

**ЎЗБЕКИСТОН РЕСПУБЛИКАСИ ОЛИЙ ВА ЎРТА  
МАХСУС ТАЪЛИМ ВАЗИРЛИГИ**

**Б. О. Отакулов, Ю. П. Пўлатов, Н. А. Халилов,  
З. А. Ғозиев**

# **ФИЗИКА**

**(Механика бўлими)**

**Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим  
вазирлиги томонидан ўқув қўлланма сифатида тасвир этилган**

**ТОШКЕНТ-2004**

**Отакулов Б. О., Пулатов Ю. П., Халилов Н. А., Фозиёв З. А.** Физика (Механика бўлими). Т., «ЎАЖБНТ» Маркази, 2003. 253 б.

Педагогика фанлари доктори, профессор **Д. Шодиёв** таҳрири остида.

*Тақризчилар:* физика-математика фанлари докторлари, профессорлар **Расулов Р. Я., Султонов П. А.**

© «ЎАЖБНТ» Маркази, 2003 й

## МУҚАДДИМА

Буюк келажак сари дадил қаламлар билан одимлаётган днёримиз ўз келажagini ёш авлод тимсолида кўриб, бу мақсадни амалга ошириш учун асосий вазифалар қаторида таълим тизимини тубдан ислоҳ қилиш, миллий кадрларни тайёрлаш масаласига эътиборни қаратди.

Келажак авлод ҳар томонлама ривожланган, жисмонан бақувват, юксак даражада маланиятли бўлиши билан бир қаторда биллим савияси жаҳон андозаси даражасида бўлиши, ўз биллим ва кўникмалари асосида ҳозирги замон технологияси ёрдамида замонавий асбоб-ускуналар билан ишлаш олиши, фан ютуқларини халқ хўжалигининг турли соҳларида қўлай олиши керак.

Ана шу мақсадни амалга ошириш борасида мустақил республикамизнинг ҳамма вилоятларида, туманларида, шаҳарларида академик лицейлар, ҳунар-техника коллежлари замон талаби асосида қурилямоқда.

Миллий дастурни амалга ошириш учун эски дастурлар асосида ёзилган дарсликлар ўрнига давр талабига жавоб берувчи дастурлар яратилиб, уларга биноан янги дарсликларни яратиш керак бўлади. Ана шу мақсадни амалга оширишга ўз ҳиссаларини қўлиш учун муаллифлар гуруҳи ушбу қўлланмани ёзишга жазм қилдилар.

Қўлланма тўрт қисмдан иборат бўлиб, I қисми физика курсининг «Механика», II қисми «Молекуляр физика», III қисми «Электродинамика асослари» ва IV қисми «Оптика, атом, ядро ва элементар заррачалар физикаси» бўлимларидаги иборатдир.

Қўлингиздаги қўлланманинг биринчи қисми физика курсининг «Механика» бўлимига оид мавзулардан иборат бўлиб, унда асосий эътибор табиат ҳодисаларини механика нуқтаи назаридан тавсифловчи қонунлар ва тушунчаларнинг моҳиятини ва мазмунини содда тилда баён этишга қаратилган. Бундан ташқари, ҳозирги пайтда фойдаланилаётган дарсликларда табиат ҳодисаларини тавсифловчи мавзулар тўлиқ бе-

рилмаганлиги ҳам эътиборга олинган. Физика фани кун сайин янги билимлар билан бойиб бораётганлигини инобатга олиб, коллеж талабаларининг мавзуларни мустақил ўзлаштиришлари ҳисобга олинди.

Қўлланмада «Оддий механизмлар» ва «Гидроаэростатика ва гидроаэродинамика» бўлимлари тўлдирилган. Тебранишлар механик ҳаракатнинг бир кўриниши бўлганлиги сабабли мавзунини баён этишда механик энергия сақланиш ва айланиш қонунларининг намоён бўлиши эътиборга олинган. Қўлланмада механикага оид физик катталиклар Халқаро бирликлар тизимида келтирилган. Талабалар билимини ошириш мақсадида ҳар бир бобга тегишли мавзуларга оид масалалардан ечиш намуналари келтирилган.

Мазкур давргача ўзбек халқининг буюк алломалари тўғрисида деярли маълумот берилмаган эди. Муаллифлар гуруҳи буюк бобларимиз қомусий алломалар Абу Райҳон Бериий, Аҳмад ал-Фарғоний, Абу Али ибн Сино ва бошқаларнинг ҳаёти ва илмий фаолияти тўғрисидаги маълумотларни талабаларга етказишни лозим топди. Бундан ташқари, физиканинг механика қисмига муносиб ҳисса қўшган буюк олимлар Аристотел, Архимед, Галилей ва Ньютоннинг ҳаёти ва илмий фаолияти қисқача баён этилган.

Қўлланманинг кириш қисми, I–IX бобларни доцент З. А. Ғозиев, XI бобни профессор Б. О. Отақулов, X бобни Ю. П. Пўлатов ва З. А. Ғозиев ҳамкорликда, XIII бобни Б. О. Отақулов ва З. А. Ғозиев ҳамкорликда, XII–XIV бобларни Н. А. Халилов, алломалар ҳаёти ва илмий фаолиятини Б. О. Отақулов, З. А. Ғозиев ёзган.

Қўлланма олий ўқув юртлири талабалари, академик лицей, коллеж ва мактаб ўқувчилари ҳамда ўқитувчилари фойдаланишлари учун тавсия этилади.

Ушбу қўлланмани яратишда Фарғона давлат университетининг умумий физика ўқитиш услугиёти кафедрасининг профессор-ўқитувчилари ҳамда профессор Р. Я. Расуловга фойдали маслаҳатлари учун муаллифлар миннатдорчилик билдирадилар.

Қўлланма баъзи бир камчиликлардан холи бўлмаслиги мумкин, шунинг учун қўлланма ҳақидаги фикр-мулоҳазаларингизни муаллифлар жамоаси миннатдорчилик билан қабул қилади.

## I БОБ

### КИРИШ

#### 1-§. МЕХАНИКАНИНГ АСОСИЙ ТУШУНЧАЛАРИ

Биз кўзимиз билан кўриб турган ва сезги аъзоларимиз билан идрок этадиган барча жисмлар: ҳаво, сув, ер, ўсимликлар дунёси, ҳайвонлар, Куёш, Ой, планеталар, Коинот, бинолар, умуман бизни ўраб турган моддий олам табиат дейилади.

Табиатда ҳаракат доим мавжуд бўлган ва мавжуд бўлади. У доимо ҳаракатда бўлиб, узлуксиз ўзгариб туради.

Инсон ўз ақли ва заковати туфайли табиатга маълум миқдорда ўзгартириш киритади. Инсон меҳнати туфайли шаҳар ва қишлоқлар яратилди, фабрика ва заводлар қурилди, турли хил механизмлар ва электрон ҳисоблаш машиналари яратилди ва ҳ.к.

Олимлар табиатда бўладиган ҳаракатларнинг ўзгаришини ўрганиб, бу ўзгаришнинг сабаблари ва қонуниятларини аниқлашади. Масалан, Ерда кун ва туннинг алмашинишига сабаб Ернинг ўз ўқи атрофида айланиши бўлса, шамолнинг пайдо бўлишига сабаб — ҳавонинг нотекис исизи ва бошқалар. Табиатда содир бўлаётган ҳодисаларнинг сабабларини ўрганивчи фанлардан бири физика фанидир. «Физика» юнонча «*physis*» сўзидан келиб чиққан бўлиб, табиат демакдир.

Табиат ҳақидаги фанларнинг мақсади — табиат қонунларини очиш, ўрганиш ва улардан инсон эҳтиёжи учун фойдаланишдир.

Физика сўзини фанга биринчи марта эраимиздан аввалги 384 — 322 йилларда яшаган буюк грек алломаси Аристотель киритган. У ўзининг «Физика» асарида биринчи марта фанга «Механика» атамасини ҳам киритди. Буюк грек олими Архимед эса биринчи бўлиб механик ҳодисаларни таҳлил қилиб, математик тавсифини қўллади.

«Механика» сўзи юнонча «mechanike» сўзидан олинган бўлиб, машиналар ҳақидаги, машиналар куриш ҳақидаги таълимотдир. Бу таълимотни чуқурроқ ўрганиш учун табиатда содир бўлаётган ўзгаришларни, яъни табиат ҳодисаларини билиш керак.

Музнинг эриши, сувнинг қайнаши, лампочка толасининг ёруғлик чиқариши, қор кўчиши, самолётнинг учиши ва бошқалар ҳодисадир.

Физик ҳодиса деб, модда заррачалари, атом ва молекулалари ўзгармас ҳолда содир бўладиган жараёнга айтилади. Физик ҳодисаларга мисол сувнинг музлаши ва қайнаши, автомобиль ҳаракати ва бошқалар.

Кимёвий ҳодисаларда модда молекулалари ўзгаради.

Кимёвий ҳодисаларга мисол, ёқилғи ёниши, руда таркибидан металл олиш ва бошқалар.

Ҳодисаларни ўрганишнинг асоси кузатиш ва тажрибадир.

Ҳодисаларни бошқа ҳодисалар билан ўзаро боғланишлари тўлалигича сақланиб қоладиган шароитларда ўрганишга кузатиш деб аталади. Масалан, юқорига отилган жисмнинг қайтиб тушишида Ернинг тортишиш кучи намоён бўлади.

Сунъий шароитларда физик ҳодисалар ўртасидаги асосий бўлмаган боғланишларни назорат қилишга тажриба деб аталади. Мисол учун, Ернинг тортишиш кучи натижасида жисмларнинг эркин тушиши.

Физик ҳодисаларни кузатиш ва тажриба ўтказиш учун:

1. Физик жисмлар бўлиши керак. Физик жисмлар деб, табиатда учрайдиган турли моддалардан ташкил топган барча жисмларга айтилади.

2. Жисмлар системаси танлаб олиниши керак. Физик ҳодисаларнинг табиати худди битта жисмда намоён бўладиган жисмлар тўпламига жисмлар системаси деб айтилади.

3. Физик муҳитни билиш керак. Физик муҳит деб, физик ҳодиса ва жараёнлар содир бўладиган моддий фазога айтилади.

Физик ҳодисаларни миқдорий жиҳатдан аниқлашда физик катталиклардан фойдаланилади. Жисмларни ўлчаш натижасида миқдорий жиҳатдан аниқланадиган хоссалар ва жараёнлар тавсифи физик катталик деб аталади.

Физик катталикларни тўғри ва аниқ ўлчаш учун ўлчов асбобларидан фойдаланилади. Масалан, ҳарорат термометр

билан, узунлик ўлчов метр билан, ток кучи ампер билан ўлчанади.

Физик тажрибалар ва кузатишлар ёрдамида турли ҳодисалар орасидаги боғланишлар натижаларини тушинтириш учун гипотеза (илмий фараз) илгари сурилади. Ҳар қандай гипотеза тажрибалар асосида текширилган ва тасдиқланган бўлиши керак. Гипотеза тажриба асосида тасдиқланса ва тўғри талқин қилинса, қонунга айланади. Қонун – табиат ҳодисаларининг характери ҳақидаги энг умумий қоида ҳисобланади. Масалан, сақланиш қонунлари, Кулон қонунлари ва бошқалар.

Муайян ҳодисаларни тушинтириш учун физик модел яратилади. Модел деб ўрганиладиган ҳодисанинг маълум тушунчалар ёрдамида яратилган манзарасига айтилади. Масалан, атомнинг планетар модели, ёруғликнинг тўлқин ва корпускуляр модели ва бошқалар. Кўп миқдордаги ҳодисалар асосида ўтказилган тажрибалар натижаларига мос келган модел назарияга айланади. Назария деб, тажриба натижаларини умумлаштирувчи ва табиатнинг объектив қонунларини акс эттирувчи гоёлар системасига айтилади. Фаннинг ривожида буюк алломаларнинг меҳнати жуда каттадир. Бу алломалардан Ўрта Осиёда яшаб ижод этган Абу Райҳон Беруний, Абу Али ибн Сино, Ал-Хоразмий, Аҳмад ал-Фарғоний, Мирзо Улуғбек, шунингдек, алломалар Аристотель, Архимед, Демокрит, Эпикур, Лукреций, Галилей, Ньютон, А. Эйнштейн, Д. Менделеев, Э. Резерфорд, Н. Бор, М. Планк ва бошқа кўп олимларнинг номини келитириш мумкин.

## **2-§. МЕХАНИКАНИНГ БОШ МАСАЛАСИ. МОДДИЙ НУҚТА. САНОҚ СИСТЕМАЛАРИ**

Табиатда барча нарсалар узлуксиз ҳаракатда бўлади. Одамлар шаҳар кўчаларида, балиқлар сув ҳавзаларида, автомобиллар кенг кўчаларда, самолётлар фазода, электронлар барча жисмларда, қон томирларда ҳаракатланади. Бизнинг назаримизда тинч турган хонадаги стол, бинолар ва бошқалар ер сиртига нисбатан тинч турган бўлса-да, Ер

нинг ўз ўқи атрофида айланма ҳаракатида иштирок этади. Демак, табиатдаги барча нарсалар табиатнинг бирор жойида (фазода) ва бирор вақт ичида бошқа жисмларга нисбатан маълум бир вазиятни эгаллайди. Жисмнинг вазияти бошқа жисмларга нисбатан ўзгармас бўлса, жисм тинч турган бўлади, ўзгарса механик ҳаракат қилган бўлади.

Табиатдаги барча нарсаларни инсон ўз сезгиси орқали бевосита сезади ёки махсус асбоблар орқали аниқлайди. Бу ҳолат фанда **материя** деб аталади. Материянинг асосий хос-саси ҳаракатчанлигидир. Ҳаракатнинг энг содда тури механик ҳаракат ҳисобланади. Вақт ўтиши билан жисмнинг фазодаги вазиятининг бошқа жисмларга нисбатан ўзгариши **механик ҳаракат** деб аталади. Масалан, автомобилнинг бино ва дарахтларга нисбатан, самолётнинг тайёрагоҳга нисбатан, футбол коптогининг ўйингоҳга нисбатан ҳаракати.

Механик ҳаракатда жисмнинг ҳаракати вазиятнинг вақт ўтиши билан қандай ўзгаришини билиш ва жисм вазиятини исталган вақт моментидан аниқлаш муҳим масаладир. Шунинг учун механиканинг асосий ва бош масаласи деб жисмнинг исталган пайтдаги вазиятини аниқлашга айтилади. Масалан, астрономлар осмон жисмларининг бир-бирига нисбатан жойлашган вазиятини механика қонунлари асосида ҳисоблаб, Кўёш ва Ой тутилишини олдиндан аниқ айтиб беришади.

Ривоятларга қараганда, бир донишманд ўлими олдидан фарзандаларга васият қолдириб, унда ҳовлининг тўрида жойлашган ўрик дарахти ёнига бориб, 12 қадам чапга, сўнгра 10 қадам ўнга юриб ўша ерни 2 газ кавлаб чуқурдан ҳар бирларингга аталган меросларни топасизлар, деб айтган экан. Ота ўлиmidан сўнг фарзандалар васиятга амал қилиб, белгиланган жойдан ҳар бирига тегишли меросни топишган.

Жисмлар ҳаракати турлича бўлганлиги сабабли механиканинг бош масаласини ҳал этишда ҳаракатни математик жиҳатдан тавсифлаш ва механик ҳаракатни ифодаловчи катталиклар ўртасидаги боғланишларни билиш керак. Бу масалани механиканинг кинематика қисми ҳал этади.

Физика фанининг механика бўлими уч қисмдан иборат бўлиб, улар:

1. Кинематика жисм ҳаракатини ўрганади, аммо шу ҳаракатни юзага келтирувчи сабабларни ўрганмайди.

2. Динамика жисм ҳаракати ва унга таъсир этувчи кучлар орасидаги муносабатларни аниқлайди.



### 3. Статика жисмларнинг мувозанатлик шартини текширади.

Демак, механика қонунлари асосида жисмнинг исталган пайтдаги вазияти аниқланади. Бу вазифани ҳал этишда: 1) жисм ҳаракати давомида ўз вазиятини қандай ўзгартиришини; 2) жисмнинг ўлчами ва шаклини; 3) жисмни ташкил этган барча нуқталарнинг фазодаги жойлашувини билиш керак. Кўпчилик ҳолларда ҳаракатланаётган жисм ҳамма нуқталарнинг фазодаги вазиятини аниқлашга имкон бўлмаганлиги сабабли физикада ҳар хил соддалаштирилган моделлардан фойдаланилади. Шундай моделлардан бири моддий нуқтадир. Моддий нуқта деб, ўрганилаётган шароитда геометрик ўлчамлари ва шакли ҳисобга олинмайдиган ва массаси бир нуқтага тўпланган жисмга айтилади.

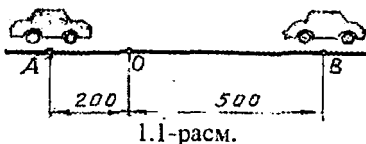
Ҳар бир жисмни муайян шароитда моддий нуқта деб, қараш мумкин. Бошқа шароитда эса бу жисм моддий нуқта бўлмаслиги мумкин.

Масалан, фазода ҳаракат қилаётган самолёт фазога нисбатан ўлчами жуда кичик бўлганлиги сабабли моддий нуқта ҳисобланса, тайёрагоҳга нисбатан моддий нуқта деб бўлмайди. Ёки бўлмаса, узоқ масофага югурувчи спортчи масофага нисбатан моддий нуқта бўлса, дам олиш хонасига нисбатан моддий нуқта бўлмайди. Демак, моддий нуқта тушунчаси абстракт тушунчадир.

Жисмнинг ёки моддий нуқтанинг вазиятини аниқлаш учун жисмнинг вазиятини бошқа жисмга нисбатан аниқлаб, санок жисмини танлаб олиш лозим. Санок жисми мутлақо ихтиёрий равишда танлаб олинади. Мисол учун бино, ҳаракатдаги автомобиль, Ер, Қуёш, юлдузлар санок жисми сифатида олинishi мумкин.

Санок жисми танлаб олингандан сўнг унинг бирор нуқтаси орқали координата ўқлари ўтказилади ва жисмнинг ихтиёрий нуқтасининг фазодаги вазияти координаталар орқали аниқланади. Мисол учун, йўлдаги автомобилларнинг вазиятини аниқлайлик (1.1-расм). Йўл бўйлаб ОХ координата ўқини ўтказиб, санок боши 0 нуқта танлаб олинади. 0 нуқтадан ўнг томондаги координата нуқталарини мусбат, чап томондаги нуқталарни манфий деб ҳисоблаймиз. 0В йўналишдаги автомобиль вазияти  $X=0В=500$  м координата билан, А0 йўналишдаги автомобиль вазияти

саноқ бошидан чап томонга қараб ҳисоблангани учун  $X=0A=-200$  м бўлди. Демак, тўғри чизиқдаги нуқтанинг вазияти битта координата орқали аниқланади.

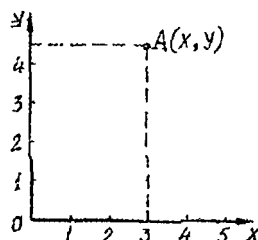


1.1-расм.

Агар жисм текисликда ҳаракат қилаётган бўлса, у ҳолда текисликда таълаб олинган саноқ бошига нисбатан ўзаро перпендикуляр бўлган иккита координата ўқлари, яъни  $OX$  ва  $OY$  ўқлар ўтказилади. Нуқтанинг вазияти иккита координата орқали аниқланади (1.2-расм).

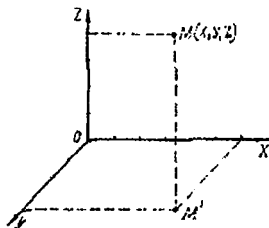
Жисм ҳаракати фазога нисбатан аниқланаётган бўлса, саноқ бошига нисбатан (саноқ жисм орқали) ўзаро перпендикуляр бўлган учта координата  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  ўтказилади (1.3-расм) ва жисмнинг фазодаги вазияти учта координата  $X, Y, Z$  билан аниқланади.

Жисм ҳаракатини ўраганишда саноқ жисмига боғланган координаталар системаси билан бир қаторда вақтни ўлчаш учун соат ҳам зарур бўлади.



1.2-расм.

Саноқ жисм билан боғланган координаталар системаси ва соатдан иборат бўлган тўплам саноқ системаси деб аталади. Саноқ системаси: 1) саноқ жисм; 2) координаталар системаси; 3) ўлчов масштаби; 4) координаталар боши (ҳисоб олиш учун); 5) вақтни ўлчаш усули (соат); б) вақтни ўлчов боши каби элементлар тўпламидан иборат бўлади.

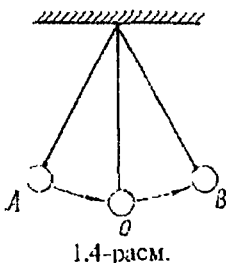


1.3-расм.

### 3-§. ФАЗО ВА ВАҚТ

Механик ҳаркатни ўрганиш давомида кўпинча «фазо» ва «вақт» тушунчасидан фойдаланамиз. Аммо бу икки муҳим тушунча физика фанини ўрганишдаги ўрнини билмай-миз. Шу сабабли бу тушунчалар моҳиятини аниқлашга эътиборингизни тортамиз.

Табиатда мавжуд бўлган нарсалар — уй, дарахт, китоб, олам, сув, дарё, машина ва бошқа жисмлар фазода мавжуд. Фазо ташқарисида бўлган бирорта ҳам мавжудот бўлмайди, бўлиши ҳам мумкин эмас. Фазо материя билан узлуксиз боғланган, у чексиз ва чегарасиздир. Масалан, осмон жисмларидан келаётган ёруғлик текширилиши ва ҳисобларга асосан Ергача юз йиллардан сўнг етиб келиши маълум, демак, бу жисмлар орқасида янада узоқроқда бошқа жисмлар мавжудлигини исботлайди.



Фазонинг асосий хоссалари: объектив мавжудлиги, материядан ажралмаслиги, чексизлиги, кўлами ва ўлчами.

Жисм ҳараркат қилини давомида фақат ўз вазиятини фазода ўзгартириб қолмай, вақт бўйича ҳам ўзгартиради. Кундалик ҳаётимизда вақт бир текисда ўтгани каби айнан бир хил физик ҳодисалар ҳам айнан ўша шароитда доимо бир хил вақтда ўтади. Масалан, хонанинг шпинга осилган шарча ва илдан иборат система хонанинг шаронти ўзгармаса, А вазиятдан В вазиятга кундузими ёки кечасими, баҳордами ёки куздами, бари- бир бир хил вақт давомида ўтади. Вақт ўзига хос хоссага эга бўлиб, объектив мавжуд. Узлуксиз, бир текис ўтади, бир ўлчамли ва фақат олдинга ҳаракат қилади. Вақт фазо, ҳаракат ва материя билан узлуксиз боғланган. Табиатда ҳаракатланувчи материядан бошқа ҳеч нарсга йўқ ва бўлиши мумкин эмас. Материя фақат макон (фазо) ва замонда (вақтда) ҳаракат қилади. Вақт махсус асбоблар — соат ёрдамида ўлчанади.

