигига кўнайтмаси билан ифодаланади.

Массаси 1 кг жисмга 1 Н куч таъсир этиб, унинг тезлигини 1 м/с га етказганда, бажарилган ишни ва ўртача қувватни тонайлик. Жисмнинг тезланиши  $a = \frac{F}{m} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$  га тенг бўлади. Кучнинг таъсир этиш масофасини  $v^2 = 2as$  ифодадан топсак,  $s = 0,5$  м бўлади.

1 кг массали жисмни 1 м/с тезликкача тезлантирувчи кучнинг бажарган иши  $A = 1 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} = 0,5 \text{ Ж}$ . Қувват ифо-

$$\text{даси (18.6) да } \bar{v} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \text{ чунки } \bar{v} - \text{ўртача тезлик, яъни } \bar{v} = \\ = \frac{0 - 1 \text{ м}}{2 \text{ с}} = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Шунинг учун қувват

$$\bar{N} = 1 \text{ Н} \cdot 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 0,5 \text{ Вт ва } A = 0,5 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ с} = 0,5 \text{ Ж}.$$

Машина ва механизмлар қуввати улар ҳаракатланувчи қисмларининг ишни қанчалик тез узатиб беришига боғлиқ. Механизмнинг иш бажаришида унинг ҳаракатланувчи қисмлари бирор кучлар билан таъсирлашади ва қисман деформацияланади, хусусан, айлантирадиган қайиш таранг тортилса, двигател валлари ва цилиндрлар айланади. Механизмнинг деформацияланган ишчи қисмларининг чизиқли ва бурчакли тезликларини ўлчаб унинг қувватини аниқлаш мумкин.

(18.6) ифодага кўра, ҳаракатланувчи қисмлар тезликларининг яратувчи кучга кўпайтмаси механизмнинг қувватини ифодалайди. Қувватни ошириш учун ҳаракатланувчи қисмлар яратувчи кучни ёки уларнинг тезлигини ошириш керак. Кучни ошириш учун эса ҳаракатланувчи қисмлар ўлчамларини ошириш керак. Валнинг узатувчи кучини ошириш учун унинг диаметрини катталаштириш зарур бўлади.

Одатда, қувватни ошириш учун механизм ўлчамларини сақлаган ҳолда унинг ҳаракатланувчи қисмлари тезлигини ошириш зарур бўлади.

Тишли узатмаларда ўлчамлари турлича ғилдираклар ҳар хил бурчакли тезликларга эга бўлади: тезлиги катта ғилдирак кичик бурувчи момент яратади, катта ғилдирак эса катта бурувчи момент яратади, лекин унинг тезлиги кичик бўлади. Ҳар биримиз қия тепаликка кўтарилаётган автомобиль тезлиги камайиб боришини сезганмиз. Нега бундай бўлади, автомобиль моторининг қуввати ўзгараётirmi? Йўқ, автомобиль мотори қуввати Ер шаронтиларига қараб ўзгармайди. Автомобилни қия тепаликка тортиб чиқариш учун (32-расмга қаранг) оғирлик кучининг  $P_t = P \cos \alpha$  таъкил этувчисига қарши қўшимча иш бажариш керак. Шунинг учун қия текисликда катта тортиш кучи талаб этилади. Қувват формуласи (18.6) га асосан автомобиль тортиш кучини ошириш учун унинг тезлигини пасайтириш зарур бўлади ва шунинг учун тезликлар алмаштириш қутисининг қуйи узатиш ҳолатига ўтилади.

Жоуль	
$10^{32}$	Квазарнинг чақнаши
$10^{18}$	
$10^{14}$	
$10^{40}$	
$10^{26}$	Юлдузнинг чақнаши
$10^{22}$	Қуёшнинг йиллик нурланиш қуввати
$10^{25}$	Ернинг айланиш энергияси
$10^{21}$	Ернинг Қуёшдан олган йиллик энергияси
$10^{20}$	Кучли Ер қимирлаши
$10^{16}$	Водород бомбаси
$10^{12}$	Биринчи атом бомбаси
	Ракетанинг учирлиши
$10^9$	Чақмоқ
$10^1$	Рентген нурининг ўлдирувчи дозаси
	Милтиқ ўқи
1	1 метр баландликдан 50 тийинлик танганинг тушиши
$10^{-4}$	Учувчи ҳамёратнинг қанот қоқиши
$10^{-12}$	Уран ядросининг бўлиниши
$10^{-16}$	Водород атомидаги электрон
$10^{-20}$	Химиявий боғланиш

### 19- §. Энергия турлари

Ерда тинч ётган тош иш бажармайди. Лекин уни бирор баландликка кўтарсак, пастга тушиб иш бажариши мумкин. Баландликка кўтарилган оғир жисмларнинг иш бажара олини қобилиятидан иморатлар қурилиши мўлжалланган ерларни шиббалаш, у ерларга иморат ости қозىқларини қоқиш мақсадларида фойдаланилади. Юқорига кўтарилган болға миҳга урилиб уни тахтага киритади ва иш бажаради. Сиқилган ёки чўзилган иружина қўйиб юборилганда, унга маҳкамланган юкни суриб иш бажаради. Ҳаракатдаги ҳаво тегирмонининг паррагини ва тошни айланттириб донни майдалайди ва унга айланттириб беради.

Автомобиль двигатели цилиндрларидаги ёнилғининг ёниши натижасида двигатель иш бажаради. Бунда сиқилган газ ёки юқори босим остидаги буғ машинанинг поршенларини суриб иш бажаради.

Соғлом ҳар бир киши иш бажариши мумкин, лекин уларнинг иш бажариш қобилиятлари турлича ва чекланган. Иш бажариш қобилиятига эга ҳар бир жисм ва ҳар

бир киши энергияга эга дейлади. Энергия жисм ёки жисмлар системасининг иш бажара олиш қобилиятини кўрсатади.

Табиатда жисмлар энергияларининг чегаравий қийматлари билан б-жадвалдан танишиш мумкин. Табиатда бир неча энергия турлари мавжуд: механик энергия, электр ва магнит майдон энергияси, нурланиш энергияси, иссиқлик, химиявий ва ядровий энергиялар. Иссиқлик, химиявий ва ядровий энергиялар моддаларининг асосан ички тузилиши билан боғлиқ бўлиб, *ички энергия* дейлади.

Жисмларнинг иссиқлик энергияси уларнинг таркибий қисмлари — атом ва молекулаларнинг кинетик, потенциал ва тебранма ҳаракат энергияларидан иборат. Химиявий энергия эса жисмда мужассамланган бўлиб, бирор кимёвий ҳодиса ёки реакция рўй берганда ажралиб чиқади. Масалан, портловчи моддалар, ёқилғи модда энергияси, зарядланган аккумулятор, сўндирилмаган оҳак энергиялари химиявий энергиядир. Электр токи, зарядланган конденсатор, магнит ва электромагнитлар электр ва магнит майдон энергияларига эга.

Радио тўлқинлари, иссиқлик нурланиши, ёруғлик, рентген нурлари ва бошқалар эса табиатан электромагнит энергияга эга бўлса-да, нурланиш энергиясига эга деб айтилади. Атом ёки ядровий энергия ядроларининг радиоактив парчаланишида ёки ядровий реакцияларда ажралади. Қуёш ва кўпчилик юлдузлар нурланишлари уларнинг ичида рўй бераётган ядровий реакциялар билан боғлиқ бўлиб, ядровий энергия нурланишларидир.

Биз бу бобда, асосан, механик энергия турлари, кинетик ва потенциал энергия билан батафсилроқ танишамиз. Бошқа тур энергиялар ҳақида фақат тегишли бўлимларда фикр юритамиз. Жисмнинг ёки жисмлар системасининг механик энергияси деганда, уларнинг вазиятига ва ҳаракат ҳолатига боғлиқ энергиялари, яъни потенциал ва кинетик энергиялари тушунилади.

Жисмнинг потенциал энергияси унга турли кучларнинг таъсири натижасидир. Макроскопик жисмга, асосан, гравитация кучи ва электрик кучлар таъсир қилади. Шунинг учун жисмнинг потенциал энергияси икки хил: гравитацион потенциал энергия  $E_p^{Гр}$  ва электрик потенциал энергия  $E_p^{Эл}$  дан иборат бўлади.

Жисмининг масса маркази кўчганда у илгариланма ҳаракат кинетик энергияси  $E_k^{илг}$  га эга бўлади. Жисмининг масса маркази тинч қолиб, унинг ўзи қўзғалмас ўқ атрофида айланиши мумкин. Бу ҳолда жисмининг илгариланма ҳаракат кинетик энергияси  $E_k^{илг} = 0$ . Аммо жисмининг айланишида унинг айрим элементар бўлаклари айланатар бўйлаб ҳаракатда бўлади. Жисмининг айланиши билан боғлиқ энергияси айланма ҳаракат кинетик энергияси  $E_k^{айл}$  дейилади. Жисмининг айланма ҳаракатида унинг масса маркази ҳам кўчса, кинетик энергияси икки қисмдан: ҳам илгариланма, ҳам айланма ҳаракат кинетик энергияларидан иборат бўлади. Жисм энергияси унинг иш бажариши қобилиятини кўрсатади, деган эдик. Механик энергия жисмларнинг механик ҳолатига боғлиқ бўлади: думалаётган гилдирак катта тезлик билан ҳаракат қилаётган бўлса, катта иш бажара олади, кичик тезлик билан думалаётган бўлса, кичикроқ иш бажара олади. Тўхтаб турган гилдирак энергияга эга бўлмаганлиги учун иш бажара олмайди.

Чўзилган пружина чўзилиши катта бўлса, катта иш бажариши мумкин, кам чўзилган пружинанинг иши ҳам озгина бўлади. Умуман чўзилмаган пружина эса иш бажармайди, яъни энергияга эга эмас дейилади. Жисмининг иш бажариши жараёнида унинг иш бажариш қобилияти, яъни энергияси ўзгариб боради: бажарилган иш миқдори ортиб бориши билан жисмининг энергияси камайиб боради. Мисол учун узоқ масофага югурувчи спортчининг босиб ўтган йўли  $s$  ва демак, бажарган иш миқдори ортган сари унинг иш бажара олиш қобилияти ва тезлиги камайиб боради. Иш бажарувчи машина ва механизмларда эса иш узлуксиз бажарилади: уларнинг иш бажариш қобилияти, яъни энергияси ўзгармас сақланиши учун энергия манбаидан узлуксиз энергия келиб туради.

Иш қандай бирликларда ўлчанса, энергия ҳам ўшандай бирликларда ўлчанади. СИ системасида энергия бирлиги ҳам  $1 \text{ жоуль} = 1 \text{ Ж} = 10^7 \text{ эрг}$ . Иссиқлик энергияси бирлиги сифатида, одатда калория (кал.), килокалория (ккал) бирликлари ишлатилади. 1 кал иссиқлик энергияси 0,24 жоуль ишга эквивалентдир:

$$1 \text{ кал} = 0,24 \text{ Ж}; 1 \text{ Ж} = 4,18 \text{ кал.}$$



## 20-§. Кинетик энергия

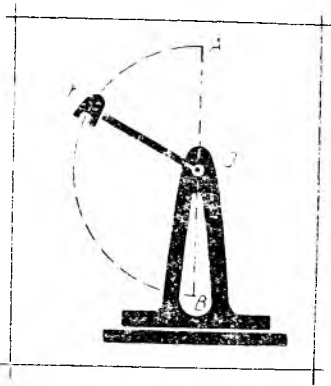
**Илгариланма ҳаракатда кинетик энергия.** Жисмнинг ҳаракат энергияси *кинетик энергия* дейилади. Ҳаракат қилаётган жисм кинетик энергияга эга бўлади; ҳаракатдан тўхтаса, кинетик энергияси йўқолади. Кинетик энергия ҳаракат тезлигига боғлиқ. Бир хил тезлик билан кетаётган, массалари ҳар хил бўлган шарчалар бирор тўсиққа урилса, турлича иш бажаради: массаси кичик жисм тўсиққа урилиш натижасида тўхтаб қолса, массаси катта жисм тўсиқни йиқитиб ўз ҳаракатини давом эттириши ҳам мумкин. Демак, массаси катта жисмнинг кинетик энергияси ҳам катта бўлади.

Ҳовли дарвозасидан ҳар куни кириб чиқиб юрган енгил машина тасодифан дарвоза деворига тегиб кетса, девор унчалик шикастланмаслиги мумкин. Юк машинаси эса (айниқса, юки билан) дарвоза деворига кичик тезлик билан тегиб ўтса ҳам анча «катта иш» бажариб кетиши мумкин: ҳаракатдаги жисмнинг иш бажариш қобилияти унинг фақат тезлигигагина эмас, балки массасига ҳам боғлиқ.

Жисмнинг кинетик энергияси унинг массаси ва тезлигига қандай боғлиқ эканлигини кўриб чиқайлик. Тинч турган жисм  $F$  куч таъсирида тезлашни олиб,  $s$  масофани босиб ўтади ва бирор  $v = \sqrt{2as}$  тезликка эришади. Жисм тезлашни  $a = \frac{F}{m}$  бўлса,  $v^2 = 2 \frac{F}{m} s$  ёки  $F \cdot s = \frac{mv^2}{2}$  га тенг бўлади. Ишқаланиш ва қаршилик кучлари бўлмаганда,  $F$  кучнинг  $s$  кўчида бажарган иши  $A = F \cdot s$  эвазига жисм  $v$  тезликка ва  $E_k = A$  кинетик энергияга эга бўлади:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (20.1)$$

Демак, жисмнинг кинетик энергияси массанинг биринчи даражасига ва тезлигининг квадратига пропорционал бўлади: жисмнинг массасига боғлиқ бўлган ҳолда, асосан тезликнинг ўзгариши билан белгиланади. Жисмнинг олган кинетик энергияси унинг устида бажарилган иш миқдори билан аниқланади. Масалан, милтиқ отилганда порох массасининг ёнинидан ҳосил бўлган  $F$  босим кучи ўдқа тезлашни бериб, уни стволдан чиққунча  $s = \frac{at^2}{2}$  масофага кўчириб иш бажаради ва унга  $E_k = F \cdot s = \frac{mv^2}{2}$  кинетик энергия беради.



82- расм.

лигини текширишда, одатда, уларни қаттиқ пўлатдан қўйиб ишланган чўмичсимон оғир  $K$  қўйма билан уриб синалади (82- расм).  $F$  кучнинг  $S$  кўчишда бажарган иш эвазига жисмнинг олган кинетик энергияси тушунчасига асосан, пўлат қўйманинг текширилаётган жисмларга урилиш тезлигини баҳолайлик.  $O$  нуқтада ишқаланиш жуда камайтирилган ва  $OK = 0,981$  м бўлсин. Жисм  $A$  нуқтадан  $B$  нуқтага ўз оғирлик кучи таъсирида кўчади. Бажарилган  $A$  иш эвазига у  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  кинетик энергияга эга бўлади:  $E_k = A = P(h_0 - h)$  бўлиб,  $h_0$  — дастлабки  $A$  ҳолатнинг баландлиги,  $h$  — сўнгги  $B$  ҳолатнинг баландлиги:  $h_0 - h = AB = 2 OK$  га тенг ва

$$P \cdot 2 \cdot OK = \frac{P \cdot v^2}{2g}$$

Бундан  $v = \sqrt{4g \cdot OK}$  эканлигини топамиз.  $OK$  қанчалик катта бўлса,  $v$  ҳам ва демак, кинетик энергия ҳам шунчалик катта бўлади.

**Айланма ҳаракатда жисм кинетик энергияси.** Жисм айлана бўйлаб ёки ўз ўқи атрофида айланма ҳаракатда бўлганда кинетик энергияга эга бўлади. Айланиш ўқидан  $r$  масофада бўлган моддий нуқтанинг қизиқли ва бурчакли тезликлари  $v = \omega r$  боғланишда бўлиб, инерция моменти  $J = mr^2$  га тенг. Унинг кинетик энергияси

$$E_k^{\text{айл}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{J\omega^2}{2} \quad (20.2)$$

Қаттиқ жисм элементар бұлақчасининг кинетик энергияси

$$E_i = \frac{\Delta m_i v_i^2}{2}$$

Бўлганлиги учун айланаётган жисмнинг кинетик энергияси шу жисмни ташкил этувчи элементар бұлақчалари кинетик энергияларининг йиғиндисига тенг:

$$E_k = \sum_{i=1}^N E_i = \frac{\omega^2}{2} \sum_{i=1}^N \Delta m_i r_i^2.$$

$$J = \sum_{i=1}^N \Delta m_i r_i^2 \text{ қаттиқ жисмнинг айланиш ўқиғига нисбатан}$$

инерция моменти эканлигини ҳисобга олиб, қуйидаги ифодани ёзамиз:

$$E_k^{\text{айл}} = \frac{J\omega^2}{2}. \quad (20.3)$$

Қўзғалмас ўқ атрофида айланувчи қаттиқ жисмнинг кинетик энергияси унинг айланиш ўқиғига нисбатан инерция моменти  $J_0$  билан бурчакли тезлиги  $\omega$  квадрати кўпайтмасининг ярмига тенг бўлади. Илгариланма ҳаракатда кинетик энергия жисм массаси билан чизиқли тезлиги квадратиға пропорционал ўзгарса, айланма ҳаракатда эса масса ролини ўтовчи инерция моменти билан бурчакли тезлиги квадратиға проиорционал ўзгарар экан.

Умумий ҳолда, қаттиқ жисмнинг тўла кинетик энергияси илгариланма ва айланма ҳаракат кинетик энергиялари йиғиндисига тенг:

$$E_k = E_k^{\text{илг.}} + E_k^{\text{айл.}} = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}. \quad (20.4)$$

Милтиқ стволдан отилган ўқ айланмасдан чиқса, кинетик энергияси  $\frac{mv^2}{2}$  га тенг, айланма ҳаракатланиб чиқса,

унинг кинетик энергияси  $\frac{J\omega^2}{2}$  қадар катта бўлар экан.

Демак, милтиқ стволи ички қисмининг винтсимон қилиб ясалиши бир томондан ўқнинг нишонга бориб тегиш аниқлигини оширса, иккинчи томондан ўқнинг умумий энергияси ва зарб кучининг ошириш имконини беради. Техника соҳасида кўпчилик машина ва механизм-

лар стационар ҳолатда ишлайди ва уларнинг асосан айланувчи қисмлари иш бажаради. Газ турбиналари, электромоторлар, токарь, фрезер ҳақида турадгорлик станоклари ва бошқа бирқан ҳамма айланувчи муҳажалланган қурилмалар айланувчи қисмларининг энергияси уларнинг бурчакли тезликларига боғлиқ бўлади. Шунинг учун ҳам бундан қурилмалар айланувчи қисмлари, одатда, катта бурчакли тезликларга эга бўлади.

Ҳақиқатан токарь станогининг ваги минутига 10000, оддий электромоторлар 20000—30000 айланмишлар қилса, баъзи замонавий электромоторлар 120000 айл/мин, бурчакли тезликлар билан ишлайди. Жисмларининг массаси ортиши билан ҳам кинетик энергияси ортади. Масалан, милтиқдан отилган ўқ ва замбарак ўқи тезликлари бир хил бўлган ҳолда, замбарак ўқининг массаси милтиқ ўқининг массасидан неча марта катта бўлса, унинг кинетик энергияси ҳам шунча марта катта бўлади. Машина ва механизмларда массасининг ортиши билан уларнинг ўлчамлари ортади, ихчамлиги йўқолади, инерция ортиши натижасида тезкорлиги суаяди ва ўзларининг энергия сарф қилиши ортади.

Механизмлар айланувчи қисмларининг массасини ошириши эса инерция моментларининг ортишига олиб келади ва уларнинг валларга ҳамда алаиши ўқининг таянч нуқталарига таъсири кучаяди, масса ортиши билан марказга интилма куч  $F = m\omega r^2$  ҳам ортади.

Қайд қилиб ўтиш лозимки, энергия тушунчаси нисбий тушунча бўлиб, жисмининг кинетик энергияси ҳам нисбий катталиқдир. Жисмининг ҳаракат тезлиги турли саноқ системалари учун ҳар хил қийматларга эга бўлганлиги сабабли кинетик энергияси катталиги ҳам саноқ системаларига боғлиқ бўлади. Масалан, ҳаракатдаги автомобилнинг йўл чеккасида турган кузатувчига нисбатан тезлиги  $v_0 = 36 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$  бўлса, у билан ёнма-ён кетаётган худди шундай тезликдаги автомобилга нисбатан тезлиги  $v'_0 = 0$  га тенг. Кинетик  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  энергия ифодасида қатнашувчи  $v$  тезлик нисбий тезлик бўлиб, энергия қиймати қайси саноқ системасига нисбатан олинмишига боғлиқ.

Автомобилнинг турган кузатувчига нисбатан кинетик энергияси, тахминан,

$$E_k \approx \frac{10^3 \text{ кг} \cdot 10^2 \text{ м}^2}{2 \cdot \text{с}^2} = 50 \text{ кЖ}$$

бўлса, ўзи билан ёзма-ди кетаётган автомобильга нисбатан эса  $E'_k = 0$  га тенг.

Демак, турли саноқ системалари учун жисмнинг кинетик энергияси турлича бўлиб, унинг иш бажариш қобилиятининг кинетик энергиянинг қиймати эмас, унинг ўзгариш белгилар экан. Ҳақиқатан, милтиқдан отилган ўқ унга нисбатан тинч турган жисм учун катта энергияга эга ва катта иш бажариши мумкин. Лекин ўқ йўналишида ўқнинг тезлигига тенг тезлик билан ҳаракатдаги ракетада ўтирган одам қўллари билан ўқни бемалол тутиб олиши мумкин, чунки ўқнинг нисбий тезлиги ва нисбатан иш бажариш қобилияти нолга тенг. Шунга ўхшаш мисолларни кундалик турмушдан кўйлаб келтириш мумкин. Футболчи зарб билан тепган тўпни дарвозабон қўллари билан тутганда даставвал қўллارини тўпнинг ҳаракат йўналишида бироз ҳаракатга келтиради. Бу билан у тўпнинг нисбий тезлигини ва иш бажариш қобилиятини бироз бўлса-да, камайтиради. Қурувчилар ёштни бир-бирларига улоқтириб узатаётганда ёштнинг келиб тушиш онларида қўллариини ёшт йўналишида бироз ҳаракатга келтиради ва ёштнинг қўл устида иш бажариш қобилиятини, яъни кинетик энергиясини камайтиради.

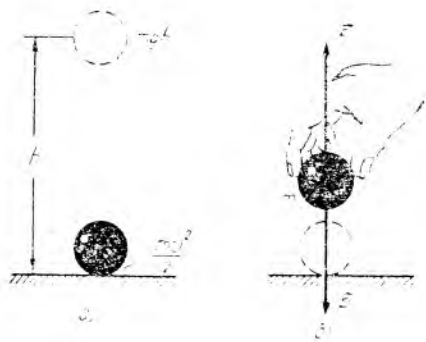
## 21- §. Потенциал энергия

Ер сатҳидан  $h$  баландликда турган жисмга  $P = mg$  оғирлик кучи таъсир этади. Агар жисм қўйиб юборилса бу куч таъсирида Ерга тушади. Ерга урилган пайтида  $v$  тезликка ва оғирлик кучининг  $h$  кўчида бажарган иши эвазига  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  кинетик энергияга эга бўлади (83-а расм):

$$A = P \cdot h = mgh = \frac{mv^2}{2}. \quad (21.1)$$

(21.1) тенгликка асосан  $h$  баландликда турган жисм иш бажара олиш қобилиятига эга дейиш мумкин,  $h$  баландликда турган жисм  $E_p = mgh$  потенциал энергияга эга дейилади.

Ер сиртида турган  $m$  массали жисмни жуда секинлик билан кўтарайлик.  $\vec{F}$  мускул кучи  $dh$  масофада  $dA = Fdh$



83- расм.

иш бажаради (83-б расм). Жисм секин, тезланишсиз кўтарилганда ҳар бир дақиқаларда  $\vec{F}$  мускул кучи йўналиши  $\vec{P}$  га қарама-қарши ва сон жиҳатдан оғирлик кучи  $\vec{P}$  га тенг бўлади:

$$dA = -P dh.$$

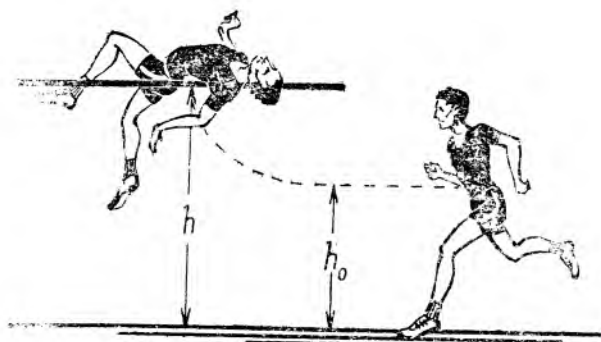
Шу йўсинда жисмни  $h$  баландликка кўтарилганда бажарилган тўла иш жисмнинг оғирлик кучини енгизиш учун сарф қилиниб,

$$A = \int dA = - \int_0^h P dh = -mgh \quad (21.2)$$

га тенг бўлади.

Бу ҳолда биз жисм устида  $A = mgh$  иш бажарган бўламиз. Оғирлик кучи таъсирида жисмнинг  $h$  баландликдан тушишида бажарилган иш эса биз бажарган ишга сон жиҳатидан тенг, лекин ишораси қарама-қарши бўлади. Спортчи баландликка сакраганда унинг оёқлари мускул кучлари оғирлик кучига қарши  $A = P(h - h_0)$  иш бажаради ва уни (21.2) ифодага асосан  $h$  баландликка кўтаради. Бунда  $h$  баландлик сифатида спортчи оғирлик маркази баландлигининг ўзгариши  $(h - h_0)$  тушунилади (84- расм).

Қадим замонлардан механиканинг «кучдан ютсанг, масофадан ютқазасан» деган олтин қондаси маълум. Масалан, юк қия текислик бўйича кўтарилса, оғирлик кучига қарши куч иш бажаради (ишқаланиш кучларига қарши бажариладиган ишни кичик деб ҳисоблай-

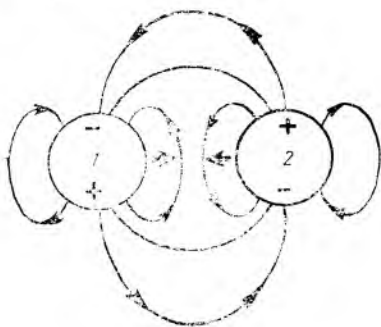


84- расм.

миз). Агар қия текислик ётиқроқ бўлса, у ҳолда йўл узун, лекин юкка кичикроқ куч қўйиш мумкин. Тикроқ текислик бўйича юкни кўтариш оғирроқ, лекин шунинг эвазига йўл қисқароқ бўлади.  $m$  массали жисмни  $h$  баландликка кўтариш учун бажарилган  $A$  иш ҳамма ҳолларда бир хил бўлиб,  $mgh$  га тенг. Бу оғирлик кучининг энг муҳим хоссасидир: иш йўлнинг шаклига боғлиқ эмас, балки у фақат жисмнинг бошланғич ва охириги вазиятлари билан аниқланади. Шундай хоссага эга бўлган кучлар *потенциал кучлар* ёки *консерватив кучлар* дейилади. Улар учун потенциал энергияни аниқлаш мумкин. Одатда, Ер сиртида потенциал энергия қийматини нолга тенг деб таълаб олинади. У ҳолда ихтиёрий нуқтада потенциал энергия жисмни Ер сатҳидан шу нуқтага кўчиришда бажарилган ишга тенг бўлади.

Потенциал энергия кинетик энергия билан бирга жисмнинг тўла механик энергиясини ташкил этади. Агар жисм потенциал кучлар майдонида бўлса, унинг тўла энергияси сақланади. Дарҳақиқат, Қуёш системасидан чиқиб кета оладиган ракета учирини учун унга жуда катта ( $v \sim 11$  км/с) тезлик бериш керак. Чунки ракетанинг Ердан узоқлашишида потенциал энергиянинг ошиши кинетик энергиянинг камайиши ҳисобига юз беради. Фақат оғирлик кучларигина эмас, балки электростатик ўзаро таъсир кучлари ҳам потенциал кучлардир. Кулон қонуни ( $F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ) Ньютоннинг бутун

олам тортишини қонунига ( $\Gamma \sim \frac{m_1 m_2}{r^2}$ ) жуда ўхшаш бўлиб, ҳаттоки потенциал энергия формуллари ҳам деярли бир хил: нуклеа ҳолда ҳам энергия ўзаро таъсирлашаётган жисмлар орасидаги массага тескари пропорционал-  $E_p \sim \sim \frac{q_1 q_2}{r}$  ва  $E_p \sim \frac{m_1 m_2}{r}$ .



85- расм.

бир-бирига тортилади (85-расм).

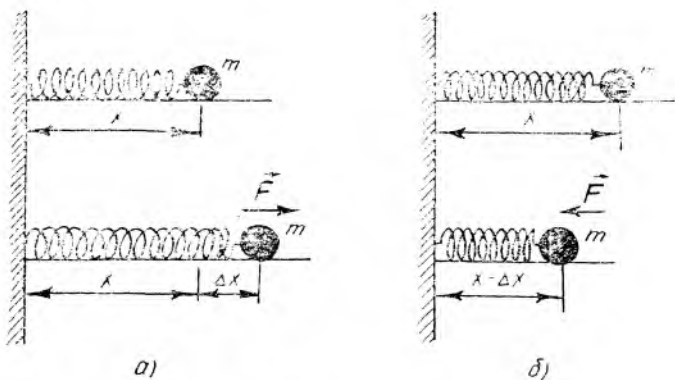
Шунинг учун атомлар яқинлашганда уларни тутиб туриш ва бу кучларга қарши манфий иш бажариш зарур бўлади. Атомлар орасидаги масофалар жуда кичик бўлганда, акенича, ядроларнинг ўзаро итаришини кучларни таъсир қилади. Бу ҳолда атомларни яқинлаштириш учун мусбат иш бажариш керак. Атомлар потенциал энергиясининг улар орасидаги масофага боғлиқлиги деформацияланган (сиқилган ёки чўзилган) эластик пружинанинг потенциал энергиясини тушунишга имкон беради. Пружинани чўзувчи  $\vec{F}$  куч ундаги эластиклик кучига қарши иш бажаради ва бу иш эвазига чўзилган (85- а расм) ёки сиқилган (86- б расм) пружина иш бажариш қобилиятига, яъни потенциал  $E_p = \frac{k \Delta x^2}{2}$  энергияга

эга бўлади. Сиқилган ёки чўзилган пружина потенциал энергияси  $E_p$  мийтиқларда, тўплонча ва тўпларда телкинни ҳаракатга келтиришда қўлланади. Буралган пружиналар потенциал энергияси соатлар, граммофон, болалар ўйинчоқлари ва турли ёзув асбобларининг ишлангани таъминлайди.

Осма соатларда эса  $P$  юкни  $h$  баландликка кўтариб қўйилади. Юкнинг  $E_p = mgh$  потенциал энергияси осма

Аmmo ишқаланиш кучлари иши бўлишиг шаклига боғлиқ ва бундай кучлар ёки *ноконсерватив кучлар* дейилади. Потенциал энергия ёрдамида микродунёда зарралар, масалан, иеки атом ўзаро таъсирини тушунтириш қулай. Ҳар бир нейтрал (1) атом бошқа (2) атомнинг электр майdonи таъсири остида кичик диволга айланади ва бу диполлар





86- расм.

соат механизмларини ҳаракатга келтиради. Тўғонларда  $h$  баландликка кўтарилган сувнинг потенциал энергияси гидростанциялар турбиналарини ҳаракатга келтиради. Қисилган пужина, эгилган рессоралар, таранг тортилган камон ва бошқа эластик деформацияланган жисмлар эластиклик  $E_p^{эл}$  потенциал энергияга эга бўлади.

Эластик деформацияланган жисмлар потенциал энергияси жисмдаги атомларнинг ўзаро силжиши билан боғлиқ бўлиб, табиатан электрик  $E_p^{эл}$  потенциал энергиядан иборат. Ердан  $h$  баландликка кўтарилган ва Ерга нисбатан  $E_p^{гп} = mgh$  энергияга эга бўлган барча жисмлар потенциал энергияси эса, уларнинг Ерга тортилиш кучига қарши бажарилган иш билан боғлиқ бўлиб, табиатан гравитацион  $E_p^{гп}$  потенциал энергиядан иборатдир. Барча энергия тушунчалари каби потенциал энергия ҳам нисбий тушунчадир. Жисм потенциал энергияси нимага тенг деганда, « $mgh$ » га тенг деб айтиш тўғри бўлавермайди. Чунки  $h$  баландликнинг қаердан ҳисобланиши аниқ эмас. Жисмни қудуққа ёки шахта чуқурлигига ташлаб юборсак, у қўшимча кинетик энергияга эга бўладику? Демак, Ер сиртидаги жисм потенциал энергияси, аслида, нолга тенг эмас. Шу боисдан ихтиёрий нуқтадаги жисмнинг абсолют потенциал энергияси тушунчаси физик маънога эга эмас. Фақат икки нуқта, икки баландлик орасидаги потенциал энергиялар айирмаси мазмунга эга. Жисмнинг иш бажариш қобилияти эса унинг

дастлабки ва охириги ҳолатлари потенциал энергиялари айирмаси билан белгиланади.

## 22- §. Энергиянинг сақланиш қонуни

Жисмнинг механик энергияси унинг кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндисидан иборат эканлигини кўрдик. Тажрибалар кўрсатадики, ташқи таъсир бўлмаганда жисмнинг ёки жисмлар системасининг тўла механик энергияси доимий сақланади:

$$E_k + E_p = \text{const.}$$

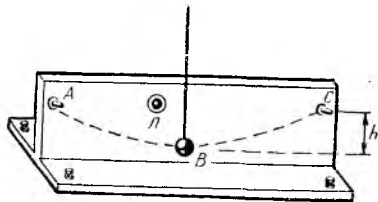
Система потенциал энергиясининг камайиши унинг кинетик энергиясининг ортishiга ва аксинча, кинетик энергиясининг камайиши потенциал энергиясининг ортishiга олиб келади. Бунга Максвелл маятниги ҳаракатидан ишонч ҳосил қилиш мумкин (58-расмга қаранг). Ғилдирак илларини ўққа ўраб уни юқори ҳолатга кўтарайлик. Бу ҳолда ғилдирак энг катта  $E_p = mgh$  потенциал энергияга эга бўлади. Ғилдиракни қўйиб юборсак, оғирлик кучи таъсирида тезланиш билан пастга тушади, ўққа ўралган иллар ечила боради. Энг пастки ҳолатда ( $E_p = 0$ ) ғилдирак тўхтаб қолмай, айланишда давом этиб, юқорига кўтарила боради ва тахминан ўзининг дастлабки  $h$  баландлигига эришади.

Ўз ўқн атрофида айланиб пастга тушаётган ғилдиракнинг илгариланма  $E_k^{илг} = \frac{mc^2}{2}$  ва айланма  $E_k^{айл} = \frac{J\omega^2}{2}$  ҳаракат кинетик энергиялари ортиб бориб, энг пастки нуқта ўзларининг максимал қийматларига эришади, яъни ғилдиракнинг потенциал энергияси унинг тўла кинетик энергиясига айланади:

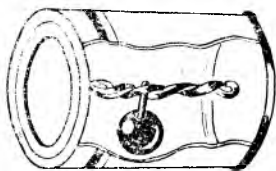
$$mgh = \frac{mc^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}.$$

Илларнинг тескари ўрналишида кинетик энергиялар камая бориб, ниҳоят сўнгги кўтарилуш нуқтасида энг дастлабки  $E_p = mgh$  потенциал энергияга ўтади.

Механик энергиянинг сақланиш қонунини қуйидаги тажрибада ҳам кузатиш мумкин (87-расм). Узун илга осилган  $B$  жисмни  $h$  баландликка оғдириб,  $C$  нуқтадан қўйиб юборайлик. Жисм ўзининг энг пастки нуқтасидан ўтишда тезлиги максимал қийматга эришади ва ҳара-



87- расм.



88- расм.

катиини давом эттириб, яна  $h$  баландликдаги  $A$  нуқтага кўтарилади. Жисмнинг кўтарилган  $h$  баландлигини шу сатҳда ўрнатилган  $L$  лампочканинг ёниши кўрсатади. Дастлабки  $C$  ва охириги  $A$  нуқталарда  $E_p = mgh$ ,  $E_k = 0$  бўлса, ўртадаги энг пастки  $B$  нуқтада  $E_p = 0$ ;  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  га тенг.  $A$  ва  $C$  нуқталардаги потенциал энергия  $B$  нуқтада кинетик энергияга айланади.  $CB$  оралиқда потенциал энергиянинг камайиши билан кинетик энергия ортиб борса,  $BA$  оралиқда аксинча, потенциал энергия ортиб бориши билан кинетик энергия камайиб боради. Ҳаракат траекторияси  $СВА$  чизигининг ҳар бир нуқтасида эса  $E_k + E_p = \text{const}$  бўлади.

Механик энергиянинг сақланиш қонунига оид қўйидаги қурилмани (88- расм) уй шаронтида ҳам ясашимиз мумкин. Қакао ёки қаҳвадан бўшаган цилиндр шаклидаги идишнинг ўқи бўйлаб авиамоделнинг моторчаларида ишлатиладиган резиналаридан чирмов қилинади. Чирмовнинг учлари идишнинг тубига ва қопқоғига маҳкамланади. Резина чирмовининг ўртасига қўрғошин юкча боғланади. Идишни полга қўйиб, итариб юборсак, думалаб бориб, бир ерда тўхтайти ва ҳаммани ҳайратда қолдириб, орқага думалай бошлайди. Чунки идиш думалаганда юкча вертикал осилиб туради ва у айланганда резина буралади. Идишнинг кинетик энергияси резинанинг буралиш потенциал энергиясига айланади ва у тўхтайти. Сўнгра резина ечила бошлайди ва идишни орқага ҳаракатлантиради: бунда потенциал энергия кинетик энергияга айланади. Бу тажрибада энергиянинг сақланиш қонунини энергиянинг бир турдан иккинчи турга айланиши нуқтаи назаридан кузатилади. Чунки идишнинг ҳаракати мобайнида энергия-



ишига тенг бўлар экан. Бу ҳулоса берк бўлмаган система учун ўринлидир. Агар системага ташқи кучлар таъсир этмаса, яъни система ёпиқ система бўлса,

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot d\vec{x}_i = A \equiv 0$$

га тенг, у ҳолда

$$d(E_k + E_p) \equiv 0. \quad (22.4)$$

Демак, ёпиқ системанинг тўла энергияси доимий сақланади:

$$E_k + E_p = \text{const}. \quad (22.5)$$

Ёпиқ системанинг кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндиси ўзгармас сақланади. Бу қонун механик энергиянинг сақланиш қонунидир. Юқоридаги тажрибаларга асосан, системага ташқи таъсир жуда кичик деб ҳисобланганда, яъни ҳавонинг қаршилиқ кучи ва ишқаланиш кучлари етарлича кичик бўлганда, жисм кинетик энергиясининг органиш билан потенциал энергияси камаяди ва аксинча, жисм ҳаракат траекториясининг ҳар бир нуқтасида кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндиси эса ўзгармас сақланади.

Хусусан, Ер ва ундан  $h$  баландликда турган жисмдан иборат системада уларга ташқи кучлар таъсир этмаса, системанинг кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндиси ўзгармас сақланади (43-расмга қаранг).  $h$  баландликда тош  $E_p = mgh$  потенциал энергияга эга бўлса, Ерга тушганда  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  кинетик энергияга эга бўлади ва  $E_p = E_k = mgh = \frac{mv^2}{2}$  га тенг.

Тош ергача тушиш жараёнида, ҳаракатнинг ҳар бир нуқталарида тўла энергия  $mgh + \frac{mv^2}{2} = E_p + E_k$  ўзгармас сақланади.

Механик системада ҳавонинг қаршилиқ кучи, ишқаланиш кучлари каби ноконсерватив кучлар таъсири сезиларли бўлса, (22.1) тенгламалар системасида уларнинг бажарган ишларини ҳисобга олиш натижасида (22.4) тенглик ўрнида

$$d(E_k + E_p) = \sum_{i=1}^n \vec{f}_i \cdot d\vec{x}_i = dA' \quad (22.6)$$

ифода ҳосил бўлади.

Бу ерда  $dA'$  — ноконсерватив кучларнинг бажарган иши. Сўнги (22.6) тенгликдан кўринадикки, ноконсерватив кучларнинг бажарган иши туфайли системанинг тўла механик энергияси ўзгаради. Лекин умумий тўла энергия йўқолмайди, фақат механик энергиянинг бир қисми бошқа турдаги энергияларга айланади. Системада ишқаланиш кучлари таъсир этганда, одатда механик энергиянинг камайиши, яъни механик ҳаракат энергиясининг иссиқлик ҳаракат энергиясига қисман айланиши кузатилади.

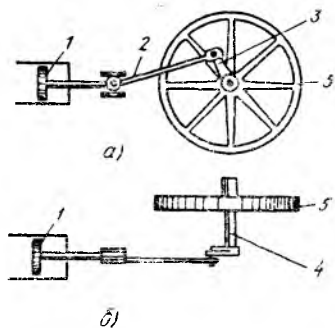
Энергиянинг сақланиш қонуни умуман табиатда маълум бўлган барча турдаги энергияларга оид бўлиб, табиатда муҳим бўлган сақланиш қонуналаридан биринчиси. Табиатда содир бўладиган хилма-хил ҳодисаларда механик энергия қисман электр энергияга, иссиқлик ва нурланиш энергиясига, химиявий ва ядровий энергиялар иссиқлик ва механик энергияларга ва аксинча, электр ва магнит майдон энергиялари ўз навбатида механик, нурланиш энергияларига айланиши мумкин.

Энергиянинг бир турдан иккинчи турга ўтишида биринчи тур энергия қанча камайса, иккинчи тур энергия шунча ортади ва барча турдаги энергиялар учун қуйидаги сақланиш қонуни ўринли бўлади: *энергия йўқдан бор бўлмайди, бордан йўқ бўлмайди, фақат бир турдан иккинчи турга айланиб, бир жисмдан (ёки жисмлар системасидан) бошқа жисмга (ёки жисмлар системасига) ўтади.* Бу қонун табиат умумий қонуналаридан бири — материя ва ҳаракат сақланиш қонунининг намоён бўлишидир.

**Энергиянинг сақланиш қонуни — амалда.** Табиатда ҳар бир тирик организм овқатланади, ҳазм қилган озуқадан ажралиб чиққан энергия ҳисобига механик ҳаракат қилади, юради, туради, яшайди. Электр станцияларида двигателлар, айланувчи буғ турбиналари механик энергияси ёки  $h$  баландликдан тушаётган сувнинг потенциал энергияси электр энергияга айланади. Милтиқнинг ўқи, снарядлар, миналар, порох зарядининг портлашидан ажралиб чиқадиган химиявий энергия ҳисобига кинетик ва потенциал энергия ҳосил бўлади. Трамвай, троллейбус, метро поездлари ва бошқа электр моторли машиналар электр токи энергияси ҳисобига механик энергияга эга бўлади.

Қадим замонларда ҳам кишилар механик энергияни иссиқлик энергиясига айлантиришни билганлар — чақ

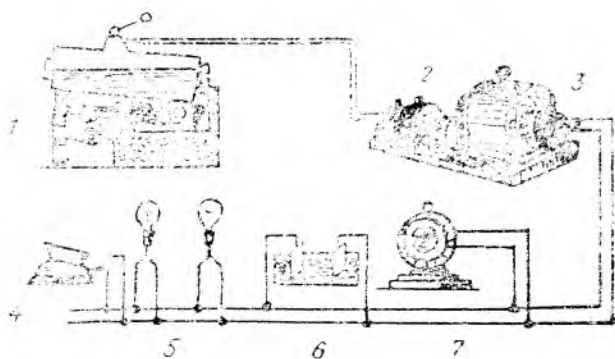
моқ тошни бир-бирига уриб олов ёққанлар. Қуёш нурлари энергияси Ер, сув ва ҳавони иситади ва бизга ҳаёт бағишлайди. Сўндирилмаган оҳакка сув қўйилса, химиявий энергия иссиқлик энергиясига айланади, сувга сульфат кислота ёки спирт қўшилса исийди ва ҳоказо. Автомобиллар, тракторлар, қишлоқ хўжалиги ва транспорт соҳасида ишлатиладиган



89- расм.

турли машина ва механизмларнинг механик ҳаракат энергияси уларнинг ички ёнув двигателларидаги ёнилғининг ёнишидан ҳосил бўлган иссиқлик энергияси эвазига ҳосил бўлади (89- расм). Ёнилғининг ёниш натижасида босим ортади ва газ кенгайиб, (1) поршеньни цилиндр бўйлаб итаради. Буровчи момент таъсирида эса (2) шатун ва (3) кривошип ёрдамида (4) тирсакли вал айланма ҳаракатга келади. Тирсакли валга ўрнатилган (5) маховик энергияси валнинг бир текисда айланишини таъминлайди. Валнинг етарлича бир текисда айланишига ҳамда катта қувватга эришиш учун двигателларни кўп цилиндрли одатда, тўрт цилиндрли қилиб ясалади. Двигатель цилиндрларидаги газнинг кенгайишидан ҳосил бўлган қувват ёнилғининг таркибига, унинг солиштирма ёниш иссиқлигига боғлиқ. Бу қувватнинг бир қисми ишқаланиш кучларини енгиш учун кетса, асосий қисми двигатель ёрдами механизmlарини ҳаракатга келтириш учун ва поршеньни дастлабки ҳолатига қайтариш учун сарф бўлади. Машинанинг механик энергияси айланувчи тирсакли валнинг қуввати билан белгиланади.

Турмушда фойдаланиладиган оддий электр чироқларидан тарқалаётган ёруғлик энергияси, токаръ ёки дурадгорнинг станогини юритаётган электр энергияси бир неча энергия айланишлари натижасида ҳосил бўлади. ГРЭС лар мисолида (90- расм) (1) буғ қозони ўтхонасида ёнаётган ёқилғининг химиявий энергияси иссиқлик энергиясига айланади ва қозон деворлари орқали сувга берилади. Қайнаш натижасида ҳосил бўлган буғ босим остида қувурлар орқали (2) турбинага боради ва буғ-



90- расм.

нинг иссиқлик энергияси турбина роторининг механик айланма ҳаракат энергиясига айланади. Турбина ротори айланиши натижасида (3) электр генераторининг якори айланма ҳаракатга келади. Ҳосил қилинган электр энергия (4) даямолларда иссиқлик, (5) лампочкаларда ёруғлик, (6) электролитик ваннада химиявий ва (7) моторда механик энергияси сифатида сарф бўлади.

ГЭСларда эса тушаётган сувнинг механик энергияси турбинанинг айланма ҳаракат энергиясига айланади. Турбина ротори эса генератор якорини айлантиради ва натижада айланма ҳаракат механик энергияси электр энергиясига айланади.

Табиатда кузатиладиган ҳар бир ҳодисаларда энергиянинг бир турдан иккинчи турга ёки бир вақтнинг ўзида бир неча турларга айланиши рўй бериб туради. Энергиянинг сақланиш ва айланиш қонуни табиатнинг муҳим сақланиш қонунларидан бири бўлиб, оқибатда, материя ҳаракатининг йўқ бўлмаслигини, ҳаракатнинг фақат бир турдан бошқа турга ўтишини кўрсатади.

### 23- §. Оддий механизмлар. Механиканинг олти қонуни

Иш ва энергия тушунчалари кундалик турмушда оддий механизмларнинг ишлаш жараёнида яққол намойён бўлади. Оддий механизмлар деганда, кучнинг қийматини ёки йўналишини алмаштириб берувчи қурилмалар тушунилади. Блок ва полиспаст, ричаг, винт, домкрат, пона, чигир ва бошқалар оддий механизмлар-



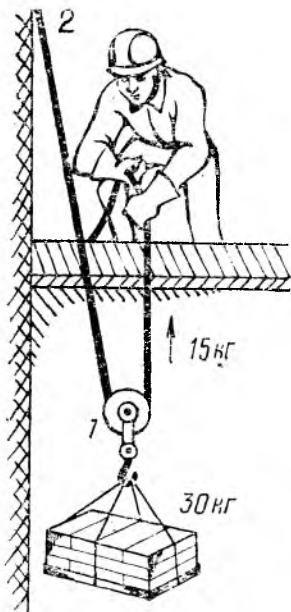
дир. Ишқаланиш ва қаршилик кучлари кичик бўлганда оддий механизмнинг бажарган иши унинг устида бажарилган ишга тенг бўлади. Масалан, қўзғалмайдиган блок ипининг бир учидан тортаётган ишчининг бажарган иши ип иккинчи учининг юкини кўтаришда бажарган ишга тенг. Шунингдек, ишчининг лом устида бажарган иши ломнинг тошини кўтаришда бажарган ишга тенг.

Иш катталиги кучининг йўлга қўпайтмасидан иборат бўлганлиги учун йўл қанчалик катта бўлса, куч шунчалик кичик бўлади ва аксинча. Демак, йўлдан қанча ютқазсак, кучдан шунча ютамиз. Хусусан, ишчининг қўли ҳаракатлантираётган ломнинг учи тошни кўтараётган иккинчи учига қараганда уч марта катта йўл юрса, ишчи қўли тошининг оғирлигидан уч марта кам куч сезади. Барча машина ва механизмлар учун ўринли бўлган бу қонуни механиканинг олтин қонунини дейилади ва қисқача *«кучдан қанча ютилса, йўлдан шунча ютқазилади ва аксинча, йўлдан қанча ютилса, кучдан шунча ютқазилади»* деб юритилади.

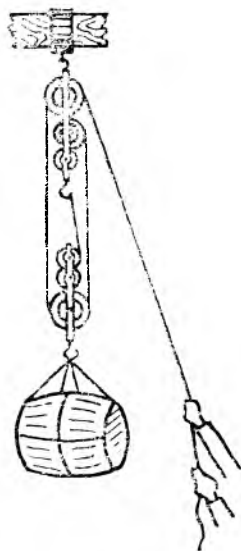
**Блок ва полиспастрлар.** Қўзғалмас блок оддийгина дисксимон гилдиракдан иборат бўлиб, унинг гардиш тарнов шаклида ясалган. Блок устидан ўтказилган сим арқоннинг бир учига юк осилади. Блоклар, одатда, юкларни кўтариш мақсадларида қўлланади. Блок ипининг бўш учидан пастга тортиб юкини юқорига кўтарилади. Бунда ипининг ҳар иккала учи ҳамда юк бир хил йўл босади. Ипининг юкини кўтаришда бажарган иши ишчининг ишни тортишдаги бажарган ишга тенг. Демак, қўзғалмас блокдан фойдаланиш кучдан ҳам, йўлдан ҳам ютуқ бермайди. Юқорига тортишдан кўра пастга тортиш қулай бўлганлиги учунгина бу тифа блоклардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ ҳисобланади.

Кўчар блокдан фойдаланиш (91-расм) кучдан икки марта ютуққа олиб келади. Блок (1) дан ўтказилган ишнинг (2) учи маҳкамлаб қўйилади. Ишнинг бўш учидан кўтарилганда йўлдан икки марта ютқазамиз: блок  $s$  масофага кўтарилганда ишнинг учи  $2s$  йўл юради. Механиканинг олтин қонунига кўра эса кучдан икки марта ютилади ва расмдагидек  $30$  кГ юкини  $15$  кГ куч билан юқорига кўтариш мумкин бўлади.

Бир қисқичга кетма-кет ўришилган бир неча блоклар тўпلامини *полиспаст* дейилади. 92-расмда кўрса-

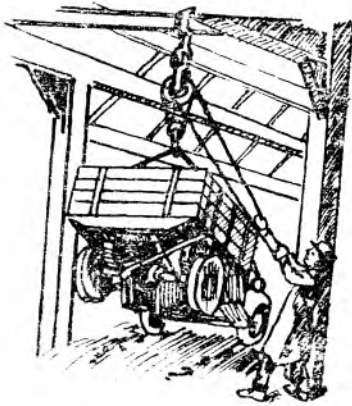


91- расм.

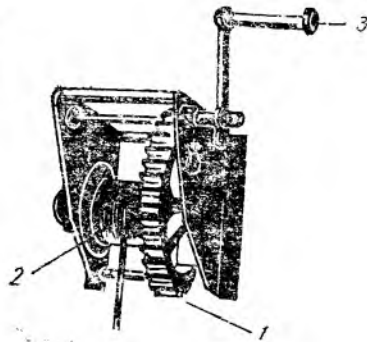


92- расм.

тиланган полиспастрнинг учта блоки қўзғалувчан бўлганлиги учун ипнинг бўш учининг юрган йўлига қараганда кўтарилаётган юкнинг юрган йўли  $2 \times 3 = 6$  марта кўп. Юкни кўтариш учун керак бўлган куч эса, аксинча, юкнинг оғирлик кучидан 6 марта кичик бўлади. Блоклар гилдираклари ўрнатилган ўқлар ва подшипникларни мойлаш натижасида ишқаланиш кучларини имкон борича камайтирилади. Лекин, шунга қарамасдан, ип ва блок орасидаги ҳамда ўқлардаги ишқаланиш кучлари туфайли 4, 5, 6 ва ундан кўп блокли полиспастрларнинг 6 мартадан ортиқроқ кучдан ютуқ бериши қийин экан. Кучдан янада кўпроқ ютиш учун полиспастрларнинг махсус турп — айрма полиспастрлардан фойдаланилади. Айрма полиспастр битта кўчар блок ва битта кўчмас блокдан иборат. Кўчмас блок мураккаб бўлиб, бир ўққа ўрнатилган, ўзаро маҳкамланган икки хил диаметрли қўшма блокдан иборатдир. Кўчар ва кўчмас блоклар узлуксиз — ҳалқасимон занжир билан туташтирилади. Мураккаб кўчмас блок таркибидаги блокларининг диа-



93- расм.



94- расм.

метрлари ҳар хил бўлганлиги учун юк юқорига кўтарилади. Айирма полиспастрнинг кучдан ютуқ бериши ва номи ҳам шу диаметрлар айирмаси билан боғлиқдир. Айирма полиспастрлар автомобиль устaxonаларида, гаражларда ва ишлаб чиқаришнинг турли соҳаларида оғир юкларни кўтаришда қўлланилади (93-расм).

**Чиғир.** Чиғир (1) тишли узатма билан (2) сым ўралувчи ғалтак бирикмасидан иборат бўлиб, катта юкларни кўтаришда ишлатилади. Чиғир (3) дастаси кичик диаметрли тишли ғилдиракни айлантиради. Тишли узатманинг катта ғилдираги ғалтак ўқиға ўрнатилган (94-расм). Бу қурилмада йўлдан ютқазиниш ва кучдан ютиш, биринчидан, чиғир дастаси узунлиги билан ғалтак радиуси орасидаги фарққа боғлиқ бўлса, иккинчидан, тишли узатма ғилдираклари радиуслари фарқиға боғлиқ. Чиғирдаги эришиш мумкин бўлган кучдан ютиш катталиги чиғир дастаси узунлигининг ғалтак радиусига нисбати билан узатма тишли ғилдираклари радиуслари нисбатининг кўпайтмасига тенг. Чиғирлар ишлаб чиқариш корxonаларида, юк кўтариш кранларида, юк ташувчи кемаларда уларнинг якорлари ва юкларини кўтариш ҳамда туширишда қўлланилади.

**Қия текислик.** Қия текисликда ётган жисмининг  $\vec{P}$  оғирлик кучи иккита  $\vec{P}_n$  ва  $\vec{P}_t$  кучларга ажралади (32-расмға қаранг).  $\vec{P}_n$  куч қия текисликка перпендикуляр йўналган

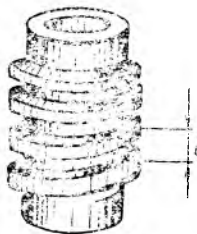
ва уни эгинга интилади.  $\vec{P}_i$  куч қия текислик бўйлаб йўналган ва жиемини пастига сиқжитади. Инқаланини кучини масофа олмагаанда жиемини юқорига сиқжитиб, уни  $h$  баландликка кўтарини учун  $P_i$  кучини егинга  $A = P_i \cdot s$  ни бақарини зарур. Энергиянинг сақлаини қонунига қўра, маэкур ин жиемини вертикал йўналишида  $h$  баландликка кўтаринида бақарилган ишга тенг:

$$P_i \cdot s = P \cdot h \text{ бундан } \frac{P}{P_i} = \frac{s}{h}.$$

Демак, қия текисликининг  $h$  баландлиги текислик узунлигидан неча марта кичик бўлса, юзини қия текислик бўйлаб юқорига сиқжитувини куч ҳам унинг оғирлигидан шунча марта кичик бўлади:  $h$  ортини билан  $\vec{P}_i$  ҳам ортиб болади ва аксинча.

Темир йўли ҳамда автомобиль йўлларининг ўнг томонинда  $3/1000$  ёки  $5/100$  каби ёзуви бор устунчаларни учратини мўмкини. Бу ёзувлар йўлининг ҳар 1000 метрда 3 метрга ёки 100 метрда 5 метрга кўтарилишини билдиради. Ҳаракатланаётган поезд ёки автомобиль инқаланини кучларидан ташқари, ўз оғирлигининг ҳар мишг метрда  $3/1000$  ёки ҳар юз метрда  $5/100$  қисмига тенг қўшимча кучини егиниб борини керак бўлади. Масалан, қия йўлдан кўтарилаётган, массаси бир тонна бўлган енгил автомобиль двигатели  $5/100$  рақамни, ҳар 100 метрда унга 50 кг дан қўшимча юк қўшиб борилаётгандай сезади.

**Винт. Домкрат.** Винт ўймали цилиндр бўлиб, унинг ҳар бир ўймаси цилиндрга ўралган қия текисликин эслатади. Ёнма-ён икки ўймалар орасидаги  $l$  масофа *винт қадаши* дейилади (95-расм). Болт бир марта тўла буралганда унинг гайкага кириш масофаси винтнинг қадашига тенг бўлади. Қия текислик билан таққосланганда винтнинг қадаши қия текислик баландлигини эслатса, винт айланаси узунлиги эса қия текислик узунлигига мос келади.



95-расм.

Домкрат винтдан ва уни айлантирини учун зарур бўлган ричаг-дас-

тадан иборат. Домкрат дастасини ҳаракатлантириш билан вертикал ўрилатилган винтнинг гайкага киритилгани ёки чиқарилади, натижада домкрат автомобилни юқорига кўтарди ёки туширади. Домкрат дастасини ҳаракатлантирувчи кўчининг бажарган иши винтнинг юкни кўтаришида бажарган ишига тенг. Домкрат дастасининг босиб ўтган йўли винт қадамдан неча марта катта бўлса, винтнинг гайкага босим кучи ҳам дастани ҳаракатлантирувчи кучдан шунча марта катта бўлади. Винтли домкрат ёрдамида жуда катта кўчларни ҳосил қилиш мумкин. Шунинг учун винтли домкратлардан оғир юкларни, иморатларни кўтаришда, қадимий ёдгорлик бинолари деворларини ўрнидан силжитиш, баъзи тиклаш ишларини бажаришда ва бошқа мақсадларда фойдаланилади.

## V. б о б. БУТУН ОЛАМ ТОРТИШИШ ҚОНУНИ

### 24- §. Табиатда фундаментал кучлар. Ер билан Ойнинг ўзаро таъсир кучи ҳақида

Кундалик турмушда турли куч тушувчаларига дуч келамиз: эшикни очувчи ёки ердаги юкни кўтарувчи мускул кучи, юк кранининг кўтариш кучи, автомобиль ёки паровознинг тортмиш кучи, эшиклардаги ҳамда транспорт воситалари қисмларидаги пружинанинг эластиклик кучи, Ернинг Ой ҳаракатига таъсир кучи, тормозларни бошқарувчи суюқликнинг гидравлик кучи ёки тўсатдан машина бориб ўрилгандаги тўсиқнинг тўхтатувчи механик кучи ва бошқалар.

Амалда биз ишлатадиган ёки уни енгиб ўтишимиз керак бўлган барча кучлар, уларнинг номлари қанчалик турли-туман бўлишигидан қатъи назар, табиатда мавжуд бўлган тўрт хил фундаментал кучларнинг турли шароитлардаги кўринишларидир. Табиатдаги барча воқеа ва ҳодисаларни бошқарувчи бу кучлар — гравитацион таъсир кучи, электромагнит таъсир кучи, ўта қисқа масофаларда намоён бўлувчи кучли ядровий таъсир кучи ва заиф таъсир кучларидир.

Кундалик турмушдаги турли-туман ҳодисаларда, асосан, гравитацион таъсир кучи ҳамда электромагнит таъсир кучлари кўпроқ намоён бўлади. Масалан, Ернинг Ойга таъсири гравитацион таъсир бўлса, ишқаланиш кучлари, газ молекулаларининг барометрга ва

бошқа жисмларга босим кучлари, аккумуляторнинг электр юритувчи кучи ва бошқалар электромагнит таъсир кучларининг намоён бўлишидир. Бу кучлар узоқдан таъсир этувчи кучлар ҳисобланади ва анча катта масофаларда ҳам эффектив таъсир кўрсатади.

Ядровий кучли таъсир ва кучсиз таъсир кучлари, асосан, атомлар дунёсида, ядро ўлчамларига яқин бўлган қисқа масофаларда намоён бўлади. Шу боис бу кучлар яқиндан таъсир кучлари деб юритилади. Яқиндан таъсир кучлари ядровий реакцияларни бошқаради ва ишон ҳаётида жуда катта аҳамиятга эга. Бинобарин, Ер устидаги ҳаёт, Қўёшдан тарқалаётган энергия ундаги бўлаётган ядровий реакциялар натижасидир. Хуллас, мураккаб дунё, табиат қонунлари ва ҳаракат ҳодисалари атинг тўрт хил фундаментал кучлар билан бошқарилиб туради. Балки, бу тўрт хил куч ҳам ўз навбатида иккита ёки битта умумий фундаментал кучнинг турли кўринишидир, деган фикрга ҳам келиш мумкин.

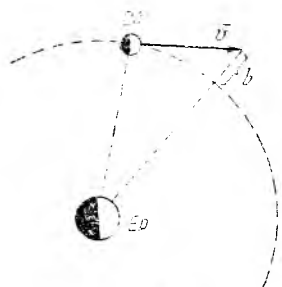
Дарҳақиқат, юқори энергияли элементар зарралар устида олиб борилган сўнгги тажрибалар электромагнит таъсир, кучли ядровий таъсир ҳамда заиф таъсир кучлари орасида ўзаро боғланиш борлигини кўрсатади. Классик механика қонунлари, жумладан гравитацион қонунлар ҳам, махсус инсбийлик назарияси механикасининг хусусий ҳолларидир.

Маълумки, «электр» бўлими қонунлари ва алоҳида «магнетизм» бўлими қонунлари ўрганилади. Оқибатда электр ва магнетизм бўлиmlари қонунлари. Максвеллнинг ягона электромагнит назариясининг хусусий ҳоллари эканлигига ишонч ҳосил қиламиз. Шу боис, гравитацион таъсир ҳамда электромагнит таъсир қонунлари ҳам, юқоридагидек, бирор ягона фундаментал таъсир қонунларининг хусусий кўринишлари эмасмикан? Гравитацион таъсир қонуни билан электр зарядлари орасидаги таъсир қонунларининг ўхшашлиги, ўз навбатида масса ва энергия орасидаги боғланишни гравитацион ва электромагнит таъсирлар эса майдонлар таъсирлари эканлигини ҳамда материянинг модда ва майдон кўриниши, майдоннинг моддага ва модданинг майдон кўринишига ўтишини эсласак, юқоридаги фикрларни тўғрилигига ишонч ҳосил қиламиз. Вақт ўтиши билан илмуфан ва табиатнинг ривожланиши натижасида дунё ва табиат ҳодисаларини иккита ёки битта фундаментал куч

ассосида изоқлаш мумкин бўлса, ажаб эмас. Лекин бугунги кунда табиатдаги барча ҳаракат ҳодисаларни юқорида келтирилган тўрт хил фундаментал кучлар бошқаради деб тушунамиз.

**Ер билан Ойнинг ўзаро таъсири.** II. Ньютон Вулстхоп боғида сайр қилиб юриб, дарахтдан узилиб тушган олманинг Ерга тушишини кузатар экан; «Агар ҳеч нарсага боғланмаган эркин олма Ерга тушса, нега ҳеч нарсага боғланмаган эркин Ой Ерга тушмайди?»— деб ўйланиб қолади. У Ойнинг Ер атрофини айлана бўйлаб 27,3 кунда бир марта айланиб чиқишини билар эди. Лекин у бундай ҳаракатнинг сабабини, моҳиятини тушуна олмас эди. Юксак фикрлаш қобилиятига эга бўлган Ньютон, Ойнинг Ерга нисбатан ҳаракатини кинематик ва динамик таҳлил қилишга киришади. Унинг фикрича Ой Ерга томон тўғри йўналишда ҳаракат қилмайди, балки донравий чизик бўйлаб Ер атрофида айланади. Унинг айланиш даври  $\tau = 27,3$  кеча-кундузга тенг. Траекториянинг ҳар бир нуқтасида чизикли тезлиги қиймати деярли ўзгармайди. Лекин эгри чизикли ҳаракатда у марказга интилма  $Q_n = \frac{v^2}{r}$  тезланишга эга. Шу-

нинг учун ҳам у  $\vec{v}$  йўналишида узоқлашиб кета олмай Ерга «тушади» ва айлана бўйлаб ҳаракат қилади (96-расм). Ньютонда олманинг Ерга тушиши билан Ойнинг  $b$  «тушиши» га сабаб Ернинг тортиш кучи эмасмикин деган савол туғилади ва Ойнинг «тушиш» тезланишини унинг орбитаси параметрларидан аниқлашга киришади. Ердан Ойгача бўлган масофа Ер радиусидан 60 марта катталиги ( $r = 60 R$ ) Ньютонга маълум эди.



96-расм.

Ойнинг чизикли тезлиги қуйидагича ҳисобланади:

$$v = \frac{2\pi r}{\tau} = \frac{2\pi \cdot 3,84 \cdot 10^8 \text{ м}}{27,3 \cdot 86400 \text{ с}} = 1,02 \cdot 10^3 \text{ м/с.}$$

У ҳолда Ойнинг марказга интилма тезланиши

$$a_n = \frac{v^2}{r} = \frac{(1,02 \cdot 10^3 \text{ м/с})^2}{3,84 \cdot 10^8 \text{ м}} = 2,72 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2$$

га тенг, яъни Ой  $a_n = 2,72 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}^2$  га тенг бўлган, кичик тезланиш билан «тушар» экан.

Ойнинг «тушиш» тезланиши жисмларнинг Ер сиртига яқин нуқталардаги эркин тушиш тезланишидан кўп марта кичик. Ер сирти яқинида барча жисмлар бўшлиқда бир хил ( $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ ) тезланиш билан тушишлиги Галилей тажрибаларидан маълум эди. Ньютоннинг ўзи ҳам олтин, қўرғошин, янша, қум, туз, сув, ёғоч, бугдой каби моддаларнинг тўпламидан фойдаланган ҳолда тажриба ўтказиб, барча жисмлар ҳавосиз фазода бир хил тезланиш билан тушишини аниқлаган. Бу тезланишлар фарқини тушишни учун у ўзининг оптика соҳасидаги bilimларига таянди. Ёруғлик интенсивлиги манбадан узоқлашган сари масофа квадратига тескари пропорционал  $I \sim \frac{1}{r^2}$  равишда камайиб боради.

Ньютон Ернинг сиртига яқин турган жисмларга ва Ойга гравитацион таъсир кучи ҳам фазода ёруғлик каби текис тарқалиши керак деб ҳисоблайди. Бундан Ернинг гравитацион тортиш кучи ҳам масофа квадратига тескари пропорционал ўзгаради деган хулосага келади ( $F \sim \frac{1}{r^2}$ ). Ер билан Ой орасидаги  $r$  масофа уларнинг масса марказлари орасидаги масофа бўлишлигини кўрсатади. Ньютон Ернинг тўла массаси жисмларга ва Ойга гравитацион таъсир этишини тушунди. Ер марказидан Ойнинг марказигача бўлган масофа  $r$ , Ер марказидан унинг сиртигача бўлган  $R$  масофадан 60 марта катта. Шунинг учун Ернинг Ойга таъсир кучи Ер сиртидаги нуқтада бўлган жисмга таъсир кучидан 60 марта кичик бўлишлиги керак.

Ушбу мулоҳазалар асосида Ойнинг «тушиш» тезланиши

$$a = \frac{1}{60^2} \cdot g = \frac{9,8 \text{ м/с}^2}{3600} = 2,72 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Демек, Ер билан Ойнинг ўзаро гравитацион тортиш кучининг улар орасидаги масофа квадратига тескари пропорционал боғланишидан аниқланган, Ойнинг «тушиш» тезланиши билан унинг орбитаси параметрларидан аниқланган тезланиши бир-бирига аниқ мос келади. Ньютон ҳисоблашларининг бу натижалари, Ер билан Ой орасидаги гравитацион куч масофа квадратига тескари пропорционал ўзгаради, деган фаразнинг тўғрилигини исботлайди. Бироқ, Ойнинг марказга ин-



тилма тезланишини жисмларининг Ерга эркин тушиш тезланиши билан таққослашда, масофалар ҳақиқатан ҳам Ернинг марказидан ҳисобланиши кераклигини аниқ исботлаб бера олмагани учун И. Ньютон барча ҳисоблашлар натижаларини у пайтда эълон қилишга шояшмади. Унинг бутун олам тортишиш қонуни орадан 21 йил ўтгач 1687 йили дунёга келади.

**25- §. Кеплер қонунлари.**  
**Ньютоннинг бутун олам тортишиш қонуни.**  
**Галактикалар жойлашиши**

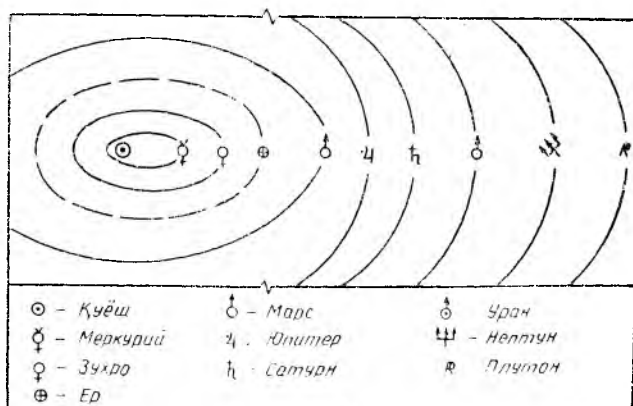
Немец олими Иоганн Кеплер, даниялик астроном Тихо Брагенинг кўп йиллар давомида Қуёш системасидаги сайёралар ҳаракатини, хусусан, Марс ҳаракатини кузатишлари натижаларини қайта ишлаб чиқиб ўзининг учта қонунини яратди:

**1- қонун,** сайёралар эллиптик орбиталар бўйлаб ҳаракатланади; эллипс фокусларидан бирида Қуёш туради (97- расм).

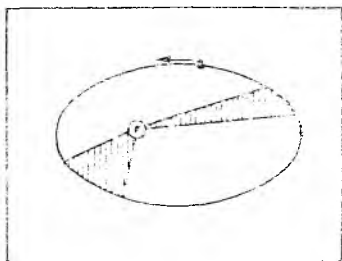
**2- қонун,** Қуёшдан сайёрага ўтказилган радиус-вектор тенг вақтлар оралиғида тенг юзалар чизади (98- расм).

**3- қонун,** эллипслар катта ярим ўқлари кублари айланш даврлари квадратларига пропорционалдир.

Кеплер қонунларига ҳамда ўзининг динамика қонунларига таянган ҳолда И. Ньютон осмон жисмлари ҳа-



97- расм.



98- расм.

ракатларини ўрганди. У ўзининг яратган дифференциал ва интеграл ҳисоби математик амаллари ёрдамида бир жинсли сферик жисмлар массаларини уларнинг марказида мужассамланган деб қараш мумкинлигини кўрсатди. Шу билан бирга у Ер ва Ой, Қуёш ва сайёралар орасидаги таъсир кучларини ҳисоблашдаги масофалар уларнинг масса марказлари орасидаги масофалар эканлигини исботлади.

Ньютон ўзи яратган динамика қонунларида, Ернинг  $m$  массали жисмга таъсир кучи жисм массасига пропорционал  $F_{гр} \sim m$  деб ҳисоблади. Динамиканинг учинчи қонунига кўра эса, жисмнинг ўз навбатида Ерга ҳудди шундай  $F \sim M$  куч билан таъсир кўрсатишини назарга олиб, у ўзининг бутун олам тортишиш қонунини яратди:

$$F_{гр} = G \frac{M \cdot m}{r^2}. \quad (25.1)$$

Пропорционаллик коэффициенти гравитацион доимий дейилади ва  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2$ га тенг. Бу қонун универсал қонун бўлиб, Ер билан Ой, Қуёш билан сайёралар, юлдузлар билан юлдузлар ва умуман ихтиёрий икки жисм орасидаги гравитацион таъсир қонунидир: *икки жисм орасидаги ўзаро гравитацион тортишиш кучи жисмлар массаларининг кўпайтмасига тўғри пропорционал ва улар масса марказлари орасидаги масофанинг квадратига тесқари пропорционалдир:*

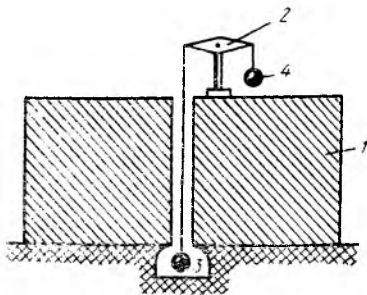
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}, \quad (25.2)$$

бунда  $m_1$  ва  $m_2$  ихтиёрий икки жисм массалари.

Ердан Ойгача бўлган масофа Ер радиусидан тахминан 60 марта катта бўлганлиги учун Ойнинг бир бирлик массасига Ер устидаги бир бирлик массага қараганда  $r^2 = 60^2 = 3600$  марта кичик куч таъсир қилади. Демак, Ой устидаги жисмлар, асосан, Ойнинг гравитацион таъсир кучи остида бўлади ва у ерда қўлдан чиқиб кетган жисм Ойга тушади. Ихтиёрий жисмнинг массаси Ер ус-

тида ҳам, Ой устида ҳам бир хил. Лекин Ой устидаги жисмнинг Ойга тортилиш кучи унинг Ер устида Ерга тортилиш кучидан кичик, яъни жисмлар Ой устида Ерга дагига nisbatan энгил бўлади.

Ердаги жисмларга фақат Ернинг тортиш кучи таъсир қилиб қолмасдан, уларнинг орасида ўзаро тортишиш кучи ҳам mavjudдир. Фақат уларнинг массалари nisbatan кичик бўлганликлари учун ўзаро тортишиш кучларини сезиш қийин. Агар улардан бирининг массаси етарлича катта (масалан, бир неча ўнлаб тонналар миқрида) бўлса, уларнинг ўзаро гравитацион таъсир кучини амалда лаборатория шароитларида ҳам сезиш мумкин.



99- расм.

Қуйидаги тажрибага мурожаат этайлик (99- расм). Массаси бир неча ўнлаб тонна бўлган (1) қўрғошин плитаси устидаги (2) торози елкаларига массалари бир хил бўлган иккита шарча осайлик. Тарозининг ўнг палласи босиб кетади: плита тагидаги (3) шарча оғирлигининг nisbatan кичиклигини кузатамиз. Бу шарчага пастга йўналган Ернинг тортиш кучи билан бир қаторда юқорига йўналган плитанинг сезиларли гравитацион тортиш кучи ҳам таъсир қилади. Унинг оғирлиги қиймати  $P_1 = F_{\text{Ер}} - F_{\text{пл}}$  га тенг. Юқоридаги (4) шарчага эса плита томонидан қўшимча гравитацион куч, Ернинг тортиш кучи йўналишида таъсир этади ва унинг оғирлиги  $P_2 = F_{\text{Ер}} + F_{\text{пл}}$  га тенг. Плита массасини ва Ер радиусини билган ҳолда шарчалар оғирлигининг ўзгаришини аниқ ўлчаб Ер массасининг  $M = 6 \cdot 10^{24}$  кг га тенглигини аниқлаймиз.

Ернинг массасини бутун олам тортишиш қонунидан назарий ҳисоблаб ҳам топish мумкин, дарҳақиқат

$$F_{\text{гp}} = G \frac{M \cdot m}{R^2}; \quad F_{\text{гp}} = P = mg.$$

Иккала тенгликдан Ернинг массаси учун  $M = \frac{gR^2}{G}$  ифода ҳосил бўлади.  $g$ ,  $R$  ва  $G$  нинг сон қийматларини қўйсақ,

$$M = \frac{9.8 \text{ м/с}^2 (6.28 \cdot 10^5 \text{ м})^2}{6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \text{с}^2} = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг.}$$

Ернинг ўртача zichлиги эса қуйидагига тенг:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{g R^2 G}{4/3 \pi R^3} = \frac{3g}{4 \pi GR} \approx 5.5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Бутун олам тортишиш қонуни ифодасининг амалий ишоти сифатида қуйидаги мулоҳазаларни келтириш мумкин. Қуйидаги  $r = 3.84 \cdot 10^8 \text{ м}$ ,  $m_{\text{ой}} = 7.35 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ ,  $M_{\text{Ер}} = 5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$  катталикларни билган ҳолда, Ернинг Ойни тортиш кучини ҳисоблайлик:

$$F_{\text{гр}} = G \frac{m_{\text{ой}} M_{\text{Ер}}}{r^2} = 6.67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \frac{7.35 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 5.98 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{(3.84 \cdot 10^8 \text{ м})^2} = 2 \cdot 10^{20} \text{ Н.}$$

Айнан шу натижани, юқорида келтирилган Ойнинг марказга интилма тезланиши қийматида фойдаланган ҳолда ҳам ҳосил қилиш мумкин (24-§ га қаранг). Ойга таъсир қилувчи куч унинг массаси билан тезланиши кўпайтмасига тенг:

$$F_{\text{м.и}} = m \cdot a_n = 7.35 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 2.7 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}^2 = 2 \cdot 10^{20} \text{ Н.}$$

Демак, Ойга таъсир этиб уни Ер атрофида айланишга мажбур этувчи  $F_{\text{м.и}} = m \omega^2 r$  марказга интилма куч Ернинг гравитацион таъсир кучи  $F_{\text{гр}} = G \frac{m M}{r^2}$  экан.

Кўпчилик сайёралар орбиталарининг айланадан кўп фарқ қилмаслигини назарда тутилса, бутун олам тортишиш қонунини асосида  $G \frac{m M}{r^2} = \frac{4 \pi^2}{T^2} m r$  ифодадан  $T^2 = \left( \frac{4 \pi^2}{GM} \right) \cdot r^3$  қонуният келиб чиқади, яъни сайёралар айланиш даврларининг квадратлари улар орбиталари радиуслари кубига пропорционалдир. Бу қонун Кеплернинг эмпирик қонунининг ўзгивасидир.

Гравитация кучи сезиладиган фазонинг бўлаги гравитация майдонини дейилади. Ҳар қандай жисмлар ўз атрофида фазода гравитация майдонига эга. Ернинг узоқдаги Ойга таъсири Ернинг майдонини орқали рўй беради. Массаси катта бўлган жисмлар атрофида кучли гравитация майдонини, массаси кичик бўлган жисмлар атрофида эса кучсиз гравитация майдонини мавжуд бўлади. Жисмдан узоқлашиб борган сари гравитацион куч сусайиб боради. Гравитацион куч фақат чексизликда нолга айланади. Гравитация майдонинидаги ҳар қан-

дай жисмга майдон томонидан гравитацион куч таъсир этади. Масса бирлигига таъсир этувчи куч қанчалик катта бўлса, майдон шунчалик кучли дейилади ва аксинча. Масса бирлигига таъсир этувчи куч катта бўлса, жисмнинг олган тезланиши ҳам катта бўлади. Майдоннинг берилган нуқтасида масса бирлигига таъсир этувчи  $g = \frac{F_{гп}}{m}$  кучни майдон кучланганлиги дейиш мумкин.

Ер сиртига яқин нуқталарда барча жисмлар эркин тушишида бир хил  $g_0$  тезланиш олади. Ердан бирор  $h$  баландликда турган жисмларга Ернинг  $F_h = G \frac{mM}{(R+h)^2}$  гравитацион тортиш кучи таъсир этади ва эркин тушиш тезланиши  $g_h < g_0$  бўлади.

Ердан  $h = 6$  км баландликда:

$$\frac{g_h}{g_0} = \frac{P_h}{P_0} \simeq 1 - 0,002 = 1 - 2 \frac{h}{R},$$

яъни эркин тушиш тезланиши, тахминан, ўзининг денгиз сатҳига мос қийматининг 0,002 қисмига камаяди.

Ерда содир бўладиган кўпчилик ҳодисаларда тортишиш кучининг масофага боғлиқ ўзгариши, одатда, унчалик сезиларли бўлмайди. Масофага боғлиқ бўлган гравитацион кучининг ўзгариши денгиз ва океанлардаги сув сатҳининг суткалик кўтарилиши ҳамда пасайишида муҳим роль ўйнайди. Ойнинг гравитацион тортиш кучи Ерга ва ундаги барча жисмларга тезланиш беради. Ернинг турли нуқталари Ойдан турлича масофаларда бўлганлиги учун турлича тезланишлар олади. Бу тезланишларнинг фарқи Ер сиртининг ҳар бир нуқтасида, бир кеча-кундуз давомида, сув сатҳининг икки марта кўтарилиши ва пасайишига олиб келади.

Ойнинг тортиш кучи таъсирида бутун Ер массасининг олган тезланишини Ер марказига жойлашган ва массаси Ер массасига тенг бўлган моддий нуқта тезланиши билан алмаштириш мумкин:

$$g_0 = G \frac{m_0}{r_0^2},$$

бунда  $m_0$  — Ойнинг массаси,  $r_0$  — Ой ва Ер марказлари орасидаги масофа,  $G$  — гравитацион доимийлик.

Ернинг Ойга яқин томонида жойлашган сув массаси қуйидагича тезланиш олади:

$$g_1 = G \frac{m_0}{r_1^2} = G \frac{m_0}{(r_0 - R)^2},$$

бунда  $R$  — Ернинг радиуси, аксинча, Ернинг қарама-қарши томонидаги сув массаси эса

$$g_2 = G \frac{m_1}{r_2^2} = G \frac{m_0}{(r_0 + R)^2}$$

тезланишга эга бўлади.



100- расм.

Бу ерда  $g_1 > g_0 > g_2$  бўлганлиги учун Ернинг Ой томонидаги сув массаси Ернинг қаттиқ қобиғидан ўзиб кетиши натижасида кўпроқ тортилиб, сув сатҳининг кўтарилишига сабаб бўлади ва сув дўнглигини ҳосил

қилади (100- расм). Қарама-қарши томондаги сув массаси эса кичик тезланишга эга бўлганлиги учун Ернинг қаттиқ қобиғидан аксинча, орқада қолиб кетади ва аввалги сув сатҳига нисбатан сувнинг кўтарилишига, сув дўнглигининг ҳосил бўлишига олиб келади.

Сув сатҳларининг кўтарилиши ( $g_1 - g_0$ ) ва ( $g_0 - g_2$ ) тезланишлар фарқи билан белгиланади:

$$g_1 - g_0 \approx g_0 - g_2 = Gm_0 \left( \frac{1}{(r_0 - R)^2} - \frac{1}{r_0^2} \right) \approx \frac{2Rm_0G}{r_0^3}. \quad (25.3)$$

Шундай қилиб, Ойнинг тортиш кучи таъсирида ва тортиш кучининг масофага боғлиқлиги туфайли Ернинг икки томонида сув сатҳининг кўтарилиши кузатилади. Ернинг ўз ўқи атрофида даврий айланишида бу сув сатҳларининг кўтарилиши 12 соатлик давр билан такрорланиб туради. Ойнинг Ер атрофидаги силжишини ҳисобга олинганда, сув сатҳининг кўтарилиш даври 12 соат эмас, балки 12 соат-у 25 минут бўлади. Ернинг айланиши натижасида сув дўнгликларининг ўринлари ҳам Ер сирти бўйлаб силжиб боради. Сув дўнгликлари ўрнида пасайишлар ва аксинча, пасайишлар ўрнида дўнгликлар алмашишиб келади. Оқибатда Ернинг қаттиқ қобиғи билан сув қатламлари орасида ишқаланиш кучлари юзага келади.

Бу ишқаланиш кучлари ўз навбатида Ернинг бур-

чакли тезлигининг камайишига олиб келади. Шу нуқтадан назардан қаралганда, қадимда Ой ҳам ўз ўқи атрофида сезиларли айланишда бўлган, дейиш мумкин. У иссиқ суюқлик ёки пластик ҳолатидаги жисм бўлган даврларда Ернинг тортиш кучи туфайли суюқлик сатҳининг кўтарилиши ва пасайиши, суюқлик қатламлари билан марказий қаттиқ қобиқ орасидаги ишқаланиш кучлари унинг бурчакли тезлигини камайтириб келган. Оқибатда унинг ўз ўқи атрофида айланиш даври, унинг Ер атрофида айланиш даврига тенг ҳолга келган. Ҳозирги кунда у бизга фақат бир томони билан қараб қолган бўлиб кўринади.

**Галактикалар жойлашиши ҳақида.** Осмон жисмларининг ҳаракати заминида бутун олам тортишиш қонуни ётади. Гравитацион тортишиш кучи туфайли Ой Ернинг атрофида айланади. Аниқроқ қилиб айтганда, Ер билан Ой бир вақтнинг ўзида уларнинг умумий оғирлик маркази атрофида айланади. Улар орасида тортишиш кучи бўлмаганда, Ой ўзининг чизиqli тезлик вектори  $\vec{v}$  йўналишида Ердан ажралиб узоқлашиб кетган бўлур эди. Ернинг гравитацион тортишиш кучи Ойга марказга интилма куч сифатда таъсир этиб, унинг тезлик вектори йўналишини буриб туради ва айлана бўйлаб ҳаракат ҳолатини яратади. Шунингдек, Қуёш системасининг бўлиниб, тарқалиб кетмаслигига сабаб Қуёш билан сайёралар орасидаги гравитацион тортишиш кучидир (97-расмга қаранг).

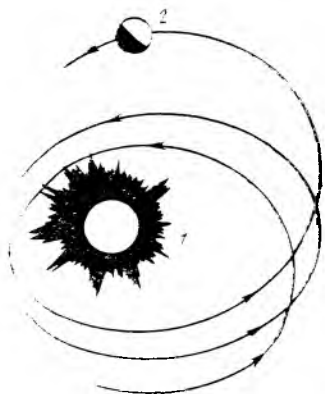
Қуёш Ердан тақрибан  $1,5 \cdot 10^{11}$  м масофада бўлиб,  $M = 2 \cdot 10^{30}$  кг массага,  $R \approx 6,9 \cdot 10^8$  м радиусга ва  $\rho = 1,4 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  ўртача зичликка эга. Бу масофани ёруғлик

$499 \text{ с} \approx 8 \frac{1}{3}$  минутда ўтади. Бу масофани «астрономик birlik» дейилади ва уни қисқача а. б. кўринишида белгиланади. Қуёшдан энг узоқ бўлган Плутон сайёраси ундан тақрибан 39,75 а. б. масофада туради.

Қуёш атрофида бир нечта йирик сайёралар айланиб юради: Меркурий, Зухро, Ер, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун ва Плутон. Уларнинг айримлари ўз сайёралари — йўлдошларига эга. Ернинг йўлдоши битта (Ой), Марсники эса иккита. Энг катта сайёра Юпитер ўн битта йўлдошга эга. Сайёралар Қуёш атрофида қандай айланса, уларнинг йўлдошлари ҳам сайёралар атрофида шундай айланиб юради. Гравитацион таъсир

кучи масофа ортиши билан жуда тез  $F_{гp} \sim \frac{1}{r^2}$  камайиб кетади. Шунинг учун ҳам сайёраларнинг йўлдошлари ўта катта массали Қуёш системаси таркибида бўлишлигига қарамадан, асосан ўз сайёраси таъсирида ҳаракат қилади.

Сайёралар орбиталари шакли ва ўлчамлари гравитацион ва инерция кучлари қийматлари билан белгиланади. Сайёралараро ўзаро таъсир кучлари ҳам бўлганлиги учун орбиталар шакли идеал эллипсдан бироз фарқ қилади, лекин бу четлашишлар унчалик катта эмас. Шунни қайд қилиб ўтиш лозимки, (1) Қуёшга энг



101- расм.

яқин бўлган (2) Меркурий сайёраси орбитаси эллиптик кўринишда бўлиб, орбитанинг кучсиз прецессия ҳаракати кўзатилади (101-расм). Меркурий Қуёшга энг яқин жойлашган бўлганлиги учун, энг катта тезликка эга ва унинг гравитацион ҳаракати қонунида релятивистик эффектни ҳисобга олиш зарур бўлади. Гравитация қонунларида релятивистик эффектнинг назарга олиниши зарурлигини асримизнинг бошларида А. Эйнштейн назарий кўрсатиб берди.

Қуёш ўзининг сайёралар системаси билан бирга Галактика юлдузларидан бири эканлиги ҳақида айтиб ўтган эдик. Бизнинг Галактикамиз тақрибан  $2 \cdot 10^{11}$  юлдуздан иборат. Унга ташқаридан қараганимизда, марказига томон қалинлашиб борувчи дисксимон тuzилмани эслатади. Бу диск бир жинсли эмас; у спираль кўринишни эслатади ва дискнинг марказий соҳалари катта чеккалари кичикроқ бўлган ўзгарувчан бурчакли тезлик билан айланади.

Галактикалар ўлчамлари ва уларнинг оралиқ масофалари жуда катта бўлиб, одатда, «парсеклар» билан ўлчанади: 1 парсек (1 пс) =  $3 \cdot 10^{16}$  м  $\approx 3,2$  ёруғлик йили = 206265 а.б. Ёруғлик нури бир йилда босиб ўтadиган масофа 1 «ёруғлик йили» дейилади. 1 ё.й. =  $9,45 \times 10^5$  м. Қуёш ўзининг сайёралари билан Галактика че-



тига яқин, унинг марказидан 10000 пс масофада жойлашган. Баъзи галактикалар, масалан, Геркулес юлдузлар туркуми шарсимон юлдузлар тўпламини эслатади. Нима учун галактикаларда юлдузлар тўпланган, улар нега тарқалиб кетмайди?— деган савол туғилиши мумкин. Бунга сабаб юлдузлар орасидаги гравитацион тортишиш кучларидир. Бу фикрни яқка галактикаларнинг кам учраши яна бир бор тасдиқлайди. Одатда, юзлаб ва минглаб галактикалар алоҳида тўдаларни ҳосил қилади. Галактика таркибидаги юлдузларнинг сочилиб кетмагани каби, тўдалар ҳам айрим галактикаларга сочилиб кетмайди. Уларни ҳам, бошқаларни ҳам ўзларининг гравитацион тортишиш кучлари ушлаб туради, яъни гравитацион боғланган объектлар ҳисобланади.

Метагалактикада, Коинотнинг кузатиладиган қисмида навбатдаги ўта йирик таркибий уюшмалар («ўта тўдаланишлар») мавжуд. Галактика, уларнинг тўдалари, ўта тўдалари — булар ҳужайрали структура элементларини эслатади. Ҳужайраларнинг ўлчамлари юзлаб мегапарсекни, улар «девор»ларининг қалинлиги 2—4 мпс ни ташкил этади. Йирик тўдалар ҳужайраларнинг тугунларида жойлашса, ўта тўдалар шу ҳужайрали структуранинг элементларини ташкил этади. Минг мегапарсекдан катта масштабларда Коинот структурасиз, деб ҳисобланади.

## 26- §. Оғирлик кучи. Вазнсизлик ва унинг қўлланиши

Ер сиртидан  $h$  баландликда турган жисмга Ернинг

$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

гравитацион тортиш кучи таъсир этади. Бу куч жисмга  $g_h$  тезланиш беради ва Ерга тушишга мажбур этади. Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан  $m$  массали жисмга

$$P = mg = G \frac{mM}{(R+h)^2}$$

куч таъсир этади.

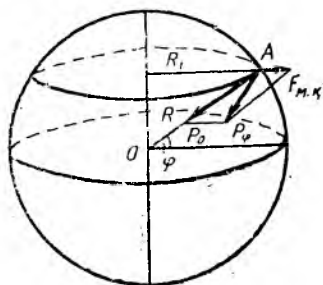
Жисмининг Ерга гравитацион тортилиш кучи

$$\vec{F}_{гп} = \vec{P} = m \vec{g}$$

унинг оғирлик кучи дейилади.

Демак, жисм Ердан узоқлашган сари оғирлик кучи  $P$  ва эркин тушиш тезланиши  $g$  камайиб боради. Шунинг учун Ердан Ой қадар узоқликда бўлган жисмнинг эркин тушиш тезланиши Ер яқинидаги жисмга нисбатан 3600 марта кичик бўлиб, Ойнинг Ерга эркин тушиш тезланиши  $a_h = g_h = = 0,00272 \frac{m}{c^2}$  га тенг бўлади.

Жисм ҳавода ёки бирор суюқлик ичида тушаётганда унга ҳавонинг қаршилик, ишқаланиш, Архимед кучлари таъсир қилади. Бу кучлар тезликнинг бирор қийматида Ернинг гравитацион тортиш кучини мувозанатлайди. Оқибатда  $g=0$  бўлади ва жисмнинг дастлабки тезланувчан ҳаракати текис ҳаракатга ўтади. Ёмғир томчиси, қор зарраси, парашютчи ҳам Ерга яқинлашгач, ўзгармас тезлик билан тушади.



102- расм.

Ер устида турган жисм унинг билан биргаликда айланма ҳаракатда қатнашганлиги сабабли жисмга марказдан қочма инерция кучи таъсир этади (102- расм). Бирор  $\varphi$  жўрофик кенгликдаги  $A$  жисмнинг натижавий оғирлик кучи  $\vec{P}_\varphi = \vec{P}_0 + \vec{F}_{m.k}$  бўлиб, унинг ўша кенгликдаги оғирлигини ифодалайди ва

$$P_\varphi = P_0 \left( 1 - \frac{\omega_0^2 R}{g_0} \cos^2 \varphi \right) \quad (26.1)$$

га тенг бўлади. Бунда  $\omega_0$  — Ернинг доиравий айланиш частотаси,  $R$  — радиуси.

Демак, Ер сиртида турган жисмнинг оғирлик кучи қутбларда максимал

$$P = P_0 = G \frac{mM}{R^2}$$

га тенг бўлиб, экваторда эса энг кичик

$$P = P_0 \left( 1 - \frac{\omega_0^2 R}{g_0} \right)$$

га тенг бўлади.

Эркин тушиш тезланиши ҳам мос равишда қутбларда

энг катта  $g = 9,832 \frac{M}{c^2}$ , экваторда эса энг кичик  $g = 9,780 \frac{M}{c^2}$  қийматга эга бўлади. Жисмнинг  $\varphi$  жүғрофик

кентликдаги  $\vec{P}_\varphi = \vec{P}_o + \vec{F}_{м.к}$  сғирлик кучи натижавий таъсир этувчи эффектив сғирлик кучи бўлиб, жисмнинг осмага таъсир кучини ифодалайди. Османинг йўналиши жисмнинг жүғрофик кентликдаги натижавий сғирлик кучи  $\vec{P}_\varphi$  йўналишида бўлиб, Ернинг айнан маркази томон йўналган эмас. Сғирлик кучининг йўналиши фақат қутбларда ва экваторда Ер радиуси билан устма-уст тушади ва ҳамда Ер маркази томон йўналган бўлади. Ер сиргининг бошқа нуқталарида эса, тикнинг йўналиши Ер радиуси чизиги билан устма-уст тушмайди. Миқдор жиҳатидан марказдан қочма инерция кучи Ернинг гравитацион тортиш кучидан кўп марта кичик бўлиб, бу нисбат экваторда тақрибан

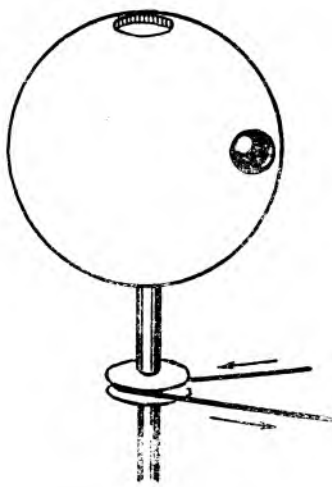
$$\frac{F_{м.к}}{P_o} \simeq \frac{v^2}{R_o g_o} = \frac{\omega_o^2 R}{g_o} \simeq 0,00348$$

га тенг; бунда  $R$  — Ернинг радиуси,  $g_o$  — эркин тушиш тезланиши,  $\omega_o$  — Ернинг доиравий айланиш частотаси.

Аслида жисмнинг натижавий сғирлик кучи  $\vec{P}_\varphi$  вектори йўналиши гравитацион тор-

тишиш кучи  $\vec{P}_o$  йўналишидан кўп фарқ қилмайди. Шу сабабли юк боғланган ипнинг йўналиши деярли вертикал йўналишни кўрсатади. У қурилишнинг турли соҳаларида, иморатлар ва улар деворлари ҳамда устунларининг вертикаллигини аниқлашда, техника ва халқ хўжалигининг айрим амалий масалаларида тош осилган ипдан фойдаланилади.

Жисмларнинг Ерга нисбатан ҳаракатларида марказдан қочма кучлар сезилари даражада катта бўлиши мумкин. Етарлича

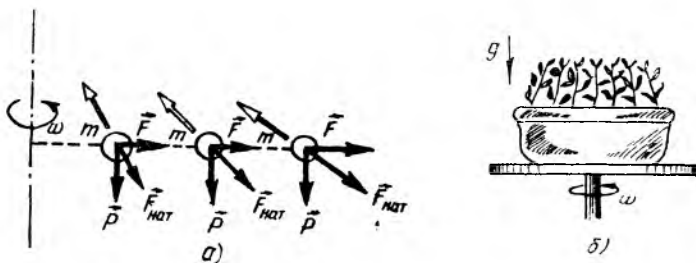


103- расм.

катта бўлган  $\frac{\omega^2 R}{g}$  нисбатга лаборатория шаронглирида ҳам эришиши мумкин. Масалан, вертикал ўққа ўрнатилган шар-симон шиша идиш ичига  $m$  массали шарчани қўйиб, идишни айлантирайлик (103-расм). Ишқаланиш туфайли шарча идиш билан биргаликда айланади. Қурилманинг бурчакли тезлиги ортиши билан марказдан қочма инерция кучи  $F_{м.к} = m\omega^2 r$  ортиб боради ва жисм оғирлиги таъсирини енгиши натижасида шарча идишнинг ички деворлари бўйлаб айланиб, юқорига кўтарилади.  $\omega$  бурчакли тезлигининг бирор ўзгармас қийматида ўзгармас  $r_0$  радиусли айлана бўйлаб ҳаракатга ўтади. Шарча оғирлик кучи, реакция кучи ва марказдан қочма куч таъсирида бўлади. Марказдан қочма куч етарлича катта бўлганда патнжавий куч таъсири йўналиши горизонтал йўналишга яқинлашиб боради.

Циркларда баъзи аттракцион чиқишларни, вираж манежларида мотоцикл ҳайдовчининг вертикал девор бўйлаб айланиб юқорига кўтарилишларини кўриб ҳайратда қолгансиз. Марказдан қочма инерция кучи оғирлик кучидан катта  $\frac{m\omega^2}{r} > mg$  бўлган ҳолда, яъни мотоциклчининг чизиқли тезлиги  $v > \sqrt{gR}$  бўлганда, у худди шиша идишдаги шарча каби вертикал девор бўйлаб бемалол айланиб чиқиши мумкин. Бунинг учун унинг тезлиги қиймати жуда катта бўлишлиги шарт эмас. Оддий ҳисоблашлар кўрсатадики, аттракцион хона радиуси (3—4) м атрофида бўлганда мотоциклчининг вертикал текисликда ҳаракатлана олиши учун  $v \simeq (20 - 25) \frac{\text{км}}{\text{соат}}$  га тенг чизиқли тезлик етарли бўлади.

Агар Ердаги таглик айланаётган бўлса, ундаги ҳар бир жисмга гравитация  $P_0 = mg$  ва марказдан қочма  $F = m\omega^2 r$  кучлар таъсир этади (104 а-расм). Бу куч-



104- расм.

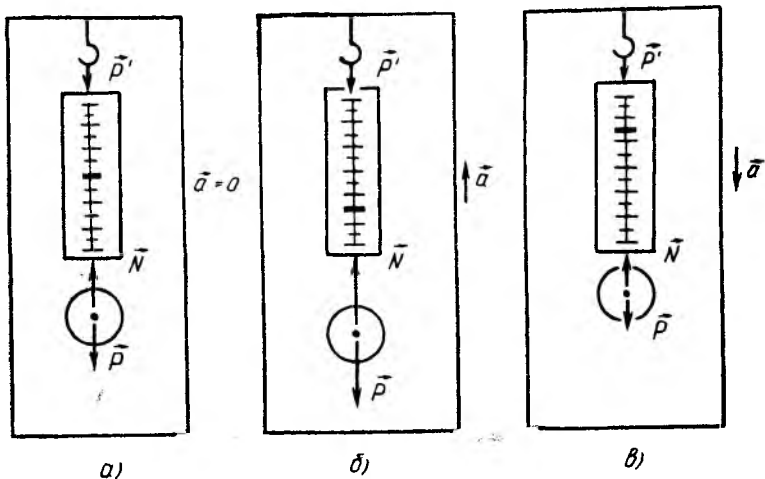
ларнинг йўғиндисидан иборат натижавий куч жисмнинг оғирлигини ифодалайди. Расмда айланиш марказидан турли масофаларда бўлган учта бир хил жисм берилган. Уларга таъсир этувчи оғирлик кучлари бир хил бўлиб, марказдан қочма куч эса айланиш ўқидан узоқлашган сари ортиб боради. Бу жисмлар ҳар бирининг тағликка таъсири  $\vec{F}_{\text{нат}}$  йўналишлари билан  $\vec{P}$  оғирлиги йўналишлари бир-биридан фарқ қилади. Айланиш ўқидан узоқлашган сари, жисмга таъсир этувчи натижавий кучнинг йўналиши ўзгариб боради. Бунда  $\vec{F}_{\text{нат}}$  билан  $\vec{P}$  йўналиш орасидаги фарқ ортиб боради. Етарлича катта  $\omega$  бурчакли тезликда айланаётган жисм учун «вертикал» йўналиш Ерга nisbatan вертикал йўналишдан бутунлай фарқ қилади.

Ҳақиқатан ҳам, айланувчи тағликдаги контейнерда ўстирилган ўсимликлар учун «вертикал» йўналиш айланиш билан боғлиқ бўлиб, Ерга nisbatan вертикал йўналишдан тубдан фарқ қилади (104-б расм).

**Вазн ва вазнсизлик.** Кўп вақт тик турсак ёки юрсак товонларимиз оғришини сезамиз. Чунки, Ернинг бизни тортиши туфайли товонларимиз билан Ерга таъсир кўрсатамиз. Динамиканинг учинчи қонунига кўра Ер томонидан товонларимизга реакция кучи таъсир этади ва оқибатда оёғимиз товонлари эзилади, оғрийди. Тажрибадан биламизки, вазни катта, оғир одамлар товонлари оғришини nisbatan тезроқ сезишади. Массалари 70 кг ва 140 кг бўлган икки кишининг турникка осилишидан сўнг кафтларини кузатсак, оғир одамнинг кафтлари ва бармоқлари кўпроқ эзилган бўлади.

Кўринадикки, жисмнинг оғирлик кучи тушунчаси билан бир қаторда жисмнинг оғирлиги, вазни тушунчалари ҳам кўп ишлатилади. Жисмнинг оғирлиги, вазни деганда унинг ўзи турган тағликка ёки осилган осмага кўрсатадиган таъсир кучи тушунилади. Жисмнинг оғирлиги таянчга ёки осмага қўйилган куч бўлиб, куч birlikларида ўлчанади. Бир қарашдан, жисмнинг оғирлигини унинг оғирлик кучи яратаётгандай туюлади. Аммо, аслида ундай эмас: биринчидан, оғирлик кучи осмага қўйилган кучдир; иккинчидан, жисмнинг оғирлиги сон жиҳатидан оғирлик кучига фақат унинг Ерга nisbatan тинч ёки тўғри чизиqli текис ҳаракат ҳолатларидагина тенг бўлади.

Ҳавосиз бўшлиқда Ерга эркин тушаётган жисмга нолдан фарqli  $P$  оғирлик кучи ҳар доим таъсир этиб



105- расм.

туради ва у тезланувчан ҳаракатда бўлади. Лекин жисмнинг эркин тушиши жараёнида у таянчга эга эмас, оқибатда на таянчга, на осмага таъсир эта олади ва унинг  $P'$  оғирлиги нолга тенг бўлади. Жисмнинг оғирлиги унинг тағликка ёки осмага таъсир этганидагина намоён бўлади. Агар жисм Ерга нисбатан тезланишли ҳаракатда бўлса, унинг тағликка ёки осмага таъсир кучи тезланиш қаймагига ва йўналишига кўра турлича бўлади. Бунга ишонч ҳосил қилиш учун қуйидагича тажрибани ўтказайлик. Лифтнинг шипига маҳкамланган пружинали оддий тарози — динамометрнинг пастки учига массаси 5 кг бўлган тарози тоши осиб қўйилган (105-а расм). Тошга бир-бирини мувозанатлайдиган иккита куч:  $P$  оғирлик кучи ва  $N$  пружинанинг таранглик (реакция) кучи қўйилган бўлади. Осмага эса  $N$  реакция кучига сон қиймати тенг, лекин йўналиши бўйича қарама-қарши бўлган  $P' = -N$  оғирлик таъсир этади.