#### 4-§. ЖИСМНИНГ ИЛГАРИЛАНМА ҲАРАКАТИ КЎЧИШИ

Жисмнинг ҳаракатини аниқлаш учун энг аввало, жисмнинг фазодаги вазияти ўзгаришини аниқлаш зарур. Маълумки, ҳар бир жисмнинг ўз шакли ва ўлчамлари бўлиб, уни ташкил этган ҳар хил нуқталар фазонинг турли жойларида бўлади. Демак, жисмнинг ҳамма нуқталари вазиятини аниқлаш осон эмас. Бу масалани ҳал этиш учун жисмнинг ҳамма нуқталари бир хил ҳаракат қилишини кўз олдимиз-

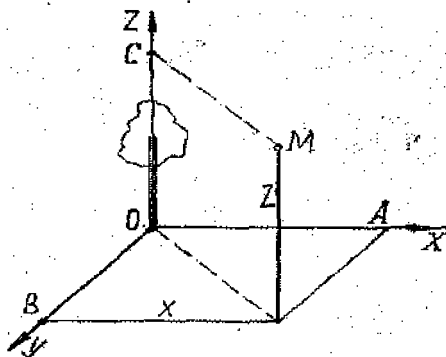
га келтирсак етарлидир. Масалан, челақдаги сувни бир жойдан иккинчи жойга оиб қўйилганда ёки чархпалакнинг айланма ҳаракатида ундаги челақчаларнинг ҳаракатида, Марғилон шаҳридан Фарғона шаҳрига кетаётган автобус ҳаракатида ҳаракатдаги жисмларнинг барча нуқталари бир хил масофага силжи-ган бўлади. Яъни жисмнинг ихтиёрий икки нуқтасини туташтирувчи тўғри чизиқ ўз-ўзига параллеллигича қолади.

Жисмнинг ҳамма нуқталари бир хил ҳаракат қиладиган ҳолдаги ҳаракати **илгариланма ҳаракат** деб аталади.

Жисмнинг ўлчамлари шу жисм босиб ўтадиган масофага нисбатан жуда кичик бўлган ҳолларда жисмнинг ҳар бир нуқтасининг ҳаракатини тавсифномаси ҳам бўлади.

Масалан, футбол майдонидаги футбол коптогининг ҳаракатини кузатсак, майдон ўлчамига қараганда коптокнинг ўлчами жуда кичик, шунинг учун коптокни нуқта деб ҳисоблаш мумкин.

Жисмнинг (моддий нуқтанинг) вазияти бирор жисмга нисбатан аниқланади (одатда саноқ жисмига нисбатан).



1.5-расм.

Саноқ жисм сифатида Ер сиртидаги бино, дарахт, поезд вагонининг ўриндиқлари ёки деворлари ва бошқалар олинади. Бу жисмларда танланган ихтиёрий  $O$  нуқтадан координаталар боши сифатда фойдаланиб, ўзаро перпендикуляр  $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$  координата ўқлари ўтказилади (1.5-расм), яъни Декарт координаталар системаси.

Ихтиёрий  $M$  нуқта айни вақтдаги вазиятини аниқлаш учун унинг координаталарини аниқлаш керак. Мисол учун,  $X=0A$ ,  $Y=0B$ ,  $Z=0C$ .

Моддий нуқта ҳаракатланиб  $A$  ҳолатдан  $B$  ҳолатга ўтсин. Моддий нуқтанинг саноқ системасидаги ҳаракатини аниқлайлик.

Моддий нуқта  $AKB$  эгри чизиқ бўйлаб ҳаракат қилсин. Бу эгри чизиқ моддий нуқтанинг траекторияси бўлади. Эгри чизиқнинг узунлиги эса моддий нуқтанинг босиб ўтган йўлидир.

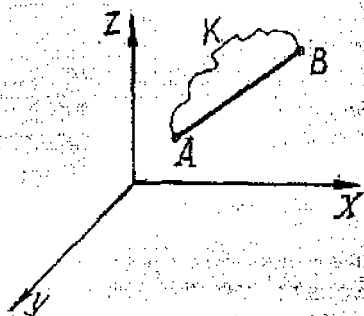
Ҳаракатланаётган жисм (моддий нуқта) ҳаракат траекторияси бўйлаб босиб ўтган масофага йўл дейилади (1.6-расм).

Моддий нуқтанинг бошланғич вазияти  $A$  билан охириги вазияти  $B$  ни туташтирувчи йўналишли тўғри чизиқ кесмаси  $AB$  моддий нуқтанинг кўчиши деб аталади. Кўчиш вектор катталиқ, чунки унинг йўналиши доимо берилади ва

йўналиш тўғри чизиқ учига стрелка қўйиб кўрсатилади. Стрелканинг кўрсатиши моддий нуқтанинг янги вазиятини белгилаб беради (1.6-расмда  $B$  нуқта).

Йўл ва кўчиш тушунчалари бир-биридан фарқ қилади. Йўл — скаляр катталиқ, кўчиш эса вектор катталиқ.

Йўл кўчиш модулига эгри чизиқли ҳаракатда тенг бўлмайди, фақат тўғри чизиқли ҳаракатда кўчиш модулига тенг бўлади. Масалан, Марғилон шаҳридан Фарғона шаҳрига: 1. Марғилон-Фарғона йўналиши бўйича; 2. Марғилон-Янги Марғилон-Фарғона йўналиши бўйича; 3. Марғилон-Қирғули-Фарғона йўналиши бўйича; 4. Марғилон темир йўл бекати-Қирғули-Фарғона йўналиши бўйича бориш мумкин. Бу йўлларда босиб ўтилган масофа турлича бўлсада, кўчиш қиймати бир хил бўлади.



1.6-расм.

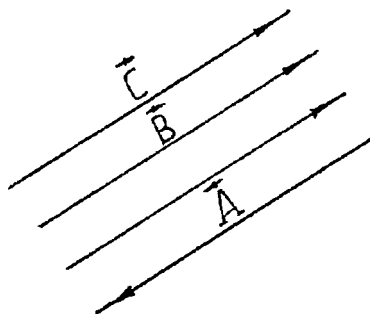
## 5-§. ВЕКТОРЛАР. ВЕКТОРЛАР УСТИДА АМАЛЛАР

Сон қиймати ва йўналиши билан ҳаракатланиб, параллелограмм қондаси бўйича қўпиладиган катталикларга векторлар деб аталади. Векторлар устига стрелка қўйилган ҳарфлар ёки қора ҳарфлар билан белгиланади. Масалан:  $\vec{A}$  ( $A$ ) ва  $\vec{B}$  ( $B$ ).

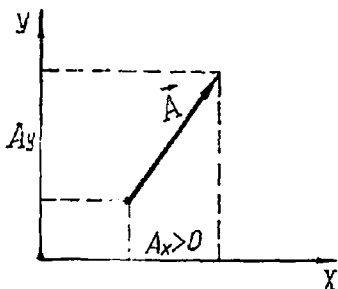
Векторнинг сон қиймати унинг модули бўлиб, иккита параллел вертикал чизиқ бўлган вектор белгиси ёки белгисиз ҳарф билан белгиланади ва  $C = |\vec{C}|$  ҳамма вақт мусбат скаляр катталиқ бўлади. Векторлар чизмада учиди кўрсаткич (стрелка) белгиси бўлган тўғри чизиқ кесмаси орқали тасвирланади. Кўрсаткич векторнинг йўналишини кўрсатади, кесма узунлиги сон қиймати жиҳатидан векторнинг модулига тенг бўлади. Векторларни характерловчи қуйидаги қондаларни эсда сақлаш керак: а) модули нолга тенг бўлган векторга **ноль вектор** дейилади. Ноль векторнинг боши охири билан устма-уст тушади ва ўзи нуқтага айланади; б) агар икки вектор параллел ва бир томонга йўналган, модуллари тенг бўлса, бу-векторлар геометрик жиҳатдан тенг бўлади; в) векторларни ўз-ўзига параллел равишда ис-талган нуқтага кўчириш мумкин (шу вектордан ташқари).

Ўзаро параллел тўғри чизиқлар ёки бир бурчак тўғри чизиқ бўйлаб бир хил ёки қарама-қарши йўналган векторлар **коллинеар векторлар** деб аталади (1.7-расм).

Ўзаро параллел текисликларда ёки бир текисликда ётган векторга **компланар векторлар** дейилади.  $\vec{A}$  векторнинг координата ўқидаги проекцияси деганда мос координата ўқларидаги ( $X$  ва  $Y$ ) мусбат ва манфий ишора билан олинган  $\vec{A}$  векторнинг боши ва охири билан чегараланган  $A_x$  ва  $A_y$  кесма узунлиги тушунилади (1.8-1.9-расмлар). Вектор проекцияси скаляр катталиқдир.

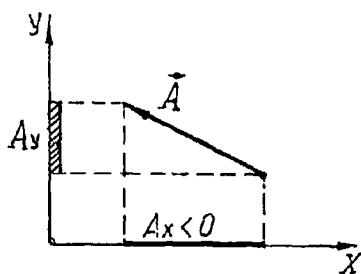


1.7-расм.



1.8-расм.

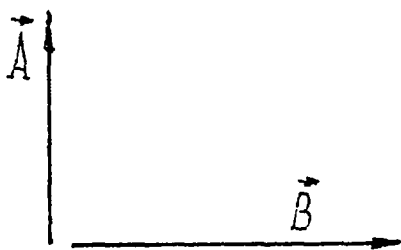
(*A* вектор йўналиши *X* ўқи бўйича йўналган ҳолда проекция мусбат)



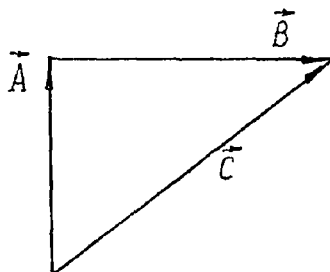
1.9-расм.

(*A* вектор йўналиши *X* ўқи бўйича қарама-қарши йўналган ҳолда проекция манфий)

Сизга математикадан маълумки, вектор катталиклар геометрик равишда қўшилади. Иккита  $\vec{A}$  ва  $\vec{B}$  векторларни қўшиш учун  $\vec{B}$  вектор ўз-ўзига параллел ҳолда кўчирилиб,  $\vec{B}$  векторнинг боши  $\vec{A}$  векторнинг учи билан устма-уст қўйилади (1.10-расм).



1.10-расм.

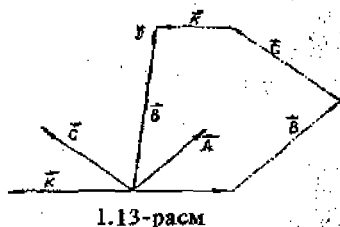
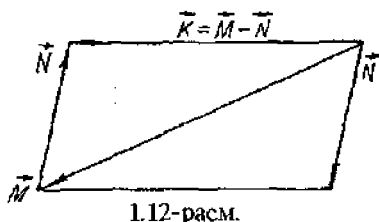


1.11-расм.

Йиғинди вектор  $\vec{C} = \vec{A} + \vec{B}$  га тенг бўлади (1.11-расм). Бир неча векторларни қўшишда ҳар бир навбатдаги векторнинг боши ўзидан аввалги векторнинг учи билан устма-уст қўйилади. Биринчи векторнинг бошидан охири вектор учига ўтказилган кесма натижавий йиғинди вектор бўлади (1.11-расм).

Натижавий йиғинди вектор  $\vec{B} = \vec{A} + \vec{C} + \vec{K}$  (1.13-расм) бўлади. Иккита  $\vec{M}$  ва  $\vec{N}$  векторларнинг айирмаси шундай

$\vec{K}$  векторга тенгки, унинг  $\vec{N}$  вектор билан йиғиндиси  $\vec{M}$  векторга тенг бўлади (1.12-расм). Бунда  $\vec{M}$  векторга  $\vec{N}$  вектори қўшилади,  $\vec{K} = \vec{M} - \vec{N}$ .



Бирор  $\vec{D}$  векторни  $\gamma$  скалярга кўпайтириб,  $\vec{D}$  векторнинг модули билан  $\gamma$  скалярнинг модулига кўпайтмасига тенг бўлган янги  $\vec{K}$  вектор ҳосил қилинади,  $\vec{K} = \gamma \vec{D}$  (1.13-расм).

Шундай қилиб, вектор катталиқ деб, сон қиймати, йўналиши ва геометрик қўшилиши билан характерланадиган физик катталиқка айтилади.

### САВОЛЛАР

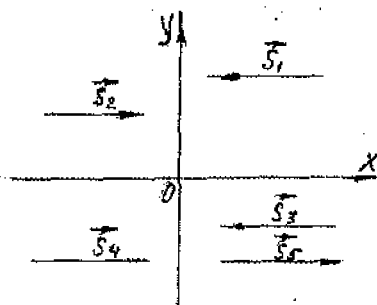
1. Вектор катталиқ деб қандай катталиқ тушунилади?
2. Векторлар қандай қўшилади?
3. Векторнинг проекцияси нима?



## II боб

### 6-§. ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ ТЕКИС ҲАРАКАТДА КЎЧИШ

Механик ҳаракатнинг энг содда кўриниши тўғри чизик бўйлаб содир бўладиган ҳаракатдир. Тўғри чизикли ҳаракат текис ёки нотекис бўлади. Текис ҳаракатда жисм (моддий нуқта) тенг вақтлар оралиғида тенг масофаларни босиб ўтади. Тўғри чизикли текис ҳаракатда эса жисм тенг вақтлар оралиғида тенг масофаларга кўчиши билан траекторияси тўғри чизикдан иборат бўлиши керак. Жисм ҳаракатини ўрганишда қулайлик учун координата ўқларидан бири  $X$  ёки  $Y$  ни қабул қилиш мумкин. Бу ҳолда  $X$  ёки  $Y$  координата ҳаракат давомида ўзгарадиган ягона координата бўлади. Бунда кўчиш вектори координата ўқи бўйлаб ёки координата ўқига тескари йўналган бўлади (2.1-рasm).



2.1-рasm.

Жисмнинг бирор  $t$  вақт ичидаги кўчишини аниқлаш учун, шу жисм  $t$  вақт ичида  $S$  миқдорга кўчишини би-

лиш билан  $\frac{S}{t}$  нисбатини

ҳам аниқлаш керак бўлади.  $\frac{S}{t}$  нисбат жисмнинг вақт бирлиги

ичида қанча масофага кўчганлигини билдиради, яъни жисм ҳаракатининг ўзгариш жадаллигини билдириб, жисм ҳаракатининг тезлиги деб аталади ва  $V$  ҳарфи билан белгиланади:

$$\vec{V} = \frac{\vec{S}}{t} \quad (1)$$

$\vec{S}$  — кўчиш вектор катталиқ,  $t$  — вақт оралиғи скаляр катталиқ, ҳаракат жадаллиғи,  $\vec{V}$  — тезлик эса вектор катталиқ бўлади, чунки вектор катталиқнинг скаляр катталиқка нисбати вектор бўлади. Жисм ҳаракат тезлигини билган ҳолда ихтиёрий  $t$  вақт ичидаги кўчишни топамиз:

$$\vec{S} = \vec{V} \cdot t \quad (2)$$

Бу формула кўчиш формуласи бўлиб, тўғри чизиқли текис ҳаракат тенгламаси деб аталади.

Кўчиш бирлиги сифатида метр қабул қилинади.

Тезлик векторининг йўналиши жисм ҳаракати йўналишини билдирганлиги сабабли тезлик вектори кўчиш вектори билан бир хил йўналган бўлади.

Жисмнинг кўчиши ва тезлигини ҳисоблашда вектор катталиқлар эмас, балки уларнинг координата ўқларидаги проекциялари қатнашадиган математик ифодаларидан фойдаланилади.

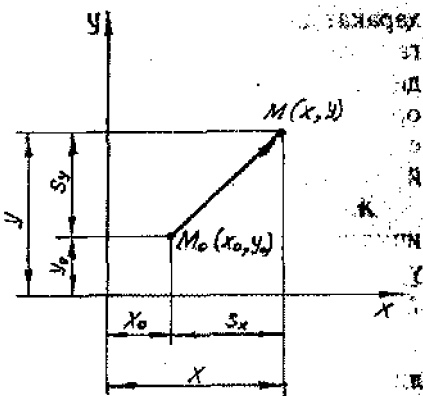
Векторларнинг координата ўқларидаги проекциялари скаляр катталиқ бўлиб, алгебраик амалларни бажариш имконини беради.

$\vec{S} = Vt$  бўлганлиги сабабли, бу катталиқларни  $X$  ўқидаги проекциялари ҳам тенг бўлади:

$$S_x = V_x t.$$

Сизга маълумки,  $S$  векторнинг  $X$  ва  $Y$  координата ўқларидаги проекциялари жисмнинг  $X$  ва  $Y$  координаталарининг ўзгаришига тенг эди (2.2-расм), яъни

$$S_x = X - X_0,$$



$$S_y = y - y_0 \quad (2a)$$

Кўчиш векторининг  $X$  ва  $Y$  координаталари:

$$X = X_0 + S_x$$

$$Y = Y_0 + S_y \quad (3)$$

(3) формулага (2a) формулани татбиқ этсак,  $X$  ва  $Y$  координаталари қуйидагича аниқланади:

$$X = X_0 + V_x t,$$

$$Y = Y_0 + V_y t. \quad (3a)$$

Жисм тезлиги проекцияларини аниқлаш учун кўчиш проекцияси маълум бўлиши керак, у ҳолда тезлик проекциясини (4) ифода орқали топиш мумкин бўлади:

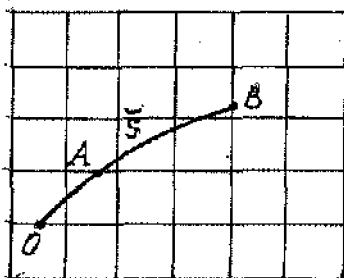
$$V_x = \frac{X - X_0}{t} \quad (4)$$

Тезлик бирлиги  $1\text{ м/с}$  бўлиб, у 1 секунд вақт бирлигида жисмнинг 1 метр масофага кўчиш жадаллигини ифодаловчи катталикдир. Техникада тезликнинг бирлиги  $\text{км/соат}$  бўлиб, уни ўлчайдиган асбоб соат спидометри дейилади.

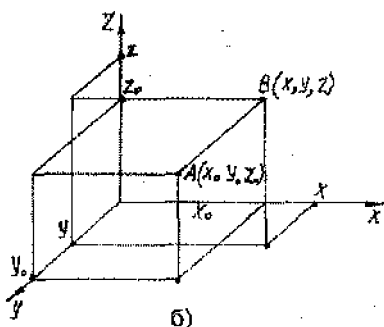
(4) ифодага асосан тезлик маъносини аниқлайлик. Формуладан тезликнинг координата ўқидаги проекцияси координатанинг вақт бирлиги ичидаги ўзгаришини билдираётган экан.

Жисмнинг исталган вақтдаги вазиятини саноқ системасига асосланиб, уч усулда аниқлаш мумкин:

1. Табиий (траекторияли) усул. Бу усулда траекторияда ҳаракатланаётган жисмнинг (моддий нуқта) берилган



a)



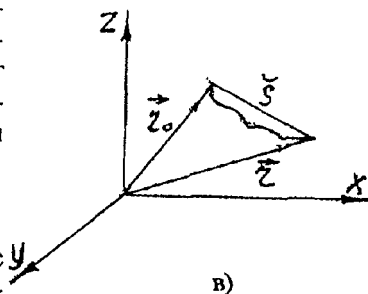
б)

вақтдаги ўрни бошланғич саноқ системасида олинади. Жисм бошланғич вазияти  $A$  нуқтада,  $t$  вақтдан сўнг вазияти  $B$  нуқтага ўтса, жисм вазияти траектория бўйича аниқланади (2.3-расм, а). Расмдан  $S$  ёйнинг узунлиги  $S=AB$  бўлади.

2. Координата усули. Бу усулда ҳаракатланаётган жисмнинг танланган саноқ системасига нисбатан вазиятининг учта  $X$ ,  $Y$  ва  $Z$  координаталари топилади (2.3-расм, б), яъни

$$\begin{aligned} X &= X_0 + V_x t, \\ Y &= Y_0 + V_y t, \\ Z &= Z_0 + V_z t \end{aligned} \quad (5)$$

формулада  $V_x$ ,  $V_y$  ва  $V_z$  мос ўқлардаги ҳаракат тезликларининг проекциялари  $X_0$ ,  $Y_0$  ва  $Z_0$  жисмнинг бошланғич пайтдаги координаталари.



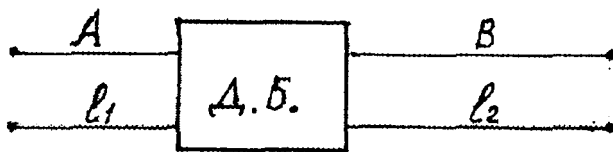
2.3-расм.

3. Вектор усули. Бу усулда жисм (моддий нуқта)нинг ис-талган пайтдаги фазодаги ўрни координата бошидан жисм турган нуқтагача ўтказилган  $\vec{r}$  радиус-вектор ёрдамида аниқланади (2.3-расм, в).  $M_0$  нуқтанинг бошланғич пайтдаги вазияти  $\vec{r}_0$  радиус-вектор билан аниқланса,  $t$  вақт оралиғида нуқта  $M_0$  вазиятдан  $M$  вазиятга кўчса, нуқтанинг янги  $M$  вазияти  $\vec{r}$  радиус-вектор орқали аниқланади. Нуқтанинг бошланғич вазиятидан охириги вазиятига ўтказилган йўналишлик  $S$  кесма узунлигига нуқтанинг кўчиши деб аталади.

## 7-§. ҲАРАКАТНИНГ НИСБИЙЛИГИ. КЎЧИШ ВА ТЕЗЛИКЛАРНИ ҚЎШИШ

Табиатда содир бўлаётган барча ҳодисаларни аниқлашда ҳодисанинг қандай содир бўлганлиги, қаерда содир бўлганлиги ва ўрганиш учун содир бўлган жой атрофида нималар

борлиги, вақти нисбатан аниқланади. Демак, ҳодисани тавсифлаш учун биринчи навбатда ҳодисанинг юзага келишида иштирок этган жисм (моддий нуқта)нинг вазиятини ҳодиса содир бўлган жойда тинч турган жисм (саноқ жисми)га нисбатан аниқлаш ва координаталар системаси орқали ифода-



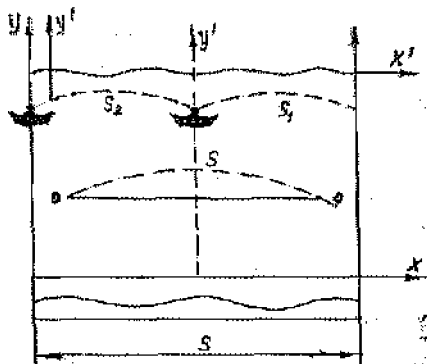
2.4-расм.

лаш керак бўлади. Координаталар системаси, саноқ жисмни қандай танлаб олганимизга қараб жисм вазиятини турлича тушунтириш мумкин. Мисол учун аҳоли яшайдиган А шаҳарга нисбатан деҳқон бозори вазияти ғарб-дан  $l_1$  масофада жойлашган десак, шарқда иккинчи аҳоли яшайдиган В шаҳарга нисбатан  $l_2$  масофада жойлашганлигини кўрамиз (2.4-расм). Ўз-ўзидан кўришиб турибдики, жисмнинг вазияти қандай жисмга нисбатан аниқланишига боғлиқ экан, яъни турли координаталар системасига нисбатан турлича экан.

Жисмнинг вазияти нисбий бўлади. Масалан, инсон яшамайдиган саҳродаги икки темир йўлда битта поезд вағони ва унинг ичидаги йўловчилар ҳаракат қилмай тинч турган бўлса, иккинчи йўлдаги поезд вағони ва унинг ичидаги йўловчилар ҳаракат қилиб, биринчи поезддан ўгиб кетаётиб, уни тинч турганлигини таъкидласалар, шу пайтнинг ўзида биринчи поезд вағонидаги йўловчилар биз ҳаракат қиляпмиз, иккинчи поезд вағонлари тинч турибди, дейишлари мумкин. Бу ҳолда иккала поезд вағонидаги йўловчилар ҳақ бўладилар, чунки ҳаракат ва тинчлик нисбийдир.