Лифт Ерга нисбатан тинч турганда динамометр тошининг осмага таъсир кучи  $P' = 5$  кг эканлигини кўрсатади. Тошнинг оғирлиги унинг оғирлик кучига тенг  $P' = P$  бўлади. Демак, жисм Ерга нисбатан тинч ёки тезланишсиз ҳаракатда бўлгандагина унинг оғирлиги оғирлик кучига тенг бўлади.

Энди лифтни ишга тушириб юқорига  $\vec{a}$  тезланиш билан

ҳаракатга келтирсак (105-б расм), дастлабки пайтда, тош инерциясига кўра аввалги ҳолатини сақлайди ва ҳали тезланиш олиб улгурмайди. Динамометр пружинаси чўзилиб боради, бу эса  $\vec{N}$  ва  $\vec{P}'$  кучларнинг ортишига сабаб бўлади. Вақт ўтиши билан тошнинг олган тезланиши лифтнинг тезланишига тенглашгандан сўнг кучлар ўзгарishi тўхтайди. Илгариланма ҳаракат динамикасининг асосий қонунига кўра тошнинг ҳаракат тенгламаси

$$m\vec{a} = \vec{P} + \vec{N} \quad (26.2)$$

кўринишда бўлади.  $\vec{N} = -\vec{P}'$  бўлганлиги учун

$$m\vec{a} = \vec{P} - \vec{P}'$$

бўлади. Тенгламанинг скаляр  $ma = P - P'$  кўринишдан юкнинг оғирлиги ифодасини ҳосил қиламиз:

$$P' = P + ma = P + F$$

$$P' = m(g + a). \quad (26.3)$$

Демак, жисм Ерга нисбатан юқорига томон тезланиш билан ҳаракатда бўлса, унинг оғирлиги оғирлик кучидан инерция кучи  $F = ma$  қиймати қадар катта бўлар экан. Лифт ичидаги тажрибани кузатувчи киши, дастлабки пайтда, Ерга нисбатан тинч ҳолатини сақлайди. Лифт кўтарилаётганда тагликнинг оёқларга реакция кучининг ортишини сезади. Кузатувчи тезланиши лифт тезланишига тенглашгандан сўнг эса оёқларга ўзгармас таъсир сақланади.

Космонавтлар бу ҳодисани жуда аниқ сезишади. Қосмик кемани орбитага олиб чиқувчи ракета Ердан старт олгандан сўнг катта тезланиш билан юқорига кўтарилади. Бунда космонавтга ва кемага тезланиш берувчи жуда катта  $F = ma$  инерция кучи таъсир этади. Космонавтнинг ўриндиққа таъсир кучи, яъни  $P'$  оғирлиги унинг  $P$  оғирлик кучидан  $F_{ин} = ma$  қадар катта бўлади. Натижада космонавт жуда катта қўшимча оғирлик сезади.

Агар лифт  $\vec{a}$  тезланиш билан пастга томон ҳаракатга келса (105 в-расм), инерциясига кўра осилган тош дастлабки пайтда тезланиш олиб улгурмайди. Лифт билан биргаликда шипдаги осма пастга томон силжийди ва динамометр пружинасининг чўзилиши камайиб боради, бу эса динамометр кўрсатишининг, яъни  $\vec{N}$  ва  $\vec{P}$  кучларнинг камайиши-

га олиб келади. Тош тезланиши лифт тезланишига тенглашгандан сўнг кучлар ўзгариши тўхтайди ва қуйидаги ифодадан ҳосил қилиш мумкин:

$$P' = m(g - a). \quad (26.4)$$

Демак, жисм пастга тезланиш билан ҳаракат қилаётган бўлса, унинг  $P'$  оғирлиги  $P$  оғирлик кучидан инерция кучи  $F = ma$  қиймати қадар кичик бўлар экан.

Лифтдаги қузатувчи дастлабки пайтда, инерцияси туфайли аввалги тинч ҳолатда қолади. Оёқлар остидаги тағлик эса пастга томон силжийди, натижада, одамнинг тағликка кўрсатадиган таъсир кучи камаяди. Лифт ва қузатувчи тезланишлари тенглашгандан сўнг унинг оёқлари ўзгармас куч таъсирида бўлади. Қайд қилиб ўтиш лозимки, барча ҳолларда тош ва одамнинг оғирлик кучи деярли ўзгармас сақланади. Уларнинг оғирликлари эса таянч ёки османинг тезланиши қийматига ва йўналишига боғлиқ равишда ўзгариб турар экан. Тезланишли ҳаракатда бўлган ҳар қандай жисм инерция кучи туфайли, қўшимча оғирлик — ортиқча юкланиш сезади.

Эгри чизиқли ҳаракат тезланишли ҳаракат бўлганлиги учун тўғри кетаётган жисмларнинг (автомобиль, трамвай, мотоцикл, самолёт) бурилишида қўшимча оғирлик — ортиқча юкланиш сезилади. Масалан, учувчига самолётни «шўнғиш» ҳолатидан чиқаришда  $\vec{P}$  оғирлик кучи ва юқорига йўналган  $\vec{N}$  реакция кучи билан бир қаторда  $\vec{Q}$  марказдан қочма инерция кучи таъсир этади (29-расмга қаранг). У ҳолда, учувчинин тағликка сиқувчи оғирлик кучи  $P' = P + \frac{mv^2}{R}$  га тенг бўлиб,  $m = 80$  кг,

$R = 1000$  м ва  $v \sim 1000 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$  бўлганда 660 кг га тенг бўлади. Оғирлик кучи атиги 80 кг бўлган учувчи ўриндиққа саккиз марта катта 660 кг куч билан босилар экан, бу ҳолда учувчи саккиз каррали оғирлик (юкланиш) сезади, дейилади.

(25.6) ва (25.7) ифодаларга асосан, жисмнинг тезланиши  $a = g$  бўлса,  $P' = 0$  бўлади, яъни эркин тушаётган жисмнинг оғирлиги (вазни) нолга тенг бўлади. Бу ҳолатни жисмнинг *вазнсизлик ҳолати* дейилади.

Демак, ҳар қандай жисм эркин тушганда вазнсизлик ҳолатида бўлади. Ҳаво қаршилигинин ҳисобга олмаганда, жойимизда туриб юқорига сакрасак ёки бирор баланд-



ликдан пастга сакраб тушишда вазнсизликка яқин ҳолатда бўламиз. Парашютчи парашютини очгунга қадар вазнсизликка яқин ҳолатда бўлади. Оғирликнинг бирданига камайиб кетиши (вазнсизлик) одамда ёқимли ҳис уйғотмайди. Масалан, баланд трамплиндан сувга сакраганда ёки тез кетаётган автомобиль қавариқ кўприкчадан ўтиб, йўлнинг пастроқ қисмига «эркин» тушганида вужудимиз шу-у-ув этиб, вазнсизлик ҳолатининг қанчалик «ёқимлилигини» биламиз.

Шунингдек, учиб кетаётган самолёт ҳавоси сийрак жойда бироз тушиб ўтганида бу ҳиссиётни аниқ сезиш мумкин. Ердаги ҳодисаларда вазнсизлик ҳолатини қисқа вақт оралиқларида яратиш мумкин. Космик кеманинг орбита бўйлаб ҳаракатида эса, унинг Ойга ўхшаб Ерга узлуксиз «тушиш»лари натижасида, узоқ муддатли вазнсизлик ҳолат кузатилади.

Вазнсизлик ҳолатида Архимед кучи натижавий тортиш кучи нолга тенг бўлганлиги учун космонавтлар танасидаги қон ҳам вазнсиз ҳолатда бўлади. Танадаги қоннинг тақсимоли ўзгармайди.

Вазнсизлик ҳолатида Архимед кучи нолга тенг бўлади ва моддалар оғирликларига кўра бир-бирдан ажралмайди. Шунинг учун, космик лаборатория шароитларида, зичликлари ҳар хил бўлган моддалардан таркиб топган бир жинсли аралашмали материаллар — янги хоссали пенометаллар, ярим ўтказгич хоссали моддалар, мураккаб таркибли композицион материаллар олиш мумкин.

Маълумки, иссиқлик алмашинув жараёни табиий конвекция — иссиқлик конвекцияси туфайли юз беради. Табиий конвекция Архимед кучи таъсирида рўй беради. Шунинг учун тагидан олов ёқилган чойнакдаги сув бутун ҳажми бўйлаб қайнайди, уйларда умумий марказли иситиш қурилмаси батареялари бутун хонани текис иситади ва ҳоказо. Вазнсизлик шароитида эса Архимед кучи бўлмайди ва табиий конвекция юз бермайди, натижада, иссиқлик алмашинувининг бошқача ноковекцион жараёни содир бўлади.

Суюқликка ботирилган жисмнинг зичлиги суюқлик зичлигига тенг бўлса, Архимед кучи оғирлик кучига тенг бўлади. Бу ҳолда жисм вазнсизлик ҳолатида бўлади.

Оддий шароитларда, капеллярлик ҳодисаларида суюқлик устунининг гидростатик босими, сирт таранглик билан боғлиқ бўлган Лаплас босимини мувозанатлайди.

Вазнсизлик ҳолатида суюқлик устунининг вазни йўқолиши туфайли капиллярлик ҳодисаларининг роли кескин ортади. Ўз ҳолига қўйилган суюқлик томчиси сферик шаклни олади. Идишни ҳўлламайдиغان суюқлик идишнинг ичида учиб юриши мумкин. Шу сабабли, вазнсизлик шароитида материалларга идишсиз ишлов бериш имконияти туғилади.

Одамлар вазнсизлик ҳодисасидан қадим замонларда ҳам фойдаланишни билишган. Саноатда, ҳозирги кунда ҳам фойдаланишни билишган. Саноатда, ҳозирги кунда ҳам сочма ўқ қўйиши минораларида вазнсизлик ҳолатидан фойдаланилади. Баландлиги 30—20 м бўлган миноранинг юқори қисмидан оқиб тушаётган суюқ қўрғошин махсус тўрдан ўтказилади. Тўрдан чиққан суюқ қўрғошин томчилари эркин тушишида вазнсизлик ҳолатида бўлади. Вазнсизлик ҳолатидаги ҳар бир суюқ қўрғошин томчиси сирт таранглик кучи таъсирида шар шаклини олади ва тушиш йўлида қўшимча ҳаво оқими таъсирида совутилгандан сўнг пастдаги сувга тушади. Сувдан олинган шарчаларга махсус айланувчи барабанларда қўшимча ишлов берилади, яъни улар силлиқланади. Шарчаларни зинапоя кўринишида ўрнатилган қия текисликлардан ўтказиб навларга ажратилади.

## 27- §. Космик тезликлар. Ернинг сунъий йўлдошлари. Табиатда тезликлар

Осмон механикаси элементларини тўлиқроқ тушуниш мақсадида қуйидаги назарий тажрибни кўриб чиқайлик. Ер сиртига яқин нуқтадан горизонтал йўналишда снаряд отилган бўлсин (атмосфера ва ҳаво қаршилиги ҳисобга олинмайди). Кинематика ва динамика қонунларига асосан, снаряд тезлиги кичик бўлганда, у бирор масофага бориб Ерга тушади. Снаряднинг горизонтал йўналишдаги тезлиги қандай бўлганда у Ой каби Ер атрофида бирор ўзгармас масофада даврий айланма ҳаракат қилади?

Снаряд Ой каби Ер атрофида узлуксиз айланма ҳаракатда бўлиши учун у чизиқли тезлик  $v$  вектори йўналишида Ердан узоқлашиб кетмаслиги ва траекториянинг ҳар бир нуқталарида Ерга томон узлуксиз эркин тушиб бориши керак. Айлана бўйлаб  $v$  чизиқли тезлик билан ҳаракатда бўлган жисм  $a_n = \frac{v^2}{R}$  нормал тезланишга эга бўлади. Снарядга нормал тезланишни Ернинг тортиш кучи

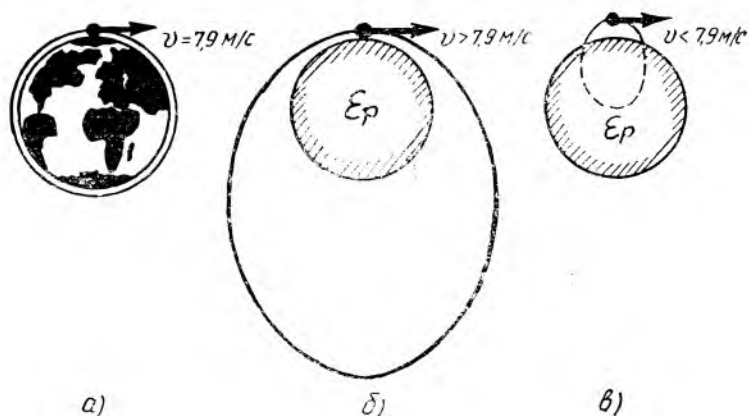
беради, яъни гравитацион тортиш кучи снарядга марказга интилма куч сифатида таъсир этиб, унинг тезлиги йўналишини буриб туради ва айлана бўйлаб ҳаракат қилишга мажбур этади:

$$G \frac{mM}{R^2} = \frac{mv^2}{R} = mg_0$$

$$v = \sqrt{G \frac{M}{R}}; \quad v = \sqrt{g_0 R}. \quad (27.1)$$

Эркин тушиш тезланиши  $g_0 = 9,81 \frac{M}{c^2}$  ва Ернинг радиуси  $R = 6,4 \cdot 10^6$  м қиймагларини қўйсак,  $v = 7,9$  км/с га тенг бўлади. Демак, снаряд горизонтал йўналишда  $v = 7,9 \frac{KM}{c}$  чизиқли тезлик билан отилса, Ер сиртига яқин айлана бўйлаб ҳаракат қилади ва Ой каби Ернинг кичик йўлдошига айланади (106 а-расм).

(27.1) ифодани Ой учун  $v = \sqrt{g_{Oй} r_{Oй}}$  кўринишда ёзиш мумкин. У ҳолда, Ойнинг Ерга эркин тушиш тезланиши  $g_{Oй} = 2,72 \cdot 10^{-3} \frac{M}{c^2}$  ва Ойнинг Ердан узоқлиги  $r = 60 R$  эканлигини назарда тутсак,  $v_{Oй} = 1,02 \frac{KM}{c}$  ҳосил бўлади (24 -§ га қаранг).



106- расм.

Шунингдек, Ердан  $h$  баландликда бўлиб, айлана бўйлаб ҳаракат қилувчи йўлдошнинг тезлик қиймати унинг баландлигига боғлиқ бўлади ва

$$v_1 = \sqrt{g_n(R+h)} = \sqrt{G \frac{M}{R+h}} \quad (27.2)$$

ифодадан аниқланади.

(27.1) ва (27.2) ифодалар биринчи космик тезлик ифодаси дейилади. Ерга энг яқин бўлган сунъий йўлдош тезлиги  $v = 7,9$  км/с ни биринчи космик тезлик қиймати, деб қабул қилинган. Биринчи космик тезлик мазмунан жисмларнинг Ер атрофида айлана бўйлаб узлуксиз ҳаракатда бўлиши учун зарур бўлган тезликдир.

Ернинг табиий йўлдоши Ойнинг чизиқли тезлиги сунъий йўлдошлар тезлигидан

$$\frac{v_1}{v_{\text{Ой}}} = \sqrt{\frac{R+h}{R}} = \sqrt{\left(1 + \frac{h}{R}\right)}$$

марта кичик бўлади, хусусан,

$$\frac{v_1}{v_{\text{Ой}}} = \sqrt{\left(1 - \frac{60R}{r}\right)} = 7,84$$

ёки

$$\frac{v_1}{v_{\text{Ой}}} = \frac{8 \text{ км/с}}{1,02 \text{ км/с}} = 7,84.$$

Сунъий йўлдошлар айланиш даврлари ҳам уларнинг Ердан қанчалик баландликка чиқарилганлигига кўра турлича бўлишлиги тушунарлидир. Уларнинг айланиш даврларини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$T_h = \frac{2\pi(R+h)}{v_h}. \quad (27.3)$$

Йўлдошлар параметрлари  $h$  ва  $v_h$  ларни билган ҳолда айланиш даврларини аниқлаш қийин эмас. Бинобарин,  $h \sim 200$  км,  $v_0 = 7,9$  км/с бўлса, айланиш даври бир ярм соатлар атрофида  $T = 5100$  с бўлади. (27.3) ифодадан кўринадик, сунъий йўлдош траекторияси Ердан узоқлашган сари унинг орбитадаги чизиқли тезлиги камайиб боради. Айлана бўйлаб ҳаракат учун  $v = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  тезлик энг катта тезлик ҳисобланади ва Ер сиртига энг яқин нуқталар учун тегишлидир.

Чизиқли тезлик  $v < 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  бўлса,  $h \ll R$  масофалар учун снаряд айлана бўйлаб ҳаракат қила олмайди, унинг траекторияси эллипсдан иборат бўлади (106-в расм). Аслида эса расмда кўрсатилганидек, эллипснинг асосий қисми Ернинг ички қисмига тўғри келади ва унинг фақат яхлит чизиқ билан ифодаланган сиртқи қисмигина реал бўлиб, снаряд бирор  $s$  масофага бориб тушади. Ер сиртидан узоқроқдаги ҳар қандай нуқталар учун айлана бўйлаб ҳаракат қилишга зарур бўлган тезликлар қиймати  $v = 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Агар  $v > 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  бўлса, снаряд траекторияси эллипс кўрinishида бўлиб, Ер маркази эллипс фокусларидан бирида туради (106-б расм)

Бошланғич тезлик қанчалик кичик бўлса, эллипс шунчалик чўзинчоқ бўлади ва аксинча, катта бўлса параболага яқинлашади. Снаряд

$$v_2 \geq \sqrt{2 g_0 R_0} = 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

тезлик билан ҳаракатланганда, траекторияси параболадан иборат бўлади. У ҳолда унинг траекторияси очиқ бўлиб, Ерни айланмайди.

Жисмларнинг Ернинг майдонида параболик траекторияга ўтгани учун зарур бўлган тезлик *иккинчи космик тезлик* дейилади. Параболик траекторияга ўтган жисм Қуёш атрофида ҳаракатланиб, унинг сунъий йўлдошига айланади. Бунинг учун жисмнинг бошланғич кинетик энергияси Ернинг гравитацион тортиш кучини енгиш учун етарлича бўлиши керак:

$$\frac{mv^2}{2} = \int_{R_0}^{\infty} G \frac{mM}{r^2} dr = G \frac{mM}{R_0}$$

Бу тенгликдан юқоридаги

$$v_2 = \sqrt{2 g_0 R_0} = 11,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

ифода ҳосил бўлади. Иккинчи космик тезлик  $v_2 = 11,2$  км/с мазмунан, жисмнинг Ернинг гравитацион тортиш майдонидан чиқиб кетиши учун зарур бўлган тезликдир.

Ердан старт олган жисмнинг, Қуёш системаси гра-

витаццион тортиш кучи майдонидан чиқиб кетиши учун зарур бўлган

$$v = \sqrt{30 g_0 R_0} = 43 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

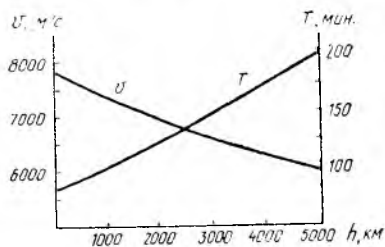
тезликни учинчи космик тезлик дейилади.

Ернинг Қуёш атрофида орбита бўйлаб ҳаракатидаги чизиқли тезлиги  $v = \frac{2\pi r}{T} = 29,5 \text{ км/с}$  га тенг ( $r = 1,49 \times 10^8 \text{ км}$ ,  $T = 365,2 \text{ кун}$ ). Ердан учирилган жисмнинг  $\vec{v}$  тезлик вектори йўналиши муҳим аҳамиятга эга бўлиб, унинг йўналиши Ернинг орбитадаги чизиқли тезлик вектори  $\vec{v}_{\text{Ер}}$  йўналиши билан бир хил бўлса, бу тезликлар қўшилиб, учинчи космик тезлик  $v_3 = 43 \text{ км/с}$  ни беради.

У ҳолда, Қуёш системасидан чиқиб кетиши учун жисмга  $v_3 = (43 - 29,5) \frac{\text{км}}{\text{с}} = 13,5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  қўшимча тезлик бериш зарур бўлади.

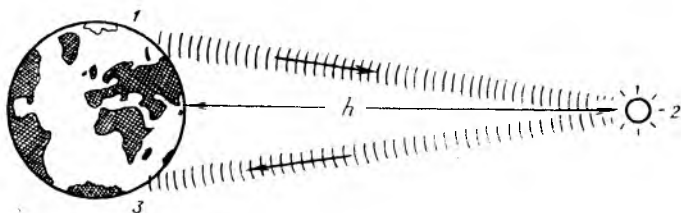
**Синхрон сунъий йўлдошлар.** Сунъий йўлдошларнинг яратилиши алоқа соҳасидаги сўнги муҳим ютуқлардан биридир. Синхрон сунъий йўлдошлар, ультра қисқа электромагнит тўқинларнинг қайтариб турувчи жисмлар сифатида, Ер шарининг турли томонларидаги қитъалар, мамлакатлар, шаҳарлар орасида радио ва телеалоқаларни ўрнатиш имкониятларини беради. Ҳозирги кунда кўраётган турли шаҳарлараро телекўприк кўрсатувлар, жумладан, Вашингтон — Москва — Тошкент, Париж — Киев — Тошкент ва бошқалар, синхрон алоқа йўлдошлар туфайли амалга оширилади.

Синхрон сунъий йўлдош нима? Синхрон йўлдош ҳам Ер атрофида айлана траектория бўйлаб ҳаракат қилувчи сунъий йўлдошдир. Фақат унинг орбитаси Ернинг



107- расм.

экватор текислигида ётади ва Ер атрофида айланиш даври Ернинг ўз ўқи атрофида айланиш даврига, яъни 24 соатга тенг. Бундай йўлдошларнинг Ердан қандай  $h$  баландликда бўлганида қандай  $v$  чизиқли тезликларга эга бўлишлари кераклигини (27.3) фор-



108- расм.

мула асосида 107-расмдан билиб олиш қийин эмас. Агар синхрон йўлдош Ердан Шарққа томон ҳаракатда бўлса, Ердаги кузатувчига у гўеки бирор нуқтада қўзғалмай тургандай туюлади. Чунки синхрон йўлдош ва кузатувчи битта радиал чизиқ устида ётади, уларнинг чизиқли тезликлари ҳар хил бўлса-да, бурчакли тезликлари бир хилдир. Синхрон сунъий йўлдошлар ретрансляцион узатувчи, яъни қайта олиб эшиттирувчи қурилмалар сифатида ишлатилади (108-расм). Ер шарининг (1) пунктдан тарқатилган тўлқин (2) синхрон йўлдош томонидан қабул қилиниб (3) қабул қилувчи пункт томон узатилади.

Ердан  $h$  баландликдаги синхрон йўлдошнинг айланувчи даври:

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi(R+h)}{v}$$

бўлиб,  $v_h$  (29.9) тенгликдан аниқланади ва

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{GM}} (R+h)^{3/2}, \quad (27.4)$$

бунда  $G$  — гравитацион доимий,  $M$  — Ернинг массаси,  $R$  — Ернинг радиуси.

(27.4) ифодага асосан, синхрон йўлдош даври  $T = 24$  соат  $= 864000$  с га тенг бўлиши учун:

$$R_0 + h = \sqrt[3]{\frac{86400^2 \text{ с}^2 \cdot 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг} \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Нм}^2}{\text{кг}^2}}{2,3,14}} = 4,257 \cdot 10^7 \text{ м}$$

ва  $R=6378$  км бўлса,  $h=38200$  км га тенг бўлади. Демак, синхрон сунъий йўлдошлар Ернинг экватор текислигида Ердан 36200 км баландликда учурилиши лозим

экан. Бир-бирларидан тахминан  $120^\circ$  бурчакли масофада жойлашган, учта синхрон йўлдошлар бутун Ер шарининг радио ва теле-алоқа билан боғлаш учун етарли бўлади.

**Табиатда тезликлар.** Тезликлар қийматлари ҳақида фикр юритилганда, одатда кундалик турмушимиздан таниш бўлган ҳодисалар, воқеаларнинг юз бериш тезлиги ёки жисмлар, қурилмалар, машина ва механизмлар тезликлари кўз ўнгимизга келади. Табиатда эса секундига бир неча микрондан тортиб секундига бир неча юз минг километргача ораллиқлардаги тезликларда ҳаракат ҳодисалари кузатилади. Жумладан, одам бошидаги сочи секундига  $5 \cdot 10^{-9}$  метр, энг тез югурувчи спортчи секундига 10 метр, автомобиль 70 м, реактив самолёт 2000 м, милтиқдан отилган ўқ секундига 800 метр тезликка эга бўлади (4-жадвалга қаранг).

Секундига (1000—2000) метр тезликни жуда катта тезлик деб ҳисоблаймиз ва уни таърифлаш учун ўқдек учади деб айтаемиз. Чунки табиатда барча тушунчалар нисбий бўлиб, ўқ тезлиги пилда ва велосипедчи, трактор ва баъзи қишлоқ хўжалик машиналари, автомобиль ва поездлар тезликларидан катталигини биламиз. Нисбатан катта ҳисобланган ўқнинг тезлиги, космик тезликлар — 7,9 км/с, 11,2 км/с ва 43 км/с дан кўп марта кичик тезликдир. Жисмнинг Ер атрофида айлана бўйлаб шунчаки текис ҳаракатда бўлиши учун ўқнинг тезлигидан ҳам 7—8 марта катта тезлик зарур бўлар экан.

Ер ўз траекторияси бўйлаб Қуёш атрофида секундига 30 км тезлик билан ҳаракат қилиши ҳақида айтилган эди. Бу тезлик ўқнинг тезлигидан тақрибан 30 марта, биринчи ва иккинчи космик тезликлардан эса бир неча марта катта тезликдир. Қуёш ўзининг планеталари билан биргаликда галактика маркази атрофида 250 км/с тезлик билан айланади.

Космот доимий эволюцияда бўлиб, унинг кенгайиб бориши аниқланган. Масалан, бир-биридан 1 МПС ( $3,086 \cdot 10^{22}$  м) масофада бўлган галактика тўдалари 75 км/с га яқин нисбий тезлик билан бир-биридан узоқлашади. Ердан 10 ПС масофадаги галактика тўдалари 50 км/с га яқин тезлик билан бир-биридан узоқлашади.  $10^9$  ПС масофадаги тўдаларнинг  $10^5$  км/с тезлик билан узоқлашиши маълум ва ҳоказо.

Табиатдаги тезликлар қийматларини таққослаш на-



тижасида, чексиз коинотнинг оддий бир юлдузи бўлмиш Қуёшнинг сайёраси — Ердаги илм-фан, техника ва умумий тараққиётнинг бугунги кунда инсониятнинг тезликлар соҳасидаги эришган ютуқлари ҳали юқори даражада эмаслигига ишонч ҳосил қиламиз. Лекин микродунё соҳасида етарлича катта тезликларни яратиш имкониятига эгамиз. Масалан, электрон ва протонларга махсус қурилмалар ёрдамида жуда катта тезликлар бера оламиз. Телевизорларда ўрнатилган 20 киловольтли электрон нур замбараги  $8 \cdot 10^7$  м/с ёки  $v=0,3$  с тезликларда электронлар чиқаради. Серпухово шахридаги тезлатгич протонларга 0,9999 с, Стекфорд шахридаги тезлатгич эса электронларга 0,999999999 с га яқин тезлик бера олади. Бунда  $c=3 \cdot 10^8$  м/с ёруғликнинг бўшлиқдаги тезлиги бўлиб, Эйнштейн нисбийлик назариясига кўра ундан катта тезликка эришиш мумкин эмас,  $c$  — энг катта, чегаравий тезлик қиймати ҳисобланади.

## VI. БОБ. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАР МЕХАНИКАСИ

### 28-§. Суюқлик ва газлар босими. Ишлаб чиқаришда босимдан фойдаланиш

Нормал шароитда суюқлик ва газлар аниқ шаклга эга эмас. Улар маълум оқувчанликка эга ва қандай шаклдаги идишга солинса, ўша идиш шаклини олади. Қаттиқ жисмнинг атом ва молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучлари уларни мувозанат вазияти ҳолатларида тутиб турса, суюқлик молекулалари орасидаги кучлар анчагина кичик бўлиб, молекулалар бир-биринга нисбатан кўчиб юра олади. Суюқликни бир идишдан иккинчи идишга қуйиш мумкин, яъни у оқувчанликка эга.

Газларда эса нормал шароитда молекулалар орасидаги ўзаро боғланиш кучи жуда кичик ва улар ўзи солинган ҳар қандай идишнинг бутун ҳажмини эгаллайди. Суюқлик ва газларнинг оқувчанлиги, уларнинг ўзи солинган идиш шаклини олиши, улар билан идиш ички деворлари орасида боғланиш ва таъсирлашиш борлигини билдиради. Бу боғланиш ўзаро таъсирга асосланган бўлиб, суюқлик ва газ молекулалари томонидан идишнинг ички деворлари сиртига таъсир кучи билан белгиланади. Суюқлик ёки газ молекулалари томонидан идиш

ички деворининг бир бирлик сирт юзига перпендикуляр таъсир кучи катталиги босимни ифодалайди:

$$p = \frac{F}{S}. \quad (28.1)$$

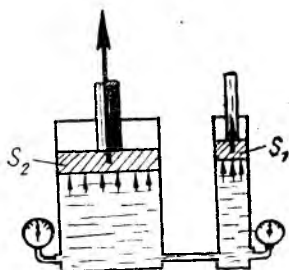
СИ системасида босим  $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = 1 \text{ Па}$  бирликларда ўлчанади. Бу бирлик француз олими Блез Паскаль шарафига қўйилган. Амалда  $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$ ,  $1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}$ , атм — физик атмосфера, ат — техник атмосфера, мм сим. уст. — миллиметр симоб устуни,  $\text{кг/см}^2$  бирликлар ҳам ишлатилади.

Босим таъсир кучининг умумий катталиги билан эмас, балки юз бирлигига тўғри келган куч билан белгиланади. Масалан, эни 20 см ўткир учининг қалинлиги 1 мм бўлган куракка одам оёғи 10 кг куч билан босганда ерга 5 кг/см босим беради. Ўткир қирраси қалинлиги 0,1 мм, узунлиги 20 см бўлган пичоқ атиги 1 кг куч таъсирида ўшандай босим ҳосил қилади. Нинаси кучининг юзи 0,01 мм дан кичик ари эса 10 г дан ҳам кичик куч таъсирида 100 кг/см дан катта босим ҳосил қилади. Болта ёки пичоқ ўткирланганда унинг кесувчи қирраси қалинлиги камайтирилиб, ўтин ёки бошқа жисмлар билан таъсир юзи кичрайтирилади ва натижада босим ортади. Шунингдек, одам конькида, чангида ёки оёқ кийимда турганида унинг оғирлиги бир хил бўлса-да, юзага боғлиқ босим эса турлича бўлади.

Суюқлик ва газларда босимни манометрлар ҳамда барометрлар ёрдамида ўлчанади. Уларнинг турлари хилма-хил бўлиб, махсус адабиётларда батафсил баён этилган. Айрим ҳолларда босим датчиклари қўлланилади, бунда газ ёки суюқликнинг босими электр, пневматик ёки бошқа турдаги кириш сигнализга айлантирилади. Кундалик турмушда автомобиль баллонларига ҳаво босимини ўлчаш учун қўлланиладиган манометр турлари, двигателдаги мой босимини кўрсатувчи босим датчиклари, ўқув лабораторияларида қўлланиладиган барометрлар турлари, завод ва фабрикаларда, ишлаб чиқариш қорхоналарида ишлатиладиган айрим манометр турларини кўрганмиз. Сийраклаштирилган газлардаги паст босимни ўлчаш учун мўлжалланган асбобларни *вакуумметрлар* дейилади.

Оқувчанлик суюқлик ва газларнинг характерли хоссаларидан бири бўлиб, босим уларнинг ҳар бир нуқта-

сига ўзгаришсиз узатилади. Бу ўрта мактаб физика курсидан маълум бўлган Паскаль қонунининг ўзгинасидир. Паскаль қонунига асосан ишлайдиган гидравлик механизмлар *гидравлик машиналар* дейилади. Гидравлик пресс ҳам пресслаш мақсадида ишлатиладиган гидравлик машинадир (109-расм). Кичик поршеннинг юзи  $S_1$ , катта-сининг юзи  $S_2$ , Паскаль қонунига асосан, суюқликнинг барча қисмларида гидравлик босим бир хил бўлади ва



109-расм.

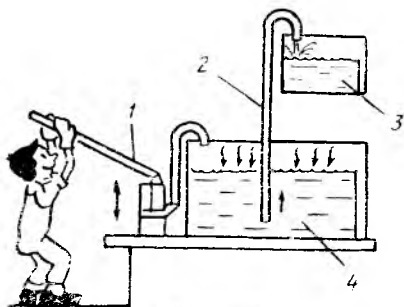
$$p_1 = p_2 = \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad (28.2)$$

ифодадан  $F_2 = F_1 \left( \frac{S_2}{S_1} \right)$  ҳосил бўлади.

Гидравлик пресс катта поршеннинг юзи кичик поршеннинг юзидан неча марта катта бўлса, гидравлик пресс кучидан шунча марта катта ютуқ беради. Гидравлик машинанинг турли кўринишлари ёғоч чиқиндиларидан фанер ва картон тайёрлашда, ёғ заводларида, ўсимликлар уруғларидан (чигит, кунжут, зиғир, pista) ёғ сиқиб чиқаришда, консерва заводларида помидор ва мевалардан шарбат ажратиш олишда, қишлоқ хўжалигида эса пахта, пичан ва сомон кабиларни пресслашда қўлланилади.

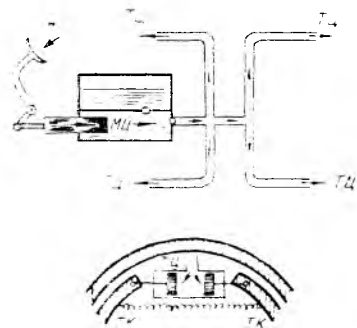
Италиянинг Икома кран қуриш фирмасида яратилган, гидравлик пресс принципи асосида ишлайдиган, гидравлик кран 40 тонна оғирликдаги контейнерларни бемалол кўтаради.

Халқ хўжалигида юқори босим билан бир қаторда паст босим ҳам кўп қўлланилади. Гилам ва шолчаларни, кийим ҳамда мебелларни тозалашда чангюткичдан фойдалангансиз. Электр насоснинг яратган паст босими таъсирида чанг зарралари ва айрим енгил буюмлар сўргич орқали тортиб олинади. Қишлоқ хўжалиги соҳасида пахта териш машиналари ишида ҳам паст босимдан фойдаланилади. Чаноқлардаги пахта маҳсус қурилмалар ёрдамида териш олиниб, қабулхонасига узатилади. Қабулхонага тушган пахта паст босим остида сўриб олинади ва бункерга узатилади.



110-рasm.

агрегатлардан фойдаланилади (110-рasm). Таъминловчи агрегатлар дизель ёнилғи, мой ва сув билан таъминлашга мўлжалланган. Агрегатнинг (4) ёнилғи цистернасига (1) компрессор орқали ҳаво босими берилади. Дизель ёнилғи (2) шланг орқали трактор ёки комбайннинг (3) ёнилғи бакига қуйилади. Гидравлик босим машина ва механизмларнинг айрим бўлакларини ҳаракатга келтиради. Юк ортиш машиналари, комбайн ва тракторларнинг иш бажарувчи қўзғалувчан қисмлари (ўриш мосламалари, плуг ва бошқалар), автомобиль тормозлари гидравлик механизмлар ёрдамида бошқарилади (111-рasm). Гидравлик механизмлар насос ва суюқликни узатувчи найлардан иборат. Оёқни педалга босиш натижасида марказий цилиндрда (М. Ц.) юқори босим ҳосил қилинади. Гидростатик босим найлар орқали филдиракларнинг тормозловчи цилиндрларига (Т. Ц.) узатилади. Суюқлик тормозловчи цилиндр ичидаги поршенларни икки томонга суриб,



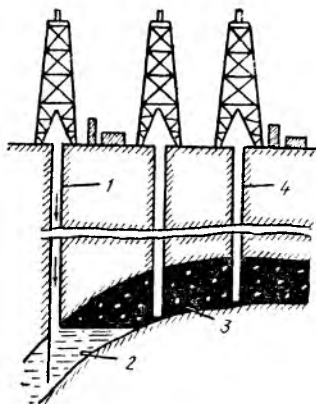
111-рasm.

Суюқлик ва газларда босимнинг барча йўналишларда қирхилда узатилиш қонуни ишлаб чиқаришнинг деярли ҳар бир соҳаларида қўлланилади. Далаларда пахта териш машиналарига, комбайн ҳамда тракторларга ёнилғи қуйишда ёнилғи билан таъминландиган механизациялашган

тормоз колодкаларини ба рабанга кисади ва филдираклар тормозланади.

Ўт ўчириш машиналари, кўчаларга сув сепувчи машиналар, қишлоқ хўжалик зараркунандаларига қарши қўлланувчи оддий механик пуркагичларнинг ишлаш жараёнида ҳам суюқлик ва газларда босимнинг барча йўналишларида текис тақсимот қонуни ётади.

Ер ости сувлари айрим жойларда нефть қатламларига катта ( $p > 150$  атм) босим кўрсатади, яъни юқсридаги мисоллардаги агрегат компрессори вазифасини ўтайди. Қавланган қувурлардан нефть фонтан бўлиб отилади. Вақт ўтиши билан қатламларда босим пасаяди ва нефтнинг чиқиши камаяди. Жараёни тиклаш учун нефть қатламлари атрофидан, қатламлар босимини орттирувчи, қўшимча (1) гидростатик қувур қавланади (112-расм). Гидростатик қувурга насослар ёрдамида (2) сув юборилади. Сувнинг юқори босими (3) нефть қатламига узатилади ва ўчиб қолган манбалардан (4) қувур орқали яна нефть отилиб чиқади.



112-расм.

Ердаги ҳамма жисмларда бўлганидек, суюқлик ва газларга ҳам оғирлик кучи таъсир қилади. Суюқликлар ва газларнинг оғирликлари туфайли уларнинг ҳосил қиладиган босимлари

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho S h g}{S} = \rho g h \quad (28.3)$$

ифодадан аниқланади, бу ерда  $\rho$  — зичлик,  $h$  — суюқлик ёки газ устувиининг баландлиги.

Босим тушунчаси қишлоқ хўжалиги, техника, қурилиш соҳаларида ҳам муҳим аҳамият касб этади. Жумладан, бирор иморатни қуришни бошлашдан аввал у ернинг тупроғи ва унинг бардош бериши мумкин бўлган босим катталиги аниқланади, пойдевор кенглиги ҳамда иморат баландлиги ҳисобланади. Қумлоқ тупроқли ерда ғишдан  $p = 1,8 \cdot 10^5$  Па босимга чидаш бера оладиган иморат қуриш керак бўлсин. У ҳолда унинг баландлиги (28.3) ифодага кўра

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{1,8 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2}{1800 \text{ кг/м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг}} = 10 \text{ м}$$

бўлиши керак, бунда  $\rho = 1800$  кг/м<sup>3</sup> ғиш зичлиги деб олинди.

Демак, қумлоқ тупроқли ерда пойдевор юзи девор юзига тенг бўлганда 10 м баландликдаги иморат қуриш мумкин экан. Агар пойдевор юзини девор юзидан икки марта катта қилиб қурилса, ўша ерининг ўзидан ундан икки баравар баланд ( $h=20$  м) бўлган иморат қуриш мумкин бўлади.

Сууюқлик устуни баландлигининг босими  $p=\rho gh$  фақат сууюқлик табиатига ( $\rho$ ) ва сууюқлик устуни баландлиги  $h$  га боғлиқ бўлиб, сууюқлик қуйилган идишнинг шаклига боғлиқ бўлмайди. Асос юзлари бир хил бўлган турли шаклдаги идишларда идиш тубига нормал йўналишда таъсир этадиган босим кучи ҳар доим бир хил бўлади. Бу куч сон жиҳатдан баландлиги идиш баландлигига, асоси идиш юзига тенг бўлган цилиндрдаги сууюқликнинг оғирлигига тенг бўлади. Бу ҳол *гидростатик парадокс* дейилади. Гидростатик парадокс мувозанатда турган сууюқликнинг идиш деворлари сиртига ҳар доим перпендикуляр йўналишда таъсир этиши билан тушунтирилади.

## 29- §. Туташ идишлар қонуни ва уннинг амалда қўлланиши

Пастки қисмлари ўзаро уланган икки ва ундан ортиқ идишлар системаси *туташ идишлар* дейилади. Лабораторияларда кўп қўлланиладиган  $U$  симон найлар энг содда туташ идишлар ҳисобланади. Оқувчанлик туйфайли идишларни туташтирувчи найлардан сууюқлик бирдан иккинчисига ўтади. Бу ўтиш идишларнинг пастки юзларидаги босимлар тенглашгунга қадар давом этади. Туташ идишлар ичидаги бир хил сатҳлардаги босим идишлар шаклига боғлиқ бўлмайди. Туташ идишлар қонунини қуйидагича таърифлаш мумкин.

Мувозанат ҳолатда, бир жинсли сууюқликнинг эркин сирти туташ идишларнинг барчасида, уларнинг шаклидан қатъи назар, бир хил баландликда бўлади.

Табиатда тоғли ўлкаларда кўп учрайдиган сув булоқларини ҳам туташ идишларга ўхшатиш мумкин. Чунки ҳар қандай очиқ булоқлар ёпиқ булоқлар билан Ер ости найлари орқали туташади; очиқ булоқлардаги сув сатҳи уларни таъминловчи ер ости сув ҳавзаларидаги сув сатҳи билан бир хил бўлади.

Иккита шиша найларни резина найча билан туташтирсак, туташ идиш ҳосил бўлади (113-расм). Идишлардаги сув сатҳлари бир хил баландликда жойлашади.

Сувларнинг сатҳини ингичка ил билан туташтирсак, ил горизонтал чизиқни кўрсатади. Бундай оддий туташ идишдан қурилмиш, геодезия ва бошқа амалий масалаларда горизонтал ҳолатни аниқлашда фойдаланиш мумкин.

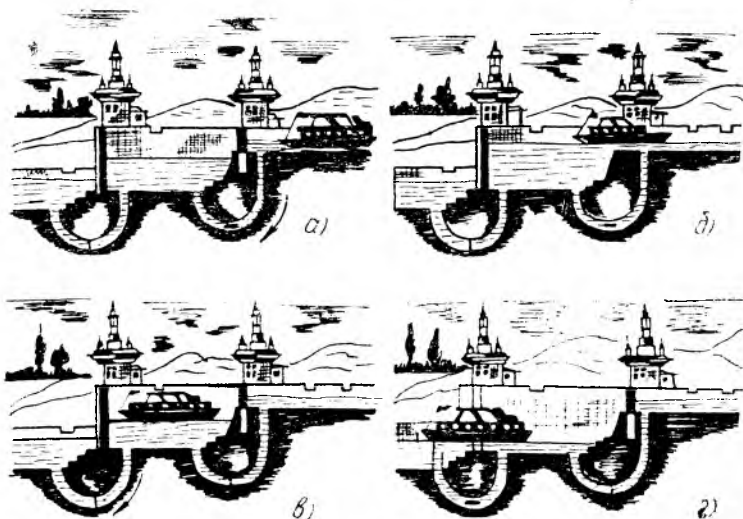
Шунингдек, катта ҳажмли сув идишига уланган резина шлангни эгиб, очиқ учини юқорига қаратиб, тутиб турсак ҳам туташ идиш ҳосил бўлади. Шлангнинг очиқ учи идишдаги сув сатҳидан юқорида бўлган ҳолда ундан сув чиқмайди; туташ идишлар қонуни билан таниш бўлмаган киши сув йўқ экан деб ўйлаши мумкин.

Шлангнинг очиқ учи идишдаги сув сатҳидан пастда бўлса, сув фонтан бўлиб отилиб, идишдаги суюқлик сатҳи қадар баландликка кўтарилади. Туташ идишлар ҳосил бўлиши учун иккита алоҳида идишларни махсус улаб ўтириш шарт эмас, албатта. Ҳар бир хонадонда ишлатиладиган оддий сув шлангини эгиб, икки учини юқорига кўтарилса ҳам туташ идиш ҳосил бўлади.

Туташ идишларнинг техникада қўлланишини шлюзлар мисолида кўриш мумкин (114-расм). Кемалар қатнайдиغان катта дарёларда сув электр станциялари ва турли тўғонлар учрайди. Бу ерлардан кемаларни ўтказиш учун шлюзлар қурилади. Шлюз дарё ёнидан ўтказилган каналдаги камералардан иборат. Камералар бир-бирларидан мустаҳкам темир дарвозалар билан ажратилган бўлиб, пастки томондан ўзаро кенг диаметрли қувурлар билан туташтирилган. Масалан, кема оқим йўналишида келаётган бўлсин. Кема шлюзнинг биринчи камерасига кирганда камеранинг чиқиш дарвозаси ёпиқ туради (114-а расм). Камераларни туташтирувчи қувур тўсиги, очилиб, иккинчи камерадаги сув сатҳи кўтарила боради; сув сатҳи биринчи камерадаги сув сатҳига тенглашгандан сўнг биринчи камеранинг чиқиш дарвозаси очилиб, кема иккинчи камерага ўтади (114-б расм). Иккинчи камеранинг чиқиш дарвозаси ёпиқ туради ва навбатдаги ту-



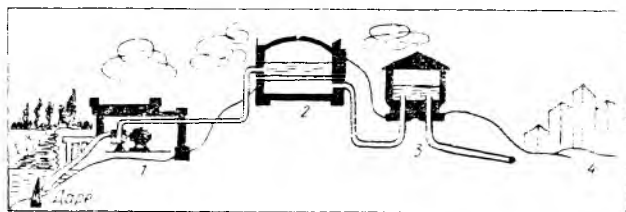
113-расм.



114- расм.

таштирувчи пастки қувур очилиб, иккинчи камерадаги сув сатҳи пасая боради (114- в расм). Иккинчи камердаги сув сатҳи дарёнинг пастки қисмидаги сув сатҳи билан тенглашганда иккинчи камеранинг чиқиш дарвозаси очилиб, кема дарёга чиқади (114- г расм).

Водопровод ҳам туташ идишлар кетма-кетлигидан иборат (115- расм). Дарё суви (1) насослар ёрдамида (2) фильтрлаш хонасига ўтказилади. Фильтрлаш хонасида лойқа ва микроблардан тозаланган сув (3) юқори босим минорасига узатилади. Одатда юқори босим минораси шаҳар ёки қишлоқнинг энг баланд жойига қурилади ва у шу атрофдаги энг баланд бинолардан ҳам

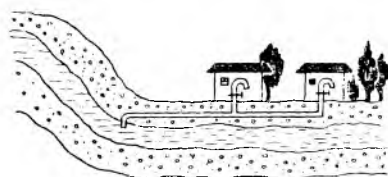


115- расм.



юқорида туради. Сув миңораси Ер ости қувурлари орқали (4) фабрика ва заводлар, уйлар, ҳаммомлар, фермалар ва бошқалар билан уланади. Истеъмолчига стиб борган сув босими туташ идишлар қонунига бўйсунди ва истеъмолчи билан босим миңорасидаги сув сатҳлари фарқи  $\Delta p = \rho g(H-h)$  билан белгиланади. Истеъмолчи нисбатан қанчалик пастда жойлашган бўлса, сув шунчалик юқори босим остида стиб боради. Шаҳарнинг баланд жойларидаги хонадонлардаги сув жўмрақларида босим нисбатан паст бўлади. Шу сабабли кўп қаватли уйларнинг юқори қаватларида сув босими нисбатан паст бўлади.

Атрофи баландликлар билан ўралган водийларда жойлашган айрим ноҳияларда артезиан қудуқларидан фойдаланилади (116-расм). Ҳеч қандай насос станцияси ёки босим миңораси бўлмаган ҳолда сув ердан фонтан бўлиб отилиб чиқади. Катта босимли сув оқими артезиан қудуғи қувурлари орқали истеъмолчига ўз-ўзидан оқиб боради. Бунда истеъмолчига ўтказилган қувурлардаги сув сатҳи ер ости сувларининг юқори сатҳидан пастда бўлади.



116- расм.

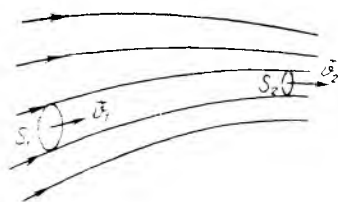
Пароходлар, паровозлар буғ қозонлари ва уй-жойларни марказий иситиш хонаси буғ қозонлари одатда сув сатҳини кузатиш учун мўлжалланган шиша найчалар билан жиҳозланган бўлади. Туташ идишлар қонунига кўра, буғ қозон ичидаги сув сатҳи билан кузатиш найчасидаги сув сатҳи бир хил бўлади ва ўтёқар буғ қозонини очмаган ҳолда ундаги сув сатҳини кузатиб боради.

### 30- §. Суюқликлар ҳаракати. Узлуксиз тенгламаси

Умумий ҳолда реал суюқликлар ҳаракатини ўрганиш анча қийин масала. Суюқлик ҳаракати қаттиқ жисм ҳаракатига нисбатан мураккаб ҳаракат бўлиб, унинг айрим бўлақларини ҳам бир-бирларига нисбатан силжишларини ҳисобга олиш зарур бўлади. Натижада эса суюқлик молекулалари аралашиб кетади. Бу жараён

унинг қовушоқлиги ва сиқилувчанлигига боғлиқ бўлиб, турли суюқликлар учун турлича кечади ва берилган суюқлик учун эса унинг физик ва термодинамик параметрларига боғлиқ бўлади. Шунинг учун соддалаштирилган «идеал суюқлик» тушунчасини киритамиз ва унинг ҳаракатини ўрганамиз. *Идеал суюқлик* деб, ички ишқаланишга эга бўлмаган ва бутунлай оқизилмайдиган суюқликка айтилади.

Суюқликлар ҳаракати ҳақида гапирилганда уларнинг оқиши назарда тутилади. Оқаётган суюқлик кесим юзининг ҳар бир нуқтасида вақт ўтиши билан бир зарранинг ўрнини навбатдагиси эгаллайди. Суюқликнинг кесим юзидан ўтаётган барча зарралар тўплами



117- расм.

оқим дейилади. Чизмада суюқликнинг ҳаракатини оқим чизиқлари орқали тасвирланади (117- расм). Оқим чизиқлари шундай ўтказиладки, уларнинг зичликлари, яъни бирлик юзга тўғри келган чизиқлар сони, шу нуқтадаги тезлик қийматини ифодаласа, бу чизиқларнинг ҳар бир нуқтасида ўтказилган уринма вектор йўналиши эса шу нуқтадаги тезлик вектори йўналишини кўрсатади. Шундай қилиб, оқим чизиқларининг тасвирига қараб, фазонинг ҳар бир нуқтасида оқаётган суюқлик тезлигининг йўналиши ва қиймати ҳақида тасаввурга эга бўламиз.

Оқим чизиқлари билан чегараланган суюқлик бўлаклари *оқим найчалари* дейилади (117- расмга қаранг). Суюқликнинг оқим чизиқлари ва улар орқали ифодаланган тезликлар майдони вақт ўтиши билан ўзгармас бўлган ҳаракати *стационар ҳаракат ёки барқарор ҳаракат* дейилади. Стационар ҳаракатда тезлик вақт ўтиши билан ҳар бир нуқтада ўзгармас бўлиб, фақат нуқтадан нуқтага ўтганда ўзгаради. Стационар ҳаракатда оқим чизиқлари суюқлик зарраларининг траекторияларини ифодалайди. *Траектория* суюқликдаги битта зарранинг бутун ҳаракат вақтидаги йўлини кўрсатади.