Энди жисм ҳаракати бир-бирига нисбатан тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган саноқ системаларида қандай бўлишини кўриб чиқамиз. Мисол учун, биринчи ҳолатда одам дарё оқими бўйича сузиб кетаётган бўлсин (2.5-расм). Сузувчининг ҳаракати ХОУ координата системасига асосланган ва

қирғоқда тинч турган кузатувчи текшираётган бўлса,  $X'O'Y'$  ҳаракатдаги координаталар системасига асосланган қайиқдаги кузатувчи текшираётган бўлсин. Қайиқ дарё оқими бўйича эшкаксиз ҳаракат қилади деб олинсин. Дарё оқими бўйича ҳаракат қилаётган сузувчининг  $XOY$  ва  $X'O'Y'$  координаталар системасига нисбатан кўчишини топайлик. Қайиқдаги кузатувчи ҳаракат бошланган



2.5-расм.

вақтдан  $t$  вақт ўтганда сузувчининг ўзига нисбатан  $\vec{S}$  масофага кўчиб ўтган деб, сузувчи тезлиги  $\vec{V}$  ни аниқлайди:

$$\vec{V} = \frac{\vec{S}}{t} \quad (1)$$

бу ерда сузувчининг  $\vec{V}_1$  тезлиги қайиққа нисбатан олинган, яъни ҳаракатдаги (сувнинг оқимига боғлиқ)  $X'O'Y'$  координатадаги тезлиги. Қирғоқдаги кузатувчи  $t$  вақтдан сўнг  $XOY$  координаталар системасига нисбатан (кўзгалмас координаталар системаси) қайиқ дарё оқими бўйича  $\vec{S}_2$  масофага, сузувчи эса  $\vec{S}_1$  масофага кўчган деб, умумий кўчишни

$$\vec{S} = \vec{S}_1 + \vec{S}_2 \quad (2)$$

ҳолида ҳисоблаб толади ва сузувчининг умумий кўчиши  $\vec{S}$  ни  $t$  вақтга бўлиб, сузувчининг қирғоққа нисбатан тезлиги  $\vec{V}$  ни аниқлайди:

$$\vec{V} = \frac{\vec{S}}{t} = \frac{\vec{S}_1 + \vec{S}_2}{t} = \frac{\vec{S}_1}{t} + \frac{\vec{S}_2}{t} \quad (3)$$

(3) ифодада  $\frac{S_1}{t}$  — сузувчининг ҳаракатдаги  $X'O'Y'$

координаталар системасига нисбатан  $\vec{V}_1$  тезлиги;

$\frac{\vec{S}}{t}$  — қайиқнинг  $XOY$  қўзғалмас координаталар систе-

масига нисбатан  $\vec{V}_2$  тезлиги, у ҳолда умумий тезлик қуйи-  
дагича топилади:

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2. \quad (4)$$

(2) ифода кўчишларнинг қўшиш ифодаси бўлиб, ҳара-  
катнинг мустақиллик қонуни деб ҳам айтилади.

(4) ифода эса тезликларнинг қўшиш формуласидир.

Жисмнинг қўзғалмас координата системасига нисбатан  
тезлиги жисмнинг қўзғалувчи координата системасига нис-  
батан тезлиги билан қўзғалувчи системанинг қўзғалмас сис-  
темага нисбатан тезлигининг геометрик йиғиндисига тенг экан.

Биз келтирган мисолда сузувчи, қайиқ ва дарё оқими  
йўналиши  $X$  ўқи бўйича бўлганлиги сабабли (сузувчи ҳара-  
кат йўналиши дарё оқими йўналишига қарши бўлганда ҳам)  
(4) ифодани вектор кўринишда эмас, проекция кўрини-  
шида ёзиш мумкин:

$$V = V_1 + V_2. \quad (5)$$

(5) ифодадаги  $V$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  тезликлар  $X$  ўқига нисбатан  
йўналиши бўйича мусбат ёки манфий бўлиши мумкин.

Юқорида келтирилган мисолда сузувчи ҳаракати дарё оқими  
йўналишида (ёки унга қарши) бўлган ҳол учун кўриб чиқил-  
ди, олинган натижа фақат шу ҳолат учунгина ўринли бўлмай,  
балки сузувчи дарё оқими йўналишига нисбатан тик (перпен-  
дикуляр) йўналишда ҳаракат қилганда ҳам ўринли бўлади.

## САВОЛЛАР

1. Нисбий ҳаракат қандай аниқланади?
2. Шамол бўлаётган йўналишда ҳаракат қилаётган вело-  
сипедчи тезлиги қандай бўлади?

3. Ҳаракатдаги координаталар системаси қандай таълаб олинади?
4. Абсолют ҳаракатсиз (тинч турган) жисм бўладими?

## 8-§. ҲАРАКАТНИ ГРАФИК ШАКЛДА ТАСВИРЛАШ

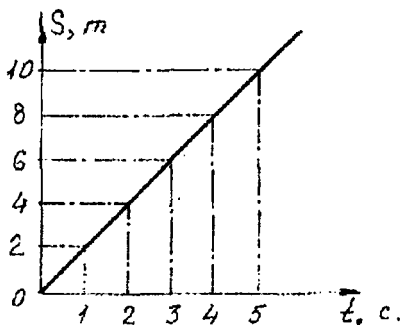
Жисм (моддий нуқта) тўғри чизиқли текис ҳаракат қилганда, бу ҳаракат координаталарининг ўзгариши  $X=X_0+V_x t$  ифода орқали аниқланади. Жисм босиб ўтган йўлнинг шу йўлни босиб ўтиш учун сарфланган вақтга боғлиқлиги ҳаракат қонунини аналитик (формула) усулда тавсифлаш билан бир қаторда график усулда тавсифлаш кўргазмалироқ бўлади. Жисм тўғри чизиқли текис ҳаракат қилганда жисмнинг босиб ўтган йўлини  $S$  ва шу йўлни босиб ўтиш учун кетган вақтни  $t$  билан белгилаб, координаталар системасининг абсцисса ўқида  $t$  вақт (горизонтал  $X$  ўқи) ва ординаталар ўқида босиб ўтилган  $S$  йўл (вертикал  $Y$  ўқи) танлаб олинган масштабда қўйилади. Масалан, келтирилган 1-жадвалда вақт ва босиб ўтилган масофалар ўртасидаги боғланиш берилган бўлиб, жадвал асосида 2.6-расмда кўрсатилганидек график чизилган.

*1-жадвал*

t, секунд	0	1	2	3	4	5
S, метр	0	2	4	6	8	10

График жисм (моддий нуқта) босиб ўтган йўл ва йўлни босиб ўтиш учун кетган вақт боғланиши перпендикуляр чизиқлар кесишган нуқталардан иборатдир. Демак, тўғри чизиқли текис ҳаракатда йўл графиги координата бошидан ўтувчи тўғри чизиқ экан.

Масалан, тўғри чизиқли текис ҳаракатда тезлик графигини чизиш керак бўлса, тўғри бурчакли ко-





ординаталар системаси олиниб, горизонтал ўқ йўналиши бўйича маълум масштабда вақт  $t$ , вертикал ўқ бўйлаб тезлик  $V$  модули кўйилади.

Текис ҳаракатда тезлик ўзгармас катталиқ бўлгани учун тезлик графиги чизиқдан иборат бўлиб, вақт ўқиға параллел бўлади. 2-жадвалда 3 та ҳаракатнинг тезлиги билан вақти орасидаги боғланиш келтирилган ва 2.7-расм-да графиги кўрсатилган.

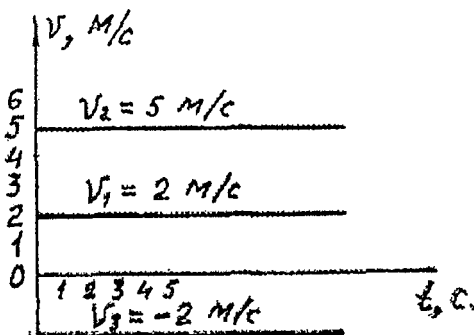
2-жадвал

$t$ , секунд	0	1	2	3	4
$V_1$ , м/с	2	2	2	2	2
$V_2$ , м/с	5	5	5	5	5
$V_3$ , м/с	-2	-2	-2	-2	-2

$U_3$  тезлик билан ҳаракат қилаётган жисм ҳаракати координата ўқининг йўналишига қарама-қарши томонга йўналганлиги сабабли тезлик графиги вақт ўқидан пастга жойлашади.

Тезлик графиги асосида жисм босиб ўтган йўлни аниқлаш мумкин. Текис ҳаракат-

да босиб ўтилган йўл тезликнинг вақтга кўпайтмасига тенг:  $S=Vt$ . Бу кўпайтманинг миқдори 2.8-расмда кўрсатилган тўғри тўртбурчакнинг штрихланган юзига тенг, унинг томонлари координата ўқи, ҳаракатланиши вақтига тўғри келувчи тезлик ва координата графигидан иборат.

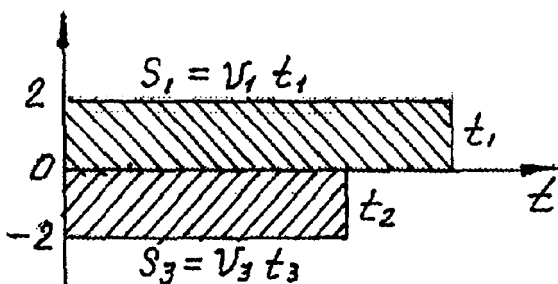


2.7-расм.

## 9-§. БИРЛИКЛАР СИСТЕМАСИ

Физика фанини ўрганишда жуда кўп физик катталиқлар билан иш кўрилади. Бу катталиқлар эса ўз бирлигига эга бўлиши керак, яъни бирликларни ифодаловчи система зарур. Физик катталиқлар бирликлари тўплами бирликлар сис-

темаси деб ата-  
лади. Физик  
катталиқ бир-  
лигини аниқ-  
лаш деб уни  
ўлчов бирлиги  
сифатида шар-  
тли равишда  
қабул қилин-  
ган ва у билан  
бир жинсли  
бўлган катта-



2.8-расм.

ликка бирор усул орқали таққослаш тушунилади. «Механика» бўлимида асосан учта катталиқ: узунлик—метр, вақт—секунд, масса—килограммларда ўлчанади. Бу учала катталиқнинг бир-ликлари асосий birlik ҳисобланади.

Узунлик бирлиги сифатида қадимдан одамлар ўзлари билан боғлиқ birlikлардан фойдаланишган: қадам, қарич, бўғин ва ҳ.к. Ягона ва турғун масштаб танлаб олиш зарурати пайдо бўлгандан сўнг 1 метр қабул қилинган. Метр—Ернинг Париждан ўталган меридиани узунлигининг  $1/40000000$  қисмига тақрибан тенг, яъни Ер меридианал айланаси чорагининг  $10^{-7}$  қисми қабул қилиниб, платинадан эталон тайёрланган. Вақт ўтиши билан эталоннинг ўлчамлари ўзгариши сезиб қолинди. Натижада 1 метр сифатида ясси электромагнит тўлқиннинг вакуумда  $1/299792458$  секундда босиб ўтган йўли қабул қилинди. Вақт birlikи сифатида узоқ вақт мобайнида юлдузларнинг кўринма ҳаракатидан фойдаланиб келинган, кейинчалик ўлчов аниқлигини орттириш мақсадида 1 секунд қабул қилинган. 1967 йили вақт birlikининг янги эталони сифатида 1 секунд атом массаси 133 бўлган цезий атоми асосий ҳолатининг ўта ингичка икки сатҳи орасидаги ўтишга мос келган нурланишнинг  $9192631770$  даврига тенг вақт оралиғи қабул қилинган.

Масса birlikи қилиб 1 килограмм сифатида  $15^{\circ}\text{C}$  ҳароратли 1 литр тоза сувнинг массаси олинган. Масса эталони сифатида Париж шаҳри ёнида жойлашган Севрда Халқаро ўлчамлар ва тарозилар бюросида сақланаётган, диаметри ва баландлиги 39 мм дан бўлган цилиндр шаклида 90% платина ва 10% иридий қотишмасидан тайёрланган эталон қабул қилинган.

Ҳозирги кунгача механик катталикларни ўлчашда қуйидаги бирликлар системаси қабул қилинган:

1. СГС системаси—абсолют система. Асосий бирликлари: узунлик бирлиги—сантиметр (см), масса бирлиги—грамм (г), вақт бирлиги—секунд (с). 1832 йили немис олими К. Гаусс таклифи билан қабул қилинган.

2. МКГС системаси. Асосий бирликлари: узунлик бирлиги—метр (м), масса бирлиги—килограмм-куч (Кгк), вақт бирлиги—секунд (с).

3. МКГ системаси. Асосий бирликлари: метр (м), килограмм (кг), секунд (с).

4. МТС системаси. Асосий бирликлари: метр (м), тонна (т), секунд (с). 1927 йилда Францияда қабул қилинган.

5. Халқаро бирликлар системаси—СИ 1960 йилнинг октябрида қабул қилинган. Бу системага асосан етти асосий бирлик мавжуд. Шундан узунлик бирлиги—метр (м), масса бирлиги—килограмм (кг), вақт бирлиги—секунд физика фанининг тегишли бўлимларида кўриб чиқилади.

### III боб

#### 10-§. ТЎҒРИ ЧИЗИҚЛИ НОТЕКИС ҲАРАКАТ

Табиатда тўғри чизиқли текис ҳаракат жуда кам учрайди. Бундай ҳаракатда тезлик модули ва йўналиши ўзгармас бўлади, яъни

$$\vec{V} = const. \quad (1)$$

Амалда ҳар қандай жисм ҳаракат қилганда унинг ҳаракат тезлиги вақт ўтиши билан ўзгаради, демак, ҳаракат нотекис бўлади.

Тўғри чизиқли нотекис ҳаракат деб, жисм ҳаракати давомида қолдирилган траекторияси тўғри чизиқ бўлиб, вақтлар оралиғида ҳар хил масофалар босиб ўтиладиган ҳаракатга айтилади.

Тўғри чизиқли текис ҳаракатда тезлик исталган вақтда ўзгармас бўлиб, у ҳаракат давомида жисм кўчишининг шу кўчишга сарфланган вақт оралиғига нисбати орқали аниқланади:

$$\bar{v} = \frac{s_1}{t_1} = \frac{s_2}{t_2} = \frac{s_n}{t_3} = \dots = \frac{s_n}{t_n} \quad (2)$$

Нотекис ҳаракатда тезлик модули ҳаракатнинг жуда кичик қисмларида ҳам ўзгариб турганлиги сабабли ҳар бир қисмдаги тезлик модуллари бир-биридан фарқ қилади:

$$\bar{v}_1 = \frac{\bar{s}_1}{t_1}; \bar{v}_2 = \frac{\bar{s}_2}{t_2}; \bar{v}_3 = \frac{\bar{s}_3}{t_3}; \dots; \bar{v}_h = \frac{\bar{s}_n}{t_n} \quad (3)$$

Нотекис ҳаракатда тезлик ўзгарувчан бўлганлиги сабабли тезлик тушунчаси бирмунча кенгайтирилиб, «ўртача тезлик» ва «нуқтадаги тезлик-оний тезлик» тушунчаларидан

фойдаланилади. Автомобиль 3 соат давомида 180 км масофани босиб ўтган бўлса, у ҳар соатда ўрта ҳисобда 60 км дан босиб ўтган бўлади. Бироқ автомобиль бирданига тезлигини соатига 60 км.га чиқара олмайди, бундан ташқари йўлнинг бурилиш жойларида тезлигини камайтиради, светофорнинг қизил чироғи ёнган вақтда тўхтаб туради. Демак, автомобиль ҳаракат давомида соатига 60 км масофани босиб ўтмас экан. Ўртача тезликни аниқлашда юқорида кўрсатилган сабабларни ҳисобга олмасдан автомобиль ҳар соатда 60 км масофани ўтади, деб ҳисоблаймиз ва ўртача тезликни аниқлашда автомобиль ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилади деймиз, бунда ўртача тезлик

$$\bar{V}_{\text{урт}} = \frac{\bar{S}}{t} \quad (4)$$

формула орқали, кўчиш эса

$$\bar{S} = \bar{V}_{\text{урт}} t \quad (5)$$

формула орқали аниқланади.

Бу формулалар ҳаракатнинг 3 ва ундан ортиқ соат давомида тезлиги ва кўчиши учун тўғри бўлиб, 1 ёки 2 соат ичидаги ўртача тезликлари учун тўғри бўлмаслиги мумкин. Умуман олганда, ўртача тезлик ҳаракатланаётган жисмнинг исталган вақтдаги кўчишини ва координаталарини аниқлаш имконини бермайди.

Ўзгарувчан ҳаракатнинг ўртача тезлиги деб, маълум вақтда жисм кўчишининг шу вақт ичида текис ҳаракат билан кўчиш учун сарфланган вақтга нисбатига айтилади.

Жисм ҳаракати давомидаги ҳисобларнинг аниқлик даражасини ошириш учун оний тушунчасидан фойдаланилади.

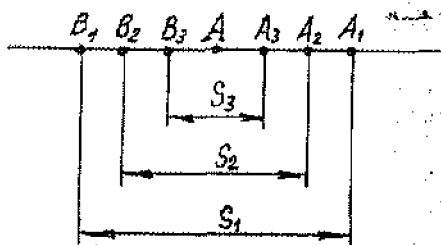
Жисм ҳаракати давомида траекториясининг маълум қисмидаги тезлигини ўртача тезлик характерласа, траекториянинг бирор А нуқтасидаги тезлигини вақт momentiда оний тезлик белгилайди.

Оний тезлик деб, муайян бир пайтдаги ёки траекториянинг маълум бир нуқтасидаги тезликка айтилади.

Жисм тўғри чизик бўйлаб нотекис ҳаракат қилаётган бўлса, жисмнинг ўз траекториясидаги бир А нуқтадаги оний

тезлигини ҳисоблаб топайлик (3.1-расм). Бу жисм траекториясининг А нуқтани ўз ичига олган бўлагини кичик қисмларга бўлиб чиқамиз. Жисмнинг

$A_1B_2$  кўчишини  $\bar{S}_1$  билан, кўчиш учун кетган вақтни  $t_1$  билан белгилаб,



3.1-расм.

ўртача тезликни  $\bar{V}_1 \text{ ўрт} = \frac{\bar{S}_1}{t_1}$  формула орқали топамиз, бу қис-

мда тезлик узлуксиз ўзгаради ва  $A_1B_1$  қисмда турлича бўлади. Навбатдаги қисм узунлигини қисқартириб,  $A_2B_2$  оралиқни оламиз, бу оралиқ ўз ичига А нуқтани олади ва кўчишни  $\bar{S}_2 (A_2B_2 = \bar{S}_2)$ , кўчиш вақтини  $t_2$  деб,  $\bar{S}_1 > \bar{S}_2$  шарт учун

ўртача тезлик  $\bar{V}_2 \text{ ўрт} = \frac{\bar{S}_2}{t_2}$  ифода орқали аниқланади. Бу ора-

лиқда жисм тезлиги қисман ўзгаради. Учинчи оралиқда  $A_3B_3 = \bar{S}_3$  ҳолатда жисм тезлиги кам ўзгаради ва жисмнинг

ўртача тезлиги  $\bar{V}_3 \text{ ўрт} = \frac{\bar{S}_3}{t_3}$  бўлади.

Жисм кўчишини янада камайтириб (вақт ҳам мос равишда камайиб боради) бориб, жисмнинг кўчиши учун кетган вақт камайиб бориши ҳисобига жисм тезлигининг ўзгариши ҳисобга олмаса ҳам бўладиган даражада бўлади. Жисм кўчиши А нуқтага тегиб туради ва бориб кўчиш қиймати траекториясидаги А нуқтага тенг бўлиб қолади. Бу ҳолда ўртача тезлик қиймати оний тезликка тенг бўлади.

$$\vec{V}_0 = \frac{\Delta \vec{S}}{\Delta t} = \text{ёки } V_0 = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Оний тезлик—вектор катталиқ. Оний тезлик йўналиши мазкур нуқтадаги ҳаракат йўналишига мос келади. Биз оний тезликни аниқлашда жисм траекториясини қисқартириб бордик, яъни  $S_1 > S_2 > S_3 \dots$  ва жисм кўчиши учун кетган вақт ҳам қисқартириб борилди, яъни  $t_1 > t_2 > t_3 \dots$ . Ушбу усул текис ҳаракат учун ҳам, нотекис ҳаракат учун ҳам қўлланилади.

## 11-§. ТЕКИС ЎЗГАРУВЧАН ҲАРАКАТ. ТЕЗЛИНИШ

Жисм нотекис ҳаракат қилганда жисмнинг оний тезлиги вақт ўтиши билан бир нуқтадан иккинчи бир нуқтага ўтганда узлуксиз равишда ўзгаради. Жисмнинг исталган вақтдаги координатасини аниқлаш учун координатанинг вақт ўтиши билан ўзгаришини билиш керак. Координатанинг ўзгариш жадаллиги тезликнинг тегишли координата ўқидаги проекциясига тенг. Бундан ташқари, исталган вақт momentiдаги тезликнинг ўзгаришини ҳам аниқлаш зарур бўлади. Бу масалани ҳал этиш учун маълум қияликдан пастга 5 м/с тезлик билан тушаётган велосипедчининг ҳаракатини кўриб чиқайлик. Велосипедчи қияликдан тушишда ҳаракат тезлиги ортиб боради ва 5 секунд давом этиб, тушиш охирида тезлигини 15 м/с деб ҳисоблайлик. Велосипедчининг ҳаракат тезлиги бир хил вақт оралиғида бир хил катталиқка ортган бўлсин. Кўрилган мисолни аксинча йўналишда, яъни 13 м/с тезлик билан юқорига кўтарилаётган велосипедчининг 5 секунд давомида кўтарилишини кузатсак, кўтарилишининг охирида унинг тезлиги 3 м/с бўлади. Бу ҳолда тезлик бир хил вақт оралиғида бир хилда камайиб боради (жадал).

Пастга	Юқорига
$V_0=5\text{м/с}$	$V_0=13\text{м/с}$
$V_1=7\text{м/с}$	$V_1=11\text{м/с}$
$V_2=9\text{м/с}$	$V_2=9\text{м/с}$
$V_3=11\text{м/с}$	$V_3=7\text{м/с}$
$V_4=13\text{м/с}$	$V_4=5\text{м/с}$
$V_5=15\text{м/с}$	$V_5=3\text{м/с}$

Худди шундай тажрибани қия тахтадан тушаётган (чиқаётган) аравача мисолида ҳам кузатиш мумкин. Тахтага миллиметр масшабли қоғозни ёпиштириб, унинг устида енгил ҳаракат қилувчи аравачага рангли суюқлик қуйилган жўмрақли

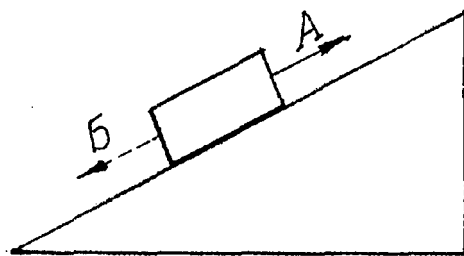
идиш ўрнатилади. Қия тахтадан аравагани снгил ҳаракатлантириб жўмракни очиб қўйсақ, миллиметрли қоғозга томган рангли суоқлик томчилари орасидаги масофалар нотекис жойлашганлигини кўрамиз. Ҳаракат бошланишида томчилар орасидаги масофалар нотекис жойлашганлигини кўрамиз. Ҳаракат бошланишида томчилар бир-бирига яқин, кейингилари орасидаги масофа ортиб борганини кўрамиз. Тенг вақтлар оралиғида томчилар орасидаги масофалар турлича бўлиб, бу араваганинг ҳаракати нотекис эканини билдиради.