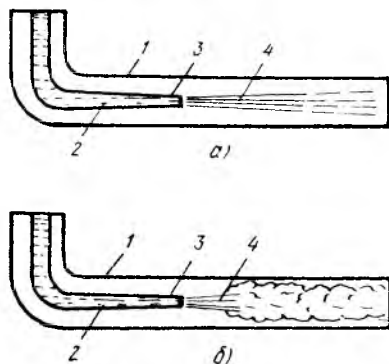
Оқим чизиқлари бир-бирлари билан ҳеч қачон кесилмайди ва ҳар бир нуқтада узилишга эга эмас (идеал

суюқлик). Оқим чизиқлари билан чегараланган оқим найлари ҳам бир-бирлари билан кесишмайди ва оқим найларидаги суюқлик қўшни оқим найларидаги суюқликка аралашмайди. Суюқликнинг бундай алоҳида оқим найлари бўйлаб, яъни алоҳида қатламлар бўйича оқиши қатламли оқим ёки ламинар оқим дейилади. Оқимнинг ҳар бир кесим юзларидаги тезликлари вақт ўтиши билан ўзгармас бўлган қатламли оқими эса *стационар ламинар оқим* дейилади (ламинус — грекча, қатлам демакдир).

Реал суюқликнинг ламинар оқимини қуйидаги тажрибада кузатиш мумкин (118-расм). Сувни (1) шиша найдан горизонтал йўналишда оқизайлик. Шиша найнинг ичига (2) сиёҳ қуйилган (3) ички найчани жойлаштирамиз. Сув оқимининг ўрта қисмида рангга бўялган (4) сиёҳли сув қатлами ҳосил бўлади. Агар сувнинг оқим тезлиги кичик бўлса, суюқликнинг алоҳида-алоҳида рангли ва рангсиз қатламларидан иборат бўлган ламинар оқим ҳосил бўлади (118-а расм). Худди идеал суюқлик каби, оқим чизиқлари ва оқим найлари бир-бирлари билан кесишмайди. Демак, тезлиги кичик бўлган реал суюқлик ҳаракатини идеал суюқлик ҳаракатига ўхшатиш мумкин.

Агар сувнинг тезлигини оширсак, ҳодиса мураккаб-лашади. Дастлаб, рангли қатламнинг жимирлаши, бора-бора тезлик ортиши билан рангсиз қатламлар билан бутунлай аралашиб кетишини кузатамиз. Натижада, тартибсиз, уюрмавий суюқлик оқими ҳосил бўлади. Бундай оқим *турбулент оқим* дейилади (118-б расм).

Диаметри ўзгарувчан най бўйлаб идеал суюқлик ҳаракатини кўрайлик (117-расмга қаранг). Ишқаланиш бўлмаганда ихтиёрий кесим юзидаги барча нуқталар тезликлари бир хил бўлиб,  $S_1$  юзидан  $dt$  вақтда оқиб ўтувчи суюқлик миқдори:



118- расм.

$$dm = \rho_1 S_1 v_1 dt$$

га тенг, бунда  $\rho$  — суюқлик зичлиги,  $S_1$  — найнинг кўндаланг кесим юзи. Шу вақт ичида  $S_2$  юздан оқиб ўтувчи суюқлик миқдорини  $S_2$  ва  $v_2$  орқали қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$dm = \rho_2 S_2 v_2 dt,$$

бунда  $v_2$  — тезлик,  $S_2$  — юздан ўтувчи суюқликнинг оқим тезлиги. Стационарлик шarti бажарилиши учун суюқликнинг ихтиёрий кесим юзларидан бир хил вақтларда бир хил миқдорда суюқлик оқиб ўтиши керак:

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2. \quad (30.1)$$

Идеал, сиқилмайдиган суюқлик зичлиги найнинг ҳар қандай қисмларидан ўтганда ҳам ўзгармайди, яъни  $\rho_1 = \rho_2$ . У ҳолда идеал суюқлик стационар оқими учун

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{const} \quad (30.2)$$

тенглама ҳосил бўлади.

Суюқликнинг стационар оқимида массанинг сақланиш қонуни бажарилади ва найнинг ихтиёрий кесим юздан бирлик вақт ичида бир хил суюқлик миқдори оқиб ўтиб, узлуксиз оқим ҳосил бўлади. Шу сабабли (30.2) тенглама *узлуксизлик тенгламаси* дейилади: суюқликнинг стационар ҳаракатида ихтиёрий кесим юздан ўтаётган суюқлик оқимининг тезлиги кесим юзига тескари пропорционалдир. Бошқача айтганда, идеал суюқликда оқим тезлигининг оқим найи кўндаланг кесим юзига кўпайтмаси ўзгармас катталиқдир. Узлуксизлик тенгламасидан қуйидаги хулосага келамиз. Кесим юзлари ўзгарувчан бўлган найларда суюқлик тезланишли ҳаракатда бўлади, найнинг кенг қисмидан тор қисмига ўтганда тезлик ортади ва аксинча. Суюқликка тезланиш берувчи сабаб оқим йўналишидаги босим ўзгаришидир: тезликнинг кичик қийматларига босимнинг катта қийматлари ва тезликнинг катта қийматларига босимнинг кичик қийматлари тўғри келади.

Сув оқими тезлигининг кўндаланг кесим юзига кўпайтмаси

$$M = vS \quad (30.3)$$

мазмунан 1 секунддаги сув сарфини ифодалайди. Найнинг барча кесимларида сув сарфи бир хил бўлса, оқим узлуксиз сақланади ва шунинг учун (30.3) ифода ҳам *узлуксизлик тенгламаси* дейилади.

### 31- §. Бернулли тенгламаси ва унинг қўлланиши

Кўндаланг кесим юзи ўзгарувчан найдан оқаётган рангли суюқлик ҳаракатини кузатайлик. Кесим юзининг тор соҳасида суюқлик тез оқиб ўтади, бу ерда босим кичик бўлади. Аксинча, найнинг кенг соҳасида оқим тезлиги кичик, босим эса катта бўлишини кўрамиз. Найнинг йўғон ва ингичка қисмлари орасидаги босим фарқи суюқликка тезланиш беради.

Суюқлик ва газлар ҳаракатида босим градиенти ҳосил бўлса, юқори босимдан паст босим томонга йўналган куч таъсир этади. Масалан, икки қоғоз варағини яқин қўйиб, улар орасида кучли ҳаво оқими ҳосил қилсак қоғозларнинг бир-бирига тортилишини кузатамиз. Кўпинча параллел келаётган кемалар бир-бирларига яқин юрганда бирданига бошқариш қийин бўлиб, қандайдир куч таъсирида бир-бирларига урилиб кетиш ҳолатлари кузатилади. Кемалар орасидаги тор соҳада суюқлик оқим тезлигининг нисбатан ортиши босимнинг пасайишига олиб келади, натижада кемаларни бир-бирларига яқинлаштирувчи куч ҳосил бўлади.

Суюқликларнинг бундай динамик хоссаларини Швейцариялик математик ва физик Бернулли ўрганган. Бернулли кесим юзи ўзгарувчан найдан оқаётган суюқликнинг ҳаракати тенгламасини яратди:

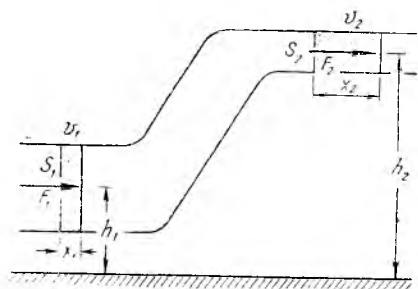
$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 = \text{const.} \quad (31.1)$$

Бутун най бўйлаб 1 ва 2 ҳолатлар ихтиёрий бўлганлиги учун найнинг ихтиёрий нуқтасида

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{const} \quad (31.2)$$

дейиш мумкин.

Бернулли тенгламасидаги ҳар бир ҳад бир бирлик суюқлик ҳажми учун бир хил энергия турларини ифодалайди. Масалан,  $p$  — босим бўлса,  $\frac{\rho v^2}{2}$  — оқаётган суюқлик кинетик энергияси,  $\rho gh$  — суюқлик потенциал энергияси. Бернулли тенгламаси мазмунан суюқлик оқими учун энергиянинг сақланиш қонунини ифодалайди. Ҳақиқатан ҳам, кесим юзи ўзгарувчан найдан оқаётган суюқлик оқимини



119- расм.

ҳосил қилиш учун бирор  $A$  иш бажариш зарур. Бу иш унинг кинетик ва потенциал энергиясини ўзгартиради:

$$A = \Delta E_k + \Delta E_p. \quad (31.3)$$

Биринчи ҳолатда суюқликка (119-расм)  $F_1$  куч таъсир этиб, уни  $v_1$  тезлик билан  $x_1$  масофага силжитади ва  $A_1 = F_1 x_1 = \rho_1 S_1 x_1$  иш бажаради.

Идеал суюқлик сиқилмайдиган бўлгани учун бу силжини иккинчи ҳолатдаги худди шундай ҳажмдаги суюқликнинг  $v_2$  тезлик билан  $F_2$  куч таъсирида  $x_2$  масофага силжишига сабаб бўлади; бунда бажарилган иш  $A_2 = F_2 x_2 = \rho_2 S_2 x_2$  га тенг. Суюқлик кўчишида бажарилган натижавий иш

$$A = F_1 x_1 - F_2 x_2 = \rho_1 S_1 x_1 - \rho_2 S_2 x_2 = (\rho_1 - \rho_2) V, \quad (31.4)$$

бунда

$$V = V_1 = S_1 x_1 = V_2 = S_2 x_2.$$

У ҳолда биринчи ва иккинчи ҳолатлар орасида потенциал ва кинетик энергиялар ўзгаришлари қуйидагига тенг бўлади:

$$\Delta E_p = \Delta(mgh) = mg \Delta h - \rho Vg(h_2 - h_1)$$

$$\Delta E_k = \Delta\left(\frac{1}{2}mv^2\right) = \frac{1}{2}m \Delta v^2 = \frac{1}{2}\rho V(v_2^2 - v_1^2), \quad (31.5)$$

(31.4) ва (31.5) ни (31.3) га қўйсақ,

$$\rho_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = \rho_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (31.6)$$

тенглама ҳосил бўлади. Бу Бернулли тенгласининг ўзгичмаси. Стационар ҳаракатдаги суюқликда унинг бирлик ҳажмининг кинетик  $\left(\frac{\rho v^2}{2}\right)$ , потенциал  $(\rho gh)$  ва босим  $(\rho)$  таъсиридаги энергиялар йиғиндиси ўзгармас сақланади. Оқаётган суюқлик энергияси бордан йўқ бўлмайди, йўқдан бор бўлмайди, энергия бир турдан бошқа турга ўтади; оқим тезлигининг ортиши унда босимнинг камайишига олиб келади. Қесим юзи ўзгарувчан пайда босим ўзгаришини ўлчаш натижасида суюқлик тезлигини аниқлаш мумкин.

Энди Бернулли тенгламасининг айрим татбиқларини кўриб чиқайлик. Сууюқлик кесими ўзгарувчан бўлган горизонтал найдан оқиб ўтганда  $h_1 = h_2$  бўлади ва Бернулли тенгламаси қуйидаги кўринишга келади:

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2. \quad (31.7)$$

Найнинг тор қисмида  $S_2 < S_1$  ва  $v_2 > v_1$ . У ҳолда (31.7) га асосан  $p_2 < p_1$  бўлади. Сууюқлик сатҳларининг айирмаси  $d = h_1 - h_2$  босим айирмасини аниқлайди:

$$p_1 - p_2 = \rho g d. \quad (31.8)$$

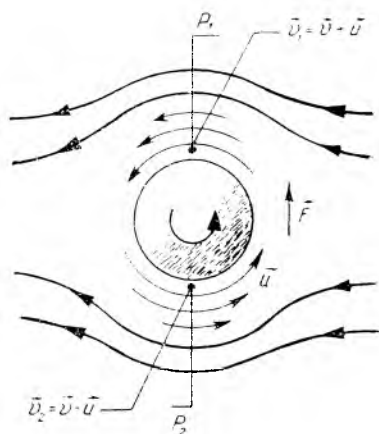
Узлуксизлик тенгламасини ҳисобга олсак, (31.7) ва (31.8) дан қуйидаги ифодага келамиз:

$$d = \frac{v_1^2}{2g} \left( \frac{S_1^2}{S_2^2} - 1 \right), \quad (31.9)$$

$d$  — идеал сууюқлик табиатига боғлиқ эмас.

Сууюқлик ва газлар стационар оқимининг ихтиёрий кесимларида тезлик ўзгаришининг босим ўзгариши билан боғлиқлигини қуйидаги ҳодисаларда кўриш мумкин. Самолёт қанотининг пастидан ва юқорисидан ўтувчи ҳаво оқим чизиқлари турлича эгилишга эга (78-расмга қаранг). Юқоридан ўтган оқим чизиғи кўпроқ йўл юради ва демак, пастки оқимга нисбатан тезлиги катта, яъни  $v_1 > v_2$ . (31.7) тенгликка асосан  $p_2 > p_1$  бўлади. Қанот остидаги босим устидаги босимдан катта бўлса, юқорига йўналган куч, яъни кўтариш кучи ҳосил бўлади.

Магнус эффектини ҳам Бернулли тенгламаси асосида тушунтириш мумкин. Фақат бунда ишқаланишни ҳисобга олиш зарур бўлади. Магнус эффекти сууюқлик ёки газларда ҳаракатланувчи цилиндрик жисм ўз ўқи атрофида айланганда оқимга кўндаланг йўналишда куч



120- расм.

ҳосил бўлиши ва жисмнинг дастлабки йўналишидан огиши билан боғлиқ ҳодиса эди.

120-расмда ҳавода чапдан ўнгга  $v$  тезлик билан ҳаракатланувчи тўп берилган. Агар тўпга ўз ўқи атрофида қўшимча айланма ҳаракат берилса, у горизонтал йўналишдан бурилиб юқорига ёки пастга ўтади. Тўп айланганлиги учун унга атрофидаги ҳаво қатлами эргашади ва бирор  $u$  айланма ҳаракат тезлигига эришади. Тўпнинг юқорисида оқим тезлиги  $v$  билан айланувчи ҳаво қатлами тезлиги  $u$  бир хил йўналишда бўлиб, натижавий тезлик қиймати  $v_1 = v + u$  га тенг. Тўпнинг пастки қисмида эса тезликлар қарама-қарши йўналган ва  $v_2 = v - u$  га тенг. Демак,  $v_1 > v_2$  га (31.7) тенгликка асосан  $p_2 > p_1$ , яъни пастдан юқорига томон йўналган  $F$  куч ҳосил бўлади. Бу куч тўпни дастлабки йўналишига нисбатан чапга буради. Тўпнинг айланиш йўналиши тескарига ўзгарса,  $F$  куч юқоридан пастга томон йўналган бўлади ва тўпни ўнгга буради. Айрим футболчилар бурчакдан тўп тепишда тўпга жуда усталлик билан, бир оз қия йўналишда тепки кучи бера оладилар. Натижада, дарвоза томон йўналтирилган тўп ўзининг «илгариланма» ҳаракатида ўз ўқи атрофида ҳам айланиб боради. Юқоридаги мисолдаги каби тўп ўзининг ҳаракат йўналишини ўзгартириб, баъзан дарвозабонни доғда қолдиради.

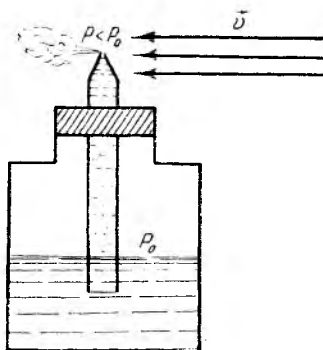
Қадим замонларда ботқоқликларни қуритиш учун уларни канал орқали яқин атрофдан ўтувчи дарё билан туташтирганлар. Бу Бернулли қонунидан фойдаланишнинг ўзгинасидир. Чунки дарё билан ботқоқлик орасидаги оқим тезлиги фарқига мос босим фарқи ҳосил бўлади ва оқувчан сув ботқоқликнинг турғун сувини сўриб олади: оқим тезлиги унчалик катта бўлмаганда  $(v \sim 1 \frac{m}{c})$  ҳам босим фарқи сезиларли ( $\sim 0,5 \cdot 10^3$  Па) бўлади.

Ҳисоблашлар кўрсатадики, оқим тезлиги атиги 1 м/с бўлганда дарё четида турган одамга таъсир этувчи ва уни дарёнинг тез оқувчан соҳаси томон судровчи куч  $0,3 \times 10^3$  Н ёки 30 кГ га тенг бўлади. Шунинг учун тез оқувчи дарёларда, ҳаттоки унинг қирғоғига яқин жойда чўмилиш ҳам хавфлидир.

Бернулли қонуни фақат суюқликлар учун эмас, газлар учун ҳам ўринли: ҳаммамизга маълум бўлган пуркагич ҳаводаги босимнинг тезликка боғлиқ ўзгаришига асосланган. Пастки учи суюқликка ботирилган шиша



найчанинг юқори учига ҳаво оқимини яқинлаштираётган (пуфлагич) шиша найчада суюқлик кўтарилади ва оқимга эргашиб сочилади (121- расм). Пуркагичнинг ишлаш принципи шунинг ўзгинасидир.



121- расм.

Соатига 200 км тезлик билан ўтаётган ЭР-200 экспресс поезднинг ҳаво оқимида босим  $2 \cdot 10^3 \text{ Па}$  (0,02 атм) га камаяди. Тезликка боғлиқ бу босимнинг ўзгариши йўл ёқасида турган одамга  $10^3 \text{ Н}$  ёки 100 кГ кучнинг таъсири билан тенг кучли. Бу куч йўл ёқасидан йўл ўртаси томон йўналган. Шунинг учун тезюрар поезддан иложи борича узоқда турган маъқул.

## II қисм. МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

---

### VII. 6 о б. ИДЕАЛ ГАЗНИНГ МОЛЕКУЛЯР-КИНЕТИК НАЗАРИЯСИ

#### 32- §. Модда тузилиши ва уни ўрганиш усуллари

Табиятдаги жисмлар бир-бирларидан фақат ўлчамлари ва массалари билангина эмас, балки бошқа бир қатор хоссалари жиҳатидан ҳам фарқ қилади. Жисмларнинг бу хоссалари уларнинг қандай тузилганлигига боғлиқ бўлади. Шунинг учун модданинг тузилиши ҳақидаги масала физиканинг асосий мавзуларидан бирини ташкил этади.

Модданинг майда зарралардан ташкил топганлиги ҳақидаги маълумот бизнинг эраимизда олдинги эрада яшаган қадимги грек олими Демокрит томонидан кўрсатиб ўтилган. Барча моддалар майда зарралар — молекулалардан ташкил топганлиги ҳақидаги тасаввур XVII асрда рус олими М. В. Ломоносов томонидан ривожлантирилган бўлса, XIX асрнинг ўрталарига келиб немис олими Р. Клаузиус, австрия физиги Л. Больцман, инглиз олимлари Ж. Максвелл ва Д. Дальтонлар томонидан мустаҳкамланди. Уларнинг таъкидлашча, ҳар қандай модданинг зарралари орасида ўзаро тортишиш потенциал энергияси ва иссиқлик ҳаракатининг кинетик энергияси мавжуддир. Агар зарралар орасидаги ўзаро тортишиш потенциал энергияларининг йиғиндисидан катта бўлса, у ҳолда модда қаттиқ агрегат ҳолатида бўлади, акс ҳолда газ ҳолатида бўлади. Бу энергиялар бир-бирига яқин бўлган ҳолда модда суюқ агрегат ҳолатида бўлади. Шунинг учун ҳам қаттиқ ҳолатдаги моддани эритиш ёки суюқликни газга айлантириш учун ташқаридан қўшимча энергия бериш керак, яъни зарраларнинг кинетик энергиясини сунъий йўл билан орттириш керак.

Қаттиқ жисм молекулалари орасидаги тутиниш кучлари етарлича катта бўлганлиги учун у муайян ҳажмга ва муайян шаклга эга. Қаттиқ жисмнинг чўзилишига

унинг молекулалари орасидаги тортишиш кучлари, сиқи-лишига эса итаришиш кучлари тўсқинлик қилади. Қаттиқ жисмни ташкил этган зарралар бир-биридан маълум масофада жойлашган бўлиб, мувозанат ҳолати атрофида тебранма ҳаракатда бўлади. Температура ортиши билан зарраларнинг тебраниши ортиб боради. Маълум температурада зарраларнинг тебраниш энергияси уларнинг боғланиши энергиясидан катта бўлиб қолади, яъни қаттиқ жисм эриб суюқликка айланади.

Суюқликларда молекулалар орасидаги ўзаро тортишиш кучлари қаттиқ жисмлардагига қараганда кичикроқ қийматга эга. Шунинг учун суюқлик муайян шаклга эга эмас; суюқликни қандай шаклдаги идишга солинса, шу идиш шаклини олади. Бундан ташқари суюқликлар оқувчанлик ва ёпишқоқлик хусусиятлари билан ҳам характерланади. Суюқлик молекулалари ҳар қандай шароитда узлуксиз равишда суюқ ҳолатдан газ ҳолатга ўтиб туради.

Газ молекулалари бир-бири билан жуда заиф боғланган ва шунинг учун у ўзининг шаклига ҳам, ҳажмига ҳам эга эмас; ҳажм ҳар қанча катта бўлса ҳам солинган газ бутун ҳажмни эгаллайди. Бунга сабаб газ молекулаларининг ҳар донм тартибсиз хаотик ҳаракатда бўлишидир. Масалан, ҳаво молекулаларининг хона температурасидаги нисқлик тезлиги 500 м/с га, бир секундда битта молекуланинг бошқа молекулалар билан тўқнашишлари сонини 5 миллиардга, ўтадиган йўл катталиги бор-йўғи  $10^{-7}$  м га тенглиги аниқланган. Бундан ташқари модданинг бирлик ҳажмидаги молекулалар сонини ҳаддан ташқари кўпдир. Масалан, нормал шароитда бир куб сантиметрдаги ҳавода  $3 \cdot 10^{19}$  донга молекула бор. Бу шунча катта миқдорки, агар бу молекулаларни ёнма-ён жойлаштирсак, Ер шарини экваторидан 375 марта узунроқ ип ҳосил бўлган бўлар эди. Берилган ҳажмда ҳаво молекулаларининг зич жойлашмаганлигини назарда тутилса, уларнинг ниҳоятда кичик эканлигини тасаввур қилиш қийин эмас. Таққослаш учун шунини айтиш мумкинки, олма Ер шаридан қанча кичик бўлса, молекула ҳам олмадан шунча кичикдир. Дарҳақиқат, тажриба натижаларининг кўрсатишича молекуланинг радиуси тақрибан  $10^{-8}$  см га тенгдир.

*Молекула — модданинг барча химиявий хоссаларини ўзида сақлаб қолган энг кичик заррадир.* Масалан, сув молекуласи иккита водород атомидан ва битта кислород

атомидан иборат. Агар сув молекуласи парчаланса, водород ва кислород газлари ҳосил бўлади. Бу ҳосил бўлган зарралар водород ёки кислород атомлари деб юритилади.

1869 йили Д. И. Менделеев томонидан тузилган элементлар даврий системасида ҳозирги кунда 107 та элемент маълум, яъни табиатда шунча хил атом мавжуд. Бу атомлардан 88 таси табiiй ҳолда учраса, 19 таси синтeзий йўллaр билан ҳосил қилинган. Элементлар даврий системасини ташкил этган атомларнинг радиуслари деярли бир хил бўлиб, атомнинг табиати ва уни ўлчаш усулига қараб  $1 \cdot 10^{-10}$  м дан  $3 \cdot 10^{-10}$  м гача ўзгаради. Энг енгил элемент — водород атомининг массаси  $1,6 \times 10^{-24}$  г га тенг бўлса, энг оғир элементлардан бири — уран (238) атомининг массаси  $4 \cdot 10^{-22}$  г га тенгдир. Шундай қилиб, ҳар қандай модда жуда майда зарра — атом ва молекулалардан ташкил топган, бу зарралар доимо тартибсиз иссиқлик ҳаракатида ва улар орасида тортишиш ҳамда итаришиш кучлари мавжуд.

Моддаларда юз берувчи ҳодисаларни ўрганишнинг иккита — *статистик ва термодинамик* усули мавжуд. Статистик усул ҳар қандай модда яхлит бўлмасдан, балки узлуксиз ва бетартиб ҳаракат қилиб турувчи майда зарралардан иборатдир, деган таълимотга асосланган молекуляр-кинетик назарияга таянади. Бу усул молекуляр физика бўлимининг асосини ташкил қилади. Термодинамик усулда ўзаро мувозанатда бўлган системаларнинг хусусияти, бир мувозанат ҳолатидан иккинчи мувозанат ҳолатига ўтиш жараёни ўрганилади. Бу усулда моддани ўрганиш учун алоҳида зарралар ҳақида маълумотга эга бўлиш шарт эмас. Термодинамик усулнинг асосий мазмунини материя ҳаракатининг иссиқлик кўриниши қонуниятларини ва у билан боғлиқ бўлган физик ҳодисаларни ўрганишдан иборат. Ҳар бир усул ўрганилаётган ҳодисаларга турлича ёндашса-да, бири-бирини ўзаро тўлдиради.

### 33- §. Температура ва уни ўлчаш усуллари

Температура тўғрисидаги дастлабки тасаввурлар иссиқни ва совуқни сезиш ҳиссидан келиб чиққан. Температура жисмнинг исиганлик даражасини белгилайди. Температура механика бўлимида киритилган узунлик, масса, вақт каби тушунчалардан кейин киритилган тўр-

тинчи асосий катталиқдир. Моддаларда юз берувчи турли физикавий ва химиявий ҳодисалар температурага боғланган. Бу боғланишлардан ҳар бири температуранинг ўлчовчи қурилма — термопараларни ясашда асос қилиб олиниши мумкин.

Ҳар қандай макроскопик жисм ёки шундай жисмлар гуруҳи *термодинамик система* деб аталади. Температуранинг ўлчаш учун энг аввало бирорта термодинамик система танлаб олинади. Сўнгра унинг хоссаларидан бирортасини температурага қараб ўзгаришидан фойдаланилади. Масалан, танланган термодинамик системанинг ҳажми, босими, электр қаршилиги, нурланиши кабиларнинг температурага боғланишини асос қилиб олиш мумкин. Температура ортиши билан кўпчилик суюқликларнинг ҳажми чизиқли равишда кенгайиб боради. Ҳозирги кунда амалда ишлатилувчи симобли ёки рангли спиртли термометрларнинг ишлаши шу қонуниятга асосланган.

Температуранинг ўлчаш учун термометрларни даражалаш керак. Бунинг учун термометрнинг пастки учи эриётган музга солинади ва бу ҳолдаги симоб сатҳини 0 деб олинади. Сўнгра термометрнинг пастки учи нормал атмосфера босими остида қайнаётган сув бўғига туширилади. Симоб сатҳи кўтарилиб, бирор ўзгармас ҳолатга эришгунча кўтилади ва бу сатҳни 100 деб белгиланади. Сувнинг қайнаш ва музнинг эриш температуралари орасидаги масофа тенг 100 та бўлакка бўлиб чиқилади ва ҳар бир бўлакни бир даража деб қабул қилинади.

Баён этилган температура шкаласи XVIII асрнинг бошларида Швеция астрономи Андерс Цельсий томонидан киритилган. Бу шкала даставвал «юз даражали» шкала дейилган бўлса, кейинчалик расман Цельсий шкаласи деб ном олди. Цельсий шкаласида температура °C деб белгиланади. Симобли термометрлар биринчи мартаба немис физиги Фаренгейт томонидан яратилган бўлиб, унда музнинг эриш температураси 32 даража, сувнинг қайнаш температураси эса 212 даража деб олинган ва улар орасидаги шкала 180 та бўлакка бўлинган. Фойдаланишга ноқулай бўлишига қарамасдан Фаренгейт шкаласи ҳозирги кунда ҳам Америка Қўшма Штатларида қўлланилади.

Температуранинг ўлчашда қуйидагиларга амал қилиш керак:

1. Температуранинг ўлчашда юқори температурали жисм паст температурали жисмга энергия узатади. Шу-

нинг учун температуранинг ўлчашда иссиқлик мувозанатига эришиш зарур, яъни термометр температурасини ўлчаниши керак бўлган муҳитга киритилгач, температуралар мувозанатлашгунча куттиш керак. Масалан, медицинада ишлатувчи симобли термометрлар ёрдамида тана температурасининг ўлчашда тана ва термометр ўртасида иссиқлик мувозанати қарор топгунча 8—10 минут вақт ўтади.

2. Термометрнинг ўлчаниш температурасини ўлчаниши керак бўлган система ўлчамидан анча кичик бўлиши керак. Бу шарт бажарилмаса, термометрнинг киритилиши температурани ўзгартириб юбориши мумкин.

3. Эриётган музнинг температурасини  $0^{\circ}\text{C}$  га мос келувчи белгисини шкалада аниқлашда муз бўлаклари яхшилаб майдалаб сувга солиниши керак. Агар муз бўлаклари йирик бўлса, унинг сиртида температура  $0^{\circ}\text{C}$ , ҳажмида  $-10^{\circ}\text{C}$ , муз парчасидан бир оз масофада  $+5^{\circ}\text{C}$  да бўлиши мумкин. Муз  $0^{\circ}\text{C}$  да эриса-да, сув  $0^{\circ}\text{C}$  да музла-маслиги мумкин. Шундан  $0^{\circ}\text{C}$  нуқта сифатида сувнинг музлаш температурасини олимайди.

4. Сувнинг қайнаш температурасини атмосфера босими-га боғлиқ бўлиб, денгиз сатҳидаги нормал босимдагина  $100^{\circ}\text{C}$  га тенгдир. Баландлик ортиши билан босимнинг камайиши туфайли қайнаш температурасининг пасайиб бориши ҳисобга олиниши керак. Масалан, Помир тоғи чўққиларида сув  $75^{\circ}\text{C}$  температурада қайнайди.

Ҳар хил суюқликлар ҳажмининг температурага боғ-ланиши турлича бўлганлигидан бир хил шароитда бир суюқликка даражаланган шкала бошқа суюқликка тўғри келмаслиги мумкин ( $0$  ва  $100^{\circ}\text{C}$  нуқталар бундан мустас-но). Бу муаммони бартараф этиш учун термодинамик система сифатида сийраклаштирилган газ олинади. Таж-рибаларнинг кўрсатишича берилган  $T$  температурада сийрак газ босими  $p$  билан ҳажми  $V$  қўпайтмасининг молекулалар сони —  $N$  га нисбати ҳамма газлар учун бирдай қийматга эга бўлади:

$$\frac{pV}{N} = B. \quad (33.1)$$

Бу формуладаги  $B$  фақат температурага боғлиқ бў-либ, жоуль ёки эргларда ўлчанади. Энергетик бирлик-ларда ўлчанувчи  $B$  дан даражаларда ўлчанадиган  $T$  га қуйидагича ўтиш мумкин:

$$B = kT, \quad (33.2)$$

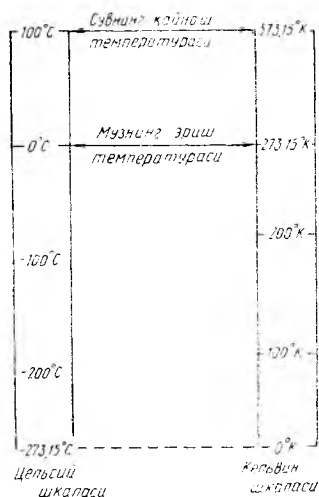
бунда  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ж}}{\text{К}}$  — Больцман коэффициенти бўлиб, молекуляр-кинетик назариянинг энг муҳим доимийларидан биридир.

Газ термометри ёрдамида аниқланадиган шкала *температуранинг термодинамик шкаласи* деб аталади. Амалда бу шкала кам ишлатилади. Бу шкаладан, асосан, термометрларни даражалашда фойдаланилади. Баён қилинган шкала инглиз олими Кельвин томонидан қиртилган бўлиб, одатда *абсолют температура шкаласи* ёки *Кельвин шкаласи* дейилади. Бу шкалада температура бирлиги кельвин (К) деб юритилади. Абсолют температура манфий бўла олмайди, унинг энг кичик қиймати  $T=0$  қийматидир. Температуранинг бу чегаравий қиймати унинг *абсолют нули* деб аталади. Кельвин шкаласининг ҳар бир бирлиги Цельсий шкаласининг даражасига мос келади. Фарқи шундан иборатки, абсолют  $T$  температуранинг ҳар қандай қиймати Цельсий шкаласидаги мос  $t$  температурадан 273,15 даража юқори бўлади, яъни

$$T = t + 273,15 \quad (33.3)$$

Масалан, нормал босим остида сувнинг қайнаш температураси Цельсий шкаласи бўйича  $100^\circ\text{C}$  бўлса, Кельвин шкаласи бўйича 373,15 К бўлади, яъни  $100^\circ\text{C} = 373,15 \text{ К}$  (122-расм).

Сувоқлик ҳажмининг температурага боғланишига асосланган термометрлар сувоқликнинг қотиш ва қайнаш температуралари орасидагина ишлаши мумкин. Масалан, симобли термометрлар  $-38^\circ\text{C}$  дан  $260^\circ\text{C}$  гача бўлган температура интервалида ишлайди. Температуранинг кенгроқ интервалда аниқ ўлчаш учун моддаларнинг бошқа хусусиятларини температурага боғланишидан фойдаланиш мумкин. Металлларнинг қаршилиги температура кўтарилиши билан ортиб боради. Шунинг учун соф металл ёки унинг қотишма-



122- расм.

ларидан ясалган ўтказгич қаршилигининг температурага боғланишидан фойдаланилади. Бундай термометрлар қаршилик термометрлари дейилади. Энг кўп ишлатиладиган қаршилик термометрлари соф платинадан тайёрланиб, улар ёрдамида 10°C дан 1100°C гача бўлган температураларни ўлчаш мумкин. Ярим ўтказгичларнинг қаршилиги, аксинча, температура ортиши билан камайиб боради. Ярим ўтказгичларнинг бу хусусиятидан фойдаланиб ясалган термометрлар *термисторлар* ёки *термоқаршиликлар* дейилади. Ярим ўтказгичлар асосида ишловчи термометрлар юқори сезгирлиги ва қўлланишининг қулайлиги билан ажралиб туради. Қаттиқ жисм қаршилигининг температурага боғланишига асосланган ҳар иккала хил термометрлар ёрдамида —260°C дан 900°C гача бўлган температураларни аниқ ўлчаш мумкин.

Температурани янада аниқроқ сезиш учун турли металлларнинг кавшарланишидан ҳосил бўлган термопаралардан фойдаланилади. Бунинг учун табиати жиҳатидан турлича бўлган иккита ингичка металл сим олиниб тезланган учлари бир-бирларига кавшарланади, қолган иккита учлари кучланишни ўлчовли вольтметрга уланади. Табиати турлича бўлган ўтказгичларнинг ўзаро контакти ҳисобига юзага келувчи потенциаллар фарқи пайвандланган учлар билан вольтметрга уланган учлар

7- жадвал. Табиатдаги температуралар қийматлари

T° К	
10 <sup>10</sup>	_____
10 <sup>9</sup>	_____ Энг иссиқ юлдузлар марказида
10 <sup>8</sup>	_____ Водород бомбасининг портлаш марказида
10 <sup>7</sup>	_____ Қуёш ичида
10 <sup>6</sup>	_____ Қуёш гардишида
10 <sup>5</sup>	_____
10 <sup>4</sup>	_____ Қуёш сиртида
10 <sup>3</sup>	_____ Сувнинг қайнаши, 373, 15°К Музнинг эриши, 273, 15°К
10 <sup>2</sup>	_____ Азотнинг суюлиши, 77°К Водороднинг суюлиши 20°С
10	_____
1	_____ Гелийнинг суюлиши, 4,2°К
10 <sup>-6</sup>	_____ Эришилган энг паст температура



орасидаги температуралар фарқига боғлиқ бўлади. Шу боғланишдан температурани аниқлаш мумкин.

Термопара тайёрлашда турли хил металллар жуфтини танлаш мумкин. Масалан, мис — константан — 200—350°C, темир — константан — 0÷750°C, хромель — алюминий — 200÷1100°C, хромель — константан — 253°C—1000°C, вольфрам — рений 1800°C гача. Жуда юқори температурали ва электромагнит нур сочувчи жисмларнинг температурасини ўлчашда оптик пирометрлардан фойдаланилади.

Табиатда мавжуд бўлган энг юқори температура қийматлари коинотдаги иссиқ юлдузлар марказида бўлиб,  $10^{10}$  К гача етади (7- жадвал). Ҳозирги кунда эришилган энг паст температура  $10^{-6}$  К га тенгдир.

### 34 §. Газнинг босими. Вакуум ҳақида тушунча

Ҳаво босимини қуйидаги тарихий тажрибадан тасаввур этиш мумкин. Диаметрлари тахминан 42 см бўлган иккита ярим шарни бир-бирига тери қатлами орқали туташтириб, ҳосил бўлган шар ичидаги ҳаво сўриб олинганда, уларни бир-бирдан ажратиш учун ҳар иккала томонга тўрттадан саккизта от-улов керак бўлган. Ярим шарларни бир-бирдан ажратишга қаршилик қилувчи куч атмосферанинг босим кучи бўлиб, ҳисоблашларнинг кўрсатишича  $1,4 \cdot 10^4$  Н га яқин бўлади.

Газ ўзи жойлашган идишнинг ички деворларига маълум куч билан таъсир қилади. Бунга сабаб бирор идиш ичида жойлашган газнинг ҳар бир молекуласи унинг деворларига маълум импульс беради. Газ молекулаларининг идиш деворларига берадиган босими уларнинг сонига ва кинетик энергиясига пропорционал бўлади. Газлар кинетик назариясининг натижасига кўра, газнинг босими ҳажм бирлигидаги газ молекулалари ўртача кинетик энергиясининг учдан икки қисмига тенг, яъни

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \frac{m\bar{v}^2}{2} = \frac{2}{3} n \bar{E}_{\text{кин}}, \quad (34.1)$$

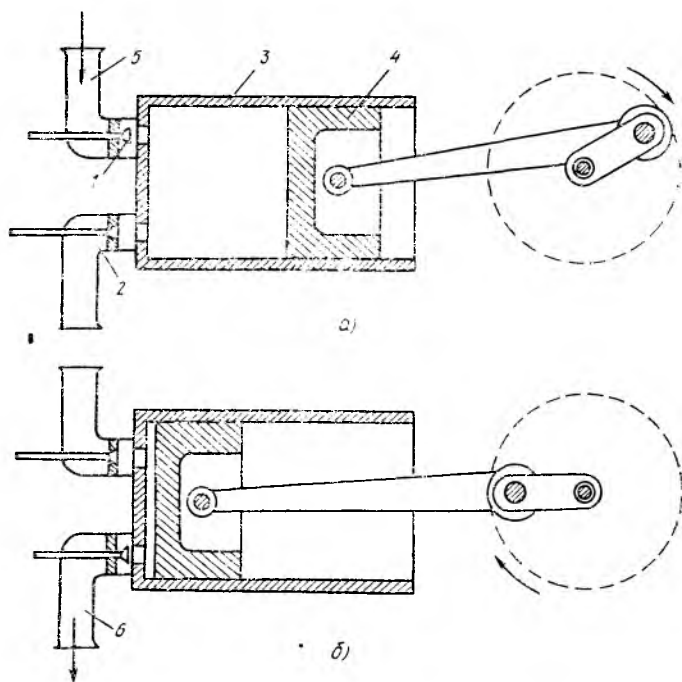
бунда  $n$  — ҳажм бирлигидаги молекулалар сони,  $\bar{v}^2$  — молекула тезлиги квадратининг ўртача қиймати,  $\bar{E}_{\text{кин}}$  — газ молекулаларининг ўртача кинетик энергияси.

Температура ортиши билан молекулаларнинг тезлиги, бинобарин, уларнинг кинетик энергияси ортади. Шу-

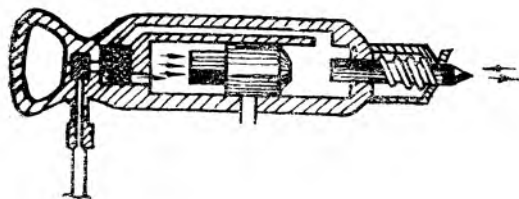
нинг учун газ босими унинг температураси ортиши билан ортиб боради. Масалан, порохнинг ёнишида газ молекулаларининг тезлиги 2 км/с гача етади. Молекулаларнинг шу тезлиги ҳисобига отилиб чиққан снаряднинг тезлиги тахминан икки марта кичик бўлади.

Газнинг босими ортирилса, унинг ҳажми камаяди. Сиқилган газлар техникада кенг қўлланилади. Масалан, водород ацитилин ва кислород газ билан кавшарлаш ишларида, аммиак эса совиткичларда ишлатилади. Газларни бир жойдан иккинчи жойга олиб боришда улар 100—200 атмосферагача сиқилади ва қалин деворли пўлат баллонларга жойланади. Газ солинган баллонларни фарқлаш учун ацетиленли баллонлар оқ рангга, кислородлиси кўк рангга, водород солинган баллонлар эса қизил рангга бўялади.

Газлар компрессорлар ёрдамда сиқилади (123-расм). Компрессор (1) кириш ва (2) чиқиш клапанларига эга бўлган (3) цилиндр ва (4) поршендан иборат



123- расм.

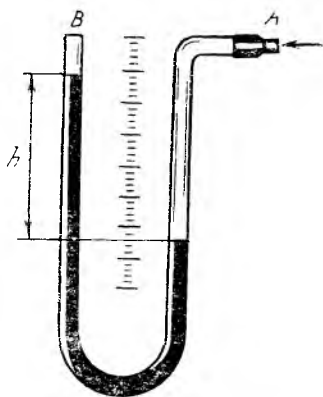


124- расм.

бўлади. Поршень клапанлардан узоқлашганда цилиндрга (5) йўл орқали ҳаво киради (123-а расм). Поршень клапанларга яқинлашишга бошлаганда кириш клапани ёпилади ва газ сиқилади. Цилиндрдаги газ етарлича сиқилганда чиқиш клапани очилади ва сиқилган газ (6) йўл орқали баллонга қамалади (123-б расм). Кўп тактли компрессорларда бир цилиндрда сиқилган газ иккинчи цилиндрга ўтказилади ва ҳоказо. Уч ёки тўрт тактли компрессорлар ёрдамида газларни минг атмосфера босимгача сиқиш мумкин.

Сиқилган газларнинг ҳаётда аҳамияти катта. Автомобиль, трактор, танк ва самолётлар двигатели цилиндрида сиқилган газнинг нефть маҳсулотлари ёрдамида ёниши ҳисобига ҳаракатга келади. Сиқилган ҳаводан сув ости ишларини бажарувчи қурилмаларда, жуда қаттиқ қатламларни кўчирувчи болғаларда (124- расм), катта ташкилотларда бир жойдан иккинчи жойга қоғозларни ташувчи ҳаво почтасида, троллейбус ва метро эшикларини ёпиб-очишда, поезд, трамвай, троллейбус, автобус, метроларнинг тормозларини ишлатишда фойдаланилади. Домна печлари, айрим кўтариш кранлари, қаттиқ жисмлар юзаларини силлиқловчи машина ва механизмлар ҳам юқори босимли газ ҳисобига ишлайди.

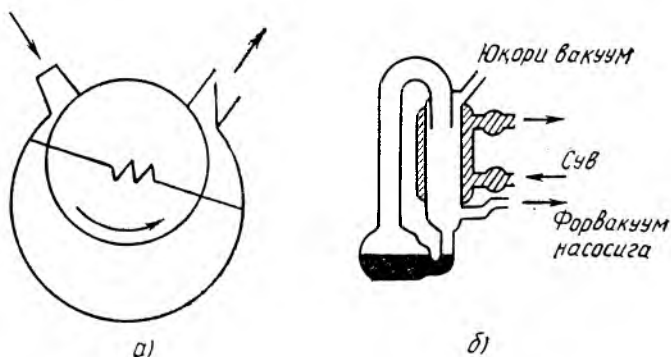
Босим монometrлар, барометрлар, вакуумметрлар ва босим датчиклари ёрдамида



125- расм.

Ўлчанади. Ҳозирги вақтда бу қурилмалар ёрдамида  $10^{-11}$  мм сим. уст. баландлигигача босимларни ўлчаш мумкин. Босимни ўлчовчи қурилма ёрдамида тўғридан-тўғри босим ўлчанади ёки босим билан боғлиқ бўлган модданинг бирорта параметри ўлчанади. Энг содда монометр  $U$  симон шаклида эгилган най бўлиб (125-расм), унинг ичига бирор суюқлик (масалан, симоб) қуйилади. Монометрнинг  $A$  учи босими ўлчаниши керак бўлган идишга уланиб, иккинчи  $B$  учи очиқ бўлади. Ўлчаниши керак бўлган босим хонадаги босимдан катта бўлса, монометрнинг ўнг томонидаги суюқлик пасайиб, чап томонидаги кўтарила бошлайди ва босимлар тенглашгунча давом этади. Монометр тирсақларидаги суюқлик устунларининг фарқи  $h$  орқали босимни ҳисоблаш мумкин. Жуда паст босимлар термоэлектрик ёки ионизацион монометрлар ёрдамида ўлчанади.

Газ молекуласининг ўртача эркин югуриш йўл узунлиги у жойлашган идишнинг ўлчамларига яқин бўлса, бундай сийрақлашган газ *вакуум* дейилади. Агар газ молекуласининг эркин югуриш йўл узунлиги идиш ўлчамларидан кичик бўлса, у ҳолда бундай вакуум *паст вакуум* дейилади. Паст вакуумларни ҳосил қилиш учун *форвакуум насослари* қўлланилса (126-а расм), юқори вакуумни диффузион насослар ёрдамида олинади. Диффузион насоси (126-б расм) ишлаши учун форвакуум насоси ёрдамида газнинг дастлабки сийрақлаштирилиши ( $10^{-3}$  мм сим. уст.) амалга оширилади. Шунинг учун форвакуум ва диффузион насослари кетма-кет уланади.



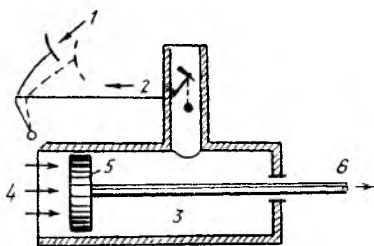
126- расм.

Бу насослар ёрдамида босими  $10^{-7}$  мм сим. уст. гача бўлган вакуум олиш мумкин.

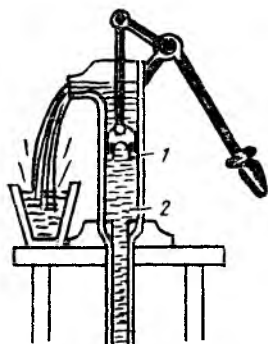
Вакуум даражасини янада орттириш учун суyoқ азот ёки бошқа махсус моддалар қўлланилади. Ҳозирги вақтда эришилган энг яхши вакуумда газ босими  $10^{-10}$ — $10^{-11}$  мм сим. уст. ни ташкил этади. Бундай юқори вакуумда газ молекулалари тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилиб, идиш деворларига урилса-да, бир-бири билан кам тўқнашади. Юқори вакуумда  $1 \text{ см}^3$  ҳажмда миллионлаб молекула қолган бўлса ҳам газ молекулаларнинг ўртача югуриш йўл узунлиги юзлаб километрга тенг бўлади. Газ молекулалари бир-бири билан тўқнашмаганлиги учун ички ишқаланиш ва иссиқлик ўтказувчанлик ҳодисалари ҳам жуда камайиб кетади. Моддалар температурасини сақлаб қолиш учун улар қўшалoқ деворлари орасида вакуум ҳосил қилинган идишларда — дьюарларда сақланади.

Пневматик қурилмаларда ҳам паст босимли газлардан фойдаланилади. Масалан, замонавий автомобилларда қўлланиладиган тормознинг вакуум кучайтиргичи тормозловчи кучининг сўрувчи пайдаги ҳавонинг сийракланиши натижасида кучайнишига асосланади (127- расм). (1) педалга босиш билан (2) клапан очилади ва (3) тормозловчи цилиндрда газнинг сийракланиши юз бериб, вакуум ҳосил бўлади. (4) атмосфера босими (5) цилиндр поршенини ўнгга суради ва ричаглар системаси бу кучни (6) тормозларга узатади.

Ҳаво ва сув насосларининг ишлаш принципи атмосфера босимидан фойдаланишга асосланган. Сўрувчи насос цилиндридаги поршень юқорига кўтарилганда



127- расм.



128- расм.

ҳаво ва сув босими таъсирида (1) клапан ёпилади (128-расм). Атмосфера босимининг суюқликнинг очиқ юзига босиши туфайли сув наstdан юқорига кўтарилади ва (2) клапан очилади. Поршень пастга сурилганда эса (2) клапан ёпилади, (1) клапан эса очилади ва натижада поршень устига сув ўтади. Поршеннинг бир неча марта шундай такрорий ҳаракатлари натижасида цилиндр ёнидаги жўмракдан сув оқиб тушади.

### 35-§. Идеал газ ва унинг дастлабки қонуниятлари. Газ ҳолат тенгламаси

Табиатда мавжуд бўлган модданинг уч агрегат ҳолатидан энг соддаси газсимои ҳолатидир. Газ молекулалари орасидаги таъсир кучлари заиф бўлганлигидан улар ўзининг шаклига ҳам, ҳажмига ҳам эга эмас. Нормал шароитда  $1 \text{ см}^3$  ҳавода  $2,7 \cdot 10^{19}$  дона молекула мавжуд. Берилган ҳажмдаги газнинг ҳолатини ўрганиш учун газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучларини ҳисобга олувчи шунча миқдор тенглама тузиш ва уни ечиш керак. Агар секундига бир миллион операция бажарувчи қурилма бўлганда ҳам бу масалани ечиш учун 6 миллион йил керак бўлади. Демак, бу йўл билан масалани амалда ечиш мумкин эмас экан. Бу муаммони ҳал қилиш учун идеал газ модели қабул қилинади. Идеал газ деганда қуйидаги шартларни қаноатлантирувчи газ тушунилади:

1. Газ молекулалари ўзаро таъсирлашмасин ёки жуда заиф таъсирлашсин.

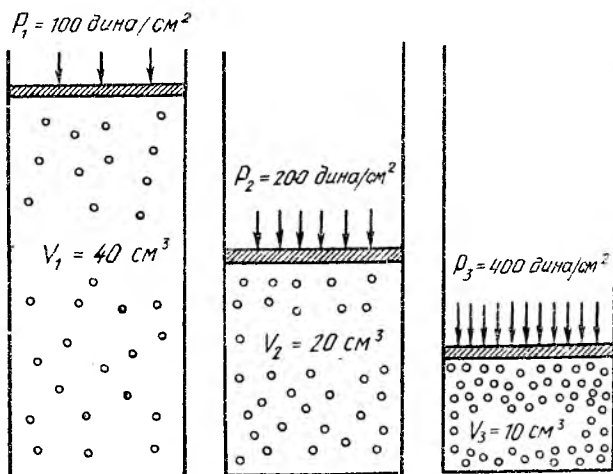
2. Газ молекулаларининг хусусий ҳажми газ жойлашган идиш ҳажмидан жуда кичик бўлсин.

3. Газ молекулаларининг ўзаро (шунингдек, идиш деворлари билан) тўқнашиши эластик шарларнинг тўқнашиши каби бўлсин.

Идеал газнинг молекулалари ўзаро таъсирлашмайди-ган моддий нуқталар тўплами деб қараш керак. Бундай ҳолатда ҳар бир молекула ўзини идишда бошқа молекулалар йўқдек тутати. Юқоридаги шартларни қаноатлантирувчи газни амалда ҳосил қилиш учун бирор ҳажмдаги газни жуда сийраклаштириш керак.

Идеал газ учун тажрибадан маълум бўлган қуйидаги қонунларни кўриб чиқайлик:

1. **Бойль—Мариотт қонуни.** 1662 йили инглиз олими Р. Бойль цилиндр ичида жойлашган газнинг ҳажми тем-



129- расм.

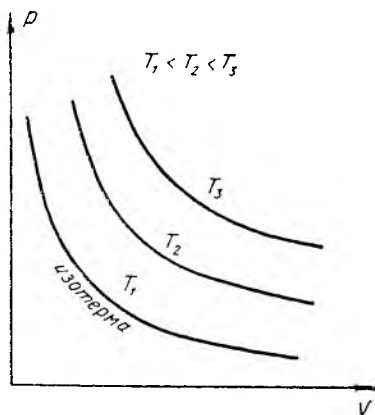
пература ўзгармас бўлганда поршеннинг берадиган босимига тескари пропорционал эканлигини аниқлади (129- расм). 1676 йили француз Э. Марнотт бу қонуннинг тўғрилигини тажрибада исбот этди. Улар ўзгармас температурада берилган идеал газ ҳажмининг ўзгариши (сиқилиши ё кенгайиши) билан унинг босими қандай ўзгаришини текширдилар. Кузатишлар асосида қуйидаги қонун яратилди: берилган газ учун ўзгармас температурада ( $T = \text{const}$ ) газ босими  $p$  нинг ҳажми  $V$  га кўпайтмаси ўзгармас катталиқдир, яъни

$$pV = \text{const}. \quad (35.1)$$

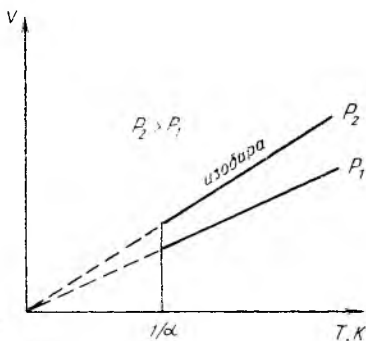
Ўзгармас температурада юз беравчи жараёнларга *изотермик жараёнлар* дейилади. 130- расмда келтирилган гиперболалар *изотермалар* дейилади. Расмдан кўринадик, газнинг температураси ортиши билан ( $T_1 < T_2 < T_3$ ) изотермалар юқорига томон силжиб боради.