Ҳаракат бошланишигача томган томчи билан ҳаракат лавомида томган томчилар орасидаги масофани шартли узунлик бирлиги  $\ell$  деб, томчилар орасидаги масофалар орасидаги  $\ell, 3\ell, 5\ell, 7\ell, 9\ell, \dots$  боғланишни аниқлаб ва тенг вақт оралиғида босиб ўтилган масофалар бир хил  $2\ell$  га ортинини

кўрамиз. Бунда аравача тезлиги  $\frac{2\ell}{t}$  ортади.  $t$  икки томчи

тушини оралиғидаги вақт. Аравача аксинча юқорига ҳаракатлантирилганда, ҳаракат бошида томчилар сийрак, охирида зич бўлади. Демак, тенг вақтлар оралиғида араваганинг босиб ўтган масофалари камайиб боради (3.2-расм). Ўлчаш натижасида қуйидаги  $9\ell, 7\ell, 5\ell, 3\ell, \ell$  боғланиш топилади. Бундай ҳаракат текис тезланувчан (велосипедчи ва араваганинг пастга ҳаракати) ва текис секинланувчи (юқорига ҳаракати) ҳаракат деб аталади.

Араваганинг қияликдан пастга томон ҳаракатида тезлик текис ортиб борса, юқорига ҳаракатида тезлик текис камайиб боради.



3.2-расм.



Ҳаракатнинг тезлиги ихтиёрий бир хил вақтларда, бир хил катталиққа ўзгариб борса, бундай ҳаракатга **текис ўзгарувчан ҳаракат** дейилади.

Юқорида кўрилган мисолларда қиялик бурчагининг ўзгариши билан ҳаракатлангирувчи жисмларнинг тезликлари мос равишда ортиши (камайиши) кузатилади, аммо ҳаракат текис ўзгарувчан бўлади.

Текис ўзгарувчан ҳаракатнинг характерли хусусияти ҳар бир ҳаракат учун тезлик ўзгаришининг жалаллигини аниқлашдан иборатдир. Бу сифатни аниқлаш учун махсус катталиқ—тезланиш киритилади ва  $\alpha$  ҳарфи билан белгиланади.

Агар жисмнинг бошланғич  $t_0$  пайтдаги тезлиги  $V_0$  га тенг бўлиб,  $t$  вақт ўтгандан сўнг тезлиги  $V$  бўлса, у ҳолда жисмнинг  $\vec{a}$  тезланиши қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\vec{a} = \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t - t_0} \quad \text{ёки} \quad \vec{a} = \frac{\Delta \vec{V}}{\Delta t} \quad (1)$$

$$\vec{V} - \vec{V}_0 = \Delta \vec{V} \quad \text{ва} \quad \Delta t = t - t_0 \quad \text{белгилан киридик.}$$

$\Delta \vec{V}$  — вектор катталиқ бўлгани учун,  $\vec{a}$  тезланиш ҳам вектор катталиқдир. Тезланиш векторининг йўналиши,  $\vec{V}$  тезликлар айирмаси вектор йўналишига мос тушади.

Вектор кўринишида (1) формула катталигининг модули қуйидагича

$$a = \frac{V - V_0}{t - t_0} \quad (2)$$

ёзилади.

$V > V_0$  бўлганда, ҳаракат текис тезланувчан ( $\alpha > 0$ ),

$V < V_0$  бўлса, ҳаракат текис секинланувчан ( $\alpha < 0$ ) бўлади.

Тезланиш деб, вақт бирлиги ичида тезликнинг ўзгаришига миқдор жиҳатдан тенг бўлган вектор катталиқка айтилади.

Тўғри чизиқли текис ўзгарувчан ҳаракатда тезланиш ўзгармас бўлади. Бошланғич вақт  $t_0 = 0$  бўлса, тезланиш формуласи қуйидагича ифодаланади:

$$a = \frac{V - V_0}{t}. \quad (3)$$

Агар тезлик ўзгариши модули  $V - V_0 = 1$  га тенг ва вақт оралиғи  $t - t_0 = 1$  га тенг бўлса, тезланиш модули  $a = \frac{V - V_0}{t}$  формулага асосан 1 га тенг бўлади:

$$[a] = \frac{\left[ \frac{1 \text{ M}}{c} \right]}{[1c]} = \left[ \frac{1 \text{ M}}{c^2} \right].$$

Халқаро бирликлар системасига асосан тезланиш бирлиги сифатида жисм ҳаракатининг тезлиги ҳар бир секундда бир метр тақсим секунд қиймагга ўзгариши қабул қилинган.

Агар жисмнинг бошланғич тезлиги  $V_0$  ва тезланиши  $a$  маълум бўлса, жисмнинг ихтиёрий пайтдаги тезлиги (3) формулага асосан:

$$\text{текис тезланувчан ҳаракат учун: } V_t = V_0 + at \quad (4)$$

$$\text{текис секинланувчан ҳаракат учун: } V_t = V_0 - at \quad (5)$$

формулалар ёрдамида аниқланади.

## 12-§. ТЕКИС ЎЗГАРУВЧАН ҲАРАКАТ ТЕЗЛИГИ ВА ҲАРАКАТ ТЕНГЛАМАЛАРИ

Жисм текис ўзгарувчан ҳаракат қилаётган бўлса, жисмнинг ўртача тезлиги формула ёрдамида ҳисобланиши мумкин. Бундай ҳаракатда жисм тезлигининг бир текисда ортиши ёки бир текисда камайиши ҳисобга олиниб, бошланғич  $V_0$  ва охириги  $V_t$  тезликлар қўшилади ва йиғинди иккига бўлиниб, ўртача тезлик топилади, яъни текис ўзгарувчан ҳаракатнинг ҳар иккала (ортувчи ва камаювчи) ҳолатлари учун ўртача тезлик қуйидагича аниқланади:

$$V_{\text{ўрт}} = \frac{V_t + V_0}{2}. \quad (1)$$

Текис ўзгарувчан ҳаракат қилаётган жисмнинг оний тез-

лиги  $a = \frac{V_t - V_0}{t}$  формуладан осон аниқланади, яъни

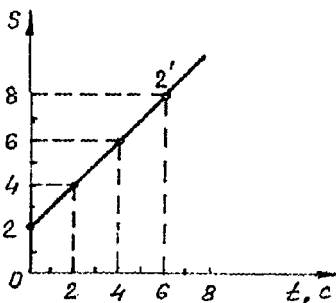
$$V = V_0 + at. \quad (2)$$

(2) формуладан текис ўзгарувчан ҳаракатнинг оний тезлиги ҳаракат вақтига чизиқли боғлиқ экани кўриниб турибди. Мисол учун бошланғич тезлиги  $V$  ва тезланиши  $a = 1 \text{ м/с}^2$  бўлган жисмнинг тезлик графигини чизайлик. Математик ҳисоблар натижаси жадвалда келтирилган:

t, с	0	1	2	3	4	5	6	7
V, м/с	2	3	4	5	6	7	8	9

Графикда горизонтал ўққа  $t$  вақтни, вертикал ўққа  $V$  тезликни белгиланган масштаб асосида қўйиб чиқилади (3.3-расм). Графикдан кўриниб турибдики, текис ўзгарувчан ҳаракатда тезлик графиги тезлик ўқини 2 нуқтада кесадиган 22 тўғри чизиқдан иборат экан. Энди тезлик гра-

фигидан фойдаланиб, текис тезланувчан ҳаракат қилаётган моддий нуқтанинг йўл формуласини келтириб чиқарайлик (3.4-расм). Расмдан босиб ўтилган йўлнинг катталиги  $OABC$  трапеция юзи орқали аниқланади. Трапеция юзи бошланғич ва охириги тезлик қийматлари йиғиндисининг ярмини шу тезлик ўзгариши учун кетган вақтга кўпайтириб топилади. Моддий нуқтанинг босиб ўтган йўли



3.3-расм.

$$S = Vt = \frac{V_0 + V}{2} t = \frac{(V_0 + V_0 + at)}{2} t = V_0 t + \frac{at^2}{2}$$

формула билан аниқланади.

Агар моддий нуқтанинг бошланғич тезлиги  $V_0 = 0$  бўлса, йўл узунлиги қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (3)$$

Энди йўл ва тезлик орасидаги боғланишни то-

памиз:  $a = \frac{V_1 - V_0}{t}$  фор-

муладан  $t$  вақтни аниқлаб,  
(3) формулага қўйсак,

$$S = V_0 \left( \frac{V - V_0}{a} \right) + \frac{a}{2} \left( \frac{V - V_0}{a} \right)^2 = \frac{V^2 - V_0^2}{2a} \quad (4)$$

формула ҳосил бўлади.

Тезлик учун

$$V^2 = V_0^2 + 2aS \quad (5)$$

ифодани ёзамиз.

Агар бошланғич тезлик  $V_0 = 0$  га тенг бўлса, (6) ни сод-  
далаштириб,

$$V^2 = 2aS \quad (6)$$

кўринишда ёзилади.

Юқорида келтирилган (3), (7) формулаларда  $\vec{S}$ ,  $\vec{V}_0$ ,  $\vec{a}$  ва векторларнинг ОХ ўқидаги проекциялари  $S$ ,  $V_0$  ва  $a$  катта-ликлар мусбат ҳам, манфий ҳам бўлиши мумкин.

Текис ўзгарувчан ҳаракат қилаётган моддий нуқтанинг исталган вақтдаги координатасини аниқлаш учун унинг бошланғич координатаси  $X_0$  га кўчиш векторининг  $X$  ўқидаги проекциясини қўшиш керак:

$$X = X_0 + S = X_0 + V_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (7)$$

Жисмнинг (моддий нуқтанинг) исталган пайтдаги  $X$  координатасини аниқлаш учун бошланғич  $X_0$  координата, бошланғич  $V_0$  тезлик ва  $a$  тезланишни билиш керак.

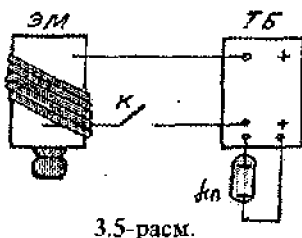
Юқорида исбот этилган (1), (3), (5) формулалар текис ўзгарувчан ҳаракат тенгламалари дейилади.

### 13-§. ЖИСМЛАРНИНГ ЭРКИН ТУШИШИ. ЭРКИН ТУШИШ ТЕЗЛАНИШИ

Табиатдаги барча жисмларга хос бўлган ажойиб хусусиятлардан бири жисмларнинг Ерга тушишидир. Жисмларнинг Ерга тушиши хусусиятини биринчи марта италиялик олим Галилей текширган. Галилей жисмларнинг тушиш қонунларини тажриба асосида текшириб, бу қонунлар ҳавосиз фазода тушувчи жисмларга оғирлик кучи таъсири натижасида амалга ошади деган хулосага келди.

Тинч ҳолатда турган жисмнинг фақат оғирлик кучи таъсирида ҳавонинг қаршилигини ҳисобга олмаган ҳолда Ерга тушиши эркин тушиш деб аталади.

Жисмларнинг эркин тушиши турли усулда ва турли қурилмаларда текширилган. Шундай қурилмалардан бири 3.5-расмда тасвирланган.



Тажриба яхшилаб қоронғилаштирилган хонада миллиметрли қоғоз фонида кузатилади. Тажрибада электромагнит (ЭМ) пўлат шарчани ушлаб туради. ЭМ махсус таъминлаш блоки (ТБ) га уланган. Шунингдек, бу блокка ҳар 0,1 секундда ёниб-ўчиб турувчи чақновчи лампа (ЧЛ) уланади. ЭМ ТБ га уланганда ЧЛ ёнмай туради. Қурилмани ёриткич ёрдамида ёритиб, фотоаппарат (ФА) объективи очилади ва қурилма калит К билан уланади (3.6-расм). Фотоаппарат объективи тажриба давомида очиқ бўлиб, шарча узлукли ёруғлик билан ёритилади ва шарчанинг ҳаракат давомидаги вазияти ҳар 0,1 секундда қайд этилади.

Фотосуратдаги шарча тасвирининг марказлари орасидаги масофаларни ўлчаб, кетма-кет вақт оралиқларида шарчанинг босиб ўтган масофалари жадвалга ёзилади:

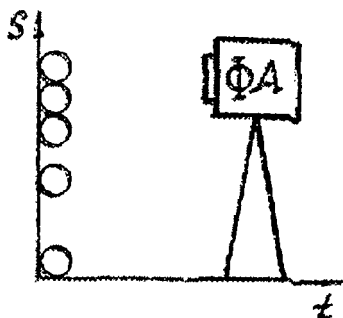
Вақт оралиғи, с	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Вақт оралиғида ўтилган масофа, см	4,9	14,7	24,5	34,3	44,1	53,9	63,7

Агар биринчи вақт оралиғидаги масофа 1 га тенг деб олинса, у ҳолда кейинги масофалар 3, 5, 7, 9, 11, 13 га тенг бўлади. Бу натижа текис тезланувчан ҳаракатдаги араваچанинг ҳаракатига мос тушади. Демак, шарчанинг тушиши ҳам текис тезланувчан ҳаракатга мисол бўлар экан. Тажриба асосида эркин тушишнинг биринчи қонуни қуйидагича ифодаланади:

**Биринчи қонун.** Жисмларнинг эркин тушиши бошланғич тезликсиз ўзгарувчан ҳаракатдан иборат бўлиб, жисмнинг тезланиши ўзгармас сақланади.

Энди нима учун барча жисмлар Ерга бир хил тезланиш билан тушади, деган саволга тўхталайлик. Металл парчаси, қоғоз бўлагини бир хил баландликдан ташласак, Ерга аввал металл парчаси, сўнгра қоғоз бўлаги тушганини кузатамиз. Кузатиш натижасига асосланиб, жисмларнинг эркин тушиш тезланиши жисм оғирлигига боғлиқ экан, деган ҳулосага келилади. лекин қоғоз бўлагиниғижимлаб ташлаганда, у ерга тезроқ тушади,ғижимланган қоғоз оғирлиги ўзгаргани йўқ, балки ҳавога тегувчи юза ўзгаришти. Демак, ҳаво жисмнинг эркин тушишига халақит беришти.

Жисмнинг эркин тушиш тезлашишига жисмнинг оғирлиги таъсир этмаслигини текшириш учун узунлиги 1 м чамасида бўлган шиша най олиб, тажриба ёрдамида ишонч ҳосил қилиш мумкин. Шиша найнинг бир учи кавшарлаб беркитилади, иккинчи учига ҳавони сўриб олиш учун жўмрак ўрнатилади. Най ичига танга, пўкак, қуш пати солиб, шиша най тез ағдарилса, учала жисм най тубига турли вақтда тушади. Биринчи танга, сўнгра пўкак, охирида қуш пати тушади. Найдаги ҳаво сўриб олиниб, жўмракни беркитиб, тажриба такрорланса, учала жисм най тубига бир вақтда тушишини кўрамыз. Найдан ҳаво сўриб олинганда барча жисмларнинг эркин тушиш тезликлари бир хил бўлар экан. Кузатилган тажриба асосида эркин тушишнинг иккинчи қонунини қуйидагича ифодалаш мумкин:



3.6-расм.

**Иккинчи қонун.** Ернинг муайян жойида ҳавонинг қарши тинги бўлмаганда барча жисмлар бир хил тезланиш билан тушади.

Жисмларнинг бундай тезланишига **эркин тушиш тезланиши** деб аталади ва  $g$  ҳарфи билан белгиланади. Жисмларнинг эркин тушиш тезлиги ва тезланиши векторлари бир хил йўналишга эга ва Ерга томон йўналган бўлади.

Жисмларнинг эркин тушиш тезланиши Ернинг географик кенглигига боғлиқ. Ер шарининг турли нуқталарида қиймати турлича: Ер шарининг кутбида  $9,83\text{ м/с}^2$ , экваторда  $9,78\text{ м/с}^2$ , Франциянинг Севр шаҳрига мос географик кенликда  $9,80665\text{ м/с}^2$ , Москвада  $9,15\text{ м/с}^2$ , Тошкентда  $9,8008\text{ м/с}^2$ .

Эркин тушиш тезланишининг географик кенликка боғлиқлиги қуйидаги сабаблар асосида тушунтирилади: биринчидан, Ер шари шар шаклида бўлмай, эллипсоид шаклида, Ернинг экватордаги радиуси кутбларга мос келган радиусидан катта, демак, оғирлик куч таъсирида олинган тезланиш  $g_y = 9,78\text{ м/с}^2$ ,  $g_k = 9,832\text{ м/с}^2$ , иккинчидан, Ер ўз ўқи атрофида айланиши ҳисобига эркин тушиш тезланишига таъсир этади ва географик кенликка боғлиқ бўлишга сабаб бўлади.

Кўпчилик масалаларни ҳал этишда жуда катта аниқликка зарурият бўлмаганлиги сабабли жисмларнинг эркин тушиш тезланиши учун Ернинг барча нуқталарида бир хил қиймат қабул қилинган, яъни

$$g = 9,78\text{ м/с}^2.$$

## 14-§. ЖИСМНИНГ ЮҚОРИГА ТИК ОТИЛГАНДАГИ ҲАРАКАТИ

Жисм тик равишда юқорига ҳаракатланиши учун жисмга шу йўналишда туртки бериш керак. Туртки бериш натижасида жисм бошланғич тезлик билан юқорига ҳаракат қилади. Бирор жисм юқорига тик равишда отилса, жисм юқорига чиққан сари ҳаракатини секинлата бориб, сўнггра Ернинг тортишиши натижасида қайтиб тушади. Жисм эркин тушиш тезланишига тенг тезланиш билан тушаётган бўлса, тезланувчан ҳаракат қилади. Бу вақтда жисмнинг охириги тезлиги нолга тенг бўлгунча ҳаракат давом этади ва сўнггра жисм

Ерга ўз йўли бўйича эркин тушади. Юқорида келтирилган формулаларда  $S$  йўлни  $h$  баландлик билан,  $a$  тезланишни эркин тушиш тезланиши билан алмаштириб юқорига тик отилган жисм учун ҳаракат тенгламалари келтириб чиқарилади:

$$a = \frac{V_t + V_0}{t} \text{ ни } g = \frac{V_t - V_0}{t} \text{ га алмаштирадик, охириги тез-$$

лик учун оний тезликдан фойдалансак,  $V_t = V_0 + at$  ўрнига  $V_t = V_0 + gt$  ни ёзиш мумкин бўлади.

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2} \text{ ни } h = V_0 t + \frac{gt^2}{2} \text{ кўринишида ёзамиз.}$$

Текис секинланувчан ҳаракатда охириги тезлик  $V_t = 0$  бўлгани учун оний тезликни  $0 = V_0 - gt$  кўринишда ёзиб, бошланғич тезликни  $V_0 = gt$  кўринишда ифодалаб, сўнгга бу ифодани  $h$

баландлик формуласига қўйсак,  $h = gh^2 - \frac{gh^2}{2} = \frac{gh^2}{2}$  ҳосил

бўлади.  $V_t^2 = V_0^2 + 2aS$  формулага асосан секинланувчан ҳаракат учун  $0 = V_0^2 - 2gh$  ни ёзиш мумкин, чунки  $V_t = 0$  да  $V_0^2 - 2gh$  ёки

$V_0 = \sqrt{2gh}$  формула келиб чиқади.

Юқорига тик отилган жисмнинг ҳаракат тенгламалари қуйидагилардан иборат экан:

1. Эркин тушиш тезланиши:  $g = -\frac{V_0}{t}$ .

2. Юқорига кўтарилиш баландлиги:  $h = V_0 t - \frac{gt^2}{2}$

3. Оний тезлик:  $V_0 = -gt$ .

4. Ўрта тезлик:  $V_{\text{орта}} = \frac{V_0}{2}$ .

5. Баландлик,  $V_{\text{орта}}$  бўйича:  $h = \frac{V_0 t}{2}$ .



6. Баланшлик, тезланиш бўйича:  $h = \frac{V_0^2}{2g}$ .

Хавосиз бўшлиқда юқорига тик отилган жисмнинг юқорига кўтарилиш вақти билан шу баланшликдан тушиш вақти тенг бўлади, яъни  $t_k = t$ .

Бундан ташқари, юқорига отилган жисмнинг бошланғич тезлиги жисмнинг қайтиб тушиш тезлигига тенг бўлади, яъни  $V_0^k = V_1^t$ , аммо йўналишлар қарама-қарши йўналган бўлади.

Эркин тушаётган жисм координатаси  $H = h_0 + V_0 t + \frac{gt^2}{2}$  формула ёрдамида аниқланади.

## 15-§. МАСАЛА ЕЧИШДА НИМАЛАРГА АҲАМИЯТ БЕРИШ КЕРАК?

Ҳар бир фанни чуқур ўрганиш учун албатта, масалалар ечиш муҳимдир. Масала ечиш кўникмаси бирданига ўзидан-ўзи ҳосил бўлмайди. Бунинг учун аввал содда масалаларни, сўнгра мураккаб масалаларни ечиш керак. Масала ечиш малакаси ортгани сари масала ечиш кўникмаси ҳам ортиб боради. Қуйидаги маслаҳатларга амал қилсангиз, масала ечишда катта ёрдам беради:

1. Масала шартини диққат билан ўқиб чиқиб, масалада қандай физик ҳодиса, катталиқ ва қандай катталиқни топиш кераклигини ажратиб олиш.

2. Масала шартига асосланиб, имкони борича чизма, расм ёки схема чизиш.

3. Масала шартига асосланиб, мағзиқий мулоҳазалар юритиш.

4. Мулоҳазаларга асосланиб, масала ечиш тартибини аниқлаш.

5. Масала ечиш учун зарур формулаларни келтириб чиқариш ва қўллаш.

6. Олинган натижалар устида фикр юритиш, математик хатоларга йўл қўймаслик.

7. Масалага ижодий ёндашиш.

Биз масала ечишни энг содда масалалардан бошлаймиз (3.7-расм).

1-масала. Автомобиль йўлнинг биринчи ярмини  $V_1=50$  км/соат тезлик билан, иккинчи ярмини эса 70 км/соат тезлик билан босиб ўтган бўлса, автомобилнинг тўлиқ йўл бўйича ўртача тезлиги топилисин.

Берилган:

$$V_1=50 \text{ км/соат}$$

$$V_2=70 \text{ км/соат}$$

Топиш керак:

$$V_{\text{ўрт}}=?$$

Ечиш: Масала шартига асосан автомобиль тезланувчан ҳаракат қилганда

$$V_{\text{ўрт}} = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (1)$$

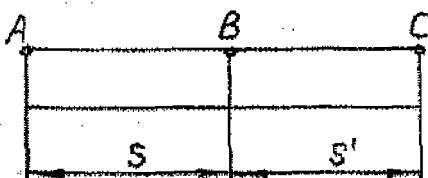
Формула ёрдамида  $V_{\text{ўрт}}=60$  км/соат натижани олар эдик.

Ушбу масала шартига асосан тўлиқ йўлни  $2S$  деб оламиз. Автомобиль йўлнинг би-

ринчи ярмини  $t_1 = \frac{S}{V_1}$  ва

иккинчи ярмини  $t_2 = \frac{S}{V_2}$

вақтда босиб ўтади. У ҳолда ўртача тезлик:



3.7-расм.

$$V_{\text{ўрт}} = \frac{2S}{t_1 + t_2} = \frac{2S}{\frac{S}{V_1} + \frac{S}{V_2}} = \frac{2V_1V_2}{V_1 + V_2} \quad (2)$$

(2) формулага сон қийматини қўйиб ҳисоблаймиз:

$$\text{Ҳ.} V_{\text{ўрт}} = \frac{2 \times 50 \times 70 \text{ км}}{50 + 70 \text{ соат}} = 68,3 \frac{\text{км}}{\text{соат}} \approx 68 \frac{\text{км}}{\text{соат}}$$

Автомобиль тўлиқ йўлни соатига 68 км ўртача тезлик билан босиб ўтган.

2-масала. Соатига 800 км масофага учиб борувчи ТУ-154 самолёти Фарғонадан Москвагача бўлган 3600 км масофани қанча вақтда учиб ўтади?

Берилган:  
 $S=3600$  км  
 $V=800$  км/с

Топиш керак:

$T=?$

Ечиш: Самолёт тўғри чизикли текис ҳаракат қилади деб  $S=Vt$  (1)

$$(1) \text{ формуладан } t = \frac{S}{V} \quad (2)$$

вақт формуласини аниқлаймиз.

(2) формулага асосан вақтни топамиз:

$$t = \frac{3600}{800} = 4,5 \text{ соат.}$$

Самолёт Фарғонадан Москвагача бўлган масофани 4,5 соат давомида учиб ўтар экан.

*3-масала.*  $V=30$  км/с тезлик билан Қуёш атрофида ҳаракат қилаётган Ер бир суткада қанча масофани босиб ўтади?

Берилган:

$V=30$  км/с

$t=1$  сутка= $24$ соат

Топиш керак:

$S=?$

Ечиш: Ер текис ҳаракат қилиб ҳар бир секундда 30 км масофани босиб ўтади. Вақтни секундларда ифодалайлик:  
 $t=24 \cdot 60 \cdot 60 \text{с} = 1440 \cdot 60 \text{с} = 86400 \text{с}.$

Босиб ўтилган йўл формуласини  $S=Vt$  га асосан ҳисоблаймиз:

$$S=30 \text{ км/с} \cdot 86400 \text{с} = 2592000 \text{ км}.$$

Ер бир суткада Қуёш атрофида 2592000 км масофани босиб ўтар экан.

*4-масала.* Узунлиги 1300 м, тезлиги  $V_1=18$  м/с бўлган юк поезда ва узунлиги 250 м, тезлиги  $V_2=36$  м/с бўлган электропоезд ўзаро параллел йўлдан кетаётган бўлса, электропоезд юк поездини қанча вақтда қувиб ўтади?

Берилган:

$l_1=1300$  м

$V_1=18$  м/с

$l_2=250$  м

$V_2=36$  м/с

Топиш керак:

Ечиш: Электропоезд юк поездига нисбатан  $U$  тезлик билан ҳаракат қилиши керак, яъни

$$V=V_2-V_1 \quad (1)$$

Электропоезд  $V$  нисбий тезлик билан

t-?

ҳаракат қилиб, икки поезднинг узунлигига тенг  $=l_1+l_2$  масофани ўтиши

керак. Бу масофани электропоезд  $t = \frac{l}{V}$  вақтда босиб ўтади.

$$\text{Демак, } t = \frac{l}{V} = \frac{l_1+l_2}{V} = \frac{1300\text{м}+250\text{м}}{18\text{м/с}} = \frac{1550\text{м}}{18\text{м/с}} = 86\text{с. да бо-}$$

сиб ўтди. Электропоезд 86 с да юк поездини қувиб ўтар экан.

5-масала. 1,5 м/с тезлик билан ҳаракат қилаётган пиёда-ни ундан 30 минутдан сўнг йўлга чиққан велосипедчи 10 минутдан сўнг қувиб ўтиши учун қандай тезлик билан ҳаракат қилиши керак?

Берилган:

$$V_p = 1,5 \text{ м/с}$$

$$t_p = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$$

$$\Delta t = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$$

Топиш керак:

$$V_v - ?$$

Ечиш: Пиёда ва велосипедчининг тезликларини  $V_p$  ва  $V_v$  деб белгилаймиз. Пиёда ва велосипедчи масофани масофани босиб ўтганлиги учун йўл формуласини қуйидагича ёзамиз:

$$S = V_v t_v = V_p (t_p + \Delta t_\phi) \quad (1)$$

$t_p$  — велосипедчи вақти,  $\Delta t_\phi$  — велосипедчи ва пиёда сарфлаган вақт фарқи (1) дан

$$V_v = V_p \frac{t_p + \Delta t_\phi}{t_v} \quad (2)$$

ҳисоблаймиз:

$$V_v = 1,5 \text{ м/с} \frac{600 \text{ с} + 1200 \text{ с}}{600 \text{ с}} = 1,5 \text{ м/с} \frac{1800}{600} = 1,5 \text{ м/с} \times 3 = 4,5 \text{ м/с}$$

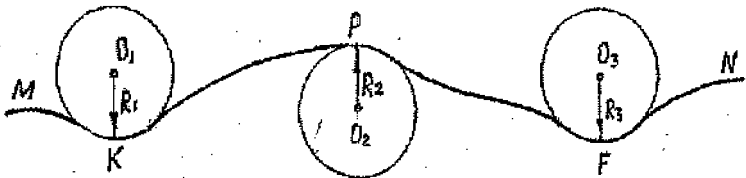
Велосипедчи 4,5 м/с тезлик билан ҳаракат қилиши керак бўлади.

## IV боб

### 16-§. АЙЛАНА БЎЙЛАБ ТЕКИС ҲАРАКАТ

Табиат ва техникада ҳаракат траекторияси тўғри чизиқ бўлмай, эгри чизиқдан иборат бўлган ҳаракатлар ҳам жуда кўп учрайди. Бундай ҳаракатга **эгри чизиқли ҳаракат** деб аталади. Эгри чизиқли ҳаракат мураккаб ҳаракат бўлиб, ҳаракат давомида жисмнинг координаталари ( $X$  ва  $Y$ ) ўзгаради. Тўғри чизиқли ҳаракатда фақат битта координата ўзгаради. Эгри чизиқли ҳаракатда тезлик ва тезланиш векторларининг йўналиши ўзгариши билан уларнинг модуллари ҳам ўзгаради. Тезлик вектори йўналишининг ўзгариши траекториянинг эгрилигига боғлиқ бўлади.

Моддий нукта  $MN$  эгри чизиқли траектория бўйича ҳаракат қилаётган бўлсин (4.1-расм).



4.1-расм.

$MN$  эгри чизиқ бўйича траекториянинг эгрилигига мос равишда айлана ёйлари чизиб, ҳаракат айлана бўйича кўриб чиқилади.  $O_1K=R_1$ ,  $O_2P=R_2$  ва  $O_3F=R_3$  катталиклар траекториянинг мос нукталаридаги эгрилик радиуслари ҳисобланади,  $O_1$ ,  $O_2$  ва  $O_3$  нукталар траекториянинг **эгрилик марказлари** деб аталади. Эгрилик радиусига тескари бўлган катталиқка ( $C=1/R$ ) траекториянинг берилган нуктадаги **эгрилиги** деб аталади. Демак, ихтиёрий шаклдаги траекториянинг алоҳида қисmlарини  $R$  радиусига мос келувчи айлананинг ёйи бўйлаб бўлаётган ҳаракат деб қараш мумкин.

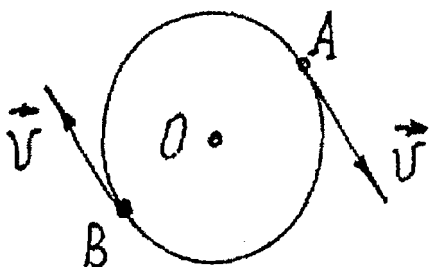
Эгри чизиқли ҳаракат энг содда моддий нуктанинг айлана бўйлаб текис ҳаракатидир.

Айлана бўйлаб текис ҳаракатга мисол сифатида Ернинг бир суткалик ҳаракатида Ер юзи нуқталарининг, айланаётган жисм бирор нуқтасининг ҳаракати, Ер атрофида доиравий орбита бўйлаб учаётган сунъий йўлдош ҳаракати ва бошқаларни келтириш мумкин.

Моддий нуқтанинг айлана бўйлаб текис ҳаракати деб, тенг вақтларда тенг ёйларни босиб ўтадиган ҳаракатга айтилади.

Моддий нуқтанинг айлана бўйича текис ҳаракати билан танишайлик (4.2-расм).

Айлана бўйича ҳаракат қилаётган моддий нуқта  $t$  пайтда  $A$  вазиятда,  $t_2$  пайтда эса  $B$  вазиятда бўлсин, у ҳолда  $\Delta t = t_2 - t_1$  вақт оралиғида  $AB$  айлана ёйига тенг бўлган  $S$  масофани босиб ўтади. Моддий нуқтанинг ҳара-



4.2-расм.

кат тезлиги 
$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

формула билан аниқланади. Бу тезлик моддий нуқтанинг чизикли тезлигидир. Айлана бўйлаб текис ҳаракатда моддий нуқтанинг истаган вазиятдаги чизикли тезлигининг модули ўзгармайди, йўналиши эса айлана нуқтасига ўтказилган уринма бўйича узлуксиз ўзгаради.

Айланма ҳаракатни тушунтиришда чизикли тезликдан ташқари бурчак тезлик тушунчасидан ҳам фойдаланилади. Бу катталикни аниқлаш учун моддий нуқтанинг  $t$  пайтдаги  $A$  вазиятини айлана маркази билан туташтириб,  $OA = R$  радиус-векторга тенг деб,  $\Delta t$  вақтдан сўнг моддий нуқтанинг айлана бўйлаб кўчган янги вазияти  $B$  ни айлана маркази билан туташтириб,  $OB = R$  радиус-вектор орқали ифодалаб,  $\Delta\phi$  бурилиш бурчаги аниқланади.

$\Delta\phi$ —(грекча  $\Delta$ -дельта,  $\phi$ -фи)—моддий нуқтанинг бурилиш бурчаги,  $\Delta\phi$  бурилиш бурчагининг бирлиги радиандир (рад); 1 рад  $57,3^\circ$  га тенг.

Радиан—айлананинг икки радиуси орасидаги марказий бурчак бўлиб, улар орасидаги ёй узунлиги радиус узунлиги-

га тенг бўлади (4.3-расм), яъни  $AB=R$ . Жисмнинг айлана бўйлаб ҳаракатини тавсифлаш учун бурчак тезлик тушунчаси киритилади. Бурчак тезлик деб вақт бирлиги ичида бурилиш бурчагига миқдор жиҳатидан тенг бўлган катталиққа айтилади. Бурчак тезлик  $\omega$  (грекча омега) ҳарфи билан белгиланади:

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

Мождий нуқтанинг айлана бўйлаб ўзгармас бурчак тезлик билан қилаётган ҳаракати айлана бўйлаб текис ҳаракат деб аталади.

Бурчак тезликнинг бирлиги барча бирликлар системасида бир хил бўлиб, секундига радиан қабул қилинган ва қуйидагича белгиланади:

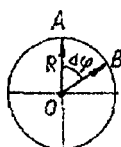
$$\text{рад/с} = 1/\text{с}.$$

Бурчак тезлик вектор катталиқ бўлиб, унинг йўналиши айланиш ўқи бўйича бўлади ва парма қويدаси асосида аниқланади (4.3-расм).

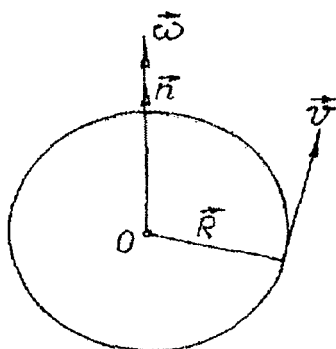
Агар парма дастасининг айланиш йўналиши айланма ҳаракат йўналишига мос келса, парманинг илгариланма ҳаракати бурчак тезлик йўналишини кўрсатади.

Текис айланма ҳаракатда бурчак тезлик векторининг миқдори (модули) ва йўналиши ўзгармаслигидан  $\omega = \text{const}$  деб ёзиш мумкин.

Бурчак тезликнинг ифодасини бошқа кўринишда ёзиш учун айланиш даври ва бирлик вақт ичида айланишлар сопи, яъни айланиш частотасидан фойдаланилади (4.4-расм).



4.3-расм.



4.4-расм.

Моддий нуқтанинг бир марта тўлиқ айланиш учун сарфланган вақти, айланиш даври деб аталади ва  $T$  ҳарфи билан белгиланади.

Моддий нуқтанинг бир секунд ичида айланишлар сонига айланиш частотаси деб аталади ва  $\nu$  (грекча ню) ҳарфи билан белгиланади. Давр ва частота ўзаро тескари катталиқ бўлганлиги учун қуйидагиларни ёзиш мумкин:

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{ва} \quad T = \frac{1}{\nu}.$$

Моддий нуқта  $t=T$  вақт давомида  $2\pi$  радианг бурчакка ( $360^\circ$ ) бурилишини ҳисобга олсак, бурчак тезлик қуйидагича аниқланади:

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

Иккинчи томондан моддий нуқта  $t=T$  вақт ичида айланивчи бир марта айланади ва айлана узунлиги  $S=2\pi R$  га тенг масофани босиб ўтади. Моддий нуқтанинг текис айланма ҳаракатда чизиқли тезлик модули ўзгармас ( $g=\text{const}$ )

бўлгани учун бу тезликни  $V = \frac{S}{t}$  формула бўйича аниқлаш мумкин, у ҳолда чизиқли тезлик формуласи

$$V = \frac{S}{t} = \frac{2\pi R}{t} = 2\pi R\nu$$

кўринишда ёзилади. Бурчак тезлик  $\omega = 2\pi \nu$  экани ҳисобга олинса, бурчак тезлик билан чизиқли тезлик ўртасида қуйидагича муносабатни ёзиш мумкин бўлади:  $V = \omega R$ .

Айлана бўйлаб текис ҳаракат қилаётган жисм чизиқли тезлигининг бурчак тезликка нисбати айлана радиусига тенг экан:

$$\frac{V}{\omega} = \frac{2\pi R\nu}{2\pi\nu} = R.$$



## 17-§. ЖИСМНИНГ АЙЛАНА БЎЙЛАБ ТЕКИС ХАРАКАТИДАГИ ТЕЗЛАНИШИ

Жисм (моддий нуқта) айлана бўйлаб нотекис ҳаракат қилганда жисмнинг чизиқли тезлиги билан бурчак тезлиги ҳам ўзгаради. Шунинг учун чизиқли тезланиш  $a$  каби бурчак тезланиш  $\varepsilon$  (грекча эпсилон) тушунчасидан фойдаланилади.

Бурчак тезланиши  $\varepsilon$  деб, бурчак тезлиги ўзгариши  $\Delta W$  нинг шу ўзгариш учун кетган вақт оралиғи  $\Delta t$  га нисбатига айтилади:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}. \quad (1)$$

Агар айлананинг радиуси ўзгармас ( $R=\text{const}$ ) бўлса, бурчак тезликнинг ўзгариши фақат  $\Delta V$  чизиқли тезликнинг

ўзгариши ҳисобига бўлади, яъни  $\Delta V=R\Delta\omega$  дан  $\Delta\omega = \frac{\Delta V}{R}$  ни

аниқлаб, (1) формулага қўйсақ:

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta V/R}{\Delta t} = \frac{1}{R} \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{a}{R}. \quad (2)$$

(2) формулага асосан чизиқли тезланиш билан бурчак тезланиш орасида қуйидагича муносабатни ёзиш мумкин:

$$a = \varepsilon R. \quad (3)$$

Бурчак тезлик ва бурчак тезланиш—вектор катталиклардир. (1) формулага асосан бурчак тезланиши  $\varepsilon$  нинг йўналиши айлананиш ўқи бўйича бўлиб, бурчак тезлик вектори  $\omega$  нинг ўзгариш йўналиши билан бир хил бўлади. Агар ҳаракат тезланувчан бўлса,  $\varepsilon$  вектор  $\omega$  га параллел (4.5-расм), ҳаракат секинланувчан бўлса,  $\varepsilon$  вектор  $\omega$  га антипараллел бўлади (4.5-расм, б).

Айлана бўйлаб текис ўзгарувчан ҳаракатда моддий нуқта  $\Delta t$  вақт бурчакка давомида бурилишини ҳисобга олиб, текис ўзгарувчан ҳаракат учун оний тезлик  $V_t = V_0 \pm at$  ва йўл формуласи

$S = V_0 t \pm \frac{at^2}{2}$  га асосланиб, бурчак тезлик ва бурилиш бурча-

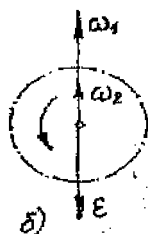
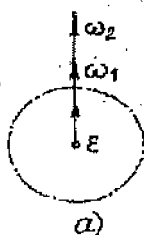
ги ифодалари куйидаги кўринишда аниқланади:

$$\left. \begin{aligned} W &= W_0 \pm \varepsilon t \\ \varphi &= W_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2} \end{aligned} \right\} \text{ (4)}$$

(4) формулада  $W_0$  — моддий нуқтанинг бошланғич бурчак тезлиги.

Бурчак тезланишнинг бирлиги секунд квадратига радиан (рад/с<sup>2</sup>) қабул қилинган.

Энди жисм айлана бўйлаб текис ҳаракат қилган ҳолдаги



4.5-расм.

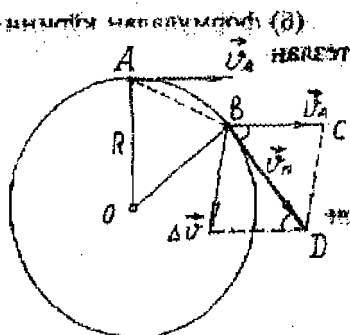
тезланишни аниқлайлик. Бундай ҳаракатда жисмнинг чизиқли тезлиги модули бўйича ўзгармас бўлиб, яъни  $[V]=const$ , чизиқли тезлик вектори  $V$ , йўналиши ўзгарувчан бўлади ва траекториянинг ҳар бир нуқтасида айланага ўтказилган уринма бўйлаб йўналади. Демак,  $V$  тезлик йўналиши вақт ўтиши билан узлуксиз ўзгариб, тезланишни ҳосил қилади. Бу ҳолда

тезланиш  $\bar{a} = \frac{V_1 - V_0}{t} = \frac{\Delta V}{t}$  формула ёрдамида аниқланади.

$\bar{a}$  тезланиш вектори  $\Delta \bar{V}$  тезлик вектори билан бир хил йўналади, чунки  $t$  вақт скаляр катталиқ.

Айлана бўйлаб текис ҳаракат қилаётган жисм бошланғич  $t$  вақт моментидида  $A$  нуқтада, жуда кичик вақт ўтгандан сўнг вазиятни  $B$  нуқтага ўзгартирсин. Жисмнинг  $A$  нуқтадаги тезлигини  $V_A$ ,  $B$  нуқтадаги тезлигини  $V_B$  билан белгилайлик (4.6-расм).  $A$  ва  $B$  нуқталардаги тезлик модуллари бир хил деб ҳисобланади.  $\Delta t$  вақт оралиғидаги тезликнинг ўзгаришини топиш учун  $V_B$  вектордан  $V_A$  вектор айирилади.

АОВ ва ВДС учбурчаклар ўхшаш, чунки тенг ёнли, яъни  $OA=OB=R$  ва  $BD=BC=Vt$ , шунингдек, бурчак ОАВ бурчак СВД га тенг (бурчак АОВ=бурчак СВД), у ҳолда  $AB:A-O=CD:BC$  нисбатни ёзиш мумкин. АВ ватар жуда кичик бўлганлиги сабабли  $AB=AV=V\Delta t$  ёй билан алмаштириб,  $AO=R$ ,  $CD=\Delta V$ ,



4.6-расм.

BC=V тенгликдан 
$$\frac{V\Delta t}{R} = \frac{\Delta V}{V}$$

нисбатни ёзиш мумкин, бундан  $\Delta V = \frac{V^2 \Delta t}{R}$  келиб чиқади.

Тезланиш эса

$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{V^2 \Delta t}{\Delta t R} = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

ифода кўринишида аниқланади.

Тезланиш йўналишини аниқлаш учун АВ ёйни кичиклаштириб,  $\Delta V$  векторни ОВ радиусга яқинлаштириб борилади ва лимити радиус билан мослаштирилади. Натижада  $\Delta V$  вектор ва  $a$  тезланиш айлана марказига радиус бўйича йўналади. Демак, тезланиш марказга интилма тезланиш деб аталади.

Марказга интилма тезланишда жисмнинг (моддий нуқта) тезланиши айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг ҳаракат траекториясининг исталган нуқтасидаги ҳаракат тезлигига перпендикуляр ва айлана марказига томон йўналган бўлади. Кўпинча марказга интилма тезланиш нормал тезланиш деб аталади. Айланма ҳаракат қилаётган жисмнинг чизиқли тезлигини, бурчак тезлик, давр ва частота билан боғланиш муносабатларини ҳисобга олиб, марказга интилма тезланиш модулини қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$a_{\text{ми}} = \omega^2 R = \frac{4\pi^2 R}{T} = 4\pi^2 \nu^2 R \quad (6)$$

(6) формуладан кўриниб турибдики, марказга интилма тезланиш айлана радиусига тўғри пропорционал экан.

## 18-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

1-масала. Реактив самолёт 720 км/соат бошланғич тезлик билан учмоқда. Ҳаракатнинг бирор momentiдан бошлаб 10 с давомида  $10 \text{ м/с}^2$  тезланиш билан ҳаракат қилса, охириги 1 с да қанча масофани учиб ўтади ва охириги тезлиги қандай бўлади?

Берилган:

$$V_0 = 720 \text{ км/соат} = 200 \text{ м/соат}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

$$t_1 = 1 \text{ с}$$

$$a = 10 \text{ м/с}^2$$

Топиш керак:

$$S_1 - ?; V_1 - ?$$

Ечиш: Самолёт бошланғич

тезлигининг текис

тезланувчан ҳаракат

тенгласидан  $t$  ва  $t - t_1$

вақт оралиғидаги

ўтилган йўллар орқали

топамиз:

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2};$$

$$S - S_1 = V_0(t - t_1) + \frac{a(t - t_1)^2}{2}$$

Тенгликларни ҳадма-ҳад айириб,  $S_1$  масофа аниқланади:

$$S - (S - S_1) = \left( V_0 t + \frac{at^2}{2} \right) - \left[ V_0(t - t_1) + \frac{a(t - t_1)^2}{2} \right],$$

$$S_1 = V_0 t + \frac{at^2}{2} - V_0 t + V_0 t_1 + at t_1 - \frac{at^2}{2} - \frac{at_1^2}{2},$$

$$S_1 = V_0 t_1 + at t_1 - \frac{at_1^2}{2} = 200 \frac{\text{м}}{\text{с}} \times 1 \text{ с} + 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 10 \text{ с} \times 1 \text{ с} -$$

$$\frac{10 \frac{M}{c^2} \times 1c^2}{1} = 200M + 100M - 5M = 295M.$$

Охириги тезлик текис тезланувчан ҳаракат учун оний тезлик формуласидан топилади:

$$V_1 = V_0 + at = 200 \text{ м/с} + 10 \text{ м/с}^2 \times 10 \text{ с} = 300 \text{ м/с}.$$

Жавоб.  $S_1 = 295M$ ;  $V_1 = 300 \text{ м/с}$ .

**2-масала.** Икки киши ҳаракатда бўлган эскалаторнинг ҳаракат йўналиши бўйича ластга югуриб тушмоқда. Биринчи кишининг тезлиги  $V_1$ , иккинчи кишининг тушиш тезлиги  $nV_1$  бўлса, биринчи киши эскалаторнинг зиналар сонини  $k$  та, иккинчи одам эса  $f$  та санади. Эскалаторнинг умумий зиналари сони  $N$  ва эскалатор тезлиги  $V_2$  топилсин.

Ениш. Масала ечишда эскалаторнинг тушиш бўйича умумий узунлиги  $l$  деб олинади. У ҳолда умумий узунлик бўйича

зиналар сони  $\frac{N}{l}$  та бўлади. Биринчи кишининг эскалатордан тушиш вақти

$$t_1 = \frac{l}{(V_2 + V_1)}, \quad (1)$$

босиб ўтган йўли

$$S_1 = \frac{V_1 l}{(V_2 + V_1)} \quad (2)$$

формуладан топилади.