**2. Гей-Люссак қонуни.** 1802 йили француз физиги Гей-Люссак газ босими ўзгармас (изобарик) жараёнларда газ ҳажмининг температурага қуйидагича нисбатини аниқлади:

$$\frac{V}{T} = \text{const}. \quad (35.2)$$



130- расм.



131- расм.

Демак, маълум бир массали газнинг босими ўзгармаса, газ ҳажмининг температурага нисбати ўзгармайди. Гей-Люссакнинг бу қонунига кўра газ босими ўзгармас бўлса, газ ҳажмининг температурага боғланиши чизиқли кўринишга эга бўлади, яъни

$$V = V_0(1 + \alpha T), \quad (35.3)$$

бунда  $\alpha = \frac{1}{273,15 \text{ K}^{-1}}$  — ҳажмнинг термик коэффициентини дейилади.  $\alpha$  — ўзгармас босимда газ температураси бир градусга ўзгарганда газ ҳажмининг нисбий ўзгаришини кўрсатади. (35.3) ифода изобара тенгламаси бўлиб, унинг графиги 131- расмда  $p_1$  ва  $p_2$  лар босим учун кўрсатилган. Расмдан кўринадики, идеал газнинг ҳамма изобаралари температуранинг  $T=0$  қийматида кесишади.

**3. Шарль қонуни.** Газнинг ҳажми ўзгармас бўлган шароитда юз берадиган жараёнлар *изохорик жараёнлар* дейилади. Изохорик жараёнларда газ босимининг температурага нисбати ўзгармасдир (француз олими Шарль қонуни):

$$\frac{p}{T} = \text{const}. \quad (35.4)$$

Бошқача айтганда, ўзгармас ҳажмда берилган газ босимининг температурага боғланиши чизиқли кўринишга эгадир, яъни



$$p = p_0(1 + \alpha T), \quad (35.5)$$

бунда  $\alpha$  — босимнинг термик коэффициентини дейлади.

Идеал газ босимининг абсолют температурага боғланиши  $V_1$  ва  $V_2$  ҳажмлар учун 132-расмда келтирилган бўлиб, барча изохоралар  $T=0$  нуқтада кесишади.

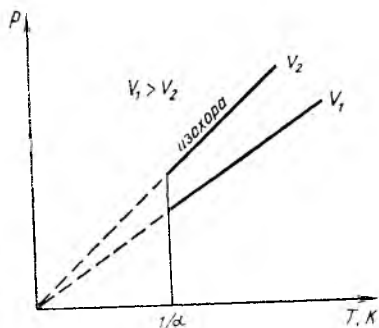
#### 4. Авогадро қонуни.

Молекулаларнинг массаси жуда кичик бўлганлиги учун массаларнинг ҳақиқий қийматларидан эмас, балки нисбий қийматларидан фойдаланиш қулай. 1961 йилда қабул қилинган халқаро келишувга мувофиқ ҳамма атом ва молекулаларнинг массалари углерод атоми массасининг  $\frac{1}{12}$  қисми билан таққосланади. Модданинг  $m_r$  нисбий атом массаси деб, шу атом массаси  $m$  нинг углерод атоми массаси  $m_c$  нинг  $\frac{1}{12}$  қисмига нисбатига айтилади:

$$m_r = \frac{m}{\frac{1}{12} m_c}. \quad (35.6)$$

Ҳар қандай модда атом массаларини қўшиб, унинг молекуляр массасини ҳисоблаб чиқариш мумкин. Масалан, сув ( $H_2O$ ) нинг молекуляр массаси тахминан 18 га тенг, чунки водороднинг нисбий атом массаси 1 га жуда яқин, кислородники эса 16 га тенг:  $2 \cdot 1 + 16 = 18$ .

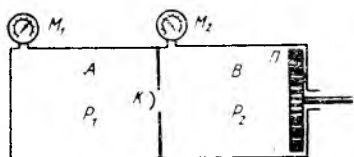
Халқаро бирликлар системасида модда миқдори моль ҳисобида ифодаланади. Бир моль — модданинг шундай миқдориники, ундаги молекула ёки атомлар сони массаси 0,012 кг бўлган углероддаги атомлар сонига тенг. Ихтиёрий газнинг бир моли бирдай босим ва бирдай температурада бир хил ҳажм эгаллаши табиийдир. Хусусан, нормал шароитда ( $p = 1,013 \cdot 10^5$  Па,  $T = 273,15$  К) ҳар қандай 1 моль газ  $V_0 = 22,41 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{\text{моль}}$  ҳажмни эгаллайди. Бошқача айтганда, бирдай босим ва температу-



132- расм.

рада турган ҳар қандай газнинг бирлик ҳажмидаги молекулалар сони бир хил бўлади (Авогадро қонуни). Бу миқдор  $N_A = 6,0022 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> га тенг бўлиб, уни Авогадро сони деб юритилади. 1811 йили италия олими Авогадро томонидан ихтиро қилинган бу қонун атом ва молекулаларнинг фарқини тушунтириб берди. Авогадро қонунининг моҳияти шундаки, водород атомларининг бир грамида, углерод атомларининг ўн икки грамида, кислород атомларининг ўн олти грамида ва ҳоказо мавжуд бўлган атомлар сони бир хил бўлиб, Авогадро сонига миқдор жиҳатидан тенгдир. Бир моль модданинг массаси *моляр масса* деб аталади. Бу таърифга асосан, моляр масса молекуланинг массаси билан Авогадро доимийсининг кўнайтмасига тенг:

$$\mu = m \cdot N_A. \quad (35.7)$$



133- расм.

**5. Дальтон қонуни.** Узаро реакцияга киришмайдиган газлар иккита бир хил ҳажмдаги А ва В цилиндрларга киритилган бўлиб, уларнинг босимлари  $p_1$  ва  $p_2$  бўлсин (133- расм). Ҳар иккала босимни ўрнатилган  $M_1$  ва  $M_2$  монометрлардан

кузатиш мумкин. Поршень П ёрдамида иккинчи камерадаги газни К клапан орқали температурани ўзгармас сақлаган ҳолда биринчи камерага тўла ўтказайлик. Тажриба шунни кўрсатадики, биринчи камерадаги умумий босим айрим парциал босимларнинг йиғиндисига тенг бўлади, яъни

$$p = p_1 + p_2. \quad (35.8)$$

Бу қонун 1801 йили инглиз химиги ва физиги Ж. Дальтон томонидан очилган бўлиб, унинг номи билан юритилади. Бирор газ компонентасининг порциал босими деганда, шу газнинг ёлғиз ўзи аралашма ҳажмини эгаллаганда кўрсатиши мумкин бўлган босим тушунилади. Босимнинг жуда катта қийматларида Дальтон қонунидан четлашишлар кузатилиши мумкин.

Шундай қилиб, газларнинг молекуляр-кинетик назарияси яратилгунга қадар тажрибадан аниқланган қонунларни кўриб чиқдик. Юқорида кўриб ўтилган газ қо-

нунлари фақат идеал газлар учунгина ўринли бўлиб, газ ҳолатини тўла характерловчи тенгламани келтириб чиқаришга асос бўла олади.

Маълум массали идеал газнинг ҳолати учта параметр: босим  $p$ , ҳажм  $V$  ва температура  $T$  билан аниқланади. Бу катталиклар ҳолат параметрлари дейилади. Улар бир-бири билан боғлиқ, бўлиб, ҳар бири қолган иккитасининг функциясидир. Бу параметрларни боғловчи қуйидаги умумий кўринишдаги тенглама ҳолат тенг-ламаси дейилади:

$$f(p, V, T) = 0. \quad (35.9)$$

Фараз қилайлик, идеал газ 1 ҳолатда  $p_1, V_1, T_1$  параметрлар билан, 2 ҳолатда эса  $p_2, V_2, T_2$  параметрлар билан характерлансин. Бойль—Мариотт ва Гей-Люссак қонунларига кўра

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (35.10)$$

ёки

$$\frac{pV}{T} = \text{const}. \quad (35.11)$$

(35.11) ифода Клапейрон тенгламаси бўлиб, бу ифодага кирувчи доимий сон ҳар хил газлар учун турлича қийматга эга. Агар Авогадро қонунини ҳисобга олиб (35.11) ифодани 1 моль газ учун ёзсак, у ҳолда ифодага кирувчи доимий барча газлар учун бирдай қийматга эга бўлади ва қуйидаги кўринишдаги ҳолат тенгламаси ҳосил бўлади:

$$pV_m = RT, \quad (35.12)$$

бунда  $V_m$  — бир моль газнинг ҳажми,  $R = 8,31 \frac{\text{Ж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  — универсал газ доимийси.

Агар (35.12) ифодани ихтиёрый  $m$  массали газ учун ёзсак,

$$pV = \frac{m}{\mu} RT, \quad (35.13)$$

бунда  $V$  — газнинг ҳажми,  $m$  — газнинг массаси,  $\mu$  — моляр масса, яъни бир моль газнинг массаси.

(35.13) ифода ихтиёрый  $m$  массали газ учун ҳолат тенг-ламаси бўлиб, унга Менделеев—Клапейрон тенгламаси дейи-

лади. Больцман доимийси  $k = \frac{R}{N_A}$  бўлгани учун (35.13) ни қуйидагича ёзамиз:

$$pV = \frac{m}{\mu} k T N_A, \quad (35.14)$$

бу формулада  $\frac{m}{\mu} N_A = N$  — газ молекулаларининг умумий сони бўлгани учун:

$$pV = NkT \quad (35.15)$$

ёки

$$p = nkT \quad (35.16)$$

бунда  $n$  — газ молекулаларининг бирлик ҳажмдаги сони бўлиб, унга газ концентрацияси дейилади.

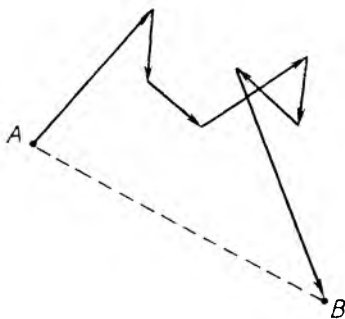
(35.16) ифода ҳам идеал газнинг ҳолат тенгламаси бўлиб, ундан газнинг босими молекулалари сонига ва температурага пропорционал эканлиги кўриниб турибди.

Менделеев — Клапейрон тенгламаси (35.13) дан газнинг зичлигини қуйидагича топиш мумкин:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{\mu p}{RT}. \quad (35.17)$$

Шундай қилиб, идеал газнинг зичлиги босимга тўғри пропорционал бўлиб, температурага тескари пропорционал эканлиги келиб чиқади.

### 36- §. Газ молекулаларининг тезликлари ва уларнинг Максвелл тақсимот қонуни



134- расм.

Молекуляр-кинетик назария асосида идеал газнинг ҳолат тенгламасини ҳосил қилишда газ молекулаларининг тартибсиз ҳаракатда эканлиги эътироф этилди. Дарҳақиқат, бирор молекула  $A$  нуқтадан ҳаракат бошлаб  $B$  нуқтага етиб келгунча бошқа молекулаларга урилиб, маълум синиқ чизиқ бўйича йўл ўтади (134- расм). Молекула-

ларнинг бундай тартибсиз хаотик ҳаракати биринчи бўлиб инглиз ботаниги Броун томонидан 1827 йили микроскоп ёрдамида кузатилган. Шунинг учун бу ҳаракат *броун ҳаракати* дейилади.

Молекулаларнинг иссиқлик ҳаракат тезлиги  $AB$  синиқ чизиқ узунлигининг шу йўлни ўтиш учун кетган вақтга нисбатига тенг. Молекулаларнинг кўчиш тезлиги эса  $A$  ва  $B$  нуқталарни бирлаштирувчи штрихланган тўғри чизиқ узунлигининг шу йўлни ўтиш учун кетган вақтга нисбатига тенг. Шу сабабли молекулаларнинг иссиқлик тезликлари одатдаги уй температурасида секундига бир неча юз метрни ташкил этса, кўчиш тезлиги иссиқлик тезлигидан анча кичик бўлади.

Молекула бир тўқнашишдан иккинчи тўқнашишгача эркин ҳаракат қилади деб ҳисобланади ва тўқнашишлар орасида ўтадиган йўл узунлиги молекулаларнинг *эркин югуриш йўл узунлиги* деб аталади. Молекулалар тартибсиз броун ҳаракатида бўлгани учун эркин югуриш йўл узунлиги турлича бўлади. Шунинг учун ўртача эркин югуриш йўл узунлиги тушунчаси киритилади:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n}{n}. \quad (36.1)$$

Ҳисоблашларнинг кўрсатишича, молекуланинг эркин босиб ўтадиган йўл узунлиги берилган ҳажмдаги газ молекулаларининг сонига ва ўлчамларига тескари пропорционалдир, яъни

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}, \quad (36.2)$$

бунда  $n$  — газ молекуласининг концентрацияси,  $d$  — газ молекуласининг эффектив диаметри бўлиб,  $u$  температурага тескари боғланган.

Молекуланинг  $l$  с мобайнида бошқа молекулалар билан ўртача тўқнашишлар сони

$$\bar{v} = \frac{\bar{v}}{\bar{\lambda}}, \quad (36.3)$$

бунда  $\bar{v}$  — молекулаларнинг ўртача тезлиги.

Охирги иккита ифодадан:

$$\bar{v} = \sqrt{2} \pi \cdot d^2 \cdot n \cdot \bar{v}. \quad (36.4)$$

Молекуляр-кинетик назария натижасига кўра броун зарраси илгариланма ҳаракатининг ўртача кинетик энергияси иссиқлик ҳаракат энергиясига тенг, яъни

$$\frac{m\bar{v}_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3}{2} kT, \quad (36.5)$$

бундан

$$\bar{v}_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}}, \quad (36.6)$$

бунда  $\bar{v}_{\text{кв}}$  — молекулаларнинг ўртача квадратик тезлиги.

Молекуляр-кинетик назарияда ўртача тезлик тушунчасининг киритилиши газда молекулаларнинг тезликлари бирдай эмаслигини кўрсатади. Айрим газ молекулалари жуда катта тезликка эга бўлса, айримлари жуда кичик тезликка эга бўлиши мумкин. Газ молекулалари ўзаро ва идиш деворлари билан тўқнашиб турганликлари учун уларнинг тезликлари вақт бўйича ўзгармас бирор статистик қонуниятга бўйсунини керак. Молекулаларнинг қанчаси қандай тезлик билан ҳаракат қилади? Мана шу муаммони 1860 йилда инглиз физиги Ж. Максвелл назарий ўрганиб чиққан.

Фараз қилайлик, берилган ҳажмда жойлашган бир хилдаги молекулалар сони  $N$  га тенг, улар тартибсиз хаотик ҳаракатда ва барча газлар молекулалари бирдай температурага эга бўлсин. Агар тезлик ўқини ҳар бири  $dv$  га тенг бўлган бўлақларга фикран бўлиб чиқсак, у ҳолда ҳар бир бўлақка маълум миқдор молекулалар сони мос келади. Шу молекулалардан  $dN$  донаси  $v+dv$  тезлик интервалида ҳарқат қилсин. У ҳолда тезликнинг бир бирлик интервалига тўғри келадиган молекулалар сони  $\frac{dN}{dv}$  га тенг бўлади. Шундан фойдаланиб Максвелл молекулалар тезликларининг тақсимот функциясини киритди:

$$f(v) = \frac{dN}{N dv}. \quad (36.7)$$

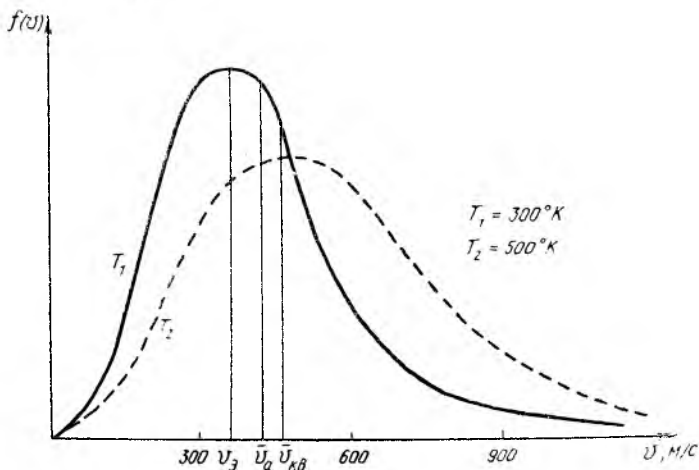
Бу функция  $dv$  тезлик интервалига тўғри келувчи молекулаларнинг нисбий сонини кўрсатади. Максвелл эҳтимоллик назариясини қўллаб, молекулалар тезликларининг тақсимот функцияси учун қуйидаги қонуниятини ҳосил қилди:

$$f(v) = 4\pi \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot v^2 \cdot e^{-\frac{mv^2}{2kT}}. \quad (36.8)$$

Бу ифодадан кўринадики, тақсимот функциясининг кўриниши газ молекулаларининг тезлигига, массасига ва температурасига боғлиқ экан. Тезликнинг кичик қийматларида (36.8) даги экспонентанинг даражаси нолга шитилади ва шунинг учун, у бирга яқин бўлади. Шу сабабдан кичик тезликларда тақсимот функцияси  $v^2$  билан аниқланади.

Молекула бошқа молекулалар билан доимий тўқнашиб турганлиги учун унинг тезлигини нолгача камайиш эҳтимоли жуда кичик. Тезликнинг катта қийматларида тақсимот функцияси  $f(v)$  асосан экспонента билан аниқланади. Молекулалар тезлигининг ортиши билан экспонента тез камайса-да, унинг қиймати ҳеч қачон нолга тенг бўлмайди, молекулалар ичида тезлиги ўртача тезликдан жуда катта бўлган айрим молекулалар бўлиши мумкин. Шундай қилиб, тақсимот функцияси  $f(v)$  максимумга эга бўлиб, унинг икки томонидаги қийматлари симметрик эмаслигига ишонч ҳосил қилиш мумкин. Тақсимот функциясининг тезликка қараб бундай ўзгариши кислород газининг учун 135-расмда температуранинг иккита  $T_1$  ва  $T_2$  қийматларида келтирилган. Графикдан қуйидаги хулосалар келиб чиқади:

1. Берилган температурада молекулаларнинг тезликлари нолдан жуда катта қийматларгача бўлган соҳани эгаллаши мумкин.



135- расм.

2. Газнинг берилган температурада жуда кичик ва жуда катта тезликларга эга бўлган молекулалари кўп эмас.

3. Кўпчилик молекулалар энг катта эҳтимоллик тезлиги деб аталувчи  $v_0$  тезликка яқин бўлган тезликларга эга бўлади. Бошқача айтганда, шу  $v_0$  тезлик қийматига яқин тезлик билан ҳаракат қилувчи молекулаларнинг берилган ҳажмдаги сони кўп бўлади.

4. Агар газнинг температурасини  $T_1$  дан  $T_2$  га орттирсак, функциянинг максимуми пасаяди, тақсимот чизиғи ўнгга силжийди, яъни температура ортиши билан кўпчилик молекулалар каттароқ тезлик билан ҳаракат қила бошлайди. Тақсимот функцияси тезлик интервалига тўғри келувчи молекулалар сонини аниқлаш учун температуранинг ҳар қандай ўзгаришида  $f(v)$  функция чизиғи билан чегараланган сирт ўзгармасдан қолади.

Максвелл функциясининг максимум қийматига тўғри келувчи тезлик энг катта эҳтимоллик тезлиги дейилади ва  $v_0$  билан белгиланади. Бу тезликни топиш учун тақсимот функцияси (36.8) ни тезлик  $v$  бўйича дифференциаллаб, натижани экстремал нуқтада нолга тенглаб, қуйидагини ҳосил қиламиз:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2kT}{m}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}. \quad (36.9)$$

Шунингдек, (36.8) ифодадан молекулаларнинг ўртача арифметик тезлиги учун қуйидаги натижага эга бўламиз:

$$\bar{v}_a = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}. \quad (36.10)$$

Газ молекулаларининг ўртача арифметик тезлиги деганда, ҳажм бирлигидаги барча молекулаларнинг ҳамма тезликлари йиғиндисининг ҳажм бирлигидаги молекулалар сонига нисбати тушунилади. Шундай қилиб, энди бизга газ молекулалари учун уч хил тезлик тушунчаси маълум: эҳтимоллик тезлик  $v_0$ , ўртача арифметик тезлик  $\bar{v}_a$ , ўртача квадратик тезлик  $\bar{v}_{кв}$ . Уларнинг ўзаро муносабати 135-расмда кўрсатилган. Максвелл тақсимоти газнинг мувозанат ҳолатига тўғри келади. Агар газ молекулаларининг тезликлари Максвелл тақсимот қонунига мос келмаса, уларнинг ўзаро тўқнашуви натижасида тезда шу тақсимотга мос келадиган ҳолатга ўтиши Больцман томони-



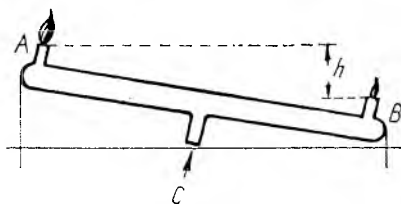
дан кўрсатилган. 1920 йили Штерн томонидан Максвелл назарияси натижасининг тўғрилиги тажрибада исботланган.

### 37- §. Барометрик формула. Больцман тақсимоти

Идеал газнинг ҳолат тенгламасини келтириб чиқаришда ҳамда молекулалар тезликларининг Максвелл тақсимот қонунида газ молекулаларига ташқи куч таъсир қилмайди ва шунинг учун улар берилган ҳажмда бир текис тақсимланган деб ҳисобланди. Аслида газнинг ҳар бир молекуласи Ернинг тортиш кучи майдонида бўлади. Масалан, ҳаво молекулалари Ер шари атрофида маълум атмосфера қатламини ҳосил қилади. Ҳаво, асосан, массалари бир-бирига яқин бўлган азот ва кислород молекулаларидан иборат бўлиб, ҳар бир молекула ўз оғирлиги туфайли Ернинг марказига томон тортилиб туради. Молекулаларнинг оғирлиги бўлмаганда эди, Ердан исталганча узоқлашиб, бутун кoinнот бўйича тарқалган бўлар эди. Ҳаво молекулалари доимо иссиқлик ҳаракатида бўлиб, бу ҳаракат уларни сочишга интилади. Ернинг тортиш кучи майдонини енгиб чиқиб кетиши учун ҳар бир молекула камида иккинчи космик тезлигига ( $11,2 \text{ км/с}$ ) эга бўлиши керак. Молекулаларнинг ўртача тезлиги бу миқдордан анча кичик.

Ҳаво молекулаларининг иссиқлик ҳаракати бўлмаганда эди улар Ер сиртига тош каби келиб тушиб 10 метр қалинликдаги қатламни ҳосил қилган бўлар эди. Шундай қилиб, ҳар бир ҳаво заррасига бир вақтнинг ўзида иккита куч, молекулаларни Ерга тортувчи оғирлик кучи ва уларни сочувчи иссиқлик ҳаракати таъсир қилар экан. Бу икки кучнинг бир вақтнинг ўзидаги таъсири туфайли Ер шари атрофида атмосфера мавжуд ва ҳаво молекулалари баландлик бўйича маълум қонуният билан тақсимланган.

Дарҳақиқат, қуйидаги тажрибага мурожаат этайлик. Икки учида бир хил тирқишлари бўлган шиша найчани унинг ўртасида жойлашган  $C$  жўмрак орқали табиий газ тармоғига улайлик (136-расм). Найчанинг  $B$



136- расм.

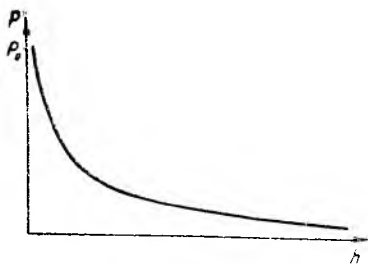
учи  $A$  учига нисбатан тахминан  $h=10$  см пастда бўлсин. Найчанинг учларига гугурт чақиб яқинлаштирсак, юқорида жойлашган  $A$  тирқишдан чиқувчи газ катта алаанга бериб ёнади, пастдаги  $B$  тирқишдан эса жуда кучсиз алаанга кузатилади. Найчани горизонтал ҳолатга келтирсак ҳар иккала тирқишдаги алаангалар баландликлари бир хил бўлади. Агар найчанинг  $B$  учи юқорида бўлиб,  $A$  учи пастга туширилса,  $A$  учидagi алаанга бутунлай йўқолиб, фақат  $B$  тирқишда катта алаангани кузатиш мумкин. Бу тажрибалар ҳаво босимининг баландликка боғлиқ ўзгаришидан далолат бериб, ёнувчи газ ва ҳаво босимлари орасидаги фарқни кўрсатади.

Атмосфера босими  $p$  нинг баландлик  $h$  бўйича ўзгариш қонуниятини таҳлил қилайлик. Фараз қилайлик, Ернинг тортиш кучи майдонида турган молекулаларнинг температуралари ва массалари бир хил бўлсин. У ҳолда ҳаво босимининг баландлик бўйича ўзгариши қуйидаги қонуниятга бўйсуняди:

$$p = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}} = p_0 e^{-\frac{\rho_0 g h}{p_0}}, \quad (37.1)$$

бунда  $p_0$  — денгиз сатҳи баландлигидаги нормал босим,  $p$  —  $h$  баландликдаги босим.

Босимнинг баландлик ортиши билан экспоненциал камайиб боришини кўрсатувчи (37.1) ифода *барометрик формула* дейилади. Бу қонуниятдан кўринадики, газ қанчалик оғир бўлса, босим баландлик бўйича шунча тез камайиб боради. Атмосфера босимининг баландлик бўйича барометрик қонуниятга кўра камайиши 137-расмда келтирилган. Барометрик формуладан кўринадики, эркин тушиш тезланиши  $g$  нинг камайиши билан газ молекулаларининг планета сиртидан узоқлашиши  $h$  ортиб боради.



137- расм.

Массаси Ер массасидан кичик бўлган планеталар (масалан, Марс, Меркурий) атрофида атмосфранинг ниҳоятда сийраклиги шу қонуният билан тушунтирилади.

Идеал газнинг босими молекулалар концентрациясига пропорционал эди.

$$p = nkT. \quad (37.2)$$

У ҳолда (37.1) дан

$$n = n_0 e^{-\frac{\rho g h}{kT}} \quad (37.3)$$

ёки

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{kT}}, \quad (37.4)$$

буида  $n_0$ — денгиз сатҳи баландлигидаги ҳаво молекулаларининг концентрацияси,  $n$  эса  $h$  баландликдаги молекулалар концентрацияси.

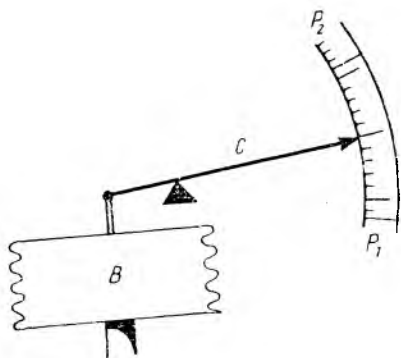
(37.4) ифодадан кўринадики, газ қанчалик оғир бўлса, газ молекулаларининг концентрацияси баландликка қараб шунча тез камайиб боради. Масалан, кислороднинг зичлиги ҳар 5 км баландликда икки марта камайса, гелийники ҳар 40 км баландликда икки марта камаяди. Бунга сабаб гелий молекуласининг массаси кислород молекуласининг массасидан саккиз марта кичикдир. (37.4) формуладан  $mgh = E_p$  газ молекуласининг Ернинг тортиш кучи майдонидаги потенциал энергияси бўлганлиги учун

$$n = n_0 e^{-\frac{E_p}{kT}}. \quad (37.5)$$

Бу ифода *Больцман тақсимоти* дейилади. (37.5) дан кўринадики, температура ўзгармас бўлганда газ молекулаларининг потенциал энергияси кичик бўлган жойда унинг концентрацияси катта бўлади. Бошқача айтганда, газ зарраларининг концентрацияси баландлик ортиши билан камайиб боради.

Ер шарни қалинлиги тахминан 800 км бўлган ҳаво қатлами билан ўралган бўлиб, ўз оғирлиги билан босиб туради. Ер сиртининг 1 см<sup>2</sup> юзига ҳаво устунининг берадиган босими *атмосфера босими* дейилади. Ер шарининг денгиз сатҳи баландлигида 45° жўғрофик кенгликда 0°C температурада ҳавонинг босими бир физик атмосферага ёки 760 мм сим. уст. га тенг бўлиб, у *нормал босим* дейилади. Ернинг денгиз сатҳи баландлигидаги 1 м<sup>2</sup> сирт юзига ҳаво устунининг босим кучи 10<sup>5</sup>Н га етади. Аниқроқ ўлчашларга кўра атмосфера босими 1 атм = 1,013 × 10<sup>5</sup> Па га тенг. Нормал шароитда 1 атм босим 760 мм сим. уст. баландлигининг босимига тенг:

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}}{13,6 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 0,76 \text{ м} = 760 \text{ мм сим. уст.}$$



138- расм.

Баландликка боғлиқ босим ўзгаришларини барометр-анероидлар ёрдамида ўлчади (138- расм). Анероиднинг ишлаш принципи ҳавоси сўриб олинган  $B$  тунука банкачанинг эгиловчанлигига асосланган. Атмосфера босими камайса, банкача кенгайди ва  $C$  босим кўрсаткич пастга  $p_1$  га қараб силжийди. Босим ортиши билан

эса банкача сиқилади ва стрелка юқори  $p_2$  томон силжийди. Сезгир барометр-анероидлар баландликнинг кичик ўзгаришларига мос босим ўзгаришларини яхши сезади. Самолётларда ўрнатилган баландликни ўлчаш асбоблари *альтиметрлар* дейилади ва улар босим ўзгаришини ўлчаш орқали баландликни ўлчашга даражаланган барометр-анероиднинг махсус кўрinishларидир.

Асос юзи бир бирликка ( $1 \text{ м}^2$ ) тенг бўлган Ер атмосфераси устунининг массаси:

$$m = \frac{p}{g} = \frac{10^5 \text{ Н}}{9,8 \text{ м/с}^2} \approx 10^3 \text{ кг.}$$

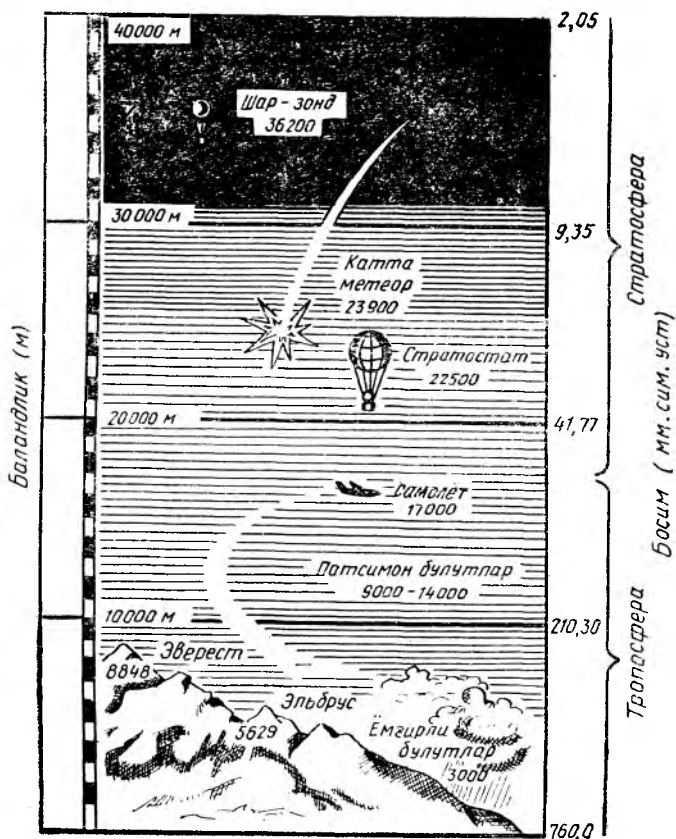
Демак, ҳар бирмизининг танамиз 10 тонна атрофида ҳаво массасининг босим кучи таъсирида бўлар экан. Бундай атмосфера босими эзиб юбормайди, чунки бир хил босим кучи танамизнинг ҳамма соҳаларига, ҳар тарафлама бир хил босим кучи билан таъсир этади. Ўпканиз ва танамиздаги ҳаво ҳам ичдан 1 атм. босим билан таъсир этади. Биз шу босимда туғилганимиз ва яшаб турганимиз учун бу босимни сезмаймиз. Агар бирор  $h = 5 \text{ м}$  чуқурликдаги сувнинг тагига тушсак, босим

$$p = p_0 + \rho gh$$

бўлиб, сув сиртидаги  $p_0 = 1 \text{ атм.}$  ҳаво босими билан  $h$  чуқурликдаги сув устунининг  $p_h = \rho gh = 0,5 \text{ атм.}$  босими таъсир этади.

Демак, инсон танасининг ташқарисидан 1,5 атм., ичкарисидан эса 1 атм. босим бўлади. 0,5 атм. ички босимнинг етишмовчилигига одам организми бемалол чидаш бера

олади. Агар 40—50 м чуқурликдаги сув остига тушиш лозим бўлса, ташқи ва ички босимлар фарқи кўпайиб кетади ва киши организми чидаши қийин бўлади. Бундай ҳолларда сув остида махсус ишларни бажарувчи кишилар — аквалангистлар нафас олиш қурилмаларидан фойдаланишлари зарур. Мазкур қурилмалар киши ўпкасига кераклича юқори босимда ҳаво етказиб беради. Ҳар бир жонли зот организми маълум ички ва ташқи босимга мослашган бўлади. Масалан, даволаш учун қўлланиладиган зулуклар сув остида туриб  $p_0$  ташқи атм.



босимнинг ўзгаришларини сезишар экан. Одатда, зулуклар ёмғир ёнишдан аввал, ҳаво ўзгарганда атмосфера босими ва сувдаги кислород миқдори камайиши билан сув остидан юқорига кўтарилади.

Босимнинг ўзгариши организмдаги биологик жараёнларнинг нормал кечишига салбий таъсир кўрсатади. Киши организмдаги айрим касалликлар қон томирларидаги босимнинг нормадан четлашишлари билан боғлиқ бўлиши мумкин. Айрим юрак, ошқозон касалликлари, ревматик порок, қанд диабетн каби касалликларни барокамераларда даволашнинг ижобий натижалари бу фикрларни тасдиқлайди.

Агар солиштирма оғирлиги кичик бўлган газлар (масалан, водород, гелий) баллондан чиқариб юборилса, улар шу заҳотиёқ юқорига учиб кетади. Шунингдек, ҳаво шари водород билан тўлдирилса ва қўйиб юборилса, у юқорига кўтарилади. Бундай шарлардан атмосферанинг юқори қатламидаги босим, температура ва шамолнинг тезлигини аниқлашда фойдаланилади. Атмосфера босимининг кескин ўзгаришидан об-ҳавонинг ўзгаришини кутиш мумкин. Масалан, босимнинг кескин пасайиши ёғингарчилик бўлишидан дарак берса, босимнинг ортиси ёғингарчиликнинг тўхташини кўрсатади.

Шундай қилиб, ҳаво устунининг оғирлиги таъсирида ҳаво молекулалари Ерга томон тортилади. Ерга яқин қатламлар катта куч таъсирида сиқилади, юқорига кўтарилган сайин сиқиш кучи камайиб боради. Натижада баландлик ортиси билан ҳавонинг зичлиги ва босими камайиб боради (139-расм). Ҳақиқатан ҳам, Ер атмосферасининг 90% га яқини Ер сиртидан 16 км баландликкача қатламда жойлашган бўлиб, 80 км дан юқорида эса атмосферанинг атиги 1/10000 қисмигина ётади.

### **38- §. Газларда кўчиш ҳодисалари. Диффузия, иссиқлик ўтказувчанлик ва ички ишқаланиш ҳодисалари**

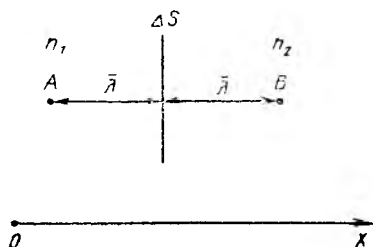
Газ ҳажмининг турли соҳаларида молекулаларнинг зичликлари ёки температуралари ҳар хил бўлиши ва бу қатламларнинг бир-бирига нисбатан силжиши натижа-сида ички ишқаланиш кузатилиши мумкин. Бундай ҳолларда модда миқдори, температура ёки тезликлар газнинг бир соҳасидан иккинчи соҳасига кўчиши юз беради. Шунинг учун бу ҳодисалар *кўчиш ҳодисалари* дейилади.

Кўчиш ҳодисаларига диффузия, иссиқлик ўтказувчанлик ва ички ишқаланиш ҳодисалари киради.

**1. Диффузия.** Бирига водород, иккинчисига карбонат ангидрид газни тўлдирилган най шаклидаги иккита идиш берилган бўлсин. Идишларнинг оғзини бир-бирига яқинлаштириб очиб юборайлик. Оғирлик кучи таъсир қилмаслиги учун карбонат ангидрид солинган идиш пастда, водород газни солинган идиш юқорида жойлашсин. Ўттиз минутдан кейин идишлар бир-биридан ажратилиб, аралашманинг таркиби текширилса, 33% водороднинг пастки идишга ўтганлиги 1870 йили немис физиги Лошмидт томонидан аниқланган. Газ молекулаларининг бундай ўтишига сабаб диффузия ҳодисасидир.

Чегарадош икки модда молекулаларининг хаотик ҳаракати натижасида уларнинг ўзаро бир-бирига киришиб кетиш ҳодисаси *диффузия* дейилади. Диффузия ҳодисасининг секин ўтишига сабаб газ молекулаларининг тартибсиз ҳаракати мобайнида бир нуқтадан иккинчи нуқтага кўчиши учун бу нуқталарни бирлаштирувчи тўғри чизиққа қараганда бир неча марта узун бўлган синиқ чизиқ шаклидаги йўлни ўтишларидир. Диффузия ҳодисаси туфайли бизни ўраб турган ҳаво атмосфераси азот, кислород, карбонат ангидрид, сув буғлари ва бошқа инерт газларнинг бир жинсли аралашмасини ҳосил қилади. Диффузия ҳодисаси бўлмаганда эди, оғирлик кучи таъсирида энг пастда оғир карбонат ангидрид газининг қатлами, ундан юқорида кислород, азот ва инерт газларнинг қатлами ҳосил бўлган бўлар эди.

Диффузия ҳодисасини батафсилроқ кўриб чиқиш учун газининг иккита *A* ва *B* соҳаларини олайлик (140-расм). Шу икки соҳани бирлаштирувчи тўғри



140- расм.

ри чизиққа перпендикуляр жойлашган  $\Delta S$  сирт уларни бир-биридан ажратиб турсин. *A* ва *B* соҳаларда газ молекулаларининг концентрациялари турлича, масалан  $n_1 > n_2$  бўлсин. Агар  $\Delta S$  сирт очиб юборилса, концентрациянинг пасайиши йўналишида диффузион оқим юзага келади, яъни *A* соҳадан *B* соҳага газ массаси кўчиб ўта

бошлайди. Бирор  $\Delta t$  вақт ичида  $\Delta S$  сирт орқали кўчиб ўтадиган газ массаси:

$$\Delta M = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t \quad (38.1)$$

бунда  $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}$  — зичлик градиенти, яъни газ молекулалари зичлигининг масофа бўйича ўзгаришидир.

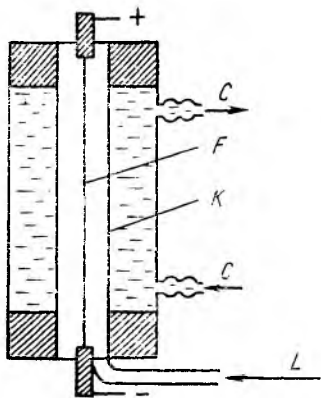
Шундай қилиб, зичликнинг фарқи қанча катта бўлса, кўчиш тезлиги шунча катта бўлади. (38.1) формуладаги минус ишора диффузион оқимнинг зичлик камайиши томонга қараб йўналганлигини кўрсатади. Бу ифодадаги  $D$  диффузия коэффициенти бўлиб, зичлик градиенти 1 га тенг бўлгандаги диффузион оқимни билдиради.

Фараз қилайлик, танлаб олинган соҳалардаги температуралар, молекулаларнинг массалари, уларнинг тезликлари ва эркин югуриш йўл узунликлари бирдай бўлсин.  $A$  ва  $B$  соҳалар  $\Delta S$  сиртдан ўртача эркин югуриш йўл узунлиги  $\bar{\lambda}$  узоқликда жойлашган бўлсин. Юқоридаги шартлар бажарилганда диффузия коэффициенти қуйидагига тенг бўлади:

$$D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}. \quad (38.2)$$

(38.1) ва (38.2) дан

$$\Delta M = -\frac{1}{3} \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \bar{v} \bar{\lambda} \Delta S \Delta t. \quad (38.3)$$



141- расм.

Бу ифодадаги  $\bar{v}$  температурага тўғри пропорционал,  $\bar{\lambda}$  эса босимга тескари пропорционал. Шунинг учун диффузия ҳодисаси температура ортиши билан жадаллашса, босим ортиши билан секинлашади.

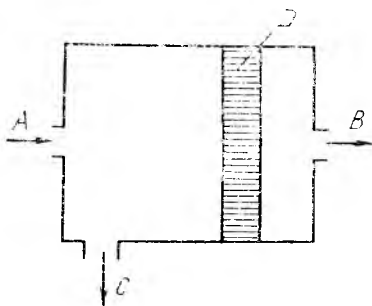
Юқорида кўриб ўтилган диффузия ҳодисаси соҳалардаги газ молекулаларининг зичликлари тенглашгунга қадар давом этади. Табиатда бу диффузиядан ташқари термик диффузия ҳам мавжуд. Бу диффузия тес-



қари натижага — газ аралашмасининг қисман компонентларга ажралишига олиб келади. Термик диффузия ҳодисасидан аралашмадаги газларни бир-биридан ажратишда (диффузиялашда) фойдаланилади. Бу усул 1938 йили Клаузиус томонидан амалга оширилган (141-расм). Қ вертикал най марказида жойлашган  $F$  сымдан ўтувчи ток ёрдамида қиздирилади, унинг деворлари эса  $C$  сув оқими ёрдамида совитилади. Газ аралашмаси  $L$  най орқали киритилади, қизган сым яқинидаги енгил газ юқорига кўтарилади, най деворлари яқинидаги совуқ оғир газ эса пастга тушади. Шундай қилиб, найнинг юқори қисмида ортиқча енгил компонента, пастки қисмида эса ортиқча оғир компонента юзага келади. Шу усул билан бир қатор изотоплар бир-биридан ажратилган. Иссиклик энергиясининг жуда кўп сарфланиши туфайли бу усул саноатда кам ишлатилади.

Маълумки, изотоплар фақат массалари билангина бир-биридан фарқ қилади. Шунинг учун уларни бир-биридан ажратиш учун химиявий усулдан эмас, балки физикавий усулдан фойдаланишга тўғри келади (142-расм). Газларнинг диффузия коэффициентлари молекулаларнинг массасига тескари пропорционал. Шундай экан  $A$  газ аралашмаси бирор  $D$  говак тўсиқ орқали ўтказилса,  $B$  енгил газ  $C$  оғир газга нисбатан тезроқ ўтади. Бу ҳодисадан газларни бир-биридан ажратишда фойдаланиш мумкин. Шу жараёни бир неча марта такрорлаш билан керакли газ компонентасини тўла ажратиб олиш мумкин. Газ тозалогич (противогаз) ларнинг ишлаш принципи ҳам шу схемага асосланган.

Ҳозирги вақтда қанд заводларида лавлагидан қанд ажратишда диффузия ҳодисасидан фойдаланилади. Бунинг учун диффузион қурилмасига майдалаб солинган қанд лавлагисидан сув ўтказилади. Бу жараёнда қанд молекулалари диффузия натижасида лавлагидан сувга ўтади, сўнгра сувни буғлантириб қанд ажратиб олинади. Бундан ташқари, химия саноатида тери ошлайдиган мод-



142-расм.

даларни, бўёқларни, хилма-хил моддаларни ажратиб олишда диффузиядан фойдаланилади. Диффузия ҳодисаси қаттиқ жиемларда ҳам кузатилади. Масалан, темирни кўмир билан бирга чулгантирилган вақтда углерод молекулалари темирга диффузияланади. Бундай тоблаш ташқи қатлами қаттиқ, лекин ичи юмшоқ бўлган буюм олишга имкон беради. Микроэлектроника соҳасида ярим ўтказгич монокристалларни ҳосил қилиш ва улар асосида ҳар хил электрон қурilmалар тайёрлаш технологиясида диффузия усули энг асосий усуллардан бири ҳисобланади.

2. Иссиқлик ўтказувчанлик. Агар 140-расмда таълаб олинган  $A$  ва  $B$  соҳаларда газ молекулаларининг зичликлари бир хил бўлиб, соҳалардаги температуралар турлича, масалан,  $T_1 > T_2$  бўлса, у ҳолда газнинг иссиқроқ қисмидан совуқроқ қисмига иссиқлик ўтиши юз беради. Бу ҳодисага газларда иссиқлик ўтказувчанлик ҳодисаси дейилади. Ҳисоблашларининг кўрсатишича, газ соҳалари бир-биридан  $\Delta S$  сирт билан ажратилган бўлса, у ҳолда шу сирт орқали  $\Delta t$  вақт мобайнида ўтадиган иссиқлик миқдори

$$\Delta Q = -\kappa \frac{\Delta T}{\Delta x} \cdot \Delta S \cdot \Delta t, \quad (48.4)$$

бунда  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  сирт  $\Delta S$  га тик бўлган йўналишдаги температура градиенти; манфий ишора иссиқлик оқими температура градиентини камайтириш томонига йўналганлигини кўрсатади.

(48.4) ифодадаги  $\kappa$  иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини дейилади ва у газнинг олиб ўтаётган иссиқлик миқдори оқимини билдиради. Бу катталик температура градиенти бир бирликка тенг бўлганда 1 секунд ичида бир бирлик сиртдан ўтадиган иссиқлик миқдорини кўрсатади. Ҳисоблаш натижаларига кўра, иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти

$$\kappa = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} c_v \rho, \quad (38.5)$$

бунда  $\rho$  — газнинг зичлиги,  $C_v$  — ўзгармас ҳажмдаги газнинг иссиқлик сифми.

(38.5) формулага кирувчи зичлик  $\rho$  ва эркин югуриш йўл узунлиги  $\bar{\lambda}$  босимга боғлиқ. Бироқ,  $\rho$  босимга тўғри пропорционал. Шунинг учун иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти  $\kappa$  босимга боғлиқ эмас. (38.5) ифодадаги  $\bar{\lambda}$  темпера-

турага кучсиз боғланган,  $\bar{v}$  эса  $T^{1/2}$  га пропорционал, қолган катталиклар боғлиқ эмас. Шундай қилиб, везиқлик ўтказувчанлик коэффициентини  $\kappa$  температурадан чиқарилган квадрат илдиздан кўра кучлироқ боғланган.

**3. Ички ишқаланиш.** Фараз қилайлик, 140- расмда келтирилган газ соҳаларида иккита газ қатламлари бўлиб, уларнинг зичликлари ва температуралари бирдай бўлсин. Қатламлардан бири  $u_1$ , иккинчиси  $u_2$  тезлик билан ҳаракатлансин ва  $u_1 > u_2$  бўлсин. Газ молекулаларининг ҳаракатлари тартибсиз бўлгани учун биринчи қатламдан иккинчи қатламга ўтган молекула ўз ҳаракат миқдорининг бир қисмини иккинчи қатлам молекуласига узатади. Натижада қўшимча ҳаракат миқдори олган молекула тезроқ, ҳаракат миқдори берган молекула эса секинроқ ҳаракат қилади. Иккинчи қатлам молекуласининг биринчи қатламга ўтишида аксинча ҳодиса кузатилади.

Шундай қилиб, молекулаларининг бир соҳадан иккинчи соҳага ўтиши қатламлар тезликларини текислашга интилади. Бунга сабаб молекулалар орасидаги қуйидаги ишқаланиш кучининг мавжудлигидир:

$$\Delta F = -\eta \frac{\Delta u}{\Delta x} \Delta S, \quad (38.6)$$

бунда  $\frac{\Delta u}{\Delta x}$  — қатламалар тезлиги фарқининг градиенти,  $\Delta F$  — турли тезликлар билан ҳаракатланаётган газ қатламлари орасидаги ички ишқаланиш кучи. Минус ишора ҳаракат миқдорининг тезлик камаётган йўналишида камайишини, яъни  $\Delta F$  кучининг тормозловчи куч эканлигини кўрсатади.  $\eta$  — ички ишқаланиш коэффициенти ёки кинематик қовушқоқлик бўлиб, у қуйидаги ифодадан аниқланади:

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{\lambda} \bar{v} \rho. \quad (38.7)$$

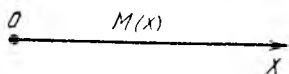
*Ички ишқаланиш коэффициенти* деганда, тезлик градиенти бир бирликка тенг бўлганда бир бирлик сиртга таъсир қилувчи куч тушунилади. Бу коэффициент температурадан чиқарилган квадрат илдизга пропорционал бўлиб, босимга боғлиқ эмас. Кўриб ўтилган учта ҳодисалардаги кўчиш коэффициентлари  $D$ ,  $\kappa$  ва  $\eta$  ларни ифодаловчи (38.2), (38.5) ва (38.7) формулани бир-биринга таққослаб, қуйидаги боғланиш формуласини ҳосил қиламиз:

$$x = D_{oc_r} = \eta c_r. \quad (38.8)$$

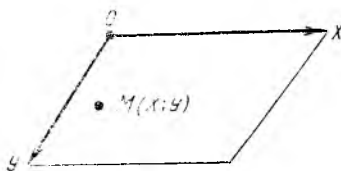
Бу ифода газдаги механик ва психиклик ҳодисалари орасидаги боғланишни кўрсатади.

### 39- §. Идеал газнинг ички энергияси ва унинг эркинлик даражалари бўйича тенг тақсимот қонуни

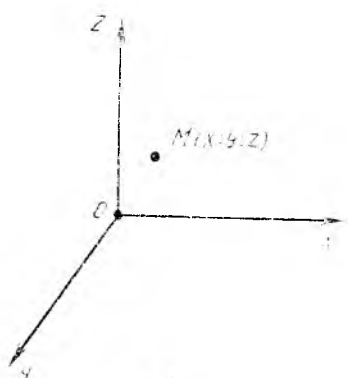
Газ молекуласининг эркинлик даражаси деганда, шу газ ҳолатини тўла аниқловчи ва бир-биринга боғлиқ бўлмаган координаталар сонни тушунилади. Агар молекула ни бирор тўғри чизиқ бўйлаб ҳаракатланаётган моддий нуқта деб қарасак, у ҳолда унинг вазияти битта координата ( $x$ ) билан аниқланади (143-а расм).  $M$  молекула



а)



б)



143- расм.

ХОУ текислиги бўйлаб ҳаракатланса, унинг ҳолати иккита координата ( $x, y$ ) билан характерланади (143-б расм). Фазода ҳаракатланувчи молекуланинг вазияти учта параметр ( $x, y, z$ ) билан аниқланади (143-в расм). Шундай қилиб, бир атомли газ молекуласининг илгариланма ҳаракатига мос келувчи энг кўп координаталар сонни учга тенг бўлиши мумкин экан. Бу координаталар сонни молекула

нинг эркинлик даражаси дейилади.

Газ икки атомли бўлган ҳолда молекуланинг эркинлик даражаси ортади. Молекула атомлари орасидаги масофани ўзгармас деб ҳисобласак ҳам, газ молекуласининг айланма ҳаракатини ҳисобга олиш керак бўлади.