Иккинчи киши учун тушиш вақти

$$t_2 = \frac{l}{(V_2 + nV_1)} \quad (3)$$

ва босиб ўтган йўли

$$S_2 = \frac{nV_1 l}{(V_2 + nV_1)} \quad (4)$$

У ҳолда биринчи киши санаган зиналар сони

$$k = \frac{V_1 l}{V_2 + V_1} \frac{N}{l} \quad (5)$$

ва иккинчи киши учун

$$f = \frac{nV_1 l}{V_2 + V_1} \frac{N}{l} \quad (6)$$

ёзиш мумкин.

(5) ва (6) формуладан

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{V_2 l k + V_1 l k}{V_1 l}, \\ \text{ва} \\ N &= \frac{V_2 l f + n V_1 l f}{n V_1 l} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

(7) система аниқланади ва умумий зиналар сони тенг бўлганлигидан

$$\frac{V_2 l k + V_1 l k}{V_1 l} = \frac{V_2 l f + n V_1 l f}{n V_1 l} \quad \text{деб ёзиш мумкин,}$$

бундан  $V_2 k n + V_1 k n = V_2 f + V_1 f n$ ,

$$V_2 k n - V_2 f + V_2 f n - V_1 k n,$$

$$V_2 (k n - f) = V_1 n (f - k),$$

эскалатор тезлиги

$$V_2 = V_1 \frac{n(f - k)}{k n - f}. \quad (8)$$

Эскалатордаги умумий зиналар сони  $K = \frac{V_1 l}{V_2 + V_1} - \frac{N}{l}$  дан топилади

$$k V_2 + k V_1 = V_1 N \quad \text{дан} \quad K(V_2 + V_1) = V_1 N$$

$$N = \frac{K(V_2 + V_1)}{V_1} = K \left( \frac{V_2}{V_1} + 1 \right) \quad (9)$$

ёки (9) га (8) ни қўйиб ёзсак,

$$\begin{aligned} N &= K \left( 1 + \frac{V_2}{V_1} \right) = K \left( 1 + \frac{\frac{V_1 n(f-k)}{kn-f}}{V_1} \right) = \\ &= K \left[ 1 + \frac{n(f-k)}{kn-f} \right] = K \left( \frac{kn-f+nf-kn}{kn-f} \right) = K \left( \frac{nf-f}{kn-f} \right) = \frac{kf(n-f)}{kn-f}. \end{aligned}$$

$$\text{Жавоб. } V_2 = V_1 \frac{n(f-k)}{kn-f}; N = K \left( 1 + \frac{V_2}{V_1} \right) = \frac{kf(n-1)}{kn-f}.$$

*3-масала.* 90 км/соат тезлик билан ҳаракатланаётган электропоезд тормоз бергандан сўнг 350 м масофани босиб ўтган бўлса, электропоезднинг тезланиши ва тормозланиш вақти топилин.

Берилган:

$$V_0 = 90 \text{ км/соат} = 25 \text{ м/с,}$$

$$S = 350 \text{ м}$$

$$V_1 = 0$$

Топиш керак:

$$a-?; t-?$$

Ечиш. Охириг теэлик  $V_1 = 0$  бўлганлиги сабабли ҳаракат текис секинланувчан бўлади.

$$V_1^2 = V_0^2 - 2aS \text{ формуладан тезланиш } a = \frac{V_1^2 - V_0^2}{2S} \quad (1)$$

топилади.

$$\text{Тормозланиш вақти } a = \frac{V_1 - V_0}{t} \text{ формуладан}$$

$$t = \frac{V_1 - V_0}{a} \quad (2)$$

$$a = -\frac{(25)^2 \frac{1}{c^2}}{2 \times 350} = -\frac{625}{700 c^2} \approx 0,9 \frac{1}{c^2}, \text{ чунки } V_1=0,$$

$$t = \frac{-25 \frac{1}{c}}{-0,9 \frac{1}{c^2}} = 30 c.$$

Жавоб.  $a=0,9 \text{ м/с}^2, t=30 \text{ с.}$

**4-масала.** Жисм бошлангич  $V_0$  тезлик билан вертикал юқорига отилган бўлса, жисмнинг кўтарилиш вақти ва кўтарилиш баландлиги топилсин. Ҳавонинг қаршилиги ҳисобга олинмасин.

**Ечиш.** Жисм вертикал юқорига отилганда, жисмнинг эркин тушиш тезланиши вертикал равишда пастрга йўналган бўлади, демак, ҳаракат текис секинланувчан бўлади. Бундай ҳаракатда жисмнинг кўтарилиш баландлиги:

$$h = V_0 t - \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Кўтарилиш вақти  $V = V_0 - gt$  (2) дан  $V=0$  ҳол учун  $V_0 = gt$  деб,  $t = V_0/g$  (3) формула асосида аниқланади.

(2) формулага (3) формулани қўйиб, кўтарилиш баландлиги топилади:

$$h = V_0 \times \frac{V_0}{g} - \frac{g}{2} \left( \frac{V_0}{g} \right)^2 = \frac{V_0^2}{g} - \frac{V_0^2}{2g} = \frac{V_0^2}{2g}. \quad (4)$$

$$\text{Жавоб. } t = \frac{V_0}{g}; h = \frac{V_0^2}{2g}.$$

**5-масала.** Эркин тушаётган жисм охириги  $h=196 \text{ м}$  йўлни  $t_1=4 \text{ с}$  да ўтган бўлса, жисмнинг эркин тушиш вақти  $t$  ва тушиш баландлиги  $h$  топилсин.

Берилган:  
 $g=9,8 \text{ м/с}^2$   
 $t_1=4 \text{ с}$



$$h_1 = 196 \text{ м}$$

Топиш керак:

$$t-?; h-?$$

Ечин. Масала шартига асосан жисмнинг бошлангич тезлиги  $V_0 = 0$ .

Эркин тушиш баландлигини аниқлаш учун  $t$  вақтда тушиш баландлиги  $h$  ва  $t-t_1$  вақтдаги тушиш баландлиги  $h$  учун алоҳида-алоҳида формулалар ёзиш керак, яъни

$$h = gt^2/2 \text{ ва } h - h_1 = \frac{g(t-t_1)^2}{2}.$$

Бу тенгламалар биргаликда ечилади:

$$\frac{gt^2}{2} - h_1 = \frac{gt^2}{2} - gtt_1 + \frac{gt^2}{2}.$$

$$\text{Тушиш вақти: } t = \frac{t_1}{2} + \frac{h_1}{gh_1} = \frac{4}{2}c + \frac{196}{9,8 \times 4} \quad c = 2c + 5c = 7c.$$

$$\text{Тушиш баландлиги: } h = \frac{gt^2}{2} = \frac{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 49c^2}{2} = 4,9 \times 49 \text{ м} = 240,1 \text{ м}.$$

Жавоб.  $t=7 \text{ с}$ ;  $h=240,1 \text{ м}$ .

## 19-§. ЖИСМНИНГ МУРАККАБ ҲАРАКАТИ

Биз жисм (моддий нуқта) ҳаракатини ўрганиш вақтида жисмнинг тўғри чизиқли ҳаракатини, эгри чизиқли ҳаракатини ёки айлана бўйлаб ҳаракатини ўрганиш билан бир қаторда жисмнинг бир вақтнинг ўзида бир неча ҳаракатда иштирок этишини ҳам ўрганиб чиқишимиз лозим, чунки табиатда бўладиган ҳаракат турлича бўлади.

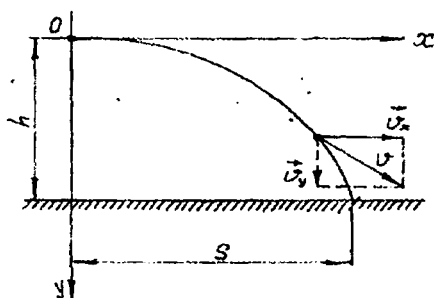
Бир неча содда ҳаракатлардан иборат бўлган ҳаракат **мураккаб ҳаракат** деб аталади. Бундай ҳаракатда жисмнинг ҳаракат траекторияси тўғри чизиқ ёки эгри чизиқдан иборат бўлиши мумкин.

Мураккаб ҳаракатларни ўрганишда бундай ҳаракатни мустақил содда ҳаракатдан иборат ташкил этувчиларга ажратиш лозим. Мураккаб ҳаракатга мисол сифатида Ер сиртидан горизонтга маълум бурчак остида отилган жисм ҳара-

кати ёки Ер сиртидан горизонтал отилган жисм ҳаракатини олиш мумкин. Бу ҳаракатларни алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

### 1. Горизонтал отилган жисм ҳаракати.

Ер сиртидан горизонтал отилган жисм иккита ҳаракатда иштирок этади, яъни горизонтал йўналишли текис ҳаракатда  $V_x = V_0$  ва вертикал бўйича эркин тушишда (4.7-расм).



4.7-расм.

Бу иккала ҳаракат мустақил ҳаракат бўлганлиги учун жисмнинг тўлиқ ҳаракат вақти жисмнинг  $h$  баландликдан тушиш вақтига тенг бўлади, яъни

$$h = V_0 t + \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

формулага асосан  $V_0 = 0$  бўлганлигини ҳисобга олсак, (1) формулани

$$h = gt^2/2 \quad (2)$$

кўринишда ёзиб, тўлиқ ҳаракат вақтини топамиз:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (3)$$

У ҳолда жисмнинг горизонтал йўналишда босиб ўтган йўли

$$S = Vt = V \sqrt{\frac{2h}{g}}; \quad S = V \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad (4)$$

формуладан топилади.

Жисмининг Ёрга тушиш нуқтасидаги тезлигини аниқлаш учун  $V_x=V_0$  ва  $V_y=gt$  эканлиги ҳисобга олинса, умумий тезликни қуйидаги кўринишда ёзиш мумкин:

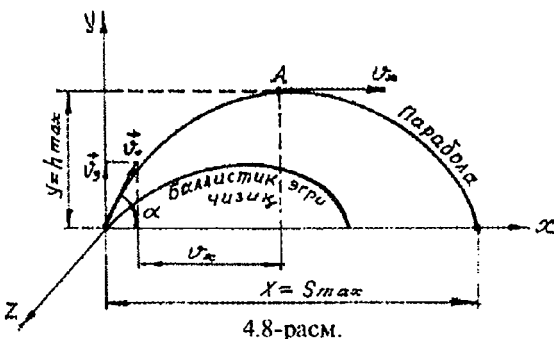
$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V_0^2 + g^2 t^2} = \sqrt{V_0^2 + g^2 \frac{2h}{g}} = \sqrt{V_0^2 + 2gh} . (5)$$

Ёр сиртидан горизонтал отилган жисм ҳаракати каби ҳаракат бўлиб, ҳаракат траекторияси параболадан иборат экан.

2. Горизонтга нисбатан маълум бурчак остида отилган жисм ҳаракати.

Замбаракдан  $V_0$  бошланғич тезлик билан отилган снаряд .....  $\alpha$  бурчак ҳосил қилиб ҳаракат қилаётган бўлсин (4.8-расм). Мазкур ҳаракатни моддий нуқта деб қараб, ҳавонинг қаршилиги эътиборга олинмайди. Ҳаракат мураккаб бўлганлиги сабабли иккита мустақил содда ҳаракатга ажратиш мумкин.

Горизонтал ташкил этувчи сифатида бошланғич  $V_0$  тезликни  $V_x$  билан, вертикал ташкил этувчи сифатида  $V_y$  жисмининг эркин тушиш тезланиши текис ўзгаришчан



ҳаракатнинг оний тезлиги қабул қилинади.  $V_x$ — горизонтал текис ҳаракат тезлиги. Расмдан  $V_x$  ва  $V_y$  ташкил этувчи тезликлар қуйидаги кўринишда аниқланади:

$$\begin{aligned} V_x &= V_0 \cos \alpha, \\ V_y &= V_0 \sin \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Масалани соддалаштириш мақсадида координаталар системасининг бошланғич тезлик вектори  $V_0$  ни  $XOY$  текислигида ётадиган қилиб оламиз,  $y$  ҳолда  $a_x=a_2=0$ ,  $a_y=-g$ ,  $z=0$  деб ёзиш мумкин.

Тезлик векторининг координата ўқларидаги проекциялари

$$V_x = V_0 \cos \alpha,$$

$$V_y = V_0 \sin \alpha - gt \quad (2)$$

ҳаракат тенгламалари эса

$$\begin{aligned} X &= V_0 t \cos \alpha \\ Y &= V_0 t \sin \alpha - gt^2/2 \end{aligned} \quad (3)$$

кўринишда ифодаланadi.

(3) тенгламанинг биринчисидан вақтни

$$t = \frac{X}{V_0 \cos \alpha} \quad (4)$$

орқали ифодалаб, моддий нуқтанинг ҳаракат траектория-  
си топилади:

$$Y = V_0 \frac{X}{V_0 \cos \alpha} \sin \alpha - \frac{1}{2} g \frac{X^2}{V_0^2 \cos^2 \alpha} = X \operatorname{tg} \alpha - \frac{g X^2}{2 V_0^2 \cos^2 \alpha} \quad (5)$$

Бу у ўқига параллел симметрия ўқига эга бўлган пара-  
бола тенгламасидир.

Жисмнинг максимал кўтарилиш баландлиги  $y = h_{\max}$  ни то-  
пиш учун жисм траекториясининг энг юқори нуқтасида  $V_y = 0$   
бўлишини ҳисобга олиш керак.  $V_y = V_0 \sin \alpha - gt = 0$  тенгламадан кўта-

рилиш вақти  $t_k = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$  ни аниқлаб, жисмнинг максимал

кўтарилиш баландлиги формуласига қўйилгандаги қиймати

$$h_{\max} = V_0 \frac{V_0 \sin \alpha}{g} \sin \alpha - \frac{g}{2} \left( \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{g^2} \right) = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (6)$$

аниқланади.

Учиш вақтини аниқлашда снаряднинг учиш охиридаги  
координатаси  $y = 0$  эканлигини ҳисобга олиш керак бўлади ва  
(5) тенгламанинг иккинчисидан, яъни  $y = V_0 \sin \alpha - gt^2/2 = 0$  дан  
учиш вақти

$$t_y = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \quad (7)$$

ни топамиз.

Снаряднинг учиш узоқлигини топиш учун  $x$  координата формуласида  $t$  вақт учиш билан алмаштирилади, яъни

$$x = S_{\text{MAX}} = V_0 t_y \cos \alpha = V_0 \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} \cos \alpha = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} \quad (8)$$

формулани топамиз. Тригонометрия курсидан  $2\sin \alpha \cos \alpha = \sin 2\alpha$  эканлиги сизга маълум.

У ҳолда

$$S_{\text{MAX}} = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g} \quad (9)$$

$\sin 2\alpha = 1$  бўлганда  $S_{\text{MAX}}$  узоқлик энг узун бўлади.

Демак,  $2\alpha = 90^\circ$  бўлса,  $\alpha = 45^\circ$  бўлади.

Шундай қилиб, снаряд учун қуйидаги тенгламаларни топдик:

1. Максимал кўтарилиш баландлиги:  $h_{\text{MAX}} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$ .

2. Кўтарилиш вақти:  $t_k = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$ .

3. Учиш вақти:  $t_y = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g}$ .

4. Учиш узоқлиги:  $S_{\text{MAX}} = \frac{2V_0^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g}$ .

5. Учиш бурчаги:  $\sin 2\alpha = 1$ ;  $2\alpha = 90^\circ$ ;  $\alpha = 45^\circ$

Реал ҳолатларга жисмга ҳавонинг қаршилиги таъсир этиб, ҳаракат тезлигини камайтиради, натижада жисм траекторияси параболадан фарқ қилиб, пасайиш қисми тикроқ бўлган баллистик эгри чизикдан иборат траекторияни чизади.

Бундан ташқари, ҳавонинг қаршилиги ҳисобига жисмнинг кўтарилиш баландлиги ва учиш узоқлиги камаяди.

## 20-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

**1-масала.** Соатнинг минут кўрсаткичи секунд кўрсаткичидан 5 марта узун бўлса, соат кўрсаткичларининг охиридаги чизиқли тезликлари нисбати қандай бўлади?

**Ечиш.** Секунд кўрсаткичи бир марта айланиб чиқиши учун 1 минут ( $n=1$  айл/мин) сарф қилгандаги чизиқли тезлик  $V_0=2\pi Rn$  формулага асосида топилади. Соатнинг минут кўрсаткичи секунд кўрсаткичидан 5 марта узун бўлганлиги сабабли бир минутдаги айланишлар сони  $n=1/60$  айл/мин бўлиб, чизиқли тезлиги эса

$$V_M=2\pi 5Rn_1$$

бўлади.

$$\text{У ҳолда } \frac{V_C}{V_M} = \frac{2\pi Rn}{10\pi Rn_1} = \frac{2 \times 1}{10 \frac{1}{60}} = \frac{2 \times 60}{10} = 12.$$

**Жавоб.** 12

**2-масала.** Ер сиртидаги нуқта учун: а) экватордаги; б)  $45^\circ$  кенгликдаги чизиқли тезлик ва марказга интилма тезланиш қандай бўлади? Ер радиуси  $6,4 \times 10^6$  м деб олинсин.

**Берилган:**

$$\varphi=45^\circ$$

$$R=6,4 \times 10^6$$

$$T=24 \text{ соат}=24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ с}$$

$$\text{Т.к. } V_3=? a_3=?$$

$$V_\varphi=? a_\varphi=?$$

**Ечиш.** Экваторда нуқтанинг чизиқли тезлиги айланиш даври  $T$  ва айланиш радиуси  $R$  билан қуйидагича боғланган:

$$V_3 = \frac{2\pi R}{T}, \quad (1)$$

марказга интилма тезланиши эса

$$a_3 = \omega^2 R \quad (2)$$

дан топилади, аммо  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  формулани ҳисобга олсак, марказга интилма тезланиш

$$a_3 = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$$

формула ёрдамида осонроқ топилади.

Юқоридаги мулоҳазаларга асосланиб  $45^\circ$  кенгликдаги чизикли тезликни

$$V_\varphi = \frac{2\pi R}{T} \cos \varphi,$$

марказга интилма тезланишни эса

$$a_\varphi = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cos \varphi$$

формула асосида аниқлаш мумкинлигига ишонч ҳосил қилинади. Энди ҳисоблашларни амалга оширамиз:

$$V = \frac{2\pi R}{T} = \frac{2 \times 3,14 \times 6,4 \times 10^6}{24 \times 60 \times 60 \text{ с}} = \frac{40,92 \times 10^6}{86400 \text{ с}} = 465 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = \frac{4\pi^2 R}{T^2} = \frac{4 \times (3,14)^2 \times 64 \times 10^6}{24^2 \times 60^2 \times 60^2 \text{ с}^2} = 0,034 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$V_\varphi = \frac{2\pi R}{T} \cos \varphi = \frac{2 \times 3,14 \times 6,4 \times 10^6}{24 \times 60 \times 60 \text{ с}} \cos 45^\circ = 465$$

$$1. \frac{\sqrt{2}}{2} = 465 \times 0,7 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 325,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a_\varphi = \frac{4\pi^2 R}{T^2} \cos \varphi = 0,034 \times 0,7 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 0,0238 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Жавоб.  $V_3 = 465 \text{ м/с}$ ;  $a_3 = 0,034 \text{ м/с}^2$   
 $V_\varphi = 325,5 \text{ м/с}$ ;  $a_\varphi = 0,0238 \text{ м/с}^2$

3-масала. Ернинг Қуёш атрофидаги ҳаракатининг чизикли тезлиги топилсин. Ер ва Қуёш орасидаги масофа  $1,5 \cdot 10^{11}$  м деб олинсин.

Берилган:

$$R=1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$$

Топиш керак:

$V$ ?

Ечиш. Ер Қуёш атропоида 1 йилда 1 марта айланиб чиқилишини ҳисобга олсак, айланиш даври

$$T=365,25=365,25 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ с} = 31,56 \times 10^6 \text{ с бўлади.}$$

Чизиқли тезлик эса  $V = \frac{2\pi R}{T}$  га асосан

$$V = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}}{31,56 \cdot 10^6 \text{ с}} = 2,99 \cdot 10^4 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 29,9 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$

Жавоб. 29,9 км/с.

4-масала. Ернинг сунъий йўлдоши Ер сиртидан 200 км баландликда Ер орбитасига чиқарилган бўлса, сунъий йўлдошнинг чизиқли тезлиги ва марказга интилма тезланиши топилисин. Ушбу баландликдаги жисмларнинг эркин тушиш тезланиши 9,2 м/с<sup>2</sup> деб олинсин.

Берилган:

$$g=9,2 \text{ м/с}^2$$

$$h=200 \times 10^3 \text{ м}$$

$$R_{\text{ер}}=6400 \text{ км}$$

Топиш керак:

$V$ ?,  $a$ ?

Ечиш. Сунъий йўлдошнинг ҳаракат орбитаси

$R_x = R_{\text{ер}} + h$  га асосан аниқланади:

$$R_x = 6400 \text{ км} + 200 \text{ км} = 6600 \text{ км}$$

Ернинг сунъий йўлдоши Ер марказига йўналган марказга

интилма тезланишли ҳаракат қилгани учун унинг тезланиши

эркин тушиш

тезланишига тенг бўлади, яъни  $g=a=9,2 \text{ м/с}^2$ . Агар сунъий йўлдош бундай тезланиш билан ҳаракат қилмаса, унинг ҳаракат йўналиши траектория бўйича уринма ҳаракатдан иборат бўлиб, тўғри чизиқ бўйича бўлар эди. Шунинг учун

$$a = \frac{V^2}{R} \text{ формуладан тезликни топамиз:}$$

$$V = \sqrt{aR}; R = R_x \text{ деб оламиз, } V = \sqrt{9,2 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \times 6,610^6} = 7,8 \times 10^3 \frac{\text{М}}{\text{с}}$$



Сунъий йўлдошнинг айланиш даври  $V = \frac{2\pi R}{T}$  формула-

да  $T = \frac{2\pi R_{\text{сх}}}{V}$  бўлади.

$$T = \frac{2 \times 3,14 \times 6,6 \times 10^6 \text{ м}}{7,8 \times 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 5,3 \times 10^3 \text{ с} = 88 \text{ мин}$$

Жавоб.  $V=7,8 \times 10 \text{ м/с}^3$ ;  $T=5,3 \times 10 \text{ с}^3=88 \text{ мин}$ .

5-масала. Ой Ер орбитасида айланма ҳаракат қилади деб, Ойнинг Ер орбитасидаги чизиқли тезлиги ва марказга интилма тезланиши топилсин. Ер орбитаси 385000 км, Ойнинг орбита бўйича айланиш даври 27,3 сутка деб олинсин.

Берилган: Ечиш. Ойнинг Ер орбитасидаги чизиқли тезлиги:

$R=3,85 \cdot 10^8 \text{ м}$   $V = \frac{2\pi R}{T}$  формуладан топилади.

$T=27,324 \text{ 6060 с}$

Топиш кераг:  $V = \frac{2 \times 3,14 \times 3,85 \times 10^8 \text{ м}}{27,3 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ с}} = 1,02 \times 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$V$ -?  $a$ -?

Марказга интилма тезланиш эса  $a = \frac{V^2}{R}$  формуладан топилади.

$$a = \frac{(1,02 \times 10^3)^2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{3,85 \times 10^8 \text{ м}} = 2,73 \times 10^{-3} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Жавоб.  $V=1,02 \times 10^3 \text{ м/с}$ ;  $a=2,73 \times 10^{-3} \text{ м/с}$ .

6-масала. Баландлиги 25 м бўлган минорадан  $V_0=10$  м/с тезлик билан горизонтал отилган жисмнинг ҳаракат вақти  $t$ , Ерга тушиш узоқлиги  $S_x$  ва Ерга урилиш тезлиги  $V$  топилсин.