Икки атомли газ молекуласининг айланма ҳаракатига яна иккита қўшимча эркинлик даражаси мос келади. Шунинг учун икки атомли газ молекуласининг илгариланма ва айланма ҳаракатларига мос келувчи умумий эркинлик даражаси бешга тенгдир. Агар молекула бир тўғри чизиқда ётмаган уч ёки кўп атомли бўлса, у ҳолда унинг эркинлик даражаси олтига тенг бўлади. Тебранма ҳаракат қилаётган газ молекуласи яна битта қўшимча эркинлик даражасига эга бўлади. Шундай қилиб, молекулаларнинг эркинлик даражаси учга тенг бўлса, у кўчади, олтига тенг бўлса, ҳам илгариланма, ҳам айланма ҳаракат қилади, еттига тенг бўлса илгариланма, айланма ва тебранма ҳаракат қилади, деб тушуниш керак. Умумий эркинлик даражаси нечага тенг бўлишидан қатъи назар, унинг учтаси илгариланма ҳаракатга мос келади.

Иссиқлик ҳаракатининг хаотиклиги туфайли молекула тезлигининг барча йўналишлари тенг эҳтимолдир. Молекуланинг тўлиқ илгариланма ҳаракат кинетик энергияси қуйидаги ифодага тенг.

$$\bar{\epsilon} = \frac{3}{2} kT. \quad (39.1)$$

Бу энергия молекуланинг учала эркинлик даражаси бўйлаб текис тақсимланади. Шунинг учун илгариланма ҳаракатининг ҳар бир эркинлик даражасига ярим  $kT$  энергия мос келади. Статистик физикада таъкидланишича айланма ҳаракатининг ҳар бир эркинлик даражасига ҳам ярим  $kT$  энергия мос келса, тебранма ҳаракат эркинлик даражасига  $kT$  энергия тўғри келади. Агар молекуланинг эркинлик даражасини  $i$  ҳарфи билан белгиласак, у ҳолда битта молекуланинг ўртача энергияси:

$$\bar{\epsilon} = \frac{i}{2} kT, \quad (39.2)$$

бунда

$$i = i_{\text{илг}} + i_{\text{айл}} + 2i_{\text{теб}}. \quad (39.3)$$

(39.2) ифодага энергиянинг эркинлик даражалари бўйича тенг тақсимот қонуни дейилади. Бу ифода (39.1) дан умумийроқ томон билан фарқ қилади.

Системани характерловчи термодинамик катталиклардан бири — системанинг ички энергиясидир. Система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда ички энергиясининг ўзгариши бошланғич ва охириги ҳолатлар ички

энергиялари фарқига тенг бўлиб, ўтми йўлига боғлиқ эмас. *Ички энергия* деганда, системани ташкил этган зарраларнинг хаотик ҳаракат кинетик энергияси, улар орасидаги ўзаро таъсир потенциал энергияси ва молекулалар ички энергияларининг қўллами тушунилади. Идеал газ молекулалари ўзаро таъсирланмагани учун ўзаро таъсир потенциал энергияси нолга тенг бўлади. Бир моль газнинг ички энергиясини тоғини учун (39.2) ни Авогадро сонига кўнайтириш керак:

$$U_m = \bar{\epsilon} N_A = \frac{i}{2} N \cdot k \cdot T = \frac{i}{2} RT, \quad (39.4)$$

бунда  $R$  — универсал газ доимийси.

Ихтиёрий  $m$  массали идеал газнинг ички энергияси

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT. \quad (39.5)$$

Шундай қилиб, маълум массали идеал газнинг ички энергияси босим ва ҳажмга боғлиқ бўлмасдан, фақат температуранинг функцияси экан. Бошқача айтганда, идеал газ ички энергияси фақат унинг температурасига боғлиқ бўлиб, газ молекулалари кинетик энергияларининг йиғиндисидан иборат, деган хулосага келамиз.

## VIII б о б. ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

### 40-§. Термодинамиканинг биринчи қонуни ва унинг баъзи жараёнларга татбиқи. Пуассон тенгламаси

Табиятдаги моддалар қандай агрегат ҳолатида бўлишидан қатъи назар атом ва молекулалардан ташкил топганлигини ва зарралар доимо тартибсиз иссиқлик ҳаракатида бўлганлиги учун жисм ҳатто тинч турган бўлса ҳам у маълум ички энергияга эга бўлишини ўтган бобда кўриб ўтдик. Модданинг ички кинетик энергияси молекула ва атомлар ҳаракати эвазига юзага келувчи ички энергия бўлиб, жисмнинг ҳаракат кинетик энергиясидан фарқ қилади. Ташқаридан системага маълум иссиқлик миқдори берсак, унинг ички энергияси суғъий равишда ортади ва бунинг оқибатида атом ва молекулаларнинг тартибсиз ҳаракати жадаллашади. Ташқаридан системага берилган иссиқлик миқдорининг бир қисми иш бажаришга сарф бўлиши ҳам мумкин.

Иссиқлик, иш ва энергия орасидаги ўзаро боғлиқлигини ўрганишчи физика курси бўлими *термодинамика* дейилади. Табиат ҳодисаларига энергиянинг сақланиш ва бир турдан иккинчи турга ўтиш қонуни асосида қараш термодинамиканинг мазмунини ташкил қилади. Шу қонуниятни қабул қилсак, у ҳолда моддаларнинг қандай атом ва молекулалардан ташкил топганлигини билмай туриб, унинг табиатини, шунингдек, ҳодисаларнинг бо-риши ва йўналишини ўрганиш мумкин.

Термодинамикада энергия, иш ва иссиқлик миқдори тушуничалари ишлатилади. Бу катталиклар бирдай бир-ликларда ўлчанса-да, маъно жиҳатидан бир-биридан фарқ қилади. Ишнинг энг муҳим белгиси — у жараёни акс эттиради. Иш бажарилиши учун жараёнда камида иккита система иштирок этиши лозим. Бу жараён мобайнида энергия бир системадан иккинчи системага узатилади. Энергия системанинг ҳолатини акс эттириб, унинг иш бажариш қобилиятини ифодалайди. Бир системадан иккинчи системага энергия узатишнинг икки усули мавжуд:

1. Энергияни иш кўринишида узатиш; бунда система устида иш бажарилади.

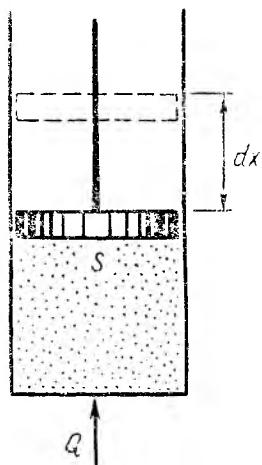
2. Энергияни иссиқлик кўринишида узатиш; бу ҳолда иш бажарилмаслиги мумкин, узатилган энергия иккинчи системанинг ички энергиясига қўшилади.

Термодинамиканинг биринчи қонуни энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунининг хусусий ҳоли бўлиб, иссиқлик жараёнлари учун татбиқ қилинади. Термодинамик системанинг ҳар бир мувозанат ҳолатига ички энергиянинг битта қиймати мос келади. Агар системага бирор  $dQ$  иссиқлик миқдори берилса,  $dA$  иш бажарилиши ва система  $U_1$  ички энергияли ҳолатдан  $U_2$  ички энергияли ҳолатга ўтиши мумкин. У ҳолда энергиянинг сақланиш қонунига биноан

$$dQ = dU + dA. \quad (40.1)$$

Бунда  $dU = U_2 - U_1$  — система ички энергиясининг ўзгаришидир.

(40.1) формула термодинамикани биринчи қонуни-нинг миқдорий кўриниши бўлиб, қуйидагича таърифланади: системага ташқаридан берилган иссиқлик миқдори шу системанинг ички энергиясини ортиришга ва ташқи системалар устида иш бажаришга сарф бўлади.



144-расм.

Энди термодинамиканинг биринчи қонуimini айрым жараёни ва ҳолисаларга татбиқини кўриб ўтайлиқ:

**1. ИЗОБАРИК ЖАРАЁН.** Юқори томонидан силжит поршень билан чегараланган цилиндр ичида идеал газ жўлланган бўлади. (144-расм). Цилиндр ичидаги газга бирор йўл билан ташқаридан  $dQ$  энергия берсак, масалан, қиздирсак, газ кенгайди ва  $S$  юзли поршень юқорига  $dx$  масофага силжийди. Бу ҳолда поршенининг силжинини шунчалик секин бўлсинки, жараёни мобайнида босим ўзгармасдан қолсин. Босим ўзгармаган ҳолдаги бажарилган элементар иш қўйидагига тенг:

$$dA = pS dx = pdV. \quad (40.2)$$

(40.2) ни (40.1) га қўйиб, қўйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$dQ = dU + p dV. \quad (40.3)$$

Демак, газ ҳажмининг ўзгаришида бажарилган иш газ босимини унинг ҳажм ўзгаришига кўпайтирилганига тенг экан.

**2. ИЗОХОРИК ЖАРАЁН.** Бу жараёнда газнинг ҳажми ўзгармайди, шунинг учун бажарилган иш  $dA = 0$  бўлади. У ҳолда (40.1) дан  $dQ = dU$  бўлади. Бу жараёни вақтида газга ташқаридан берилган ишнинг миқдорининг ҳаммаси газ ички энергиясининг ортишига олиб келади.

**3. ИЗОТЕРМИК ЖАРАЁН.** Температураси ўзгармас бўлган жараёнларда газнинг ички энергияси  $U$  доимий сақланади. Бу ҳолда (40.1) да  $dQ = dA$  бўлиб қолади, яъни ташқаридан берилган ишнинг миқдорининг ҳаммаси иш бажариш учун сарф бўлади.

**4. ЧўЗИЛИШ ДЕФОРМАЦИЯСИ.** Узунлиги  $l$  га тенг бўлган стерженга чўзувчи куч таъсир қилаётган бўлсин. Куч таъсирида стерженнинг узунлиги  $dl$  га ортсин. У ҳолда бажарилган чўзилиш иши қўйидагига тенг бўлади:

$$dA = -f dl. \quad (40.4)$$



(40.4) ни термодинамиканинг биринчи қонуни ифодаси (40.1) га қўйсак:

$$dQ = dU - fdl, \quad (40.5)$$

**5. Буралиш деформацияси.** Стерженни бирор ўққа нисбатан аф бурчакка бурсак, у ҳолда бажарилган иш

$$dA = -Id\varphi \quad (40.6)$$

ёки

$$dQ = dU - Id\varphi, \quad (40.7)$$

$I$  — стерженнинг инерция моменти.

**6. Диэлектрикнинг қутбланиши.** Ташқи электр майдонда диэлектрик жойлашган бўлсин. Системада бир вақтнинг ўзида ҳам кенгайиш, ҳам қутбланиш иши бажарилсин. У ҳолда термодинамиканинг биринчи қонуни қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$dQ = dU + pdV - EdN, \quad (40.8)$$

бунда  $E$  — электр майдон кучланганлиги;  $N$  — қутбланиш вектори.

**7. Магнетикнинг магнитланиши.** Ташқи магнит майдонда бирорта магнетик жойлашган бўлсин. Бир вақтнинг ўзида ҳам кенгайиш, ҳам магнитланиш иши бажарилса, у ҳолда қонун қуйидаги кўринишда ёзилади:

$$dQ = dU + pdV - HdM, \quad (40.9)$$

бунда  $H$  — магнит майдон кучланганлиги;  $M$  — магнитланиш вектори.

**8. Адиабатик жараён.** Агар система жараён мобайнида ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмаса, бундай жараёнларга *адиабатик жараёнлар* дейилади. Адиабатик жараёнда  $dQ=0$  бўлганлиги учун термодинамиканинг биринчи қонуни (40.1) дан

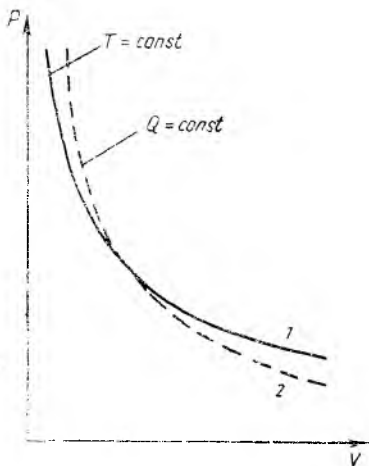
$$dU = -dA, \quad (40.10)$$

бундаги «минус» ишора ташқи иш системанинг ички энергияси ҳисобига бажарилаётганлигини кўрсатади.

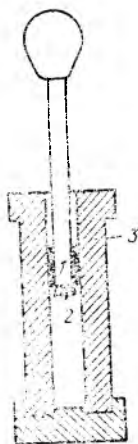
Идеал газнинг ҳолати учта параметр: босим  $p$ , ҳажм  $V$  ва температура  $T$  билан характерланади. Термодинамиканинг биринчи қонуни асосида адиабатик жараён учун қуйидаги ифодани ҳосил қилиш мумкин:

$$pV^\gamma = \text{const}. \quad (40.11)$$

Бу ифода идеал газнинг адиабата тенгламаси ёки



145- расм.



146- расм.

Пуассон тенгласин дейиладн,  $\gamma$  — адиабата кўрсаткичи бўлиб, доимо  $\gamma > 1$ . Бир моль идеал газ учун  $pV = RT$  бўлганлиги учун Пуассон тенгласининг қуйидаги кўрипишларини ҳам ҳосил қилиш мумкин:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}. \quad (40.12)$$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = \text{const}. \quad (40.13)$$

Пуассон тенгласини (40.11) ни бир моль идеал газ учун ёзилган изотерма тенгласини  $pV = \text{const}$  билан таққослайлик. Ифодаларни таққослашда (2) адиабата чизиги (1) изотерма чизигидан тикроқ жойлашгани керак, деган хулоса келиб чиқади (145-расм). Бунга сабаб изотермик жараёнда газ босими ҳажмининг биринчи даражасига пропорционал ўзгарса, адиабатик жараёнда  $V^\gamma$  га пропорционал ўзгаради ва доимо  $\gamma > 1$ . Шундай экан, изотермик жараён адиабатик жараёнинг хусусий ҳолидир, деган фикрга келамиз.

Табиатда ўзидан иссиқликни мутлақо ўтказмайдиган моддалар мавжуд эмас. Шунинг учун амалда адиабатик жараёни ўтказиш қийин, лекин ҳар доим озми-кўпми иссиқлик алмашини юз беради. Агар жараён жуда тез юз берса, кузатилаётган системанинг бошқа системалар билан иссиқлик алмашини нолга тенг, деб қараш мум-

кин. Масалан, температураси  $18^{\circ}\text{C}$ , босими 1 физ. атм. =  $=1,03 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  ва zichлиги  $1,215 \text{ кг/м}^3$  бўлган ҳаво учун  $\gamma=1,4$  ва бу ҳавода тезушнинг тарқалиш тезлиги  $v=342 \text{ м/с}$  га тенг. Товуш тўлқинининг бу катга тезлигида муҳит билан энергия алмашиши өз бормайди, деб ҳисоблаш ва бу жараёни адиабатик деб олиш мумкин.

Европада гугурт ихтиро қилинганга қадар пневматик ёқувчи қурилмадан фойдаланиб келинган (146-расм). Поршеньнинг пастки учига (2) пахта шиллиги қўйилган. Агар поршень ёғочдан ясалган (3) цилиндр ичида пастга босилса, ҳаво қизиб шиллик ёнади. Ҳозирги вақтда худди шу жараёни дизель двигателига пуркалган ёқилғини ёндиришда қўлланилади. Бундан тавқари, адиабатик жараёнлардан совиткич қурилмаларида ва компрессорларнинг ишлашида фойдаланилади. Шундай қилиб, энергиянинг сақланиш қонунини ифодаловчи термодинамиканинг биринчи қонунини турли жараёнлар учун қўллаш мумкин экан.

#### 41- §. Идеал газнинг иссиқлик сифими

Маълумки, массалари бир хил бўлган турли хил моддаларнинг температурасини бир хил даражага орттириш учун ҳар хил миқдор иссиқлик керак бўлади. Моддаларнинг иссиқлик хоссаларини характерлаш учун иссиқлик сифими тушунчаси киритилади. Модданинг температурасини бир Кельвинга орттириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори *иссиқлик сифими* деб аталади:

$$C = \frac{dQ}{dT} \quad (41.1)$$

Модданинг температурасини бир даража орттириш учун бериладиган иссиқлик миқдори модданинг массасига пропорционал бўлади. Шунинг учун солиштирма иссиқлик сифими тушунчаси киритилади. Модданинг бир бирлик массасига тўғри келувчи иссиқлик сифими *солиштирма иссиқлик сифими* дейилади:

$$C_0 = \frac{C}{m} \quad (41.2)$$

Бир моль модданинг температурасини бир градус кельвинга ўзгартириш учун керак бўладиган иссиқлик миқдори *моль иссиқлик сифими* дейилади:

$$C_m = \frac{C}{\nu}, \quad (41.3)$$

бунда  $\nu = \frac{m}{\mu}$  — моллар сони.

Моляр ва солиштирма иссиқлик снгимлари ўзаро қуйидагича боғлангандир:

$$C_m = C_0 \mu. \quad (41.4)$$

Иссиқлик снгими  $\frac{Ж}{К}$  да, солиштирма иссиқлик снгими  $\frac{Ж}{кг \cdot К}$  да, моляр иссиқлик снгими эса  $\frac{Ж}{мол \cdot К}$  да ўлчанади.

Иссиқлик снгими фақат моддани характерлабгина қолмай, балки жнем температурасининг ўзгарishi қандай шаронтда юз бераётганига ҳам боғлиқ бўлади. Шу сабабдан иссиқлик снгими аниқ бир қийматга эга эмас ва ҳолат функцияси бўла олмайди. Агар идеал газга иссиқлик қандай шаронтда берилиши маълум бўлса, у ҳолда иссиқлик снгими ўзининг аниқ бир қиймати билан газни характерлай олади. Идеал газни икки хил шаронтда иситиши мумкин:

- 1) ўзгармас ҳажмда,  $V = \text{const}$ .
- 2) ўзгармас босимда,  $p = \text{const}$ .

Газнинг ҳажми ўзгармас сақланган ҳолда ташқаридан берилган иссиқлик миқдори унинг тўла ички энергиясига айланади. Газ босими ўзгармас бўлган ҳолда ташқаридан берилган иссиқлик миқдорининг бир қисми ички энергиянинг ортishiга, иккинчи қисми эса ташқи босим кучларига қарши кенгайishi ишини бажаринишга сарф бўлади. Шунинг учун ўзгармас босимдаги иссиқлик снгими  $C_p$  ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик снгими  $C_v$  га қараганда каттароқ бўлади. Термодинамиканинг биринчи қонунидан бу икки иссиқлик снгимини боғловчи қуйидаги Майер тенгламасини ҳосил қилиши мумкин:

$$C_p - C_v = R. \quad (41.5)$$

Бу фодадан ташқи босим кучларига қарши бажариладиган ишининг катталиги универсал газ доимийси  $R$  га тенглиги кўриниб турибди. Универсал газ доимийси эса сөн жақатидан 1 моль газнинг температурасини 1 кельвинга иситишда бажарилган ишга тенгдир.

Кўп ҳолларда юқорида келтирилган иссиқлик снгимларининг исбати тушунчасидан фойдаланилади:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}, \quad (41.6)$$

бунда  $\gamma$  — ўтган параграфда кўрилган Пуассон коэффициентидир. (41.5) ва (41.6) формуладан

$$\gamma = \frac{C_v + R}{C_v} = 1 + \frac{R}{C_v} > 1. \quad (41.7)$$

Аввал кўрилган (39.2) ифодага кўра, бир моль идеал газнинг ички энергияси учун қуйидаги формулани ёза оламиз:

$$U = \frac{i}{2} RT. \quad (41.8)$$

Шундай экан, ўзгармас ҳажм ва ўзгармас босим шартларидаги иссиқлик сифмлари қуйидагига тенг бўлади:

$$c_v = \frac{dU}{dT} = \frac{i}{2} R. \quad (41.9)$$

$$C_p = c_v + R = \left(\frac{i}{2} + 1\right) R. \quad (41.10)$$

Охириги икки ифоданинг нисбатини олсак, қуйидагига эришамиз:

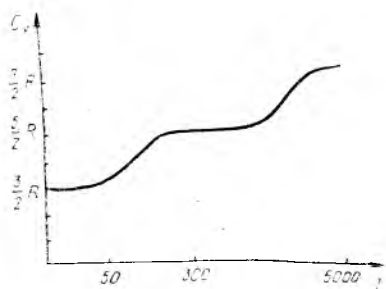
$$\gamma = \frac{i+2}{i}. \quad (41.11)$$

$\gamma$  — берилган газ учун ўзгармас катталиқ бўлиб, газнинг неча атомли эканлигига боғлиқ бўлади. Бир атомли газлар учун  $i = 3, \gamma = 1,67$ ; икки атомли газлар учун  $i = 5, \gamma = 1,4$ ; уч атомли газлар учун  $i = 6, \gamma \approx 1,3$ .

Шундай қилиб, идеал газнинг иссиқлик сифми температурага боғлиқ бўлмасдан, фақат газ молекулаларининг эркинлик даражаси билан аниқланар экан. Назариянинг бу натижаси фақат бир атомли газлар учунгина тажриба натижалари билан мос тушади. Айрим икки атомли ва кўпроқ уч атомли газлар учун тажриба ва назария натижалари яқин келмайди. Тажриба натижасига кўра, иссиқлик сифми температурага боғлиқ бўлиши керак. Бу эса назариянинг (41.9), (41.10) ва (41.11) формуласига мутлақо тўғри келмайди.

Икки ва ундан ортиқ атомли газлар бир атомли газлардан ўз молекулаларининг эркинлик даражалари сони

билан фарқ қилади. Масалан, икки атомли газ молекуласининг илгариланма ҳаракати учун учта, айланма ҳаракати учун иккита эркинлик даражаси мос келади. Уч атомли газларда тебранма ҳаракат учун яна битта қўшимча эркинлик даражаси мавжуд. Демак, уч атомли газ олтига эркинлик даражасига эга бўлиб, улардан учтаси илгариланма, иккитаси айланма ва биттаси тебранма ҳаракатга мос келар экан.



147- расм.

Бўйича тенг тақсимот қонунини бузилиб, эркинлик даражасининг ўзи температуранинг функцияси бўлиб қолади. Мисол тариқасида, икки атомли водород газини молекуласи иссиқлик сифмининг температурага боғланишини кўрайлик (147- расм). Тажриба натижасидан кўринадики, паст температураларда иссиқлик сифми  $\frac{3}{2}R$  га, хона температураларида  $\frac{5}{2}R$  га,

жуда юқори температураларда  $\frac{7}{2}R$  га тенг экан. Бундан водород молекуласи паст температураларда моддий нуқта бўлиб, фақат илгариланма ҳаракат қилади, ўрта температураларда яна айланма ҳаракат ҳам қилади, юқори температураларда эса илгариланма, айланма ва тебранма ҳаракат қилади деган мулоҳазага бориш мумкин.

Ҳаракат турларининг ортшига мос равишда молекуланинг эркинлик даражалари сонини ҳам ортиб бориши керак. Иссиқлик сифмининг температурага боғланишини тўла тушинтира олмаслик классик механиканинг энг асосий камчиликларидан бири бўлиб ҳисобланади. Бу боғланиш квант назарияси асосида батафсил тушутирилади.

Молекуляр-кинетик назарияга кўра, (39- § га қаранг) илгариланма ва айланма ҳаракатнинг ҳар бир эркинлик даражасига  $\frac{1}{2}kT$ , тебранма ҳаракат эркинлик даражасига эса  $kT$  энергия мос келади. Айрим икки атомли ва кўпчилик уч атомли газларда энергиянинг эркинлик даражалари

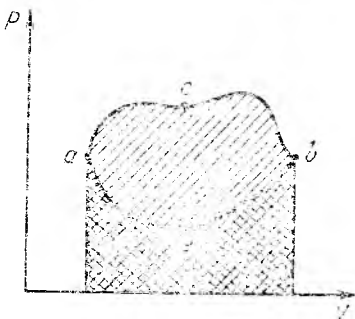
## 42- §. Айланма цикл. Қайтар ва қайтмас жараёнлар. Термодинамиканинг иккинчи қонуни

Термодинамик системанинг параметрлари  $p_1, V_1, T_1$  бўлган бир мувозанат ҳолатидан чиқиб, параметрлари  $p_2, V_2, T_2$  га тенг бўлган иккинчи мувозанат ҳолатга ўтиши *жараён* дейилади. Система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда оралиқ ҳолатлар мувозанатли бўлиши учун жараён жуда секин юз бериши керак. Агар термодинамик система бир ҳолатдан чиқиб, бир қатор ҳолатларини ўтиб яна ўзининг дастлабки ҳолатига тўла қайтиб келса, бундай жараён *айланма жараён* (цикл) дейилади. Диаграммада айланма цикллар берк контур орқали ифодаланади (148- расм).

$pV$  диаграммада кўрилатган системанинг  $a$  вазиятдан  $b$  вазиятга  $c$  нуқта орқали ўтиши ҳажмнинг катталашини билан юз беради. Бу ҳолда система ташқи кучларга қарши бирор иш бажаради. Системанинг  $a$  ҳолатдан  $b$  ҳолатга  $c$  нуқта орқали ўтиши *тўғри жараён* дейилади. Системанинг  $b$  ҳолатдан  $e$  нуқта орқали  $a$  ҳолатга қайтиб ўтиши *тесқари жараён* деб аталади. Шундай қилиб, айланма цикл *тўғри* ва *тесқари* жараёнлардан ташкил топган экан.

Тўғри ва тесқари жараёнларда бажарилган ишлар қарама-қарши ишорали бўлгани учун натижавий иш бу ишларнинг айирмасига, яъни *асвеа* эгри чизик билан чегараланган юзага тенгдир. Агар жараён тесқари йўналишда амалга оширилганда система тўғри жараёнда ўтган оралиқ ҳолатлари орқали ўтиб ўзининг аввалги ҳолатига тўла қайтса ва бунда атроф муҳитда ҳеч қандай ўзгариш юз бермаса бундай жараёнлар *қайтар жараёнлар* дейилади. Юқорида келтирилган шартларни қаноатлантирмайдиган жараёнлар *қайтмас жараёнлар* деб аталади.

Айланма жараёнда система ўзининг аввалги ҳолатига тўла қайтиб келганлиги учун унинг ички энергияси-



148- расм.

нинг ўзгариши нолга тенг бўлади, яъни  $dU=0$ . Шундай экан, системанинг цикл мобайнида бажарган иши термодинамиканинг биринчи қонунига кўра, ташқаридан олинган иссиқлик миқдорига тенгдир, яъни

$$dQ = dU + dA = dA. \quad (42.1)$$

Термодинамиканинг биринчи қонунини (42.1) энергиянинг сақланиш ва айланиш қонунининг хусусий ҳоли эканлиги бизга маълум. Ҳар қандай модда тартибсиз иссиқлик ҳаракатида бўлган атом ва молекулалардан ташкил топганлиги учун у маълум ички энергияга эга бўлади. Шу ички энергиядан фойдаланиш мумкинми? Бунинг учун иккита жисм олайлик: уларнинг массалари  $m_1, m_2$ , температуралари  $T_1 > T_2$  бўлсин. Улар контактга келтирилса, температураси юқорироқ бўлган биринчи жисм ички энергиясининг бир қисми настроқ температурали иккинчи жисмга ўтади, тескари йўналишда энергия ўтиши кузатилмайди. Биринчи жисмдан ўтган энергиянинг бир қисми иккинчи жисм устида иш бажаришга ва унинг ички энергиясини ортишига сарф бўлади. Охир оқибатда ўзаро контактга келтирилган жисмлар системасининг температуралари тенглашади ва  $T_0$  бўлиб қолади, бунда  $T_1 > T_0 > T_2$  бўлади.

Термодинамиканинг биринчи қонунини бажарилиши учун биринчи жисмнинг йўқотган иссиқлигини иккинчи жисм томонидан қабул қилинган иссиқликка тенг бўлиши етарли. Лекин бу қонун иссиқлик иссиқ жисмдан совуқ жисмга ўтадими ёки аксинча эканлигини кўрсата олмайди.

Иккинчи бир мисол сифатида массаси  $m$  га тенг бўлган ва  $h$  баландликда жойлашган жисмни олайлик. Бу жисм ташлаб юборилса,  $mgh$  потенциал энергияси камайиб,  $\frac{mv^2}{2}$  кинетик энергияси ортиб боради. Жисм ерга келиб тушгач механик энергиянинг ҳар иккала кўриниши нолга айланиб, урилиш нуқтасида қандайдир  $Q$  иссиқлик миқдори ажралиб чиқади.

Таъжрибанинг тескарисини қилиб кўрайлик. Ер сиртида турган  $m$  массали жисмга  $Q$  иссиқлик миқдори берайлик. Табиийки, бу энергияни олган жисм ҳеч қачон  $h$  баландликка кўтарилмайди. Шундай экан, бу йўналишда термодинамиканинг биринчи қонунини бажарилмайди. Демак, термодинамиканинг биринчи қонунини жараёнларнинг юз бериш йўналишини кўрсата олмас экан. Бу



муаммони термодинамиканинг иккинчи қонуни ҳал қилади.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни иссиқлик машиналарининг ишлаш принципини таҳсил қилиш натижасида юзага келди.  $D$  иссиқлик машинасининг ишлаш схемаси 149-расмда келтирилган. Юқори  $T_1$  температурали иссиқлик резервуарини *иситкич*, паст  $T_2$  температурали совуқлик резервуарини *совиткич* дейилади, бунда  $T_1 > T_2$ . Термодинамиканинг иккинчи қонунига қўра, иситкичдан олинган  $Q_1$  иссиқликни батамом ишга айлантиришдан иборат бўлган жараёни амалга ошириб бўлмайди.

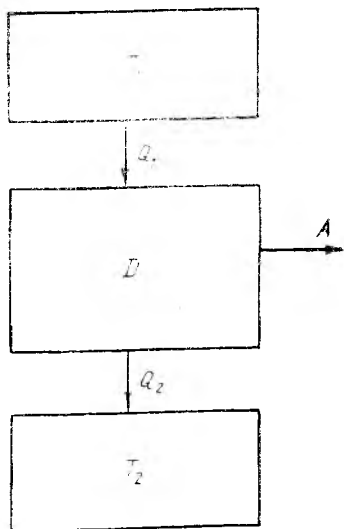
Иссиқлик машинаси даврий ишлаб туриши учун иссиқлик миқдорининг қандайдир  $Q$  қисми совиткичга (атроф-муҳитга) берилиши шарт. Иситкичдан олинган иссиқликнинг қанчалик кўп қисми  $A$  ишга айлантирилса, бу двигател шунчалик фойдали ҳисобланади. Айланма жараёнининг фойдали иш коэффициенти (ФИК.)  $\eta$  иситкичдан олинган иссиқлик миқдорининг қанча қисми ишга айлантирилганлиги билан баҳоланади, яъни

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \quad (42.2)$$

бунда  $Q_1$  — цикл мобайнида системанинг олган иссиқлик миқдори;  $Q_2$  — цикл мобайнида системанинг чиқарган иссиқлик миқдори.

(42.2) формула термодинамиканинг иккинчи қонунини ифодалайди. Ҳар қандай машинанинг ФИК бирдан катта бўла олмаслиги (42.2) ифодадан кўриниб турибди. ФИК  $\eta = 1$  бўлган двигателлар доимий двигателлар ёки иккинчи тур *перпетуум мобиле* деб аталади.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни олимлар томонидан турлича таърифланган.



149- расм.

**Клаузиус таърифи:** иссиқлик ўз-ўзидан совуқ жиемдан иссиқ жиемга ўта олмайди. Бошқача айтганда, иситкичи ва совиткичи атрофини ўраган муҳитда ҳеч қандай ўзгариш ҳосил қилмай туриб, температураси паст бўлган резервуардан температураси юқори бўлган резервуарга иссиқлик миқдорини ўтказиш жараёнини ҳеч қандай йўл билан амалга ошириб бўлмайди.

**Томсон (Кельвин) таърифи:** табиатда ҳеч қандай ўзгариш ҳосил қилмай туриб совитиш ҳисобига иссиқликни даврий равишда ишга айлантириб бўлмайди.

**Освальд таърифи:** иккинчи тур перпетуум мобилени қуриш мумкин эмас.

Термодинамиканинг иккинчи қонуни тўғри циклда ишловчи иссиқлик машиналарининг ва тесқари циклда ишловчи совуқлик машиналарининг ишлашини ўрганишда муҳим асос бўлиб хизмат қилади.

### 43- §. Иссиқлик двигателлари. Совиткичлар

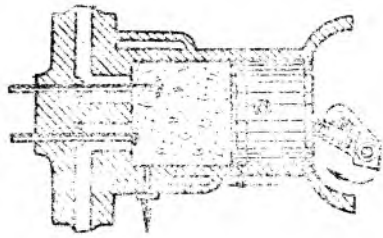
Иссиқлик тараққиётида юз берган буюк ўзгаришлардан бири иссиқликни ишга айлантириб берувчи машина (двигател)ларнинг яратилишидир. Ҳар қандай иссиқлик машинасининг ишлаши айланма цикл бўйича юз беради. Ташқаридан олинган иссиқликни даврий равишда механик энергияга айлантириб берувчи қурilmалар *иссиқлик машиналари* дейилади. Иссиқлик машиналари газ ёки буғнинг кенгайиши ҳисобига ишлайди. Амалда бундай машиналарнинг қуйидаги кўринишлари мавжуд:

1. Буғ машиналари — электростанцияларда, паровоз ва пароходларда ишлатилади. Бу машиналар ташқи ёнув двигателлари дейилади.

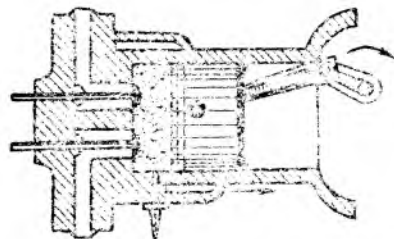
2. Ички ёнув двигателлари — автомобиль, трактор, ганк ва самолётларни ҳаракатга келтиради.

3. Реактив двигателлар — реактив самолётлар, реактив снарядлар ва узоққа отувчи ракеталарда ўрнатилди.

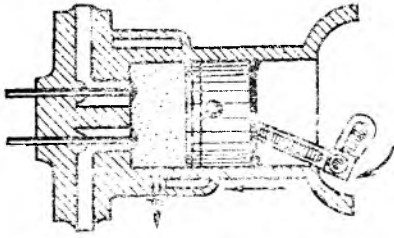
Иссиқлик машиналари унга берилган иссиқлик миқдорининг бир қисмини фойдали ишга айлантира олади. Бундай қурilmа олган иссиқлик миқдорининг қанчалик кўп қисмини ишга айлантирса, унинг ФИК шунчалик катта бўлади. Бу машиналарда газ ёки буғнинг қизиши кўмир, нефть, торф, бензин ва ҳоказо ёқилгиларининг ёниши ҳисобига амалга оширилади. Бундан ташқари атом ядросининг бўлинишида ажралиб чиқадиган энер-



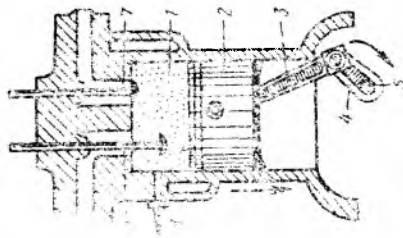
a)



b)



c)



d)

150 pacm.

гия ҳисобига ишловчи иссиқлик двигателлари мавжуд. Улар *атом двигателлари* дейилади. Иссиқ ўлкаларда қуёш энергияси ҳисобига ишловчи двигателлардан фойдаланилади. Бундай двигателлар *қуёш элементлари* ёки *қуёш двигателлари* дейилади.

Юқорида санаб ўтилган иссиқлик двигателлари ичида энг кўп қўлланиладигани тўрт тактли ички ёнув двигателидир (150-расм). Ички ёнув двигателларида ёқилган ишчи цилиндрнинг ичини ўзида ёндирилади. Ички ёнув двигателининг асосий ишчи қисми (1) цилиндр ичида жойлаштирилган (2) поршень бўлиб, у 3 шатуни ва (4) кривошин ёрдамида (5) тирсакли валга уланган. Поршень цилиндри ичида ҳаракатланганда тирсакли вал ва унга уланган маховик айланма ҳаракатга келади. Одатда двигателлар битта эмас, тўртта цилиндрли қилиб тайёрланади. Ҳар бир цилиндрда иккитадан клапан бўлиб, улардан бири (6) ёнилган билан ҳаво аралашмасини сўриб олишга, иккинчиси (7) эса ишлаб бўлган аралашмани чиқариб юборишга хизмат қилади. Бундан ташқари цилиндрнинг юқори қисмида свеча (8) жойлаштирилган. Двигатель цилиндрлари сув ва ҳаво ёрдамида совитилади.

Тўрт тактли ички ёнув двигателининг ишлаши қуйидагича юз беради:

1. Сўриб олиш тактида (150-а расм) киритиш клапани очилади ва поршень настига ҳаракатланганда цилиндрга ишчи аралашма киради. Бензин билан ишловчи двигателларда ишчи аралашма карбюратордаги бензиннинг буғланиб ҳаво билан аралашishi натижасида ҳосил бўлади.

2. Сиқиш тактида (150-б расм) ҳар иккала клапан ёпиқ бўлади. Поршень юқорига томон ҳаракатланиб аралашмани сиқади ва натижада цилиндрдаги босим ва температура ортиб кетади.

3. Ёндириб юбориш тактида (150-в расм) сиқилган аралашмага свечадан учқун берилади. Аралашмадаги бензин буғларининг ёниб кетиши натижасида босим ва температура бир неча мартаба ортиб кетиб, поршень настига томон ҳаракатлантиради ва иш бажарилади.

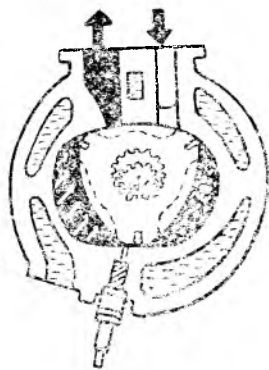
4. Чиқариб юбориш тактида (150-г расм) поршень юқори томон ҳаракатланиб, чиқиш клапани орқали ишлаб бўлган аралашмани йўқотади.

Кўриб ўтилган жараён тўрт цилиндрли двигателларнинг қолган учта цилиндрида ҳам худди юқорида-

гидек юз беради. Тўрт тактли ички ёнув двигателлари фақат бензинда эмас, балки нефтнинг арзонроқ компонентлари (масалан, керосин) ёрдамида ҳам ишлаши мумкин. Бундай двигателлар *дизель двигателлари* дейилади. Дизель двигателларининг ишлагин ҳам тўрт тактли бўлиб, цилиндрга аралашма эмас, балки ҳаво сўрилади. Поршень ёрдамида сиқилган ҳавога ёшилги (керосин) пуркалади ва ҳосил бўлган аралашма ёниб кетади. Дизель двигателларининг ФИК юқори бўлганлиги учун ҳозирги вақтда тепловозларда, теплоходларда ва айрим самолёт ҳамда автомобилларда кенг қўлланилмоқда.

Поршенли ички ёнув двигателлари кўлдан бўён маълум ва машинасозлик соҳасида кенг ишлатилади. Барча двигателлар асосий параметри уларнинг ФИК бўлиб, карбюраторли ички ёнув двигателлари учун 31% га, дизелли двигателлари учун эса 39° га яқин. Двигателнинг ФИК унинг самарадорлигини белгилайди. Бундан ташқари двигателларнинг нисбий оғирлиги ва ҳажми ҳам муҳим аҳамиятга эга.

Поршенли ички ёнув двигателларининг асосий камчиликларидан бири кривошип — шатун механизмининг кўполлиги ва буинг оқибатида ишқаланиш ҳисобига энергиянинг беҳуда йўқолишидир. Ҳозирги вақтда поршеннинг қайтма-илгариланма ҳаракатини валнинг айланма ҳаракатига ўтказиш учун ротор-поршенли двигателлардан ҳам фойдаланилади (151-расм). Бундай двигателларда поршень вазифасини уч қиррали ротор бажаради.



151-расм.

Газнинг исиши ва совishi ҳисобига ишлайдиган ташқи ёнув двигателлари ҳам мавжуд. Буларда юқори босим остидаги гелий ёки водород газ ишчи жисм вазифасини бажаради. Ишчи жисмнинг даврий равишда исиши ва совishi поршеннинг ҳаракатини таъминлайди.

Термодинамиканинг иккинчи қонунига асосан двигателларнинг ФИК ни ва самарадорлигини ошириш

учун иситкич температураси юқори, совиткич температураси эса паст бўлиши керак. Двигателларда иситқилк энергиясининг бир қисми совиткич томонидан ютилади. Бунинг натижасида двигателнинг ФИҚ камаяди. Циклик жараёндарда совиткичга қанча кам иситқилк берилса, ФИҚ шунчалик юқори бўлиши маълум.

Кейинги йилларда двигателлар яшашда металл ўрнида махсус сополдан ҳам фойдаланилмоқда. Сопол двигателлар юқори температурага (1300—1500°С) чидамли бўлади. Сополнинг юқори температурага чидамлилиги ва иситқилкни кам ўтказиши туфайли двигателни сув билан совитиш зарурати қолмайди. Шунинг учун радиатор, сув насоси каби қурилмаларга ҳожат қолмайди ва двигателнинг массаси 20% гача камаяди. Термодинамик цикл температурасининг кўтарилиши ва совиткичда энергиянинг беҳуда сарф бўлишининг камаيши ҳисобига двигателнинг ФИҚ 45% гача етиши мумкин. Бундан ташқари ёнилғи сарфи ҳам анча камаяди. Двигатель температурасининг юқорилиги бензиндан ташқари керосин, дизель ёқилғиси, спирт, синтетик аралашмалар ёқилғилардан фойдаланиш имконини беради. Ёнилғилар юқори температурада тўла ёнади ва атроф муҳитнинг ифлосланиши камаяди.

Иситқилк двигателлари тўғри жараён асосида ишласа совуқлик машиналари, яъни совиткичлар, конденционерлар ва ҳоказолар тесқари цикл асосида ишлайди. Совиткич машиналарининг ФИҚ қуйидаги формуладан топилади:

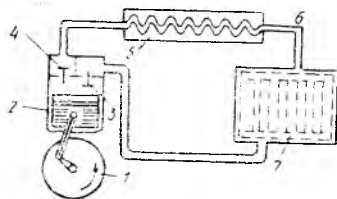
$$\frac{Q_2}{A} = \frac{T_2}{T_1 - T_2},$$

бунда  $T_1$ —иситкичнинг температураси;  $T_2$ —совиткичнинг температураси.

Табиатда иситқилк жисмдан совуқ жисмга иситқилкни узатиш ўз-ўзидан юз берса, бу жараённи тесқари йўналишда амалга ошириш учун маълум иш бажариш керак. Совуқлик машиналари ташқари кучларининг бажарган иш ҳисобига совуқ жисмдан иситқилк жисмга иситқилкни ҳайдаб туради. Бу қурилмаларнинг ишлаш жараёнида совитқилк махсус суюқликларнинг буғланиши ёки газларнинг кенгайишида иситқилкнинг ютилиши ҳисобига юз беради.

Рўзгорда ишлатиладиган совиткичларда ишчи жисм сифатида фреон суюқлиги ишлатилади (152-расм). Бу

суюқлик (1) электромотор ёрдамида ҳаракатланувчи (2) компрессор томонидан (3) клапан орқали сўриб олинади. Компрессорда сиқилган фреон буғлари (4) клапан орқали (5) конденсаторга юборилади. Соويتкичнинг орқа деворига жойлаштирилган (6) ингичка найчалардан тузилган конденсаторда фреон буғлари суюқ ҳолатга ўтади. Фреон буғларининг конденсацияланиши жараёнида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори атроф-муҳитга тарқалади. Конденсатордаги фреон суюқлиги капилляр найчалар орқали (7) буғлаткичга узатилади. Соويتкичнинг сойтиш камераси деворлари бўйлаб жойлаштирилган катта ҳажмли буғлаткичда босимнинг камайиши ҳисобиға фреон буғланади. Бу жараёнда иссиқлик ютилади ва маълум даражада сойтишга эришилади.



152-расм.

Кейинги йилларда сиқилган азотнинг кенгайишида унинг сойтишга асосланиб ишлайдиган микросоиткичлар ( $6 \times 1,4 \times 0,2$  см) яратилган. Улар ёрдамида  $-190^{\circ}\text{C}$  гач сойтиш мумкин. Икки босқичли микросоиткичлардан фойдаланиб  $-250^{\circ}\text{C}$  температура олинган. Паст температураларни ҳосил қилишда ишчи жисм сифатида газсимон гелийдан фойдаланиш зарур бўлади.

#### 44-§. Карно цикли. Энтропия

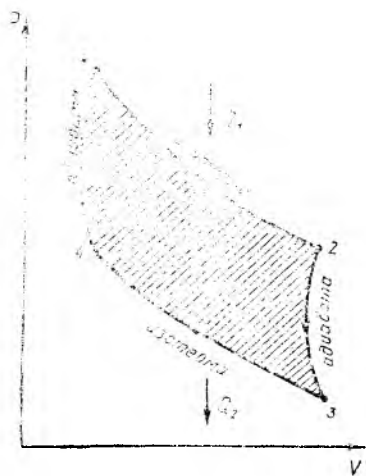
1924 йили француз физиги Сади Карно томонидан термодинамиканинг иккинчи қонуни асосида энг юқори ФНҚ га эга бўлган айланма цикл таклиф этилди. Айланма циклни амалга ошириш учун учта система бўлиши шарт:

1) иссиқликни ишга айлантиришда воситачи вазифасини бажарадиган ишчи система;

2) иссиқликни ишчи жисмга узатадиган мавба (соиткич);

3) тесқари жараёнида иссиқликни қабул қилиб оладиган система (соиткич).

Ишчи система сифатида юқоридан энгил поршень билан чегараланган цилиндр ичида жойлашган идеал газни олайлик. Системанинг дастлабки 1 вазиятидаги



153- расм.

параметрлари  $p_1$ ,  $V_1$ ,  $T_1$  бўлсин (153-расм). Идеал газни изотермик кенгайтиришга имкон берайлик. Бунинг учун металл цилиндр сиртини иситкич билан контактга келтириб  $Q_1$  иссиқлик берайлик. Бунда газнинг кенгайиши юз беради ва поршень аста-секин силжиб 2 ҳолатга ўтади. Поршеньнинг силжиши шунчалик секин бўлсинки, газнинг температураси ҳар доим иситкич температураси  $T_1$  га тенг бўлсин, яъни жараён изотермик бўлсин.

Бу жараёнда бажарилган иш  $A_{12}$ , 2 ҳолатнинг параметрлари  $p_2$ ,  $V_2$ ,  $T_1$  бўлсин. Энди цилиндрни иситкичдан узайлик ва изоляциялайлик. Газнинг ички энергияси ҳисобига система адиабатик кенгайиб 2 ҳолатдан 3 ҳолатга ўтсин. Бу ўтишда бажарилган иш  $A_{23}$ , 3 ҳолатнинг параметрлари  $p_3$ ,  $V_3$ ,  $T_2$  бўлсин. Системани ўзининг аввалги ҳолатига қайтариш мақсадида паст босим ва температурада турган газни изотермик сиқиб 4 ҳолатга келтирайлик. Бу ҳолда системадан  $Q_2$  иссиқлик миқдорини совиткичга бериш керак. Изотермик сиқилиш  $A_{34}$  га ва 4 ҳолатнинг параметрлари эса  $p_4$ ,  $V_4$ ,  $T_2$  га тенг бўлсин. Системани совиткичдан узиб ва ташқи муҳитдан изоляциялаб 4 ҳолатдан 1 ҳолатга адиабатик сиқайлик. Бу ўтишда  $A_{34}$  иш бажарилди ва газнинг ички энергияси ортади. Шундай қилиб, цикл ёшилди ва газ ўзининг дастлабки босимига, ҳажмига ва температурасига эришди.

Кўриб ўтилган айланма жараёнга *Карно цикли* дейилади. Бу цикл иккита изотерма (1—2, 3—4) ва иккита адиабата (2—3, 4—1) дан иборат. Энергиянинг сақланиши қонунига кўра цикл мобайнида бажарилган фойдали иш қуйидагига тенг:

$$A = A_{12} + A_{23} - A_{34} - A_{41} = Q_1 - Q_2. \quad (44.1)$$



Юқоридаги циклни амалга оширган Карно ўзининг қуйидаги иккинчи теоремасини яратди:

1) Қайтар жараён билан ишловчи иссиқлик машиналарининг ФИК энг каттадир.

2) Қайтар жараёнда даврий ишловчи иссиқлик машиналарининг ФИК иситкичи ва совиткичи температуралари билан аниқланади ва машинанинг конструкциясига боғлиқ бўлмайди, яъни

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad (44.2)$$

бунда  $T_1$ —иситкичининг температураси;  $T_2$ —совиткичининг температураси.

Карно теоремасидан кўринадики, системанинг фойдали иш коэффициентини ошириш учун иситкичининг температураси  $T_1$  ни ошириб, совиткичининг температураси  $T_2$  ни камайтириш керак экан. Агар  $T_2 = 0$  бўлса  $\eta = 1$  бўлади, яъни иситкичдан олинган иссиқликнинг ҳаммаси ишга айланади. Бунинг эса бўлиши мумкин эмас. (44.2) ифодани қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{Q_2}{Q_1}. \quad (44.3)$$

Бу ифодадан кўринадики, температуралар нисбати иссиқлик миқдорининг нисбатига тенг бўлиб, ишчи системанинг табиатига боғлиқ эмас. Бундай температура шкаласи *термодинамик температура шкаласи* дейилади. Карно циклининг ФИК энг каттадир. Бошқа тур циклларида ФИК иссиқлик машинасининг табиатига боғлиқ бўлади.

Қайтувчи жараёнлар учун ФИК

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (44.4)$$

Карнонинг иккинчи теоремасига кўра

$$\eta_{\text{қайтмас}} < \eta_{\text{қайтар}}. \quad (44.5)$$

Охириги икки ифодадан қуйидагини ёза оламиз:

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}. \quad (44.6)$$

Қайтар ва қайтмас жараёнларнинг ФИК ни кўрсатувчи (44.6) формулага термодинамика иккинчи қону-

нинг миқдорий таърифи дейлади. (44.6) ифода бу қонуннинг сифат таърифини ҳам беради.

1. Иссиқлик бир жисмдан иккинчи жисмга иш бажармай ўтсин, яъни  $Q_1 - Q_2 = 0$  бўлсин, у ҳолда (44.6) дан

$$0 \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (44.7)$$

еки  $T_1 \geq T_2$ . Бундан кўринадики, иккита турли температурали жисмлар контактга келтирилса, температураси юқори бўлган жисмдан температураси паст бўлган жисмга ана шу жисмларнинг температуралари тенглашгунча иссиқлик ўтади. Бу Клаузиус таърифини беради.

2. Бир жисмдан иккинчи жисмга ўтган иссиқликнинг ҳаммаси ишга айлансин, яъни  $Q_2 = 0$  бўлсин. У ҳолда (44.6) дан

$$1 \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (44.8)$$

Бу ифода бажарилиши учун совиткичининг температураси  $T_2 = 0$  бўлиши керак. Бироқ абсолют ноль температурани олиш мумкин эмас, яъни  $T_2 \neq 0$ . Бошқача айтганда, (44.8) ифода ниситкидан олинган иссиқликнинг ҳаммасини фойдали ишга айлантириш мумкин эмаслигини кўрсатади.

(44.6) дан қуйидагини ёзиш мумкин:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0. \quad (44.9)$$

Агар ана шу цикл билан ишловчи машиналар бир нечта бўлса, (44.9) ни қуйидагича ёзилади:

$$\sum_{i=1}^N \frac{dQ}{T} = 0 \quad \text{ёки} \quad \oint \frac{dQ}{T} = 0. \quad (44.10)$$

Интеграл остидаги ифодадан олинган интеграл ноль бўлиши учун у тўлиқ дифференциал бўлиши керак яъни

$$\frac{dQ}{T} = dS, \quad (44.11)$$

бу ерда  $S$  — энтропия — системанинг ҳолатини характерловчи функция. Энтропия қайтар жараёнларни ўрга-

нишда энг муҳим ҳолат параметри ҳисобланади. Энтропия қуйидаги хусусиятларга эга:

1. Система бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтганда энтропиянинг ўзгариши ўтми йўлига боғлиқ бўлмасдан фақат бошланғич ва охириги ҳолатларга боғлиқ бўлади.

2. Агар қайтар жараёни мобайнида ташқи муҳит билан везиқлик ағмашиғи юз бермаса (адиабатик бўлса), у ҳолда жараёнида қатнашувчи барча системалар энтропияларининг йиғиндиси ўзгармасдир.

3. Адиабатик қайтмас жараёнларда энтропия фақат ортса, адиабатик қайтар жараёнларда ўзгармасдан қолади, яъни

$$\Delta S \geq 0. \quad (44.12)$$

Шунинг учун адиабатик қайтувчи жараённи кўп ҳолда изоэнтропик жараён деб юритилади.

4. Мувозанат ҳолатининг энтропияси энг каттадир. Демак, ҳар қандай система энтропияси каттароқ ҳолатга ўтишга интилади. Бу термодинамика иккинчи қонунининг яна бир таърифидир.

Термодинамиканинги иккинчи қонунни берк системалар учун ўринли. Клаузиус бу қонунни коинот учун қўллаб, вақт ўтиши билан коинотнинг энтропияси ўзининг энг катта қийматига эришади деган нотўғри хулосага келди. Бошқача айтганда, вақт ўтиши билан коинотдаги барча жисмларнинг температуралари тенглашиши ва барча жараёнлар тўхташи керак эмиш. Клаузиус томонидан талқин қилинган «коинотнинг иссиқлик ҳалокати» муаммоси нотўғри экаплиги кейинчалик фанда небот этилди.

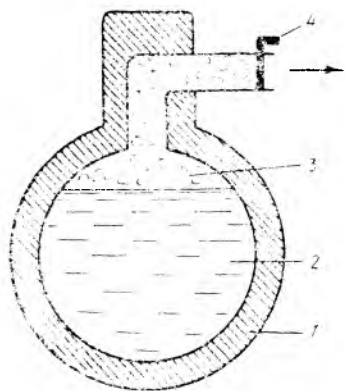
Термодинамиканинги иккинчи қонунини системанинги эришиши мумкин бўлган ҳолатлардан бирнда бўлиш эҳтимолидан келиб чиқиб таърифлаш мумкин. Бирор идиш ичидаги газ молекулалари идиш ҳажми бўйича текис тақсимланган ва тартибсиз ҳаракатда бўлади. Шу газ молекулаларини идиш ҳажмининг бирор қисмида тўпланиб тартибли ҳолатга ўтиш эҳтимоли деярли нолга тенг. Табиатда тартибли ҳар қандай система тартибсиз ҳолатга ўтишга интилади. Тартибсизлик даражасини энтропия тушунчаси орқали баҳолаш мумкин. Тартибли система энг паст энтропияга, тартибсиз система эса энг юқори энтропияга эга бўлади. Больцман томонидан тавсия қилинган энтропиянинг статистик маъносига кўра табиат донмо эҳтимоли камроқ

бўлган ҳолатдан эҳтимоли кўпроқ бўлган ҳолатларга ўтишга интилади. Бу назарияга кўра системанинг энтропияси унинг термодинамик эҳтимоли логарифмига пропорционалдир:

$$S = k \ln W, \quad (44.13)$$

бунда  $k$  — Больцман доимийси;  $W$  — системанинг бирор ҳолатда бўлиш эҳтимоли.

Мураккаб системанинг энтропияси оддий система энтропияларининг йиғиндисига тенглигидан, масалан, электростанциялардан ишлатилувчи буғ-сувли аккумуляторларда сувнинг қанча  $x$  қисми буғга айланганлигини ҳисоблашда фойдаланиши мумкин.



154-расм.

154-расмда шундай аккумуляторнинг схемаси келтирилган. Ўзидан иссиқлик ўтказмайдиган моддадан ясалган (1) идиш температураси  $T_1$  га тенг бўлган (2) сув билан деярли тўлдирилган. Сув устидаги (3) тўйинган буғнинг босими  $p_1$  га тенг бўлсин. Жўмрак (4) очилса тўйинган буғнинг бир қисми иш бажарувчи машинанинг цилиндрига боради ва унинг босими  $p_2$ , температураси эса  $T_2$  гача камаяди. Бунда сувнинг яна қандайдир  $x$  қисми буғга айланади,

конденсацияланган буғ эса яна сувга келиб қўшилади. Жараёни қайтар ва аднабатик деб ҳисоблаш мумкин. Бундай жараёнда сув ва буғ энтропияларининг йиғиндисини ўзгармас қолишидан фойдаланиб  $x$  ни қуйидагича формула ёрдамида ҳисоблаш мумкин:

$$x = \frac{S_1 - S_2}{m} \cdot \frac{T_0}{r}, \quad (44.14)$$

бунда  $S_1$  — буғнинг энтропияси;  $S_2$  — сувнинг энтропияси;  $m$  — сувнинг массаси;  $T_0$  — сувнинг тўйиниш температураси;  $r$  — буғланишнинг солиштирма иссиқлиги.

Электростанцияларда  $T_2$  температурани совиткичдан

чиққан иссиқ сувдан биноларни иситишда фойдаланиш мумкин.

## IX. 606. РЕАЛ ГАЗЛАР, СУЮКЛИКЛАР ВА ҚАТТИҚ ЖИСМЛАР

### 45-§. Реал газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир

Молекуляр-кинетик назарияда идеал газ деганда, молекулалари бир-бири билан ўзаро таъсирлашмайди-ган ва уларнинг ўлчамлари ҳамда ҳажмлари ҳисобга олмаслик даражада кичик бўлган моддий нуқталар тўплами тушунилади. Идеал газ молекулалари фақат тўқнашгандагина ўзаро таъсирлашади, деб ҳисобланади.

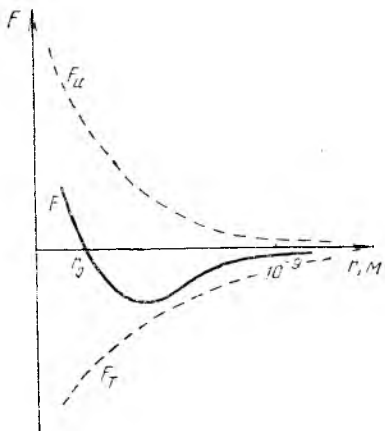
Идеал газ назариясига асос қилиб олинган юқоридаги соддалаштиришлар сийраклашган реал газларда етарлича паст босим ва нисбатан юқори температура-ларда тахминан бажарилади. Бироқ юқори босим ва паст температураларда идеал газ қонуниларидан четла-шиш кузатилади. Бу шароитда ҳар бир газ молекула-си тегишлича ҳажмга эга эканлиги ва газ зарралари ораларида ўзаро таъсир кучлари мавжудлигини ҳи-собга олишга тўғри келади. Бундай газлар *реал газлар* дейилади.

Реал газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир куч-лари икки хил табиатга эга: молекулалар бир вақтнинг ўзида бир-бирлари билан ҳам тортишади, ҳам итари-шади. Бу кучларнинг молекулалар ораларидаги масо-фага боғланиши бирдай эмаслигини қуйидаги ифода-дан кўриш мумкин:

$$F = F_{ii} - F_T = \frac{a_1}{r^{13}} - \frac{a_2}{r^7}, \quad (45.1)$$

бунда  $F_{ii}$  — итаришиш кучи;  $F_T$  — тортишиш кучи;  $F$  — на-тижавий куч;  $a_1$ ,  $a_2$  — ўзгармас катталиклар;  $r$  — молекула-лар орасидаги масофа.

(45.1) ифодада тортишиш кучлари мусбат, итари-шиш кучлари манфий, деб ҳисобланган. Икки молекула орасидаги ўзаро тортишиш кучлари масофанинг еттин-чи даражасига, итаришиш кучлари эса ўн учинчи да-ражасига тескари пропорционал ўзгаради. Тортишиш, итаришиш ва натижавий кучларнинг молекулалар ора-



155- расм.

лекула ўзининг маълум таъсир доирасига эга бўлиб, шу таъсир доирасига бошқа молекулаларнинг киришига тўсқинлик қилади. Таъсир доирасининг ўлчамлари молекула ўлчамидан унча катта бўлмайди. Молекулалар орасидаги масофа  $r > r_0$  бўлганда, торттиш кучлари асосий ролни ўйнайди ( $F < 0$ ).

Газ молекулалари орасидаги масофа  $r = r_0$  бўлганда, кузатилаётган молекулага таъсир этувчи торттиш ва итариш кучлари миқдор жиҳатидан тенг, йўналиши бўйича эса қарама-қаршидир. Шу сабабдан масофанинг бу қийматида газ молекуласига таъсир этувчи натижавий куч  $F = 0$  бўлади. Масофанинг бу  $r = r_0$  қийматида молекула ўзининг мувозанат ҳолатида бўлади. Молекулалар орасидаги масофа  $r > 10^{-9}$  м бўлганда улар орасидаги таъсир деярли йўқолади ( $F \rightarrow 0$ ), яъни реал газ идеал газга яқинлашади.

Молекуляр-кинетик назарияда газнинг ҳажми деганда, газ жойлашган идишнинг ҳажми тушунилар эди. Лекин ҳар бир газ молекуласининг шахсий ҳажмга эга эканлиги ва шунинг учун газ молекулалари ҳаракатланиши мумкин бўлган эркин соҳа идиш ҳажмидан кичикроқ бўлиши кераклиги эътиборга олинмаган. Шундай қилиб, реал газ молекулаларининг ўзаро таъсирларини ва уларнинг шахсий ҳажмларини ҳисобга

сидаги масофага боғланиши 155- расмда келтирилган. Графикдан  $F_A$  торттиш кучлари  $F_T$  итариш кучларига nisbatan масофа ўзгаришига сустроқ боғланганлигини кўриш мумкин. Масофанинг  $r < r_0$  қийматларида таъсир кучи асосан итариш кучидан иборат бўлади ( $F > 0$ ). Итариш кучлари молекулалар орасидаги масофанинг жуда кичик қийматларида кузатилади. Бошқача айтганда, ҳар бир мо-

олиш идеал газ учун кўриб чиқилган барча қонуниятларни ўринсиз қилиб қўяди.

#### 46- §. Реал газнинг ҳолат тенгламаси. Ван-дер-Ваальс изотермалари

Газ молекулалари реал шаронда бир-биринга яқинлаштирилганда итаришиш кучлари, узоқлаштирилганда эса тортишиш кучларининг юзага келишини ўтган параграфда кўриб ўтдик. Бир моль идеал газнинг ҳолат тенгламаси

$$pV = RT \quad (46.1)$$

ни ҳосил қилишда (35- § га қаранг) бу кучлар ҳисобга олинган эмас. Шунинг учун (46.1) Менделеев — Клапейрон тенгламаси реал газ учун ўринсиз бўлиб қолади.

1873 йили Голландия физиги Ван-дер-Ваальс назарий тадқиқотларга асосланиб, идеал газнинг ҳолат тенгламаси (46.1) га иккита тузатма киритди ва қуйидаги тенгламани таклиф қилди:

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT, \quad (46.2)$$

бунда  $a$  — ўзаро таъсир кучларини ҳисобга олувчи коэффицент,  $b$  — шахсий ҳажми назарга олувчи коэффицент.

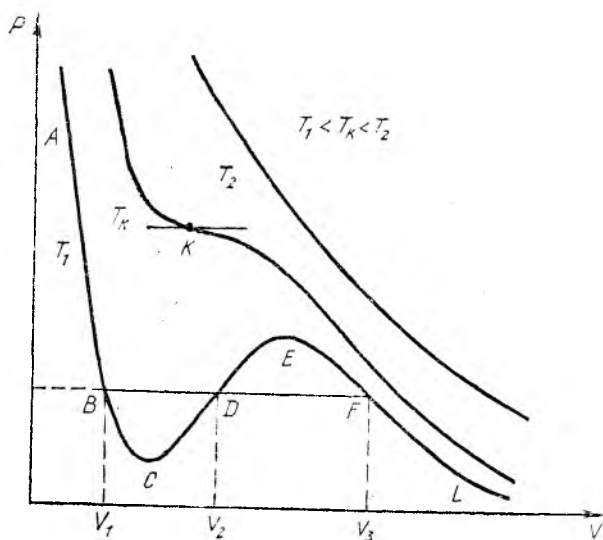
Реал газларда берилган ҳажмда газ молекулаларининг сони етарлича кўп бўлади ва шунинг учун улар орасидаги ўзаро итаришиш кучини ҳисобга олишга тўғри келади. Бу куч таъсирида молекулаларнинг эффектив ҳажми (таъсир доираси) ортгандек бўлади. Молекулалар эффектив ҳажмларининг йиғиндиси газ масса-сига пропорционал бўлади. Ван-дер-Ваальс томонидан киритилган тузатма  $b$  шуни кўрсатадиги, бир моль реал газ молекулалари ҳаракатлана оладиган бўш ҳажм  $V$  эмас, балки  $V - b$  бўлиши керак. Бунда  $b$  — бир моль газнинг шахсий ҳажми.

Газ молекулалари орасида тортишиш кучининг мавжудлиги қўшимча ички босим  $p'$  ни юзага келтиради. Ички босим ҳажмнинг квадратига тескари пропорционалдир, яъни

$$p' = \frac{a}{V^2}. \quad (46.3)$$

Ван-дер-Ваальс тенгласи (46.2) даги  $a$  ва  $b$  коэффициентлар газнинг хусусияти ва ҳолати билан боғлиқ бўлган доимийлардир. Юқори температура ва паст босимларда  $p' \ll p$  ва  $b \ll V$  бўлиб қолади. У ҳолда (46.2) даги тўзатмаларни тушириб қолдириш мумкин, яъни бу шароитда Ван-дер-Ваальс тенгласи Менделеев — Клапейрон тенгласига ўтади. Шунини таъкидлаш керакки, молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучларининг табиатига қараб ҳар бир газ ўзининг ҳолат тенгласига эга бўлади. Реал газлар учун универсал ҳолат тенгласи мавжуд эмас.

Ван-дер-Ваальс тенгласининг изотермаларини кўришига ўтамиз. Идеал газ учун ёзилган Менделеев — Клапейрон тенгласининг изотермалари гиперболалардан иборат эди (130-расмга қаранг). Реал газни характерловчи Ван-дер-Ваальс тенгламаларини ўрганиб чиқайлик. Бу тенглама ҳажмга нисбатан учинчи тартибли, босимга нисбатан эса биринчи тартибли. Учинчи даражали тенгламанинг учала илдизидан ёки ҳаммаси ҳақиқий, ёки улардан икkitаси маъхум ва биттаси ҳақиқий бўлиши мумкин. Тенгламанинг маъхум илдизлари маънога эга эмас, негаки манфий ҳажмнинг маъноси йўқ.



156- расм.



Шундай қилиб, (46.2) тенглама босимнинг ҳар бир қийматига ҳажмнинг учта қиймати мос келадиган чизиқни бериши керак. 156-расмда температуранинг учта қиймати учун 1 моль газ босимининг ҳажмга боғланиш изотермалари келтирилган. Расмдан кўринадики, изотермаларнинг эгриланиши паст  $T_1$  температураларда юз беради. Юқори  $T_2$  температураларда изотерма идеал газ изотермасига яқинлашиб боради. Агар ҳажм ўқиға параллел бирорта  $p = \text{const}$  изобара чизигини ўтказсак, босимнинг битта қийматига ҳажмнинг учта  $V_1, V_2, V_3$  қиймати мос келиши кўринади.  $T_1$  температурага тўғри келувчи изотермада  $BCDEF$  тўлқинсимон участка бор. Айниқса,  $CDE$  участкада босим изотермик равишда ортиб борганда модданинг ҳажми ҳам ортиб бориши кузатилади. Маълумки табиатда босим ортганида ўзининг зичлигини камайтирадиган моддалар мавжуд эмас.

Тажриба  $BCDEF$  эгриланишларни бермайди, балки босим  $V_1$  дан  $V_3$  гача  $BDF$  тўғри чизиқ бўйича ўзгармасдан қолишини кўрсатади. Бунга сабаб тажриба вақтида биз эгри чизиқнинг барча нуқталарини кузатиб улгура олмаймиз. Ҳажмнинг камайишида  $F$  нуқтадан бошлаб модданинг вазияти худди тўйинган бугнинг вазиятига ўтиб қолади ва шу газнинг суюқ томчилари ҳосил бўла бошлайди.

Модданинг беқарор  $CDE$  ҳолатида газ молекулалари бир-бирларига шундай яқинлашадикки, улар бир-бирини тутиб туриш хоссасига эга бўлади. Бу ҳолатнинг ҳар икки томонида  $EFL$  ва  $ABC$  изотерма бўлаклари мавжуд.  $E$  нуқтадан ўнгга босимнинг ҳажмга боғланиш Менделеев—Клапейрон тенгламасига яқинлашади, бу модданинг газсимон ҳолатига мос келади.  $C$  нуқтадан чапга газнинг ҳажми билан босими орасида кучли боғланиш мавжуд. Бундай боғланиш суюқликларга хосдир. Шунинг учун катта босим ва кичик ҳажмларга тўғри келувчи бу ҳолат модданинг суюқ фазасига мос келади. Шундай қилиб,  $CDE$  оралиқнинг икки томонида модда ўзининг икки агрегат ҳолатида: ўнгга газ, чапда суюқлик ҳолатида бўлади.

Изотермалар ичида шундай бир изотермани топиш мумкинки, бу изотермада бурилиш нуқтаси фақат биттагина бўлади. Бу изотермадан пастда жойлашган изотермаларда бурилиш нуқтаси учта бўлади, юқоридаги изотермалар эса бурилишга эга бўлмайди.  $T_k$  темпе-

ратурага мос келувчи изотерма *критик изотерма* дейлади. Критик изотерманинг шу нуқтасида босимнинг битта қийматига ҳажмнинг битта қиймати мос келади. Босим, ҳажм ва температурани критик изотерманинг *к* нуқтасига тўғри келувчи қийматларини критик босим, критик ҳажм ва критик температура дейлади. Бу ҳолда модда ўзининг критик ҳолатида бўлади. Реал газ критик температурадан юқори температураларда идеал газ, деб қаралиши мумкин. Критик температурадан паст температураларда газни сиқиш билан суюқликка айлантириш мумкин. Агар газ температураси критик температурадан юқори бўлса, босимни ҳар қанча оширганда ҳам газни суюқликка айлантириб бўлмайди. Критик температура газнинг табиатига қараб туриб ҳар хил қийматларга эга бўлиши мумкин.

#### 47- §. Реал газнинг ички энергияси. Жоуль — Томсон эффекти. Газларни суюлтириш

Идеал газ молекулалари ўзаро таъсир қилинмайди, деб ҳисоблаб 1 моль газнинг тўла ички энергияси учун қуйидаги ифодани олган эдик (39- § га қаранг):

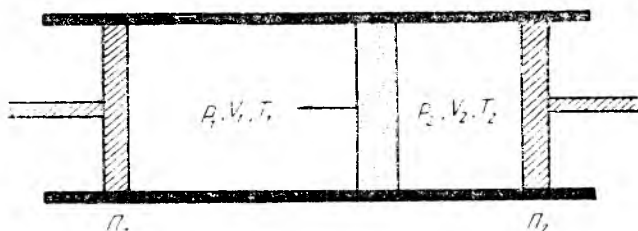
$$E_u = \frac{i}{2} RT = c_v T. \quad (47.1)$$

Реал газ молекулалари иссиқлик ҳаракатидан ташқари бир-бири билан ўзаро таъсирда бўлганлиги учун уларга бундай ифодани ёза олмаймиз. Реал газнинг ички энергияси молекулалар иссиқлик ҳаракат кинетик энергияси ва ўзаро таъсир потенциал энергияларининг йиғиндисидан иборат бўлади. Бу энергияларнинг турлича ўзгаришини ҳисобга олиб бир моль реал газнинг ички энергиясини қуйидагича ёзиш мумкин:

$$E_p = c_v T - \frac{a}{V}. \quad (47.2)$$

Бунда *a* — Ван-дер-Ваальс доимийси. (47.2) дан кўринадикки, ҳажм ва температура ортиши билан реал газнинг ички энергияси ортиб боради, негаки бу параметрларнинг ортиши молекулаларнинг эркинроқ ҳаракат қилишига сабаб бўлади.

Идеал газ ташқи муҳит билан иссиқлик алмашмаган ҳолда адиабатик ( $dQ=0$ ) кенгайганда бажарилган



157- расм.

ташқи иш нолга тенг бўлади. Термодинамиканинг биринчи қонунига кўра, бундай адиабатик кенгайишда системанинг ички энергияси ўзгармайди, яъни

$$U_1 = U_2. \quad (47.3)$$

Идеал газларнинг адиабатик кенгайишида ички энергиядан ташқари температура ҳам ўзгармасдан қолади. Реал газлар ташқи босимга қарши иш бажармаган ҳолда кенгайтирилса, газ ё иссиши, ё совиши мумкин экан. Реал газнинг адиабатик кенгайишида газ температурасининг ўзгариши *Жоуль — Томсон эффекти* дейилади.

157-расмда инглиз физиклари Жоуль ва Томсон тажрибасининг схематик тасвири берилган. Иссиқликни кам ўтказадиган цилиндр ичида ишқаланишсиз ҳаракатлана оладиган иккита  $P_1$  ва  $P_2$  поршенлар жойлаштирилган. Поршенлар орасида жойлашган ғовак тўсиқнинг чап томонида жойлашган газнинг босими  $p_1$ , ҳажми  $V_1$ , температураси  $T_1$  бўлсин. Ғовак тўсиқдан ўнгга ўтган газнинг параметрлари мос равишда  $p_2$ ,  $V_2$ ,  $T_2$  бўлсин. Биринчи поршень силжиганда газ ғовак тўсиқ орқали ўнгга ўтади ва бунда бажарилган иш  $A_1 = p_1 V_1$  га тенг бўлади. Иккинчи поршень ҳаракатланганда бажарилган иш эса  $A_2 = p_2 V_2$  бўлади. Ишларнинг бу ифодаларини адиабатик жараён учун ёзилган термодинамиканинг биринчи қонунига қўйсак,

$$U_1 + p_1 U_1 = U_2 + p_2 U_2 \quad (47.4)$$

Демак, Жоуль — Томсон тажрибасида  $U + pV$  катталиқ ўзгармай қолар экан. Бу катталиқ *газнинг иссиқлик функцияси* ёки *энтальпияси* деб аталади. Реал газларда энтальпиянинг тенг бўлиши температураларнинг тенглигини кўрсатмайди.

Жоуль—Томсон эффекти идеал газларда кузатилмасдан фақат реал газларда юз беришига сабаб, реал газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучларидир. Шунинг учун бу эффектни газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучларининг улар орасидаги масофага боғланишини ифодаловчи 155-расмдан тушуниш қийин эмас.

Фараз қилайлик, газ шундай бир ҳажмга келтирилган бўлсинки, молекулалар орасидаги ўртача масофа  $r_0$  дан кичик бўлсин. Бу ҳолда молекулалар орасидаги ўзаро таъсир кучи, асосан, итарилиш кучидан иборат бўлади. Энди шу газни ташқи босим йўқ жойда (вакуумда) шундай ҳажмгача кенгайтирайликки, молекулалар орасидаги масофа  $r=r_0$  бўлсин. Бундай кенгайиш натижасида газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир кучлари камаяди ва шунинг учун уларнинг тезлиги ортади, яъни газ исийди. Реал газнинг адиабатик кенгайиши натижасида унинг исishi кузатилса, бундай ҳодиса *манфий Жоуль—Томсон эффекти дейилади*. Жоуль—Томсон эффектини баҳолаш учун қуйидаги катталик киритилади:

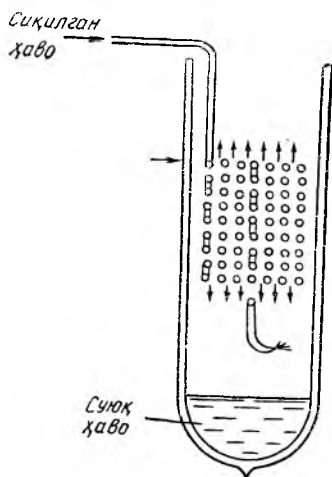
$$\mu = \frac{\Delta T}{\Delta p}, \quad (47.5)$$

бунда  $\mu$  — Жоуль—Томсон коэффициенти бўлиб, кўриб ўтилган ҳол учун  $\mu > 0$ .

Энди иккинчи ҳолни кўриб чиқайлик. Газнинг ҳажми шундай танланган бўлсинки, молекулалар орасидаги масофа  $r \geq r_0$  бўлсин. Масофанинг бу қийматларида ўзаро таъсир кучи асосан тортишиш кучидан иборат бўлади. Шу газни  $r \gg r_0$  шарт бажарилгунча адиабатик кенгайишига имкон берайлик. Бу шарт бажарилганда тортишиш кучи молекулаларнинг бир-бирдан узоқлашишига тўсқинлик қилади, яъни энди улар қаршиликли муҳитда ҳаракат қилади. Шунинг учун молекулаларнинг тезликларни камаяди, бошқача айтганда газ совийди ( $\mu < 0$ ). Бундай ҳодиса *мусбат Жоуль—Томсон эффекти дейилади*.

Жоуль—Томсон эффектнинг мусбат ёки манфий қисмини кузатиш учун температура ва босим махсус танланиши керак. Ҳатто берилган газ учун бу параметрларнинг бир қийматларида мусбат, бошқа қийматларида манфий эффект кузатилиши мумкин. Ҳар бир газ учун шундай бир температура мавжудки, бу тем-

пературада Жоуль — Томсон эффекти ўз ичорасини ўзгартиради. Температуранинг бу қиймати *инверсия температураси* дейилади. Мусбат Жоуль — Томсон эффектидан газларни суюлтиришда фойдаланилади.



158- расм.

Газларни суюлтиришнинг, асосан, иккита усули мавжуд:

1. Мусбат Жоуль — Томсон эффектига асосланган усул (Дьюар — Линде усули 158- расм).

2. Ташқи босим кучларига қарши иш бажариб адиабатик кенгайтириш усули (Клод усули).

Деворларига температураси 143 К температурали суюқ  $\text{CO}_2$  солинган идишга кислородни солиб босимни бир оз орттирилса, кислород суюқ ҳолатга ўтади. Суюқ кислороддан фойдаланиб навбатдаги газни суюқ ҳолатга ўтказиш мумкин.

Бу учинчи усулни босқичма-босқич усули дейилади. Юқорида келтирилган усулларни қўллаб кислород (154,4 К), азот (126,1 К) ва водород (33 К) газларини суюқ ҳолатга ўтказишга эришилди. Бу газлардан саноатда портлатиш ишларида, ракета ёнилғиларини ёндиришда ва илмий-тадқиқот ишларида кенг фойдаланилади.

1908 йили Голландия физиги Кемерлинг-Оннес энг кичик критик температурага (4,2 К) эга бўлган гелий газини суюқликка айлантиришга муваффақ бўлди. Агар суюқ гелий пасайтирилган босим остида қайнатилса, унинг температурасини 0,7 К гача пасайтириш мумкин. Яна ҳам паст температураларни олиш учун совитишнинг магнит усулидан фойдаланилади.

Табиатда шундай парамагнит тузлар мавжудки, улар адиабатик магнитланса исийди, магнитсизланса эса совийди. Бу ходиса физикада *магнитострикция ҳодисаси* деб юритилади. Тажрибада дастлаб парамагнит модда суюқ гелий ёрдамида совитилади, сўнгра магнитланади, ажралиб чиққан иссиқлик суюқ гелий томо-

нидан ютилади. Парамагнит тузи суёқ гелийдан ажратилиб адиабатик магнитензланади, натижада туз совийди. Шу усул билан ўта паст температуралар, яъни даражанинг мингдан бир улушларича ( $10^{-3}K$ ) температуралар олишга эришилган.

Жуда паст температураларда суёқ гелий бошқа суёқликларда кузатилмайдиган бир қатор хусусиятларга эга. Суёқ гелий икки хил бўлади: 4,2 дан 2,18 К температура интервалда суёқ гелий ўзини оддий суёқлик каби тутади ва уни гелий-1 дейилади: температуранинг  $T < 2,8$  К қийматларида суёқ гелийда бошқа суёқликларга хос бўлмаган хусусиятлар пайдо бўла бошлайди ва унга гелий-2 дейилади. Бу температура интервалида суёқ гелий икки хил аралашмадан: гелий-1 ва гелий-2 дан иборат бўлади. Гелий-1 нормал табиатли аралашма бўлса, гелий-2 ўта оқувчанлик хусусиятига эга бўлган суёқликдир. Температуранинг янада пасайиши билан аралашма таркибидаги гелий-2 нинг миқдори ортиб боради ва 1 К дан пастда гелий тўла ўта оқувчан ҳолатига ўтади. Ўта оқувчан гелийнинг энг асосий хусусиятларидан бири, у ўзидан иссиқлик ўтишига ҳеч қандай қаршилик кўрсатмайди, яъни унинг иссиқлик ўтказувчанлиги чексизга тенг. Бундан ташқари, бир қатор тадқиқотлар ўта оқувчан гелийнинг ёпишқоқлиги нолга тенглигини кўрсатади. Шунинг учун гелий-2 жуда илгичка капилляр найлардан ёки маълум баландликдаги тўсиқлардан ҳеч қандай қаршиликсиз кўтарила олади.

1911 йили Кемерлинг-Оннес 7,2 К температурада қўрғошиннинг электр қаршилиги тўсатдан нолгача камайишини тажрибада аниқлади. Бунда қўрғошиннинг қаршилиги  $10^{11}$  маротаба камайиши кузатилган. Модданинг бу ҳолатига унинг ўта ўтказувчан ҳолати деб ном берилди. Кейинги йилларда бир қатор тоза моддалар ва уларнинг мингга яқин қотишмаларида ўта ўтказувчанлик хусусияти аниқланди.

Ўта ўтказувчан материаллар ҳозир амалда кенг қўлланилмоқда. Масалан, улар асосида юқори қувватли магнитлар ясалмоқда. Улардан фойдаланиш электр энергиясининг ўрамларда беҳуда сарф бўлмаслигини таъминлайди ва шунинг учун магнитни сув билан совитишга ҳожат қолмайди. Бундай магнитлардан фойдаланишдаги энг асосий муаммо магнит ўрамларини критик температурадан паст температурада ушлаб ту-

ришдир. Яқинда необийнинг германий билан қотишмасида ( $Nb_3Ge$ ) ўта ўтказувчанлик ҳодисаси 23 К кузатилади. Бу эса суюқ гелий ўрнида суюқ водороддан (20 К) фойдаланиш имконини беради.

#### 48- §. Ҳавонинг намлиги. Намликни ўлчаш

Ер шарни атрофидаги ҳавода ҳар доим маълум миқдор сув буғлари мавжуд бўлиб, йилга унинг тахминан чорак қисми қуруқликка ёғингарчилик сифатида тушади. Қуруқликнинг денгиз, дарё ва океанларга яқин қисмида намгарчилик юқорироқ бўлади. Ер атмосферасининг турли қисмларидаги сув буғлари миқдорини характерловчи катталик *ҳавонинг намлиги* дейилади. Ҳавонинг намлиги катта бўлганда ёғоч буюмлар шишади, металл буюмлари занглайди. Аксинча намлик кам бўлса, ёғоч буюмлар қийшайиб, ёрилиб кетади. Намлик қишлоқ хўжалик ўсимликларининг ҳосилдорлигига, чорвачиликнинг маҳсулдорлигига катта таъсир кўрсатади. Маҳсулотларни қуритиш, сақлаш жараёнларида намликни меъёрида ушлаш катта аҳамиятга эга.

Қишлоқ хўжалик ўсимликларини кутилмаганда совуқ уриб кетмаслигидан сақлаб қолиш учун баъзан ҳаво намлигини сунъий йўл билан орттирилади. Бунинг учун одатда, экин экилган майдонларга сув берилади. Сувнинг буғланиши натижасида намлик ортади. Сув буғларининг паст ҳарорат таъсирида томчиларга айланиши натижасида маълум иссиқлик ажралиб чиқади ва бу ҳодиса тупроқнинг ҳамда пастки ҳаво қатламларининг бироз иссиғига олиб келади.

Намликнинг ортиши инсон саломатлигига ҳам салбий таъсир кўрсатади. Сунъий иқлим ҳосил қилиш инсон саломатлиги ва ишлаб чиқаришни жадаллаштириш ҳамда маҳсулот сифатини орттиришда аҳамияти бор. Ишлаб чиқариш цехларидаги температура ва намликни ўзгармас ушлаб туриш чиқит (брак)ни камайтиришга, тўқимачилик саноатида эса ишлаб чиқарилувчи газламалар сифатини орттиришга олиб келади. Сунъий иқлим ҳосил қилмай туриб, ҳавонинг стратосфера қатламида самолётда учиш, сувости кемаларида сузиш мумкин эмас.

Инсон ўзи яшаб турган муҳитга ҳар доим энергия бериб туради. Масалан, оғирлиги 80 кг бўлган эркак

киши ҳавонинг температураси 18°C бўлганда бир суткада 2700 кал. иссиқлик йўқотади; бундан 1,3% нафас йўлига, 1,9% ҳаракатга, 1,5% овқатни ҳазм қилишга, 20,7% буғланишга, 30,9% иссиқлик ўтказувчанликка, 43,7% нурланишга тўғри келади. Температура ортиши билан иссиқлик ўтказувчанлик ва нурланиш ҳисобига тўғри келувчи иссиқлик йўқотиш камайиб, буғланиш ҳисобига тўғри келадиган қисми ортиб боради. Агар намлик ҳам ортиб борса, инсон тапасининг атроф-муҳит билан иссиқлик алмашиши қийинлашиб, одам ўзини ноҳуш ҳис қила бошлайди. Шундай қилиб, намликни ўлчаш ва уни бошқариш катта амалий аҳамиятга эга экан.

Маълумки, ҳаво атмосфераси турли хил газлар ва сув буғининг аралашмасидан иборат. Ҳавода бошқа газлар бўлмаган ҳолда сув буғи бериши мумкин бўлган босим **сув буғининг порциал босими** дейилади. Ҳавонинг намлик даражасини баҳолаш учун иккита тушунча ишлатилади. **Ҳавонинг абсолют намлиги** унда мавжуд бўлган сув буғларининг зичлиги  $\rho_a$  билан ёки сув буғининг босими  $p_a$  орқали ўлчанади. Берилган температурада ҳаводаги сув буғи порциал босимининг шу температурадаги тўйинган буғининг эластиклигига нисбатининг фоизларда ифодаланган қиймати *ҳавонинг нисбий намлиги* дейилади, яъни

$$B = \frac{p_a}{p_r} \cdot 100\% . \quad (43.1)$$

Сув буғи босими унинг зичлигига пропорционал бўлганлиги учун (48.1) ни яна қуйидагича ёзиш мумкин:

$$B = \frac{\rho_a}{\rho_r} \cdot 100\% . \quad (48.2)$$

Шундай қилиб, нисбий намлик фақат намлик орқали эмас, балки ҳавонинг температураси билан ҳам аниқланар экан. Масалан, кечқурун ҳаво температурасининг пасайиши юз берса, ўтлар устида шудринг ҳосил бўлади. Исиб турган ҳаво бирдан совиса, туман ҳосил бўлади. Сув буғи тўйиннадиган ҳолдаги температура **шудринг нуқтаси** деб аталади.

Ҳавонинг абсолют намлигини топиш учун бирор қурилма ёрдамида шудринг ҳосил қилинади, унинг ҳосил бўлиш температураси аниқланади ва махсус жадвал ёрдамида намлик ҳисобланади. Бундай қурилмалар кон-



денсацион гигрометрлар дейилади. Ҳавонинг нисбий намлигини аниқлаш учун сочли гигрометр ёки психрометрдан фойдаланилади. Сочли гигрометрнинг ишлаш принципи ҳаво намлиги ортганда ёғсинланган одам сочи толасининг узайишига, ҳаво қуруқ бўлганда эса қисқаришига асосланган.

Психрометр иккита бир хил термометрдан тузилган. Улардан бири шарчаси ҳавода тургани учун қуруқ термометр, иккинчиси эса нам термометр деб номланади. Нам термометрнинг шарчаси дока билан ўралиб, унинг учи сув солинган идишга ботирилади. Докадан сув буғланиши туфайли термометр шарчаси совийди. Шунинг учун нам термометр қуруқ термометрга нисбатан паст температурани кўрсатади. Ҳаво қанчалик қуруқ бўлса, термометрларнинг кўрсатишларидаги фарқ шунча катта бўлади. Термометрларнинг кўрсатишларини белгилаб, махсус жадвалдан ҳавонинг нисбий намлиги аниқланади.

#### **49- §. Суюқликларда молекуляр ҳодисалар. Ҳўллаш ва капиллярликка оид амалий масалалар**

Суюқликлар шу модданинг газ ва қаттиқ агрегат ҳолатлари орасида жойлашган бўлиб, юқори температуралар томонидан критик нуқта билан, паст температуралар томонидан эса қотиш нуқтаси билан чегаралангандир. Суюқ модданинг зарралари ораларидаги тўтиниш кучлари етарлича катта қийматга эга. Шунинг учун суюқлик ўзгармас ҳажмга эга, лекин ўзгармас шаклга эга эмас. Суюқликни қандай идишга солинса, у шу идиш шаклини олади.

Газ ва суюқ фазаларининг асосий тафовутларидан бири шуки, ташқи куч таъсирида газлар сиқилувчан, суюқликлар эса деярли сиқилмайди. Шунинг учун Ер сиртида ҳаво зичлиги тоғ чўққиларидаги ҳаво зичлигидан катта. Аксинча, океан тубида сувнинг зичлиги сатҳидаги зичликдан унча катта эмас. Масалан, океаннинг 10 км чуқурлигида босим атмосфера босимидан 1000 марта катта бўлса-да, зичлик бор-йўғи 5% каттадир. Суюқ модда молекулалари орасидаги тўтиниш кучлари унинг сиқилишига ёки сиртининг чўзилишига қаршилик кўрсатади. Температура ортishi билан суюқлик зарраларининг ташқарига чиқиши (буғланиши)

ортиб боради. Бунга сабаб температураининг кўтарилиши билан суюқлик молекулаларининг тобора кўпроги тутиниш кучларининг енгини учун старлича энергияга эга бўлади.

Сувга сакраган киши сувнинг кўтариш кучини сезади. Қўлимизга бирорта гишт ёки тош бўлагини олиб сувга ботирсак, унинг енгиллашиб қолганини сезамиз. Қўйидаги тажрибани кўриб чиқайлик. Биронта баландлиги бўйича даражаланган стакан олиб сув билан тўлдирайлик ва унинг ичига ёғоч бўлагини игна ёрдамида ботирайлик. Бунда сувнинг бир қисми стакандан тошиб кетади. Сувнинг қанча қисми тошиб? Энди ёғочни қўйиб юборсак, у сувда сузиб юради. Бунда суюқлик сиртининг пасайганлигини аниқлаш қийин эмас. Агар ёғоч бўлагини сувдан чиқариб олсак, сув сатҳининг яна пасайганини кузатамиз.

Бундан тахминан 2200 йил илгари грек олими Архимед суюқликка жойлаштирилган ҳар қандай жисмга кўтарувчи куч таъсир қилишини ва у ўз ҳажмига тенг суюқликни сиқиб чиқаришини тажрибада аниқлаган.

Архимеддан ўн саккиз аср кейин Галилей томонидан зичликни аниқловчи торози яратилди. Архимед қонуни ёрдамида зичлиги маълум бўлган қаттиқ жисмни суюқликнинг ичига тушириб унинг зичлигини аниқлаш мумкин. Бундай қурilmалар *ареометрлар* дейилади. Улар аккумулятор батареяларидан электролит ёки совиткичлардаги антифриз зичликларини аниқлашда қўлланилади.

Суюқлик сиртига бирор жисм туширилганда Архимед қонунига кўра уч ҳолат бўлиши мумкин:

1. Жисмнинг оғирлиги у сиқиб чиқарган суюқлик оғирлигидан кичик. Бу ҳолда жисм суюқлик сиртида сузиб юради. Масалан, сув сиртига ташланган ёғоч бўлаги.

2. Жисмнинг оғирлиги сиқиб чиқарилган суюқлик оғирлигидан катта. Бу ҳолда кўтариш кучи жисм оғирлигидан кичик бўлади ва шунинг учун у чўкади. Масалан, сувга ташланган тош.

3. Жисм оғирлиги у сиқиб чиқарган суюқлик оғирлигига тенг. Бунда кўтариш кучи жисм оғирлигига тенг бўлади ва жисм суюқлик сиртидан ихтиёрлиқда жойлаша олади.

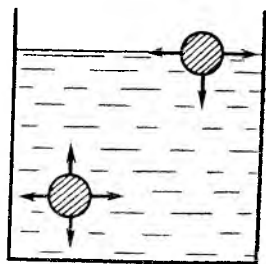
Сув усти ва сув ости кемаларининг сузиши Архимед қонунига асосланган. Бунда сиқиб чиқарилган сув оғирлиги кеманин оғирлигига тенг бўлади. Кемага

қанча кўп юк ортиса, у сувда шунча чуқурроқ жойлашади. Юк ортишида кема сиртидаги белги сув сиртидан пастга ўтиб кетмаслигига ва юкнинг бир текис тақсимланишига эътибор бериш шарт. Ҳозирги замон сув ости кемалари сув сиртида ҳам, остида ҳам суза олади. Кема сув остига тушиши учун унинг остидаги қўшимча резервуарлар сув билан тўлдирилади. Архимед қонунига кўра сиқиб чиқарилган сув оғирлиги кема оғирлигига тенглашгунча резервуарлар сув билан тўлдирилса, у ҳолда кема сув сиртидан ихтиёрий чуқурликда суза олади. Сув ости кемаси сув сиртига чиқishi учун олинган қўшимча сув сиқилган ҳаво ёрдамда чиқариб юборилади ва кема сув сиртига қалқиб чиқади.

Архимед қонуни газлар учун ҳам ўринлидир. Масалан, ҳавода оғирликларни тенг бўлган пўкак ва қўрғошин бўлақларини олсак, вакуумдаги пўкак бўлагини оғирроқ бўлиб қолади. Бунга сабаб пўкак бўлагининг ҳажми катта бўлгани учун кўпроқ ҳавони сиқиб чиқариши ва шунга тенг ўз оғирлигини йўқотишидир.

Суyoқлик ҳажми, газлардагидан анча сустроқ бўлсада, температурага боғлиқ. Одатда, температура ортиши билан суyoқликнинг ҳажми ортиб боради. Лекин бу қоидадан четлашмишлар ҳам бор. Масалан, сув  $0^{\circ}\text{C}$  дан  $4^{\circ}\text{C}$  гача ситилганда унинг зичлиги ортиб боради. Бунга сабаб бу температура интервалида сув молекулалари гуруҳ-гуруҳ бўлиб бирлаша бошлайди, натижада улар орсндаги масофа қисқара боради. Температуранинг  $4^{\circ}\text{C}$  дан орттирсак, бирлашган сув молекулалари яна ажраб кета бошлайди. Натижада суyoқлик ҳажми яна орта бошлайди.

Бирор суyoқликнинг иккита молекуласини фикран танлаб олайлик, улардан бири суyoқлик ичида, иккинчиси суyoқлик сиртида жойлашган бўлсин ( $159$ -расм). Суyoқлик ичидаги молекула ҳамма томонига тенгшилта тугишиш кучлари таъсир қилгани учун унга таъсир қилувчи натижавий куч нолга тенг бўлади. Шундай экан, молекула мувозанатда қолади. Молекуланинг бу ҳолати унинг *турғун ҳолати* дейилади. Суyoқлик сиртидаги моле-



159- расм.

кулаши настга ва ёни томонларга тўртувчи кучлар бор, юқори томонга тўртувчи кучлар деярли йўқ. Шунинг учун сиртдаги молекулаларнинг ҳаммаси унинг ичига томон тортиниб туради. Суюқлик сиртини қисқартиришга интиладиган ва шу сиртга уризма бўйича йўналган бу куч *сирт таранглик кучи* дейилади. Бу куч ҳамма вақт суюқлик сирт пардасини кичрайтиришга интилади. 1807 йили Лаплас суюқлик сиртидаги босим суюқлик сирт пардасининг кўринишига боғлиқ экаплагини кўрсатди:

$$p = p_0 + \frac{2\alpha}{r}, \quad (49.1)$$

бунда  $p_0$  — суюқлик сирти яси бўлган ҳолдаги нормал атмосфера босими ёки суюқликнинг ички босими;  $r$  — суюқлик сиртининг эгрилик радиуси;  $\alpha$  — суюқликнинг сирт таранглик коэффиценти.

Суюқлик сирт пардасининг 1 см кенлигига қўйилган куч *сирт таранглик коэффиценти* деб юритилади. Сирт таранглик коэффиценти —  $\alpha$  нинг катталиги суюқликнинг табиатига боғлиқ бўлади. Температура ортиши билан  $\alpha$  камайиб боради. Бунга сабаб температура ортиши билан суюқлик молекулалари иссиқлик ҳаракатининг жадаллашиши ва бунинг оқибатида тутиниш кучларининг заифлашишидир. Ҳар бир суюқлик учун критик температурада  $\alpha = 0$  бўлиб қолади.

Сирт таранглик коэффицентининг қиймати суюқлик сиртидаги муҳитга ҳам боғлиқ бўлади. Масалан, суюқлик сиртида тўйинган буг бўлса,  $\alpha$  ҳаво бўлгандагидан кам қийматга эга бўлади. Суюқликда бирор модданинг аралашishi ҳам  $\alpha$  нинг ўзгаришига олиб келади. Масалан, сувга ёғ томизилса сув устида ёғ пардаси ҳосил бўлади ва бунинг натижасида сирт таранглик коэффиценти бир оз камаяди.

Сирт таранглик кучлари таъсирида суюқлик ўз сиртини ҳамма вақт кичрайтиришга интилади, яъни суюқлик сирти энг кичик потенциал энергияга эга бўлган ҳолга интилади. Геометрия курсидан маълумки, берилган ҳажмда шар энг кичик сиртга эга. Шунинг учун суюқлик томчилари шар шаклини олишга интилади. Ернинг тортиш кучи майдонида суюқликнинг фақат кичик томчилари шар шаклида бўлиб, катта томчилар эллипсоид шаклини эгаллайди. Вазисизлик ҳолатида эса суюқликнинг ҳар қандай томчиси аниқ шар шаклини олади.

Суюқлик зарраси қанча чуқур жойлашган бўлса, унга шунчалик катта босувчи куч таъсир этади. Бу куч таъсирида юзага келувчи босимга гидростатик босим дейилади:

$$p' = \rho gh. \quad (49.2)$$

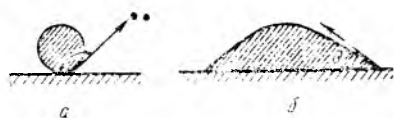
бунда  $\rho$  — суюқликнинг зичлиги;  $g$  — эркин тушиш тез-  
ланиши;  $h$  — суюқлик молекуласининг жойлашши чу-  
қурлиги.

Гидростатик босим ҳисобига босим жуда катта қий-  
матларга эга бўлади. Масалан, 1 км денгиз чуқурли-  
гида босим 103 атмосферага тенг бўлади. Бу ишлаб  
турувчи автомобиль двигатели цилиндрдаги босимдан  
бир неча марта каттадир. Денгиз сатҳидан 10 км чу-  
қурликдаги босим 1000 атмосферадан катта бўлади. Бу  
отиш қуроли ичидаги порох газининг босимидан кат-  
тадир. Бундай катта босимларга инсон тақаси бардош  
бера олмайди. Шу сабабдан фоввослар ҳатто сув ўт-  
казмайдиغان махсус кийимларда 200 метрдан чуқур-  
роққа туша олишмайди. Сув остининг чуқурроқ қатлам-  
ларидаги тадқиқот ишлари батисфералар — махсус  
шарларга жойлаштирилган тадқиқотчи, ялмий асбоб-  
лар, прожектор ва киноаппаратлар ёрдамида олиб  
борилади. Сувнинг чуқур қатламида яшовчи балиқлар  
ичидаги босим сув томонидан бериладиган катта босимга  
тенг ва шунинг учун улар бемалол ҳаёт кечиради. Бун-  
дай балиқлар сувнинг сиртига яқин қисмида яшай ол-  
майди. Агар улар сувнинг сатҳига чиқса ички ва ташқи  
босимлар фарқидан ёрилиб ўлади.

Шундай қилиб, суюқлик сиртидан  $h$  чуқурликда  
жойлашган суюқлик заррасига таъсир қилувчи умумий  
босим атмосфера босими  $p_0$  гидростатик босим  $p'$  ва сирт-  
нинг эгрлиги туфайли юзага келувчи  $\frac{2\alpha}{r}$  босимларнинг йи-  
ғиндисидан иборат экан, яъни

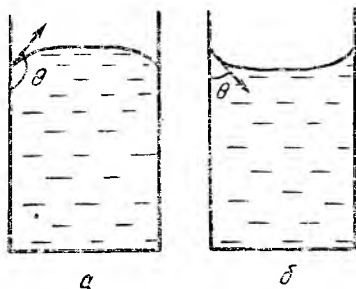
$$p = p_0 + \rho gh + \frac{2\alpha}{r}. \quad (49.3)$$

Бирор қаттиқ жисм  
сиртига, масалан, ши-  
ша пластинкаси сирт-  
тига симоб томчисини  
томизсак, у шар шак-  
лини олади (160-а  
расм). Агар шу сирт-  
га сув томчисини то-



160-расм.

мизсак, у ёйилиб 160-б расмдаги кўринишни олади. Биринчи ҳолда суюқлик сиртни ҳўлламайди, иккинчи ҳолда эса ҳўллайди. Ҳўллаш ва ҳўлلامаслик тушунчалари нисбий тушунчалардир. Чунки, битта суюқликнинг ўзи бир қаттиқ жисм сиртини ҳўлласа, бошқасининг сиртини ҳўлلامаслиги мумкин. Масалан, сув шиша сиртини ҳўлласа, парафин сиртини ҳўлламайди. Ҳаётдан яна шунини биламизки, кўп ҳолда цементга сув қўйилса аралашмайди, чунки ҳўлламайди. Цементга қум аралаштирилиб кейин сув қўйилса, ҳўлланади ва эритма ҳосил бўлади. Агар суюқлик молекулалари орасидаги ўзаро тўтинши кучлари шу суюқлик молекуласи билан қаттиқ жисм молекуласи орасидаги тўтинши кучидан катта бўлса, бундай суюқлик сиртни ҳўлламайди ва акс ҳолда ҳўллайди.



161-расм.

Бирор идишга суюқлик солганимизда унинг сирти қавариқ ҳолни олса, бу суюқлик идишни ҳўлламайди (161-а расм). ботиқ ҳолни олса, ҳўллайди (161-б расм). Қаттиқ жисм билан суюқлик чегарасида ҳосил бўлган бурчак *чегара бурчак* дейилади. Суюқлик сиртига ўтказилган уринма билан қаттиқ жисм сирти орасидаги бурчакни  $\theta$  билан белгилайлик (160—161-расмлар).

Ҳўлلامаслик ҳолида бурчак ўтмас бўлади, яъни  $\frac{\pi}{2} \leq \theta \leq \pi$ ,

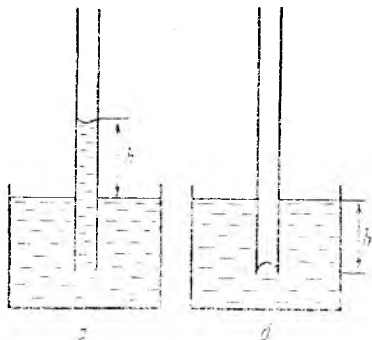
ҳўллаш ҳолида эса бурчак ўткир бўлади, яъни  $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2}$ .

Ҳўллаш ва ҳўлланмаслик ҳодисаларидан конларда металлларни тоғ жинсларидан ажратиб олишда фойдаланилади. Табиатда рангли металлларга бой конлар жуда кам учрайди. Изланаётган металлни ортиқча тоғ жинсларидан дастлабки ажратиб олиш жараёнини амалга ошириш зарур бўлади. Бунинг учун руда яхшилаб майдаланади ва махсус тайёрланган суюқликка солинади. Бунда шундай суюқлик танлаб олинishi ке-

ракки, у металлни ҳўллаб тоғ жинсларини ҳўлламаслиги керак. Шу йўл билан рангли металл рудаси бойи-тилади.