Берилган:

$$h=25 \text{ м}$$

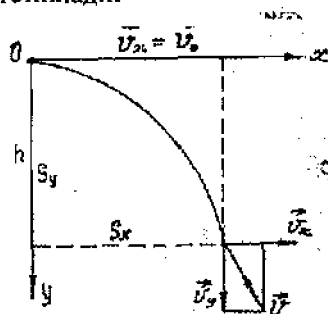
Ечиш. Горизонтал отилган жисмнинг учиш масофаси  $S$  ни иккита горизонтал  $S_x$  ва вертикал  $S_y$  ташкил этувчиларига ажратамиз (4.9-расм).

У ҳолда учишнинг горизонтал ва вертикал ташкил этувчилари мос равишда қуйидагича топилади:

$$S_y = h = \frac{gt^2}{2} \text{ ва } S_x = V_0 t = V_0 t.$$

Тошнинг ҳаракат вақти вертикал учиш тенгласидан топилади:

$$h = \frac{gt^2}{2} \quad \text{дан}$$



4.9-расм.

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 25 \text{ м}}{9,8 \text{ м/с}^2}} = \sqrt{5,1 \text{ с}} = 2,28 \text{ с}.$$

Жисмнинг Ерга тушиш узоқлиги  $S_x = V_0 t$  га асосан топилади:

$$S_x = 10 \text{ м/с} \times 2,28 \text{ с} = 22,8 \text{ м}.$$

Жисмнинг ерга урилиш тезлиги

$$\begin{aligned} V &= \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V_0^2 + 2gh} = \sqrt{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 2 \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 25 \text{ м}} = \\ &= \sqrt{100 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + 490 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \sqrt{590 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = 24,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Жавоб.  $t=2,28$  с;  $S_x=22,8$ ;  $V=24,3$  м/с.

7-масала. Горизонтга нисбатан  $\alpha=45^\circ$  остида  $V_0=12$  м/с бошланғич тезлик билан отилган тошнинг кўтарилиш баландлиги  $h$ , учуш вақти  $t$  ва учуш масофаси  $S_x$  топилсин (4.10-рasm).

Берилган:  
 $\alpha=45^\circ$

$V_0=12$  м/с  
 $g=9,8$  м/с<sup>2</sup>

фаси

Ечиш. Горизонтга нисбатан бурчак остида бошланғич тезлик билан отилган тошнинг  $t$  вақтдан кейинги тезлиги  $V$  нинг вертикал ташкил этувчи  $V_y$  ва вертикал силжи масо-

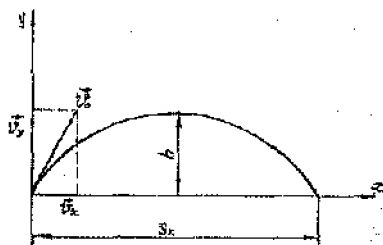
қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$V_y = V_0 \sin \alpha - gt \quad \text{ва} \quad S_y = V_0 \sin \alpha \times t - \frac{gt^2}{2} \quad (1)$$

Тош ҳаракат траекториясининг энг юқори нуқтасида  $V_y=0$  ва  $S_y=h$  бўлганлиги учун (1) ни қуйидагича ёзиш мумкин:

$$V_0 \sin \alpha = gt;$$

$$V_0 \sin \alpha \times t - \frac{gt^2}{2} = h \quad (2)$$



4.10-рasm.

Тошнинг кўтарилиш

вақти  $t_K = \frac{V_0 \sin \alpha}{g} \quad (3)$

(3) ни (2) га қўйиб,  $h$  баландликни топамиз

$$h = V_0 \sin \alpha \frac{V_0 \sin \alpha}{g} - \frac{g V_0^2 \sin^2 \alpha}{2 g^2} = \frac{V_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} \quad (4)$$

$$h = \frac{144 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \times \sin^2 45^\circ}{2 \times 9,8 \text{ м/с}^2} = \frac{144 \times 0,5}{19,6} \text{ м} = 3,67 \text{ м.}$$

Тошнинг учиш вақти  $t$  кўтарилиш вақти  $t_k = \frac{V_0 \sin \alpha}{g}$

дан икки марта бўлганлиги учун

$$t = 2t_1 = \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2 \times 12 \frac{M}{c} \sin 45^\circ}{9,8 \frac{M}{c^2}} = \frac{2 \times 12 \times 0,7}{9,8} c = 1,71c.$$

Тошнинг учиш масофаси

$$S_x = V_x t = V_0 \cos \alpha \times \frac{2V_0 \sin \alpha}{g} = \frac{V_0^2 \sin 2\alpha}{g} =$$
$$= \frac{144 \frac{M^3}{c^2} \times \sin 90^\circ}{9,8 \frac{M}{c^2}} M = 14,9 \text{ м.}$$

Жавоб.  $h=3,67\text{м}$ ;  $t=1,71\text{с}$ ;  $S_x=14,9$

## V боб

### 21- §. ДИНАМИКА АСОСЛАРИ. НЬЮТОННИНГ БИРИНЧИ ҚОНУНИ

Шу пайтгача механик ҳаракатни ўрганишда жисм ҳаракатининг тезлиги ва тезланишини асос қилиб олдик. Лекин нима сабабдан тинч турган жисм ҳаракат қилади, нима учун жисмнинг ҳаракати тўғри чизиқли текис ҳаракат ёки текис ўзгарувчан ҳаракат, жисм нима сабабдан айланма ҳаракат қилади ва бу ҳаракатларда тезланишнинг юзага келиши сабаблари қандай, деган саволларга жавоб берганимиз йўқ. Навбатдаги вазифа жисм ҳаракати билан куч ўртасидаги боғланишни аниқлашдан иборат. Жисмлар ўртасидаги ўзаро таъсирнинг юзага келиши сабабларини ўрганиувчи механиканинг бўлими динамика дейилади.

Динамика грекча «*dynamis*» сўзидан олинган булиб, куч маъносини билдиради.

Куч билан ҳаракат ўртасида қандай алоқа бўлиши мумкин, деган саволга биринчи бўлиб эрампдан аввалги IV асда яшаган Аристотель жисмнинг горизонтал текисликда ҳаракат қилиши учун куч таъсир қилиши керак деб жавоб берган. Мисол учун, тинч турган аравагани ҳаракатга келтириш мақсадида олдинга тортиш ёки орқага итариш керак.

Аристотель жисм тинч ҳолатини табиий ҳол бўлгани учун куч таъсирида ҳаракатга келади деб тушунтирган. Италиян физиги Галилео Галилей Аристотелдан 2000 минг йил кейин жисмнинг тинч ҳолати табиий бўлганидек, унинг горизонтал текисликдаги ўзгармас тезлик билан қиладиган ҳаракати ҳам табиий ҳолдир дейди. Бу икки буюк олимларнинг таълимотлари бир-бирига зид эмас, чунки агар жисмга таъсир этиб турилмаса, у бориб-бориб тўхтайдди. Аристотель жисмларнинг тинч ҳолатининг ўзгаришини ҳисобга олмаган, Галилей эса буни ҳисобга олган. У жисмларга ҳавонинг қаршилигини, ишқаланишини, жисмларнинг Ерға

тортилишини ва бошқа таъсирларни ҳисобга олиб, жисм бу таъсирлардан озод бўлгандагина ўзгармас тезлик билан абадий ҳаракат қилади дейди.

Буюк инглиз олими Исаак Ньютон ўзидан аввал яшаб ижод этган олимларнинг ишларини ўрганиб, уларни умумлаштирди ва 1667 йили ўзининг «Натурал фалсафанинг математик асослари» деб номланган китобида динамиканинг учта асосий қонунини баён этди.

Ньютоннинг биринчи қонуни. Агар бирор жисмга бошқа жисмлар таъсир этмаса (ёки бошқа жисмларнинг таъсири компенсацияланса), у ўзининг нисбий тинч ҳолатини сақлайди, яъни  $F=0$  бўлса,  $V=0$  бўлади.

Бундай ҳолат кундалик ҳаётимизда жуда кўп учрайди.

Масалан, стол устида турган китоб, шох бекатда ҳаракатсиз турган автомобиль, бинолар ва бошқалар. Буларнинг ҳаммаси Ернинг ўз ўқи атрофидаги ва Куёш атрофидаги ҳаракатида иштирок этсада, биз бу ҳаракатни сезмаганимиз туфайли жисмлар тинч турибди, деймиз, демак тинчлик ҳам нисбий.

Қонуннинг иккинчи қисмида тўғри чизиqli ҳаракат, текис ҳаракат ( $V=\text{const}$ ,  $a=0$ ) кўзда тутилади. Шунинг учун жисмга бошқа жисмлар таъсир этмаганда жисм ўз инерцияси билан ҳаракат қилади. Масалан, автобусда ўтирган йўловчи, автобус ҳайдовчиси томонидан бир сабабга кўра кескин ҳаракатни тўхтатиш учун тормоз қилса, йўловчи олдинга мўнқиб кетади ёки автобус ўнгга бурилса, йўловчи чапга, аксинча, автобус чапга бурилса, йўловчи ўнгга оғади.

Ёки автобуснинг тезлиги бирданига орттирилса, йўловчи ўриндиққа «ёпишиб» қолади. Бу ҳолларда йўловчи ўз инерцияси бўйича ҳаракатини сақлашга интиляпти. Амалда Ньютоннинг биринчи қонунини текшириш мумкин эмас.

Жисмнинг ҳар қандай ҳолати нисбий бўлганлигини эътиборга олиб, Ньютоннинг биринчи қонунида жисмнинг тинч ҳолати ёки тўғри чизиqli текис ҳаракати қандай санок системасига нисбатан аниқланишини кўриб чиқайлик.

Сизларга маълумки, механиканинг кинематика қисмида координаталар системаси билан боғланган ихтиёрий жисм қабул қилиниб, жисм ҳаракати тушунтирилар эди.

Механиканинг динамика қисмида эса санок системалари ўртасида маълум фарқ бўлади.

Мисол тариқасида бир-бирига нисбатан бирор тезланиш билан ҳаракат қилаётган икки саноқ системасини кўриб чиқайлик. Саноқ системаларидан бирита нисбатан тинч турган жисм иккинчи системага нисбатан тезланиш билан ҳаракатланади. Бу ҳолда Ньютоннинг биринчи қонуни бир вақтнинг ўзида мазкур саноқ системаларининг бирида бажарилса, иккинчисида бажарилмайди. Динамиканинг биринчи қонуни бажариладиган системалар инерциал саноқ системалар дейилади. Бирорта инерциал саноқ системасига нисбатан доимий тезлик билан ҳаракатланаётган ҳар қандай система ҳам инерциал бўлади.

Мисол учун, шох бекатда тўхтаб турган пассажир поезде вагонидagi стол устида турган теннис коптогини олайлик. Поезд ҳаракат қилганда копток тинч туради ва инерция қонуни бажарилади. Агар поезд тўғри чизиқли текис ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилганда ҳам копток тинч ҳолатда бўлади ва саноқ системаси инерциал бўлади. Поезд ҳаракатини тезлатганда ёки секинлатганда, шунингдек, поезд бурилганда копток тинч ҳолатда бўлмайди, демак, поезд тезлашганда копток орқа томонга, секинлашганда олдинга томон, поезд буриляётганда ён томонга ҳаракатланади. Демак, инерция қонуни барча саноқ системаларида бажарилавермайди. Саноқ системасини тўғри танлаб олиш керак. Инерциал саноқ системасини етарлича аниқликда Ерга нисбатан танлаб олиш мумкин.

Маълумки, инерция қонуни фақат Ер шароитидагина бажарилади.

Ер ўз ўқи атрофида ва Куёш атрофида айланишини ҳисобга олиб, Ер билан боғлиқ бўлган саноқ системаси кўзгалмас деб ҳисобланган Ердан жуда олисдаги юлдузларга нисбатан Ернинг тезланувчан ҳаракатини эътиборга олиш керак. Бундай ҳолатда бир томондан Ер билан боғлиқ бўлган саноқ системасида инерция қонуни ўринли бўлса, иккинчи томондан система тезланувчан ҳаракат қилиб, зиддият борга ўхшайди. Амалда эса, Ер билан боғлиқ саноқ системаси Ерда содир бўладиган кўпгина ҳодисаларга нисбатан инерциал деб олиш мумкин, чунки Ернинг айланиши натижасида ҳосил бўладиган жисмларнинг тезланиши жуда кичик бўлади.

Мисол учун, экваторда жисмларнинг марказга интилма

тезланиши  $a = \frac{V^2}{R}$  максимал, Ер сиртидаги жисмнинг чи-

зиқли тезлиги  $V = \frac{2\pi R}{T}$  тенг деб, тезланиш  $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$  фор-

мула асосида топилади.

Ер радиуси  $R = 6400 \text{ км} = 6,4 \times 10^6 \text{ м}$ , айланиш даврини  $T = 24 \text{ соат} = 24 \text{ ў} 60 \times 60 = 86400 \text{ с}$  га тенг деб олсак:

$$a = \frac{4 \times (3,14)^2 \times 6,4 \times 10^6 \text{ м}}{(86400)^2 \text{ с}^2} = 0,03 \text{ м/с}^2$$

Жисмларнинг эркин тушиш тезланиши билан марказга

интилма тезланишини солиштирсак:  $\frac{g}{a} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2}{0,03 \text{ м/с}^2} = 327$  мар-

та кичик экан. Бу ҳолда саноқ системасининг ноинерциал система эканлигини сезиш қийин.

Хулоса қилиб, Ньютоннинг биринчи қонунининг математик ифодасини қуйидаги кўринишда ёзамиз:

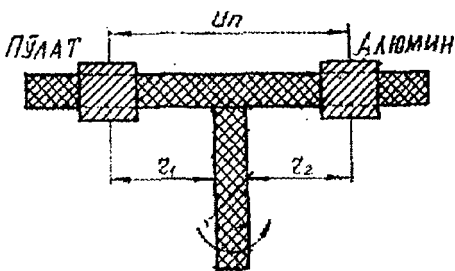
$\Gamma = 0$  бўлса,  $V = 0$  ёки  $V = \text{const}$ .

## 22-§. ЖИСМЛАРНИНГ ИНЕРТЛИГИ ВА МАССАСИ

Ньютоннинг биринчи қонунига асосан бирор жисмга бошқа жисмлар таъсир қилмаса, жисм инерциал саноқ системасига нисбатан тезланишсиз ҳаракат қилади. Агар жисм тезланишли ҳаракат қилса, у ҳолда тезланишнинг юзага келиш сабабини аниқлаш керак. Масалан, юқоридан пастига тушаётган жисм тезланишли ҳаракат қилса, бу тезланишни юзага келтиришга сабаб Ердир. Металл шарча магнит ёнида бўлса, шарчанинг тезланишли ҳаракат қилишига сабаб магнитнинг таъсири бўлади. Моддий оламда жисмларнинг ўзаро таъсири натижасида табиатда турли хил ўзгаришлар бўлсада, биз учун жисмлар ўртасидаги ўзаро таъсир туфайли жисмларнинг ҳаракати қандай ўзгариши, яъни тезланишли ҳаракатнинг юзага келиши сабаблари қизиқарли ҳисобланади.



Мисол учун бир хил ўлчамли алюминий ва пўлат аравачалар ўзаро тўқнаштирилса, аравачалар тезлиги тўқнашиш натижасида ўзгаради ва тезланишлари турлича бўлади. Бу ҳолда алюминий аравачанинг тезланиши пўлат аравачанинг тезланишидан модули



5.1-расм.

бўйича 3 марта ортиқ бўлади. Жисмларнинг ўзаро тўқнашиши натижасида олган тезланишларини ўлчаш анчагина қийин масала, чунки ўзаро тўқнашиш вақти қисқа бўлади. Аммо ўзаро таъсир қилувчи жисмларнинг айланма ҳаракати натижасида юзага келувчи марказга интилма тезланишларни ўлчаш мумкин. Бунинг учун ўлчамлари бир хил бўлган алюминий ва пўлат цилиндр олиниб, ўқлари бўйича тешилган тешиклари-дан стерженга кийгазилади ва марказдан қочирма машинага ўрнатилади (5.1-расм). Тажрибада цилиндрларни бир-бирига ип билан боғламасдан ўтказилганда, машина ҳаракатга келиши билан цилиндрлар стерженнинг учларига сирпаниб келиб қолиши кузатилади. Бу ҳолда цилиндрлар ўзаро таъсирлашмайди.

Аксинча цилиндрларни бир-бирига ип билан боғлаб тажриба такрорланса, цилиндрлар ип воситасида ўзаро таъсирлашиб, айланиш ўқидан стержен бўйича  $r_1$  ва  $r_2$  масофага силжиб қолади ва марказга интилма тезланиш ( $\alpha = 4\pi^2 v^2 r$ ) билан ҳаракат қилади.

Натижада алюминий ва пўлат цилиндрлар тезланиши модуллари нисбати айланма ҳаракат радиусларининг нисбати каби ўлчанади, яъни

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_1}{r_2} = 3$$

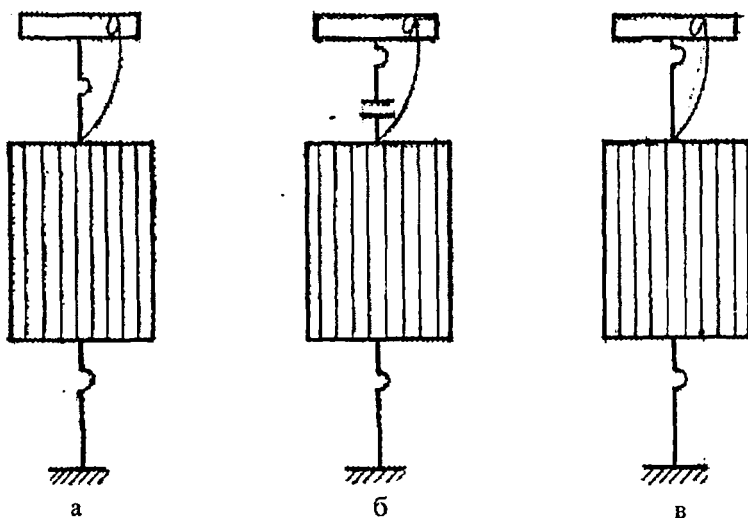
Ўлчашлар бу нисбатнинг 3 га тенглигини исботлади. Тажриба ипнинг узунлиги, стерженнинг вақт бирлигидаги айланиш частотаси ўзгартириб ўтказилганда ҳам тезланишлар ўзгарсада, нисбат ўзгармаслигини кўрсатди. Жисмларнинг

(цилиндрлар) ўзаро таъсирланиш вақти бир хил бўлганлиги сабабли, тезланиши каттароқ бўлган жисмнинг тезлиги кўпроқ ўзгаради деган хулосага келамиз.

Демак, жисмнинг тезлиги бошқа жисмлар билан ўзаро таъсирланганда қанча кам ўзгарса, унинг ҳаракати инерция бўйича тўғри чизиқли текис ҳаракатга яқин бўлади ва инерт жисм дейилади. **Инертлик хоссаси барча жисмларга хос хусусиятдир. Жисмлар ўзаро таъсирлашганда жисм тезлигининг ўзгариши учун маълум вақт керак бўлади.**

Жисмларнинг инертлик хоссасини аниқлаш учун ингичка ипга металл цилиндр осиб, унинг остига худди шуңдай ип боғлаймиз (5.2-расм, а). Тажрибани пастки ипни аста-секин тортиб ўтказсак, ип цилиндр юқорисидан узилади (5.2-расм,б), агар ипни кескин силтаб тортсак юқоридаги ип узилмай, цилиндр пастки қисмидаги ип узилади. (5.2-расм, в). Биринчи ҳолда ип аста-секин тортилганда, тортувчи қўл билан ип орасидаги ўзаро таъсир узокроқ вақт давом этади ва цилиндр шуңдай тезликка эришадики, натижада цилиндрнинг кўчиши тарафланган ипнинг юқоридан узилиши учун етарли бўлади.

Иккинчи ҳолда ип кескин тортилганда, қўл билан ипнинг ўзаро таъсирланиш вақти жуда қисқа бўлиб, цилиндр



5.2-расм.

ўз тезлигини ўзгартиришга улгура олмайди ва ип юқори қисмда узилмайди, чунки цилиндрнинг инертлиги катта. Пастки қисмнинг инертлиги кам бўлганлиги сабабли ипни пастки қисмда тезлик ўзгаради ва ип узилади.

**Жисм инертлиги миқдорини белгиловчи катталик жисмнинг массаси дейилади.**

Масса асосан жисмларнинг бошқа жисмларни тортиши ёки уларга тортилиши (гравитация)да ҳамда уларнинг инерциясида намоён бўлади.

Жисм массасини унинг инертлиги орқали ўлчаш ноқулай бўлганлиги сабабли, масса жисмнинг тезланишларини ўлчаш орқали аниқланади.

Жисмларнинг инертлиги қанча катта бўлса, унинг массаси ҳам шунча ортиқ бўлади ва аксинча. Агар ўзаро таъсирлашувчи жисмларнинг массалари мос ҳолда  $m_1$  ва  $m_2$  бўлса, тезланишлари  $a_1$  ва  $a_2$  бўлса, қуйидаги тенглик ўринли бўлади:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}$$

Ўзаро таъсирлашувчи икки жисм тезланишлари модуларининг нисбати улар массалари нисбатининг тескарисига тенг экан.

Юқоридаги тажрибаларга асосан алюминий цилиндрнинг массаси пўлат цилиндрнинг массасидан уч марта кичик, деган хулосага келамиз.

Жисм массасини ўлчашда, жисм массаси масса эталони билан солиштирилади, яъни масса эталони билан ўлчанадиган жисм ўзаро таъсирлашуви натижасида жисмларнинг тезланиши ўлчанади ва қуйидаги тенгликни ёзиш мумкин бўлади:

$$\frac{a_{\text{ЭТ}}}{a_{\text{Ж}}} = \frac{m_{\text{Ж}}}{m_{\text{ЭТ}}} \quad m_{\text{Ж}} = \frac{a_{\text{ЭТ}}}{a_{\text{Ж}}} m_{\text{ЭТ}}$$

Формулада  $m_{\text{Ж}}$  ва  $a_{\text{Ж}}$  — жисмнинг массаси ва тезланиши модули;

$m_{\text{ЭТ}}$  ва  $a_{\text{ЭТ}}$  — эталон массаси ва эталон тезланиши.  $m_{\text{ЭТ}} = 1$

бўлгани сабабли,  $m_{\text{Ж}} = \frac{a_{\text{ЭТ}}}{a_{\text{Ж}}}$  бўлади.

Масса бирлиги учун 1 килограмм (кг) қабул қилинган. Етарлича аниқлик билан айтиш мумкинки, 15 ° С ҳароратда 1 литр (дм<sup>3</sup>) тоза сувнинг массаси 1 кг бўлади.

Амалда жисмларнинг массаси тарози ёрдамида таққосланади. Бу усул жисмларнинг Ер билан ўзаро таъсирлашиши хоссасига асосланган. Маълумки, Ернинг тортиш кучи таъсирида жисмларнинг эркин тушиши тезланиши Ер юзининг ҳар бир нуқтасида ўзгармас катталиқ бўлади, яъни  $g = \text{const}$ .

М массали жисмга  $P = mg$  оғирлик кучи таъсир этганлиги туфайли, тарози палласига қўйилган жисм паллани оғирлик кучига тенг куч билан босади, демак, икки жисм массаларининг нисбати улар оғирликларининг нисбати кўринишида ёзилади.

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\bar{P}_1}{\bar{P}_2}$$

Масса скаляр катталиқ. Оғирлик эса вектор катталиқ ва бу вектор катталиқ эркин тушиши тезланиши йўналишида Ернинг маркази томон йўналган бўлади.