Кўриб ўтилган ҳўллаш ва ҳўлламаслик ҳоллари ка-пиллярлик ҳодисасини юзага келтиради. Ичи говак қаттиқ жисмлар томонидан суюқликнинг шимилиши капиллярлик ҳодисасига тасосланган. Масалан, қанд, қоғоз, қум, бўр, ёғоч моддаларига сувнинг шимилиши. Бирор идишдаги суюқликка ингичка най (капилляр) туширилса, най ичидаги суюқлик сатҳи ё кўтарилиши, ё пастга тушиши мумкин. Найнинг ички диаметри қанча кичик бўлса, бу ҳодиса шунча сезиларли бўлади, яъни суюқликнинг кўтарилиш баландлиги унинг диаметрига

тескари пропорционал-дир. Агар суюқлик найни ҳўлласа, унинг сатҳи кўтарилади ва ботиқ шаклни олади (162-а расм). Суюқлик найни ҳўлламаса, унинг сатҳи идишдаги суюқлик сатҳидан пасаяди ва қаварик кўринишда бўлади (162-б расм). Ҳўллаш ҳолида сирт таранглиги туфайли юзага келувчи босим манфий бўлади ва шунинг учун найдаги суюқлик сатҳи кўтарила-ди. Суюқлик найни ҳўлламаганда эса сирт таранглик босими мусбат бўлади, натижада найдан суюқлик сатҳи пасаяди. Капилляр ичидаги суюқликнинг кўтарилиши (ёки пасайиши) сирт таранглик босими гидростатик бо-симга тенглашгунча давом этади, яъни



162- расм.

$$\rho gh = \frac{2\alpha}{r}, \quad (49.4)$$

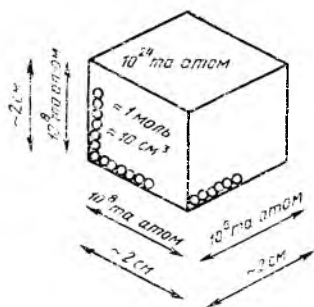
бундан

$$h = \frac{2\alpha}{\rho gr}, \quad (49.5)$$

бунда  $h$  — найдаги суюқликнинг кўтарилиш баландлиги. Капиллярлик ҳодисаси табиатда кенг намоён бўлади. Масалан, тупроқдаги намликнинг алмашилиши ёки дарахт ва ўсимликларда сувнинг юқорига кўтарилиши жуда ингичка капиллярлар бўйича юз беради.

## 50- §. Қаттиқ жисмнинг тузилиши

Суюқликдан фарқли ҳолда қаттиқ жисмлар ўзгармас ҳажмга ва ўзгармас шаклга эга. Қаттиқ жисм атомларининг жойлашишига қараб унинг структураси ҳар хил бўлиши мумкин. Қаттиқ жисм молекулалари орасидаги мавжуд бўлган тутиниш кучлари суюқликлардагига қараганда каттароқ бўлади, молекулаларнинг сочилиб кетишига тўсқинлик қилади. Бу кучлар қаттиқ жисм зарралари орасидаги масофани ҳар қандай ўзгаришига қаршилик қилиб, фақат яқин масофаларда унинг таъсири намоён бўлади. Шунинг учун иккита бўлинган қаттиқ жисм бўлақларини бир-биринга теккизиб, яна битта яхлит бўлаққа айлантиришига ҳар қанча уринмайлик, одатда бунинг иложи йўқ.



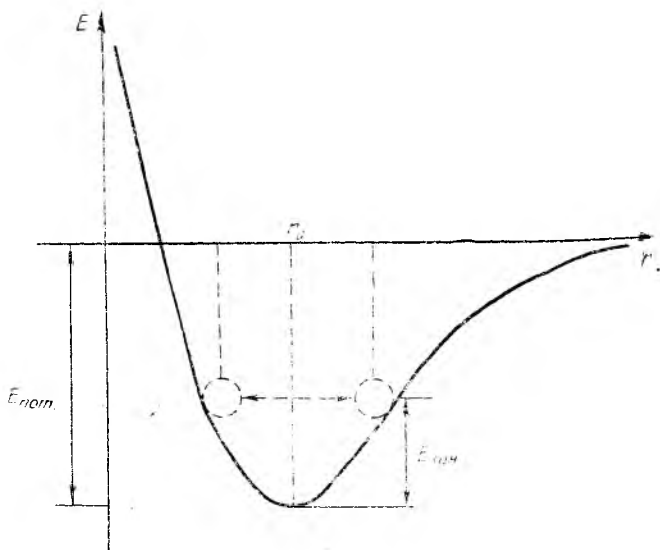
163- расм.

Қаттиқ жисм атомлари газ ва суюқликлардагига қараганда етарлича зич жойлашган. Бир моль моддадаги атомлар сони  $6 \cdot 10^{23}$  га тенг. Шунча атом бирор-та куб шаклидаги ҳажмнида жойлашган бўлсин, у ҳолда кубнинг қирралари бўйлаб  $10^8$  донга атом жойлашади (163- расм). Ҳар бир атомнинг диаметри  $2 \cdot 10^{-10}$  м десак, куб қиррасининг узунлиги  $2 \cdot 10^{-2}$  м

ёки 2 см эканлиги кўринади. Шундай қилиб, қаттиқ жисмда 1 моль атомлар  $10 \text{ см}^3$  ҳажмни эгаллар экан.

Қаттиқ жисм атомлари орасида тортишниш кучлари мавжуд. Ҳар бир атомни қўшни атомлар томонидан ҳосил қилинадиган потенциал ўрада жойлашган, деб қараш мумкин (164- расм). Потенциал ўранинг тубида атом қўшни атомлардан  $r_0$  масофада мувозанат ҳолатида жойлашади. Бу ҳолатда атомга таъсир этувчи натижавий куч нолга тенг.  $E_{кин}$  энергияга эга бўлган атом мувозанат ҳолати атрофида тебранма ҳаракатда бўлади. Кинетик энергия  $E_{кин}$  узаро таъсир потенциал энергияси  $E_{п.т}$  дан кичик бўлганда атом қўшни атомлар билан боғланганлигича қолади. Агар  $E_{кин} \geq E_{п.т}$  бўлиб қолса, атом эркин ҳолатга ўтиб, қўшни атомлардан узоқлаша олишига, етарли энергияга эга бўлади.





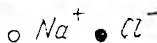
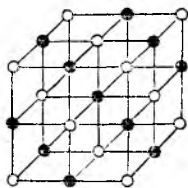
164- расм.

Ҳисоблашларнинг кўрсатишича, битта атомга тўғри келувчи боғланиш энергияси тахминан 1 эВ га тенг. Хона температурасида иссиқлик ҳаракатининг ўртача энергияси 0,0026 эВ ни ташкил этади. Демак, хона температурасида қаттиқ жисм атомлари ўзаро кучли боғланган ва шунинг учун ташқаридан старлича энергия олмай туриб потенциал ўрадан чиқиб кета олмайди.

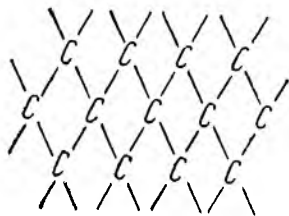
Қаттиқ жисмни ташкил этган зарралар орасида қандай химиявий боғланишлар бўлиши мумкинлигини кўриб чиқамиз.

1. *Ион боғланиш.* Электроннинг бир атомдан иккинчи атомга ўтиши ҳисобига ҳосил бўладиган мусбат ва манфий ионлар орасида юзага келадиган электростатик тортишиш *ион боғланиш* дейилади. Масалан, NaCl ош тузи иккита атом, Na металл атоми ва Cl газ атомларидан ташкил топган. Табиати жиҳатидан турлича бўлган бу икки атом бирикиб NaCl барқарор бирикмасини ҳосил қилади. Бу боғланиш асосида юзага келадиган бирикмалар *ион кристаллари* дейилади.

Ион боғланиш NaCl дан ташқари NaBr, KCl, LiF, MgO ва бошқа кристалларда ҳам кузатилади. Кейинги йилларда рент-



165- расм.

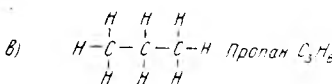
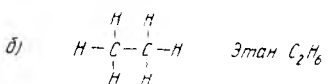
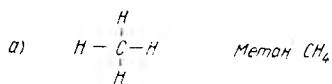


166- расм.

ген нурларнинг дифракцияси асосида ўтказилган кристаллографияк тадқиқотлар NaCl нинг кристалл панжараси томонини 2,4 А бўлган куб шаклида эканлигини кўрсатди (165- расм). Расмдан кўринадикки ҳар бир  $Na^+$  иони 6 та  $Cl^-$  иони билан ўралган ва аксинча.

2. *Ковалент боғланиш.* Ион боғланиш бир ёки бир нечта электронларнинг бир атомдан иккинчи атомга ўтиши ҳисобига юзага келса, *ковалент боғланиш электронларининг* умумлашиши натижасида ҳосил бўлади. Масалан, водород молекуласини ҳосил қилган атомлар орасидаги боғланиш *ковалент боғланиш* бўлиб, бунда электронлар ҳар иккала протон атрофида айланади. Масалан, сув, аммиак, графит ва олмос атомларини боғловчи кучлар асосан, ковалент кучлардир. 166-расмда олмос атомларининг кристалл структураси кўрсатилган.

3. *Молекуляр боғланиш.* Ҳайвонот ва ўсимлик дунёсининг асосини углероднинг водород, кслород, азот ва бошқа элементлар билан бирикмаси ташкил этади. Бундай моддалар органик моддалар, деб ўрганилган. Органик моддаларнинг энг соддаси углерод ва водород атомларидан ташкил топган углеводородлардир. Угле-



167- расм.

род ва водород атомларининг турли комбинацияларидан хона температурасида газсимон, суюқ ёки қаттиқ ҳолатда бўлган миңлаб углеводородларни ҳосил қилиш мумкин. Бензин ёки табиий газ углеводородлар аралашмасидан иборат.

Углеводородларнинг энг соддаси метан ( $CH_4$ ) бўлиб, ҳар бир углерод атоми

тўртта водород атоми билан боғланган (167-а расм). Этан молекуласи  $C_2H_6$  да иккита углерод (167-б расм), пропан молекуласи  $C_3H_8$  да учта углерод атоми мавжуд (167-в расм). Хона температурасида бу кетма-кетликнинг биринчи тўрттаси газ, кейинги ўнтаси суюқлик, қолган оғирлари эса қаттиқ жисملардир. Масалан, қаттиқ ҳолатдаги углеводородлардан бири парафиндир.

Ҳаётда учровчи органик моддаларнинг кўпчилигида углерод ва водород атомларидан ташқари бошқа элемент атомлари ҳам аралашган бўлади. Масалан, кислота (лимон кислотаси) ва спиртлар (этил спирти) таркибда кислород атоми, никотин таркибда эса азот атоми аралашма кўринишда қатнашади. Сунъий йўл билан юзлаб углерод, водород ва кислород атомлари бирикмасидан мураккаб макромолекулаларни ҳосил қилиш мумкин. Бундай мураккаб ва узун молекулалар занжирини *полимерлар* дейилади. Молекуляр боғланиш ана шу макромолекулалар орасидаги боғланишдир.

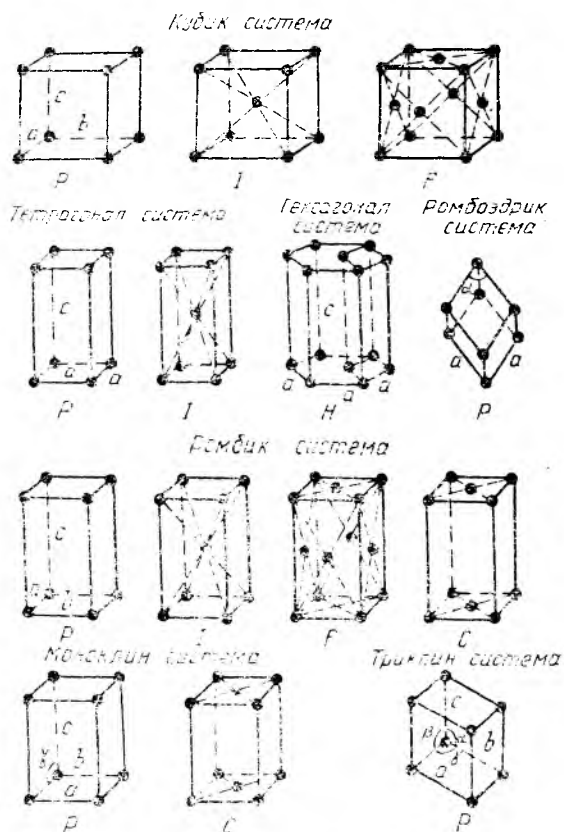
4. *Металл боғланиши*. Ион ва ковалент кристалларда ҳар бир электрон маълум атом ёки атомлар жуфти билан боғланган. Металларда эса атомнинг ташқи қобигида жойлашган электронлар ўз атомидан чиқиб кетиб ўрнида мусбат ион қолади. Ўз атомини тарқ этган электрон металл ичида эркин ҳаракат қила олади. *Металл боғланиши* кристалл панжара учларида қолган мусбат ишорали ионлар билан улар орасида кезиб юрган эркин электронлар орасидаги боғланишдир.

Қаттиқ жисмни ташкил этган атом ёки молекулаларнинг жойлашиши тартибига қараб улар икки турга бўлинади: *кристалл* ва *аморф* жисмлар. Кристаллларнинг атом ёки молекулалари тартибли жойлашган бўлиб, уларнинг жойлашиши маълум даврийликка эга. Аморф жисмларда эса бундай узоқ тартиб йўқ. Бир хил химиявий таркибга эга бўлган кварц кристалл бўлса, шиша аморф ҳолатдадир. Аморф жисмлар атом ёки молекулаларининг жойлашишида яқин тартиб сақланиб қолади, деб ҳисоблаш мумкин.

Кристалл атомларнинг жойлашишидаги даврийликни ўз ичига олган энг кичик ҳажм *элементар ячейка* дейилади. Элементар ячейканинг уч ўлчовли фазода такрорланишидан кристалл панжара ҳосил бўлади. Кристалл панжарада атомларининг жойлашиши бирорта кўп қиррали геометрик шаклни эслатади. Маълумки, ҳар бир

кўп ёқли шакл ўзининг текисликлари, қирралари ва бурчаклари билан характерланади.

Француз кристаллографи ва математиги Браве томонидан кристалл панжаранинг етти хил тасавури берилган (168-расм). Кейинчалик Лауэ рентген нурларининг дифракцияси орқали ушбу тасавурни тажрибада исботлади. Браве параллелоипедининг ёнига ёки марказига қўшимча атомларнинг жойлаштирилиши панжаранинг симметриклигини ўзгартирмайди, фақат панжаранинг янги хилларини ҳосил қилади. Шунинг учун 14 хил Браве панжараси бўлиб, улар 7 хил крис-



168-расм.

талл системасида жойлашган. Кристалл панжаранинг характеристикалари 8- жадвалда берилган.

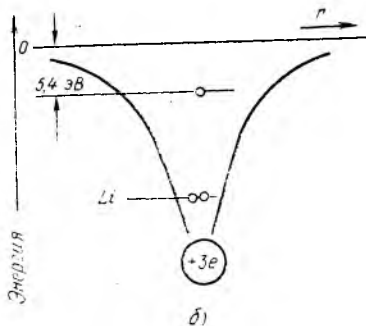
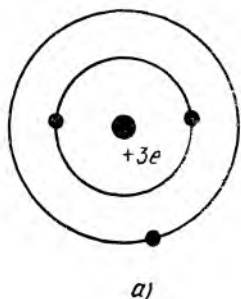
8- жадвал.

Кристалл панжараларнинг характеристикалари

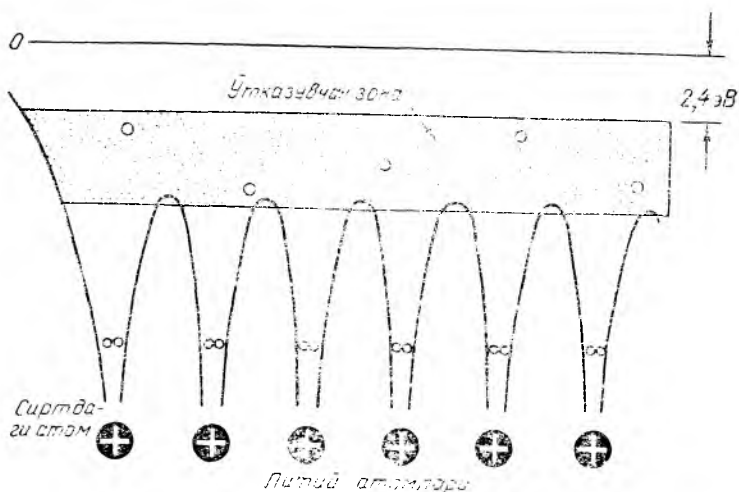
Кристалл панжара	Элементар ячейка ёқларининг нисбати	Элементар ячейка бурчакларининг нисбати
Триклин	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma$
Моноклин	$a_1 \neq a_2 \neq a_3$	$\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$
Ромбик	$a_1 \neq a_2 = a_3$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Тетрогонал	$a_1 = a_2 \neq a_3$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Кубик	$a_1 = a_2 = a_3$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$
Ромбоздрик	$a_1 = a_2 = a_3$	$\alpha = \beta = \gamma$ , лекин $< 120^\circ$ ва $\neq 90^\circ$
Гексогонал	$a_1 = a_2 \neq a_3$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ , $\gamma = 120^\circ$

Изоляцияланган литий (Li) атомида электронларнинг энергетик қобикларда жойлашишини (169- а расм) ва потенциал энергиянинг схематик диаграммасини (169- б расм) кўрайлик. Энг юқоридаги 0 билан белгиланган горизонтал чизиқ потенциал энергиянинг ноль қийматига тўғри келади. Пастроқдаги иккита горизонтал чизиқ электронлар жойлашган энергетик сатҳга мос келади. Энг ташқи қобикда жойлашган валент электронининг боғланиш энергияси 5,4 эВ га тенг. Шунинг учун литий атомидан электронни чиқариш учун зарур бўлган энергия (ионизация энергияси) 5,4 эВ га тенг.

Агар литий атомлари бир-бири билан бирикиб, кристалл ҳосил қилса, у ҳолда қўшни атомларнинг ўзаро таъсири боисидан кристаллнинг ҳажми бўйлаб



169- расм.



170- расм.

потенциалнинг пасайиши юз беради (170- расм). Бунинг натижасида атомдаги боғланган электронлар эркин ҳолатга ўтиб қолади. Кристаллда эркин ҳолатга ўтиб қолувчи бундай электронлар сони жуда кўп бўлгани учун изоляцияланган атомдаги айрим энергетик сатҳлар ўрнига кристаллда энергетик зона ҳосил бўлади. Бу зона электронлар билан қисман тўлган бўлиб, ўнга ўтказувчан зона дейилади. Бу зонада ҳаракатланувчи электронлар *ўтказувчан электронлар* дейилади.

Металларнинг ўзидан электр токини яхши ўтказиши шу ўтказувчан зонадаги электронларнинг кўплиги ва уларнинг ташқи электр майдонидаги тартибли ҳаракати билан тушунтирилади. Диэлектрикларда зоналар электронлар билан бутунлай тўлган бўлиб, эркин ҳолатда электронлар бўлмайди. Шунинг учун диэлектриклар ўзидан электр токини ўтказмайди. Айрим диэлектрикларда валент электронлар билан тўлган зонанинг энг юқори сатҳидан электронларга эга бўлмаган ўтказувчан зонагача бўлган энергетик оралиқ унча катта бўлмай, 1 эВ дан кичик қийматларга эга бўлади. Етарлича паст температураларда бундай моддаларда эркин электронлар мавжуд бўлмайди. Температура кўтарилишида ўтказувчан зонада эркин электронлар пайдо бўла

бошлаши мумкин (масалан, кремний, германий). Бунинг оқибатида кучсиз бўлса-да, электр ўтказувчанлик юзга келади. Бундай моддалар *ярим ўтказгичлар* дейилади.

### 51-§. Қаттиқ жисмнинг иссиқлик сифими

Ўтган параграфда кристалл ҳолатдаги қаттиқ жисмлар маълум кўп ёқли фазавий панжара учларида жойлашган атомлар тўпламидан иборат эканлигини кўрдик. Кристалл панжаранинг учларида турган ҳар бир атом учта ўзаро перпендикуляр йўналишлар бўйлаб тебраниши мумкин, яъни эркинлик даражаси учга тенг. Газларнинг молекуляр-кинетик назариясидан маълумки, ҳар бир эркинлик даражасига  $\frac{1}{2}kT$  энергия мос келади.

Шунинг учун тебранма ҳаракат кинетик энергиясига мос келувчи энергия  $3/2 kT$  га тенг бўлади. Газларнинг иссиқлик сифимини кўришда зарралар бир-бири билан таъсирлашмайди, деб ҳисобланган эди (41-§ га қараңг). Қаттиқ жисм атомлари, бир-бири билан кучли боғланганлиги учун ўзаро боғланиш потенциал энергиясига эга. Шунинг учун панжара учида жойлашган атом ҳам кинетик, ҳам потенциал энергияга эга бўлади. Бу энергия турларининг ҳар бирига бирдай миқдор энергия тўғри келади. Демак, қаттиқ жисмнинг бир атомига тўғри келадиган тўла энергия  $3 kT$  га тенг бўлар экан. Агар жисмда  $N$  та зарра бўлса, у ҳолда жисмнинг ички энергияси

$$U = 3NkT. \quad (51.1)$$

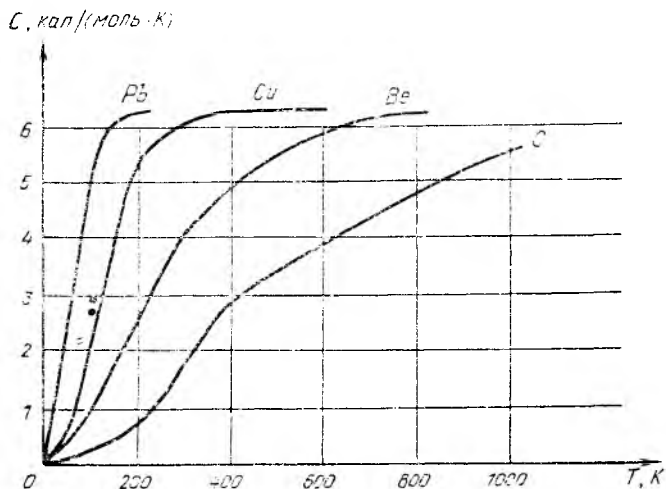
Бу ифодани бир киломоль атомлар учун ёзсак, ички энергия учун қуйидаги формулани ҳосил қиламиз:

$$U_{\text{км}} = 3N_A kT = 3RT. \quad (51.2)$$

Жисмнинг иссиқлик сифими деганда, шу жисм температурасини бир даража кўтариш учун унга бериш лозим бўлган иссиқлик миқдорини тушунар эдик, яъни

$$c = \frac{dQ}{dT}. \quad (51.3)$$

Жисмнинг хажми ўзгармас бўлганда берилган иссиқлик миқдори унинг ички энергиясига тенг бўлган-



171-расм.

лиги учун (51.2) ва (51.3) дан қўйидагини ёзамиз:

$$c_V = 3R \simeq 6 \frac{\text{кал}}{\text{моль} \cdot \text{К}}, \quad (51.4)$$

бунда  $c_V$  — ўзгармас ҳажмдаги иссиқлик сифими.

Демак, классик назарияга кўра кристалларнинг иссиқлик сифими барча моддалар учун  $3R$  га тенг бўлиб, температурага боғлиқ эмас экан. Бу қонун француз олимлари Дьюлонг ва Пти томонидан 1819 йилда тажрибада олинган бўлиб, *Дьюлонг—Пти қонуни* дейилади. Бу қонунни тажриба натижалари билан таққослайлик. 171-расмда қўрғошин, мис, бериллий ва олмослар иссиқлик сифимларининг абсолют температурага боғлиқлиги кўрсатилган. Тажриба натижаларидан кўринадики, хона температурасидан юқори температураларда кўпчилик қаттиқ жисмларнинг иссиқлик сифимлари ҳақиқатан ҳам  $6$  кал/моль. К қийматга яқин ва температурага деярли боғлиқ эмас. Фақат олмоснинг иссиқлик сифими  $1800^\circ\text{К}$  дан юқори температураларда  $3R$  га тенг бўлади. Бироқ температуранинг пасайиши билан Дьюлонг—Пти қонунидан четлашиб бошланиб, иссиқлик сифими температуранинг кубига пропорционал равишда камайиб боради ва абсолют нолга яқинлашганда нолга интилади.



Назария ва тажриба натижаларининг паст температураларда мос келмаслиги 1907 йили Эйнштейн томонидан ўрганилган. У ўз назариясига Планк томонидан илгари сурилган энергиянинг дискрет қийматлар қабул қилиши гипотезасини асос қилиб олди. Бироқ Эйнштейн барча атомлар газлардагидек бир-бирига боғлиқ бўлмаган ҳолда ҳаракатланади ва бирдай частотада тебранади, деб нотўғри ҳисоблади. Шунинг учун Эйнштейн назарияси температура пасайиши билан иссиқлик сифмининг экспоненциал камайишини кўрсатади ва бу тажриба натижаси  $T^3$  билан мос тушмайди.

Қаттиқ жисملарнинг иссиқлик сифми назарияси Дебай томонидан ривожлантирилди. Дебай Эйнштейннинг асосий ғоясини сақлаб қолган ҳолда тебраниш частоталарининг бутун бир тўплами мавжуд, деб фараз қилди. Бу тебранишлар қаттиқ жисмда товушнинг тарқалиши каби юз беради деб ҳисоблаб, ички энергия учун қуйидаги ифодани олди:

$$U = aT^4, \quad (51.5)$$

бунда  $a$  — ўзгармас катталик.

(51.5) дан

$$c_V = \frac{dU}{dT} = 4aT^3. \quad (51.6)$$

(51.6) га Дебайнинг кублар қонуни дейилади ва у тажриба натижалари билан мос тунади. Ҳар бир қаттиқ жисмнинг иссиқлик сифми бирор чегаравий  $T_D$  температурадан бошлаб температура пасайиши билан тез камая бошлайди. Бу температура Дебай температураси дейилади ва у қуйидаги шартдан топилади:

$$kT_D = hv_m, \quad (51.7)$$

бунда  $h$  — Планк доимийси;  $v_m$  — атомлар тебранишининг максимал частотаси

(51.7) дан

$$T_D = \frac{hv_m}{k}. \quad (51.8)$$

Дебай температураси қаттиқ жисмнинг табиатига қараб 100 дан 1000° гача бўлган оралиқда бўлиши мумкин. Масалан, мис учун Дебай температураси 300 К бўлса, олмос учун 2000 К га тенгдир (171-расмга қarang).

## 52 -§. Бугланиш, сублимация, эриш ва қотиш

Суюқлик сиртида ҳар қандай температурада буг ҳосил бўлади. Бугланиш суюқлик молекулаларининг суюқлик ҳажмидан газ фазасига ўтишидир. Бугланиш интенсивлиги суюқликнинг температураси кўтарилиши билан тезлашади. Суюқлик температурасининг кўтарилиши суюқлик молекулалари тезликларининг ортishiга олиб келади. Бунинг натижасида суюқлик сиртидан ташқарига чиқа оладиган молекулалар сони ортади. Суюқлик молекулаларининг ҳаракати тартибсиз ва уларнинг тезликлари турлича қийматга эга. Шу сабабли молекулаларининг сиртга яқин жойлашгани ва ҳаракат тезлиги, суюқлик сиртига тик йўналгани газ фазага ўтиши мумкин.

Суюқликнинг сирт қатламнда молекулаларни суюқликни ичига томон тортадиган кучлар мавжуд. Шундай экан, суюқлик молекулалари газ фазасига ўтиши учун бу кучларга қарши маълум  $A_1$  иш бажариши керак. Агар молекулаларнинг ҳаракат энергияси шу ишни бажаришга етарли бўлса, бу молекула суюқликдан ташқарига чиқа олади. Молекулалар суюқлик ичида бўлганда улар бир-бирига етарлича яқин жойлашади. Буг ҳолатига ўтганда эса молекулалар бир-бирдан узоқлашади, яъни модданинг кенгайиши юз беради. Шундай қилиб, суюқликнинг бугланиш жараёнида икки хил табиатга эга бўлган иш бажарилар экан:

1. Сирт қатламидан ўтиш учун бажарилиши керак бўлган  $A_1$  иши.

2. Сирт қатламидан ўтган молекулаларнинг ташқи босим кучларига қарши бажарадиган  $A_2$  иши.

Демак, бирлик суюқлик массасининг буг ҳолатига ўтиши учун бажарилиши керак бўлган тўла иш:

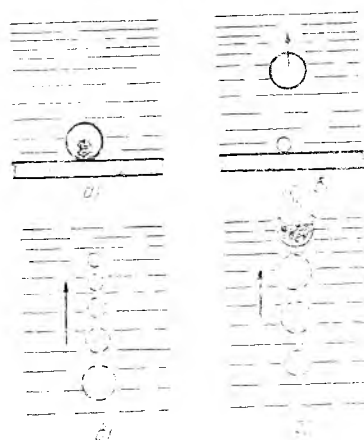
$$A = A_1 + A_2. \quad (52.1)$$

Бу ифоданинг кўрсатишича, суюқлик газ ҳолатига ўтганда унинг энергияси  $A$  миқдорга камаяди, яъни суюқлик совийди. Бугланиш вақтида суюқликнинг совишига сабаб, жараён мобайнида тобора кўпроқ катта тезликли молекулаларнинг чиқиб кетишидир. Масалэн, сопол идишга солинган сувнинг идишини ғовак деворларидаги капилляр найчалар орқали бугланиши худди шундай темирдан ясалган идиш деворларида юз берадиган бугланишдан кўпроқ бўлади. Шунинг учун ёзда

сополдан ясалган кўзачалардаги сув муздек сақланади. Берилган температурада суюқликнинг бирлик массасини суюқ ҳолатидан буг ҳолатига ўтказиш учун зарур бўлган энергия катталиги *солиштирма буғланиш яширин иссиқлик* дейилади.

Суюқлик солинган идишнинг усти очиқ бўлса, бугга айланган молекулалар тўхтовсиз кетиб туради. Агар суюқлик устини ёпиб қўйсак, у ҳолда суюқликдан буғланаётган молекулалар идишнинг бўш соҳасида йиғилиб уларнинг айримлари суюқ ҳолатга ўта бошлайди. Масалан, хонадаги сув буғлари нисбатан совуқ ойна сиртида йиғилиб, юпқа сув қатламни ҳосил қилади, буни биз ойна терлади, деб ўрганганмиз. Буғнинг суюқликка айланиш ҳодисаси *конденсация* дейилади. Дастлабки вақтда конденсацияланувчи молекулалар сони буғланувчи молекулалар сонидан анча кам бўлади. Суюқлик буғининг зичлиги орта бориши билан суюқликка қайтиб тушаётган молекулалар сони тобора кўпайиб боради. Температуранинг бирор критик қийматида суюқликдан буг фазасига ва буг фазасидан суюқликка вақт бирлигида ўтаётган молекулалар сони тенг бўлиб, динамик мувозанат юзага келади. Ҳосил бўлган  $\rho$  зичликли буғни суюқликнинг шу температурадаги *тўйинтирувчи буғи* дейилади. Критик температурада тўйинтирувчи буғнинг зичлиги суюқлик зичлигига тенг бўлиб қолади. Бошқача айтганда, суюқлик ва буг фазаларини ажратиб турувчи сирт йўқолади. Шундай экан, сирт таърирлик кучи ва буғланишнинг яширин иссиқлиги ноляга айланади.

Температуранинг етарлича ортгириб буғланиш жараёни тезлатилса, суюқлик ичида пуфакчалар ҳосил бўлади (172-а расм). Пуфакча ичидаги ҳавонинг зичлиги суюқлик зичлигидан кичик бўлгани учун Архимед кўтарини кучи таъсирида у су-



172- расм.

юқлик сиртга чиқади (172-б расм). Ҳосил бўлган пуфакча-нинг кўтариллишида унинг ҳажми кичрайдиган (172-в расм). Су-юқлик буғларининг боғлиқ танақи босимга тенг бўлиб қол-ганда суюқликнинг қайнаши боғланади. Қайнаш вақ-тида пуфакча кўтариллиши билан унинг ҳажми ортади (172-г расм). Қайнаб турган суюқликка ташқаридан ҳар-қанча иссиқлик берсак ҳам унинг температураси ўзгар-масдан қолади. Бу температура *суюқликнинг қайнаш температураси дейилади*. Ташқаридан иссиқлик берил-ганда бу температуранинг ўзгармаслигига сабаб, берил-ган энергияни молекулаларнинг суюқ фазасидан буғ фазасига узлуксиз ўтиб туришига сарф бўлишидир.

Қаттиқ жисм атом ёки молекулаларининг тўғридан-тўғри буғланлиши *сублимация ҳодисаси* дейилади. Суб-лимация қонунилари суюқликнинг буғланлиш қонунилари-га ўхшаш бўлади.

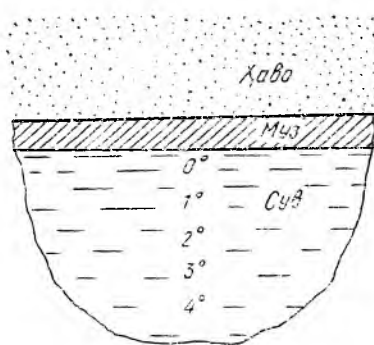
Қаттиқ жисм қиздирилса ё ёниб кулга айланади (масалан, қоғоз, ёғоч, газмол), ё эриб суюқликка айла-нади (муз, металл, тош). Модданинг қиздирилиши на-тижасида қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтиши унинг *эриши* дейилади. Ҳар бир қаттиқ жисм ўзининг эриш температураси билан характерланади. Кўпчилик қат-тиқ жисмларнинг ҳажми эриганда ортади. Айрим мод-даларнинг (муз, чўян) ҳажми эриш натижасида ка-маяди. Эриш температураси босимга боғлиқ бўлади. Биринчи гуруҳ моддаларда босим ортиши билан эриш температураси ортса, иккинчи гуруҳ моддаларда аксинча, камаяди. Масалан, босим ортиши билан муз  $0^{\circ}\text{C}$  да эмас, пастроқ температурада эрийди. Худди шунинг учун коньки остидаги муз  $0^{\circ}\text{C}$  дан паст температура-ларда эрийди. Натижада муз билан коньки орасида юққа сув қатлами ҳосил бўлади ва бу яхши сирпа-нишга олиб келади. Қаттиқ жисмнинг суюқ ҳолатга ўтиши юз берадиган температура *эриш температураси* (нуқтаси) дейилади.

Кристалл структурага эга бўлган қаттиқ жисмлар аниқ бир эриш температурасига эга бўлса, аморф қат-тиқ жисмларнинг эриши маълум температура интерва-лида юз беради.

Модданинг эриш жараёнида у иссиқлик ютади ва шунинг учун унинг температураси кўтарилмайди. Ма-салан, кўчадаги тоза қордан бирор нидишга солиб уйга олиб кирайлик ва нчига термометр тушириб қўяйлик.

Дастлаб термометр кўчадаги температурани кўрсатади. Температура аста-секин кўтарилиб,  $0^{\circ}\text{C}$  га келганда қор эриш бошлайди. Идишдаги қор эриб бўлгунга қадар термометрнинг кўрсатиши  $0^{\circ}\text{C}$  дан ўзгармайди. Эриш пайтида ютилган иссиқлик миқдори қаттиқ жием зарралари орасидаги боғланиш кучларини енгшига ва уларнинг потенциал энергияларини орттиришга сарф бўлади. Бир килограмм моддани қаттиқ ҳолатдан суюқ ҳолатга ўтказиш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори эриш иссиқлиги дейилади.

Моддалар суюқ ҳолатдан қаттиқ ҳолатга ўтганда, аксинча, иссиқлик ажралиши юз беради. Одатда, ҳар бир модданинг эриш ва қотиш температуралари устма-уст тушади. Энергиянинг сақланиш қонунига кўра эриш ва қотиш иссиқликлари ўзаро тенгдир. Масалан,  $0^{\circ}\text{C}$  температурада бир грамм сувни музга айлантириш учун 80 калория иссиқлик сарф бўлади. Бу иссиқлик музнинг кристалл панжарасини бузиш учун сарфланади. Сувнинг музлашида ажралиб чиққан иссиқлик ўзаро контактда бўлган ҳаво, муз ва сув ўртасида тақсимланиши керак эди (173-расм). Лекин тадқиқотларнинг кўрсатишича, бу иссиқлик асосан ҳавони иситишга сарф бўлар экан. Шунинг учун қишнинг совуқ кунлари музлаган денгиз ёки дарё устида қўниб турган гала-гала қушларни кўриш мумкин. Улар муз устида исинишади.



173-расм

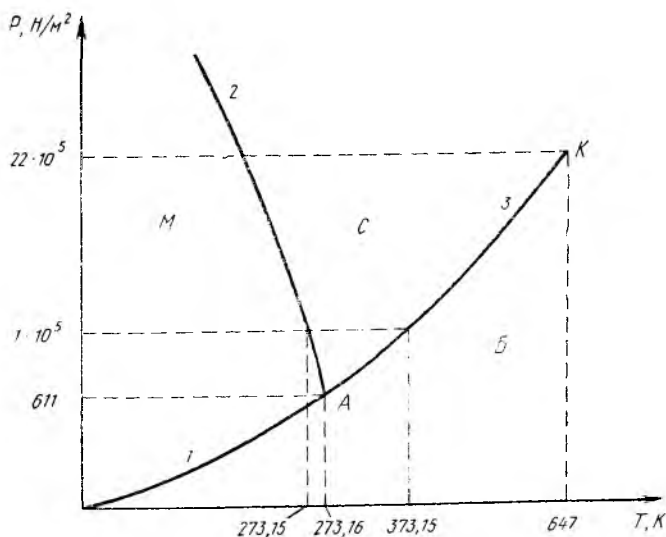
Сув музлаганда унинг ҳажми ортади. Шу сабабдан узок вақт совуқда қолган машина радиаторларининг ёки иситиш шохобчаларининг ёрилиши юз беради.  $0^{\circ}\text{C}$  да сувнинг зичлиги  $0,999\text{ г/см}^3$  бўлса, музнинг зичлиги  $0,917\text{ г/см}^3$ . Шунинг учун муз сувда чўкмайди ва маълум қатлам ҳосил қилиб сувни совуқ ҳаво қатламларидан ажратиб туради. Музнинг қалинлиги ортиб бориши билан сувнинг музлаш тезлиги камайиб боради. Агар муз-

нинг зичлиги сув зичлигидан катта бўлганда эди, у ҳола музлаган қатламлар сув остига чуқиб, сувнинг узлуксиз музлаши натижасида, масалан, кўлнинг ҳамма суви музга айланар эди. Бу эса кўлдаги бутун жонзоднинг йўқолишига олиб келарди.

### 53- §. Фазавий ўтишлар. Учламчи нуқта

Одатда, водород деганда газни, сув деганда суюқликни, темир деганда қаттиқ жисмни тасаввур қиламиз. Бу тушунчалар хона температурасига мос келади. Кўпчилик моддалар температура ўзгариши билан қаттиқ, суюқ, газ ҳолатларда бўлиши мумкин. Температура ва босимнинг тасаввуримиз доирасидаги қийматларида ўзининг ҳар учала фазовий ҳолатида бўла оладиган моддалардан бири сувдир. 174-расмда сувнинг фазовий диаграммаси  $p - T$  координаталарда келтирилган. Расмда сувнинг  $M$  қаттиқ,  $S$  суюқ ва  $B$  буғ соҳалари кўриниб турибди. (2) эриш эгри чизини қаттиқ ва суюқ фазоларнинг мувозанат эгри чизигидир. Худди шунингдек, (1) сублимация эгри чизиги қаттиқ ва газсимон ҳолатлари мувозанат эгри чизигидир. Бинобарин, (1) ва (2) эгри чизиқлардан чапдаги босим ва температураларининг қийматлари модданинг қаттиқ ҳолатига тўғри келади. Бу эгри чизиқдан ўнгда параметрларнинг қийматлари суюқ ва газсимон ҳолатларга мос келади. (3) эгри чизиқ сув ва бугнинг мувозанатда бўлиш эгри чизигидир. Бу учала эгри чизиқнинг  $A$  кесилиш нуқтаси модданинг қаттиқ, суюқ ва газсимон фазаларнинг мувозанат нуқтаси бўлади. Моддани учала фазасининг мувозанатига мос келувчи бу нуқта *учламчи нуқта* дейилади. Бу нуқтада буғланиш, эриш, қотиш ва конденсация жараёнлари юз бермайди.

Ҳолат диаграммасидан кўриниб турибдики, босимнинг  $10^5 \text{ Н/м}^2$  қийматлари атрофида маълум температура интервалида ҳар учала фаза сақланиб қолиши мумкин. Босимнинг шу қийматларида музнинг эриш температураси  $273,15 \text{ К}$ , сувнинг қайнаш температураси эса  $373,15 \text{ К}$  га тенгдир. Музни иситиш билан ҳамма вақт сувга ўтказиш мумкин бўлавермайди. Агар музни  $611 \text{ Н/м}^2$  дан паст босим остида иситилса, у эримади, балки суюқ фазани четлаб ўтиб, бевосита газсимон ҳолатга ўтади. Бу шароитда муз эримади, балки буғланади. Бу ҳодисага биз қаттиқ жисмнинг сублима-



174- расм.

цияси деган эдик. Масалан, карбон кислотаси асосида тайёрланидиган қуруқ муз ҳеч вақт эримайди, фақат буғланади. Босимнинг  $22 \cdot 10^5$  Н/м<sup>2</sup> ва температуранинг 647 К қийматига мос келувчи К нуқта *критик нуқта* дейилади. Температура ва босимнинг бундан катта қийматларида суюқ ҳамда буғ фазалари орасидаги фарқ йўқолади. Графикда суюқ ва буғ фазалари орасидаги буғланишдан қайнаш температурасининг босимига қараб ўзгаришини тахминан кузатиш мумкин. Қаттиқ ва суюқ фазалар орасидаги боғланишдан эриш температурасининг босимига қараб сезиларли камайиб бориши кўринади. Бунга сабаб сув музлаганда ҳажмининг ортишидир.

Ягона бир компонентдан ташкил топган моддада учтадан ортиқ фаза мувозанатда бўла олмайди ва шунинг учун учламчи нуқта битта бўлади. Айрим кристаллар бир неча турли модификацияларга эга бўлиши мумкин. Масалан, углерод қаттиқ ҳолатда икки хил модификацияга эга: паст босимларда графит, жуда юқори босимларда — олмос. Бу ҳолда учламчи нуқта иккита бўлади. Фазовий ўтишлар мобайнида модда томонидан энергия ютилса-да, унинг температураси ўзгармасдан қолади. Шунинг учун бирор модда эритилганда унинг

ички энергияси ортади. Модданинг газ фазасидаги ички энергияси унинг суюқ ва қаттиқ ҳолатидаги ички энергиялардан катта бўлади. Ички энергиянинг бу катталиги эриш ёки буғланиш иссиқликлари кўринишида намоён бўлади, атомларнинг потенциал ўрадан чиқишлари учун сарф бўлади.

Сувнинг учта фазаси мисолда биз кўрган фазавий ўтишлар *I тур фазавий ўтиш дейилади*. Бундай тур фазавий ўтишларда моддан ташкил қилган зарраларнинг ўзаро жойлашиши (агрегат ҳолати) ўзгаради. I тур фазавий ўтишлар барча моддаларда кузатилиб, уларнинг босим ва температураси орасидаги муносабат қуйидаги Клапейрон — Клаузиус формуласидан аниқланади:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{L}{T(V_2 - V_1)}, \quad (53.1)$$

бунда  $L$  — ўтиш моляр иссиқлиги;  $V_1, V_2$  — шкала фазавий моляр ҳажмлари.

Кўпчилик моддаларнинг зичлиги қаттиқ фазага ўтганда ортади, яъни  $V_1 > V_2$  ва шунинг учун  $\frac{dp}{dT} > 0$ , яъни температура ортиши билан фазавий ўтиш содир бўладиган босим ҳам ортиб боради.

Модданинг температураси ва босими ўзгарганда уни ташкил этган зарраларнинг ўзаро жойлашиши (агрегат ҳолати) сақланган ҳолда, фақат модданинг хусусияти сакраш билан ўзгарса бундай ўзгаришлар *II тур фазавий ўтиш* дейилади. Бундай ўтишда ўтиш яширин иссиқлиги ажралиши ё ютилиши кузатилмайди ва ўтиш бирданига бутун ҳажм бўйича юз беради. Масалан, суюқ гелийнинг гелий I ҳолатдан гелий II ҳолатга ўтиши, айрим металллар нормал ўтказувчанлигининг ўта ўтказувчанликка айланиши, моддаларнинг ферромагнетик ҳолатдан ферромагнит бўлмаган ҳолатга ўтиши ва ҳоказо. II тур фазавий ўтиш юз берадиган нуқта *Кюри нуқтаси* дейилади. Температуранинг Кюри нуқтасига тўғри келадиган қийматлари атрофида модданинг иссиқлик сифими чексиз катта миқдорга ўзгаради.



## Фойдаланилган адабиётлар

1. Ж. Б. Мэррион. «Физика и физический мир», М., 1975 й.
2. Кл. Э. Суорц. «Необыкновенная физика обыкновенных явлений», М., 1986.
3. П. Я. Уваров, М. М. Маркович. «Техника на уроках физики», М., 1960.
4. Г. Лиднер. «Физика в космосе», М., 1966.
5. Г. Нисе. «Маленькая физика», М., 1960.
6. К. Р. Крылов. «Элементы сельскохозяйственной техники в преподавании физики», М., Учпедгиз, 1995.
7. М. Я. Куприн. «Физика в сельском хозяйстве», М., «Просвещение», 1985.
8. В. Лишевский. «Физика вокруг нас», «Знание», М., 1974.
9. В. Крейчи. «Мир глазами современной физики», М., 1984.
10. Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман. «Механика» (Берклевский курс физики), М., 1975.
11. С. Л. Вольдгард. «Элементы техники в преподавании физики», М., Учпедгиз, 1950.
12. Л. Г. Асламазов, А. А. Варламов. «Удивительная физика», квант, вып. 63, 1987.
13. Б. Робертсон. «Современная физика в прикладных науках», Мир., 1985.
14. С. С. Хилькевич. «Физика вокруг нас», квант, вып. 40, М., 1985.
15. Р. В. Поль. «Механика, акустика и учение о теплоте», М., 1957.
16. Ж. Б. Мэррион. «Общая физика с биологическими примерами», М., 1986.

## М У Н Д А Р И Ж А

Сўз боши . . . . .	3
Кириш . . . . .	5
1- §. Биз яшаб турган олам. Материя. Фазо ва вақт . . . . .	5
2- §. Физик катталиклар ва уларни ўлчаш. Халқаро бирликлар системаси . . . . .	12
 I қисм МЕХАНИКА  	
I б о б. Кинематика . . . . .	19
3- §. Механик ҳаракат. Саноқ системаси. Моддий нуқта траекторияси. Кўчиш ва йўл . . . . .	19
4- §. Тезлик. Уртача ва оний тезликлар. Тезликларни ўлчаш . . . . .	24
5- §. Тезланиш. Нормал ва тангенциал тезланишлар . . . . .	28
6- §. Бурчакли тезлик ва тезланиш. Чизиқли ва бурчакли катталиклар орасидаги боғланиш . . . . .	35
II б о б. Илгариланма ҳаракат динамикаси . . . . .	39
7- §. Куч ва инертлик ҳақида тушунча . . . . .	39
8- §. Ньютоннинг биринчи қонуни ва унинг баъзи татбиқлари . . . . .	42
9- §. Ньютоннинг иккинчи қонуни ва унинг қўлланиши . . . . .	52
10- §. Ньютоннинг учинчи қонуни . . . . .	66
11- §. Ҳаракат импульси. Импульснинг сақланиш қонуни ва унинг баъзи бир татбиқлари . . . . .	73
III б о б. Айланма ҳаракат динамикаси . . . . .	85
12- §. Куч momenti . . . . .	85
13- §. Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб ҳаракати. Инерция momenti . . . . .	91
14- §. Қаттиқ jismlарнинг инерция momentлари . . . . .	93
15- §. Қаттиқ jisem айланма ҳаракат динамикасининг асосий тенгламаси . . . . .	99
16- §. Моддий нуқта импульс momenti ва унинг сақланиш қонуни . . . . .	108
17- §. Қаттиқ jisem импульс momentининг сақланиш қонуни . . . . .	114
IV б о б. Иш, қувват, энергия . . . . .	124
18- §. Иш ва қувват . . . . .	124
19- §. Энергия турлари . . . . .	130
20- §. Кинетик энергия . . . . .	133
21- §. Потенциал энергия . . . . .	137
22- §. Энергиянинг сақланиш қонуни . . . . .	142
23- §. Оддий механизмлар. Механиканинг олтин қонуни . . . . .	148

V б о б. Бутун олам тортишиш қонуни	153
24-§. Табиатда фулдаметал кучлар. Ер билан Ойнинг ўзаро таъсир кучи ҳақида	153
25-§. Кеплер қонунилари. Ньютоннинг бутун олам тортишиш қонуни. Галактикалар жойлашнинг	157
26-§. Оғирлик кучи. Вазисизлик ва унинг қўлланиши	165
27-§. Космик тезликлар. Ернинг суъий йўлдошлари. Табиатда тезликлар	174
VI б о б. Суюқлик ва газлар механикаси	181
28-§. Суюқлик ва газлар босими. Ишлаб чиқаришда босимдан фойдаланиши	181
29-§. Тутанг идишлар қонуни ва унинг амалда қўлланиши	186
30-§. Суюқлик ҳаракати. Уалукензлик тенгламаси	189
31-§. Бернулли тенгламаси ва унинг қўлланиши	193

## И қ и с м

### МОЛЕКУЛЯР ФИЗИКА ВА ТЕРМОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

VII б о б. Идеал газнинг молекуляр-кинетик назарияси	198
32-§. Модда тузилиши ва уни ўрганиш усуллари	198
33-§. Температура ва уни ўлчаш усуллари	200
34-§. Газнинг босими. Вакуум ҳақида тушунича	205
35-§. Идеал газ ва унинг дастлабки қонуниятлари. Газ ҳолат тенгламаси	210
36-§. Газ молекулаларининг тезликлари ва уларнинг Максвелл тақсимоти қонуни	216
37-§. Барометрик формула. Больцман тақсимоти	221
38-§. Газларда кўчиш ҳодисалари. Диффузия, иссиқлик ўтказувчанлик ва ички шиқаланиш ҳодисалари	226
39-§. Идеал газнинг ички энергияси ва унинг эркинлик даражалари бўйича теги тақсимот қонуни	232
VIII б о б. Термодинамика асослари	234
40-§. Термодинамиканинг биринчи қонуни ва унинг баъзи жараёнларга татбиқи. Пуассен тенгламаси	234
41-§. Идеал газнинг иссиқлик сигими	239
42-§. Айланма цикл. Қайтар ва қайтмас жараёнлар. Термодинамиканинг иккинчи қонуни	243
43-§. Иссиқлик двигателлари. Совиткичлар	246
44-§. Карно цикли. Энтропия	251
IX б о б. Реал газлар, суюқликлар ва қаттиқ жисмлар	257
45-§. Реал газ молекулалари орасидаги ўзаро таъсир	257
46-§. Реал газнинг ҳолат тенгламаси. Ван-дер-Ваальс изотермалари	259
47-§. Реал газнинг ички энергияси. Жоуль — Томсон эффекти. Газларни суюлтириш	262
48-§. Ҳавонинг намлиги. Намликни ўлчаш	267
49-§. Суюқликларда молекуляр ҳодисалар. Ҳўллан ва капиллярликка оид амалий масалалар	269
50-§. Қаттиқ жисмнинг тузилиши	276
51-§. Қаттиқ жисмнинг иссиқлик сигими	283
52-§. Бугланиш, сублимация, эриш ва қотиш	286
53-§. Фазавий ўтишлар. Учламчи нуқта	290
Фойдаланилган адабиётлар	293

А 15 Абдувоҳидов Х. М. ва бошқ.  
**Амалий физика:** Педагогика институтлари  
учун ўқув қўлланма Х. М. Абдувоҳидов, Т. Тур-  
ғунов, М. Турғунова.— Т.: Ўқитувчи, 1996.—  
296 б.

1. 1,2 Автордош.

22.3 я 73

ХУДОЙБЕРГАН МАВЛОНСЕНИЧ АБДУВОҲИДОВ  
ТЎХТАПЎЛАТ ТУРҒУНОВИЧ ТУРҒУНОВ  
МАРҒУБА ИСМИЛОВА ТУРҒУНОВА

### **АМАЛИЙ ФИЗИКА**

*Педагогика институтларининг студентлари учун  
ўқув қўлланма*

*Тошкент «Ўқитувчи» 1996*

Таҳририят мудир *М. Пўлатов*  
Муҳаррир *Х. Пўлатхўжаев*  
Техник муҳаррир *Т. Грешникова*  
Расмлар муҳаррири *Т. Қаюмов*  
Мусаҳҳиҳ *И. Каримов*

ИБ № 6564

Тиража берилди 15.04.94. Босилга рухсат этилди 4.03.96. Формати 84×108<sup>1</sup>/<sub>32</sub>. Тип. қоғози. Литературная гарн. Кегли 10 шплиценз. Юқори босма усулида босилди. Шартли б. л. 13,54. Шартли кр.-стт. 15,70. Нашр. л. 13,49. 3000 нусхада босилди. Буюртма № 2779.

«Ўқитувчи» нашриёти. Тошкент, 129, Навоий кўчаси, 30. Шартнома 09-35-94.

Ўзбекистон Давлат матбуот қўмитасининг Тошполиграфкомбинати. Тошкент, Навоий кўчаси, 30. 1996.