## 23-§. КУЧ. НЬЮТОННИНГ ИККИНЧИ ҚОНУНИ

Табиатан тинч турган ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилаётган эркин жисм бошқа жисмлар билан таъсирлашганда динамиканинг биринчи қонунига кўра ўз ҳолатини ўзгартиради, ammo 1 қонун бу ўзгариш сабабларини очиб бера олмайди. Тинч турган жисмни бошқа жисм таъсири натижасида ҳаракатга келтирилса, жисм тезлиги полдан маълум миқдорга ўзгаради. Тезликнинг ўзгариши натижасида жисм тезланишли ҳаракат қилади. Жисмларга бериладиган тезланишнинг сабабчиси кучдир.

Куч фақат жисм тезлигини ўзгартириб қолмай, балки у жисмнинг тинч ёки ҳаракат ҳолатининг ўзгаришига сабабчи бўлади.

Куч жисмнинг тезланиш олишига сабаб бўлади, деган хулоса кучнинг моҳиятини тўла ифодалаб бермайди, чунки жисм куч таъсирида деформацияга учраб, ўз шаклини ёки ҳажмини ўзгартиради. Масалан, металдан ясалган пружина ёки ҳаво тўлдирилган шар ташқи куч таъсирида деформацияга учрайди.

Куч таъсирининг мувозанатлашишига Ер сиртида тинч турган жисм мисол бўлади. Бу жисмга пастга йўналган оғирлик кучи билан бир қаторда жисмнинг Ерга нисбатан тинч туриши учун мазкур жисмга юқорига йўналган ва миқдор жиҳатдан оғирлик кучига айнап тенг бўлган таянч (реакция) кучи таъсир қилишидир.

Кучни ўлчаш учун пружинанинг ташқи куч таъсирида чўзилиши ёки сиқилишини ифодаловчи сон қиймати эталон сифатида қабул қилинган асбоб ишлатилади. Бу асбоб динамометр деб аталади.

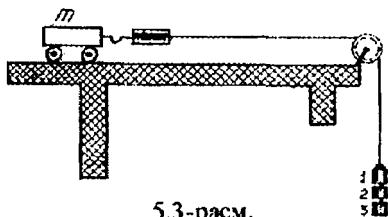
Физиканинг механика бўлимида эластиклик кучи, оғирлик кучи ва ишқаланиш кучлари ўрганилади. Бу кучлар ҳақида кейинги параграфларда батафсил тўхталиб ўтамиз.

Энди Ньютоннинг иккинчи қонунини таҳлил қилишга ўтамиз. Бу қонунни ҳам бевосита мантиқий асосда ёки алоҳида тажрибалар асосида келтириб чиқариб бўлмайди. Бу қонун ўз моҳияти билан инсониятнинг кўп асрлик тажрибалари ва далиллари асосида исботланган.

Динамиканинг иккинчи қонунини қуйида келтирилган тажрибаларни ўрганиб тушунтириш мумкин:

**1-тажриба:** а) горизонтал ўрнатилган столнинг силлиқ сиртига аравача ўрнатамиз. Аравачанинг **бир** томониغا ўрнатилган илгақдан ип билан динамометр боғлаб, динамометрнинг иккинчи учини ип орқали столнинг охирига ўрнатилган вазинсиз блокдан ўтказиб, унинг учига тарози тошлари қўйиш учун паллача ўрнатамиз (5.3-расм).

Аравачанинг массасини ўзгартирмасдан ( $m = \text{const}$ ), тарози паллачасига тош қўйиб, аравачани ҳаракатга келтирамиз. Унинг бир хил вақт оралиғида босиб ўтган йўллари-ни ўлчаб, аравачанинг тезланиши топилади.



5.3-расм.

б) аравача массаси ўзгартирилмай, тарози ва паллага қўйилган тошни икки марта, сўнгра уч марта орттириб, аравачанинг олган тезланишлари ҳам мос равишда ортиб бориши кузатилади. Тажриба асосида қуйидаги хулосага келамиз: ўзгармас массали аравачанинг ҳаракат тезланиши унга таъсир қилувчи кучга тўғри пропорционалдир

$$a \sim F \quad (m = \text{const}).$$

**2-тажриба:** а) таъсир этувчи кучни ўзгармас ҳолда сақлаб ( $F = \text{const}$ ), аравачанинг ҳаракат тезланишини аниқлаймиз.

б) таъсир этувчи куч ўзгармас ( $F = \text{const}$ , палладаги тош битта) сақланиб, аравачанинг массасини икки марта, уч марта орттирамиз (бир хил массали аравачалардан иккитасини, учтасини устма-уст қўямиз) ва аравачанинг тезланишини ҳам аниқлаймиз. Олинган натижа аравача массасининг орттириб бориш билан унинг тезланиши мос равишда камайиб боришини кўрсатади.

Демак, аравачага ўзгармас куч таъсирида бериладиган тезланиш массага тесқари пропорционал экан

$$a \sim \frac{1}{m} \quad (F = \text{const}).$$

Тажриба натижаларини умумлаштириб, аравачанинг тезланиши унга таъсир қилаётган кучга тўғри пропорционал бўлади, деган хулосага келинади.

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

Пропорционаллик белгисидан тенглик белгисига ўтиш учун  $k$  пропорционаллик коэффиценти киритилади:

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

Халқаро бирликлар системасида пропорционаллик коэффиценти  $k=1$  га тенг деб қабул қилингани учун бу формула

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

Агар тезланиш йўналиши жисмга таъсир қилаётган куч йўналиши билан бир хил бўлса, у ҳолда формулани вектор шаклида ёзиш мумкин:

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

Бу Ньютон (динамика)нинг иккинчи қонунини ифодасидир. **Таъриф:** Жисмнинг бошқа жисм билан ўзаро таъсирлашиш натижасида олган тезланиши унга таъсир қилаётган кучга тўғри пропорционал ва унинг массасига тескари пропорционал.

Ньютоннинг иккинчи қонунидан жисмга таъсир этувчи куч  $F=ma$  куйидаги формула ёрдамида топилади:

Жисмга таъсир этувчи куч жисм массасининг шу куч берган тезланиш кўпайтмасига тенг.

Ньютоннинг иккинчи қонунидан фойдаланиб, халқаро бирликлар системасида куч бирлигини аниқлайлик, массаси  $m=1$  кг бўлган жисмга куч таъсири йўналишида  $1$  м/с<sup>2</sup> тезланиш берувчи куч қиймати қабул қилиниб, бу куч бирлигига ньютон (Н) дейилади.

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \times 1 \text{ м/с}^2 = 1 \text{ кг м/с}^2$$

Ньютоннинг иккинчи қонуни хулосалари:

1. Куч жисм тинч ҳолатда ёки ҳаракат ҳолатида, бўлишидан қатъи назар куч таъсирида жисм тезлиги ўзгариб, тезланиш ҳосил бўлади.

2. Жисм текис тезланувчан ҳаракат қилганда, куч ва тезланиш ўзгармас бўлади ( $F = \text{const}$ ,  $a = \text{const}$ ).

3. Жисмга бир неча куч таъсир этса, у ҳар бир куч йўналишида худди бошқа кучлар таъсир этмагандек, маълум тезланишга эга бўлади (кучларнинг мустақиллик принципи)

$$\vec{a} = \vec{a}_1 + \vec{a}_2 + \vec{a}_3 + \dots + \vec{a}_n$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_1}{m} + \frac{\vec{F}_2}{m} + \frac{\vec{F}_3}{m} + \dots + \frac{\vec{F}_n}{m} = \frac{\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_n}{m} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Куч вектор катталиқ, масса эса скаляр катталиқ эканлигини эслатиб ўтамиз.

## 24-§. НЬЮТОННИНГ УЧИНЧИ ҚОНУНИ

Ньютон қонунларининг мазмуни ва физик моҳиятини яхши ўзлаштириш учун бу қонунларнинг ўзаро боғлиқ эканини яна бир бор таъкидлаб ўтамиз.

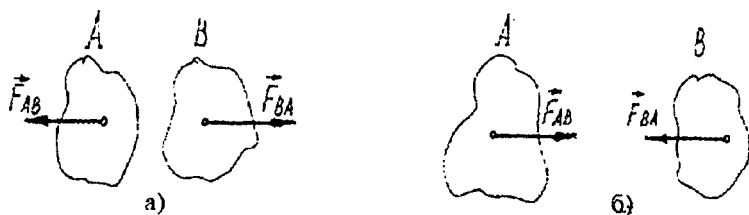
Биринчи қонунга кўра бирорга жисмга бошқа жисм таъсир қилмагунча (дастлабки вазиятидан чиқармагунча) у ўзининг нисбий тинч ҳолатини ёки тўғри чизиқли ва текис ҳаракатини сақтайди.

Иккинчи қонун биринчи қонунни тўлдириб, ўзаро таъсир натижасида жисм кучга пропорционал бўлган ва жисм массасига тескари пропорционал бўлган тезланиш олади.

Биринчи қонун ҳам, иккинчи қонун ҳам жисмлар ўзаро таъсирлашганда, иккинчи жисм таъсирининг моҳиятини очиб бермайди. Бу саволга Ньютоннинг учинчи қонунидан жавоб топамиз. Икки жисм ўзаро таъсирлашганда биринчи жисм иккинчи жисмга бирор куч билан таъсир этса, у ҳолда иккинчи жисм ҳам биринчи жисмга қандайдир куч билан таъсир этади. Бунда: 1) икки жисм (АВ) таъсирлашганда икки куч вужудга келади ва бу кучлар шу жисмларнинг ҳар бирига қўйилган бўлади;

2) бу кучлар бир тўғри чизиқ бўйлаб қарама-қарши томонга йunalган бўлади;

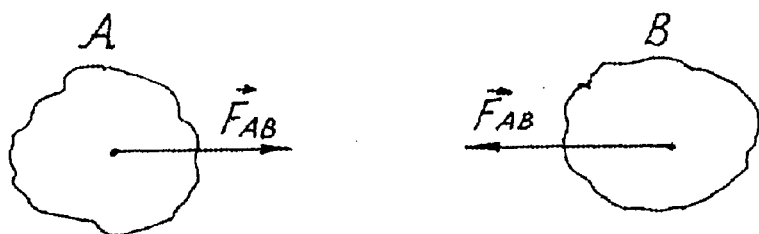
3) кучларнинг абсолют қийматлари ўзаро тенг бўлади (5.4-расм а,б, ва 5.5-расм).



5.4-расм.

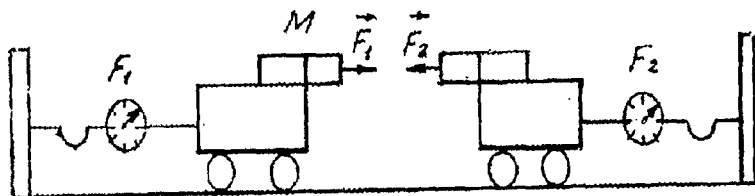
Мисол учун, силлиқ горизонтал ҳолатда турган тахта устига иккита бир хил аравачаларни ўрнатиб, аравачаларнинг биринчисининг устига магнит, иккинчисининг устига темир парчасини жойлаштирамиз. Аравачалар эса иккита бир хил динамометрлар орқали тахтачанинг четки қисмларига вертикал ҳолатда маҳкамланган устунчаларга бириктирилади. Тажириба асосига аравачалар бир-бири томон ҳаракатланганда иккала динамометр кўрсаткичи ҳам бир хил сонни кўрсатишига ишонч ҳосил қилинади, яъни  $F_1 = F_2$  (5.6-расм).





5.5-расм.

Демак, магнит темир парчасини қандай куч билан ўзи томонга тортса темир парчаси ҳам магнитни шундай куч билан ўзи томон тортади.



5.6-расм.

Биз столнинг четки қисмига кафтимиз билан боссак, кафтимиз қизариб чуқурча ҳосил бўлади, бунда қўлимизнинг таъсир кучига (босим) кучи стол қирғоғи ҳам у шундай куч билан таъсир этади (бу куч таъсирини кафтимизда ҳосил бўлган оғриқ орқали сезамиз).

Шунингдек, Ер сиртида ҳаракат қилаётган одам Ерни куч билан орқага итарса, Ер ҳам ўз навбатида одамга таъсир этиб одамни олдинга ҳаракат қилдиради. Бу кучлар миқдор жиҳатидан тенг, аммо қарама- қарши йўналган. Одам ва Ернинг бу кучлар таъсирида олган тезланишлари, уларнинг массаларига нисбатан жуда катта бўлганлиги сабабли Ер амалда ҳаракатсиз қолади.

Кучларнинг ўзаро тенглигидан:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad m_1 \vec{a}_1 = -m_2 \vec{a}_2 \quad \left( \frac{m_1}{m_2} = -\frac{\vec{a}_2}{\vec{a}_1} \right)$$

ва

$$\vec{a}_1 = -\frac{m_2}{m_1} \vec{a}_2 \text{ ифодаларни ёзиш мумкин.}$$

Жисмлар ўзаро таъсирлашганда кучларни алоҳида-алоҳида жисмларга қўйилишини эътиборга олишни таъкидаемиз, чунки бу кучлар бир-бирини мувозанатламайди. Хулоса қилиб, Нютоннинг таърифини берамиз: **Ҳар қандай икки жисм бир-бирига соң жиҳатидан тенг ва битта тўғри чизиқ бўйлаб қарама-қарши томонга йўналган кучлар билан таъсир қилади.**

Нютон ўзаро таъсир кучларидан бирини таъсир, иккинчисини эса акс таъсир деб номланган. Бундай номлаш шартли бўлиб, аслида ҳар иккала кучнинг табиати бир хил бўлади. Шунинг учун учинчи қонун қуйидагича ҳам таърифланади: **Таъсир доим акс таъсирга тенг ва қарама-қарши йўналган ёки икки жисмнинг таъсири бир-бирига тенг ва қарама-қарши томонга йўналган.**

Нютоннинг қонунида эътироф этилган таъсир ва акс таъсир кучлари бир вақтда пайдо бўлиб, бир вақтда йўқолади, демак, кучларнинг таъсир вақтлари ўзаро тенг  $t_1 = t_{\text{акс}}$ .

Агар  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$  тенглама ўнг томонининг сурат ва махра-

жини вақтга кўпайтирсак, жисм массалари билан тезлик-лари орасидаги боғланиш келиб чиқади

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2 t}{a_1 t} = \frac{V_2}{V_1}; \quad m_1 V_1 = -m_2 V_2.$$

Жисмларнинг ўзаро таъсири туфайли олган тезликлари уларнинг массаларига тескари пропорционал бўлиб, қарама-қарши томонга йўналган бўлади.

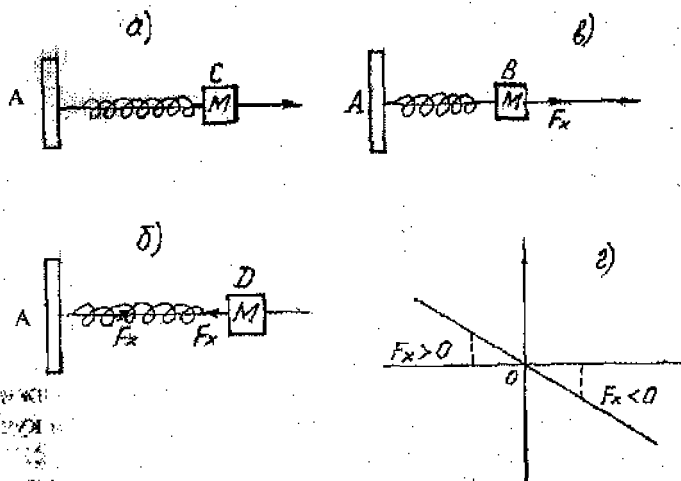
## 25-§. ЭЛАСТИКЛИК КУЧИ. ГУК ҚОНУНИ

Табиатда кучлар ўз хусусиятига кўра хилма-хил бўлса-да, механикада бу кучлар гуруҳга бўлиб ўрганилади:

1) эластиклик (эластик) кучлар-жисмларнинг бевосита таъсирида деформацияланиши сабабли ҳосил бўлади;

2) бир жисмнинг иккинчи жисм сиртида силжишида ҳосил бўладиган ишқаланиш кучлари;

3) жисмларнинг ўзаро таъсири туфайли вужудга келадиган тортишиш кучлари.



5.7-расм. Гук қонуни.

Ташқи куч таъсирида қаттиқ жисмнинг шакли ёки ҳажми ўзгаришига деформация дейилади. Деформация модданинг (жисмнинг) хусусиятига қараб икки хил бўлади: 1) ташқи куч таъсири тўхтагандан сўнг жисмнинг бошланғич ўлчами  $\Delta l$  ёки  $\Delta V$  эластиклик деформацияси, деб аталади;

2) ташқи куч таъсири тўхтагандан кейин ҳам деформация йўқолмаса, **пластик (қолдиқ) деформация** деб аталади.

Амалда жисмларнинг деформацияси пластик деформация бўлади, чунки ташқи кучлар таъсири олингандан кейин у тўла йўқолмайди. Баъзи ҳолларда қолдиқ деформация жуда оз бўлганлиги сабабли ҳисобга олинмайди. Деформациянинг юзага келиш сабабларини кўриб чиқайлик.

Маълумки, қаттиқ жисм зарралари кристал панжарани ташкил қилиб, муайян мувозанат вазияти атрофида тебранма ҳаракат қилади. Жисм чўзилганда унинг зарралари орасида тортишиш кучлари, сиқилганда эса ўзаро итариш кучлари ҳосил бўлади. Бу кучлар ички кучлар бўлиб, жисмнинг ҳажмини ва шаклини ўзгартиришга қаршилик қилади. Ўзаро тортишиш  $F_t$  ва итарилиш  $F_n$  кучларининг тенг

$$F_{\text{эн}} = - F. \quad (4)$$

Лекин қўйилган кучнинг стерженга таъсири механик кучланишга боғлиқ (5.9-расм). Механик кучланиш (зўриқиш) деб, стерженнинг бир бирлик кесим юзига тик равишда таъсир этувчи кучга айтилади ва  $\sigma$  сигма ҳарфи билан белгиланади.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (5)$$

бирлиги Паскаль (Па).

Стерженнинг бошланғич  $l_0$ , куч таъсиридан сўнг деформация натижасида абсолют узайиши  $\Delta l$  бўлса, нисбий узайишини топиш мумкин.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}. \quad (6)$$

Бу формулада  $\varepsilon$  (эпсилон) нисбий узайиш;  $\Delta l$  — абсолют узайиш;  $\Delta l = l - l_0$ .

Деформация вақтида стержен узайса  $\varepsilon > 0$ , сиқилса  $\varepsilon < 0$  бўлади, яъни мос равишда чўзилиш ва сиқилиш деформациялари амалга ошади. Тажриба асосида механик кучланишнинг нисбий узайишга пропорционал эканлиги аниқланади

$$\sigma = E \varepsilon. \quad (7)$$

Бундаги  $E$  пропорционаллик коэффициенти, эластиклик модули ёки Юнг модули деб аталади. Бу катталик модданинг ички тузилиши орқали аниқланган доимий катталикдир. (6) ва (7) формулага асосан  $E$  Юнг модулини ушбу формуладан аниқлаш мумкин:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\frac{\Delta l}{l_0}} \quad (8)$$

(5) формулани (8) формулага қўйсақ, Юнг модули учун қуйидаги формула келиб чиқади:

$$E = \frac{F l_0}{S \Delta l}. \quad (9)$$

Энди Юнг модули  $E$ нинг физик маъносини таърифлаш мумкин: деформацияга учровчи стерженнинг нисбий деформацияси бирга тенг бўлганда ( $\epsilon = 1$ ), стерженнинг узунлигини икки марта узайтириш учун зарур бўлган механик кучланишга миқдор жиҳатидан тенг бўлган физик катталиққа айтилади, яъни  $\epsilon = 1$ ,  $l = 2l_0$  бўлиши учун  $\Delta l = l_0$  тенг бўлиши керак, у ҳолда  $\sigma = E$  келиб чиқади.

Амалда каучук бундай хусусиятига эга ҳалос, бошқа ҳеч қандай материал бу даражада чўзилишга чидамайди.

Охириги (9) формуладан  $F$  кучни аниқлаш мумкин:

$$F = \frac{ES}{l_0} \Delta l = k \Delta l \quad (10)$$

$$\text{Бундан бикирлик} \quad K = \frac{ES}{l_0} \quad (11)$$

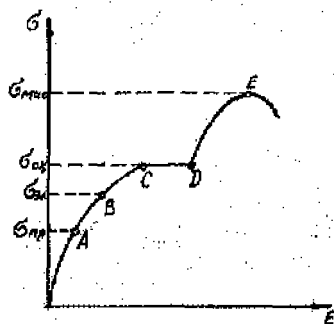
дан топилади.

Жисмга  $F$  куч таъсир қилганда, жисмда шу кучни мувозанатловчи эластиклик кучи ҳосил бўлгунча жисм деформацияланади.

Амалда ташқи куч таъсирида вужудга кела-диган деформация билан куч орасидаги боғланиш анча мураккаб, шунинг учун механик кучланиш билан нисбий узайиш орасидаги боғланишни график равишда тасвирлаб, чўзилиш диа-граммаси берилади.

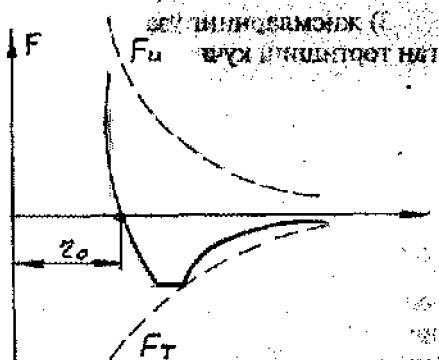
Масалан,  $S$  кесим ва  $l$  узунликка эга бўлган тўғри стержен чўзилганда  $\sigma$  механик кучланишнинг кичик қийматлари стерженнинг  $x = \Delta l$  чўзилиши  $s$  га пропорционал бўлади (5.10-расм)

Диаграмманинг  $OA$  қисми, бунда  $A$  ҳолатдаги кучланишга кучланишнинг пропорционаллик чегараси ( $\sigma_{пр}$ ) тўғри келади. Кучни орттириб, деформация чизиқли бўлмай қолади, стержень тезроқ чўзила бошлайди ( $AB$ ), лекин деформация



5.10-расм.

таъсир этувчиси қўшни молекулалар  $r$  орасидаги масофага молекулаларнинг бири координата бошида, иккинчиси эса ундан  $r$  масофада жойлашган. Мувозанат вазияти  $r_0$  масофага тўғри келади.  $r > r_0$  бўлганда, жисм чўзилиб, заррачалар орасида тортиш кучлари (манфий) ортади.  $r < r_0$  бўлганда, жисм сиқилиб, заррачалар орасида итаришиш кучлари вужудга келади.



5.8-расм.

Жисмларнинг деформацияланишида пайдо бўладиган ва жисм заррачаларининг деформация вақтидаги силжиш (кўчиш) йўналишига қарама-қарши томонга йўналган кучга **эластиклик кучи** деб аталади.

Эластиклик кучлари деформацияга учровчи жисмнинг кўндаланг кесим юзасига, шунингдек, жисм билан туталиш (контакт) жойига таъсир этиб, жисмни деформацияга учратади. Эластиклик кучининг муҳим хусусияти, у ўзаро таъсир этувчи жисмларнинг уриниш сиртига тик йўналишда бўлишидир.

Агар жисм деформация натижасида сиқилган ёки чўзилган бўлса, бу ҳолда эластиклик кучи уларнинг ўқи бўйлаб йўналади.

Инглиз физиги Ньютоннинг сафдоши Роберт Гук эластик деформацияга учраган жисмнинг бир томонлама чўзилишидаги (сиқилишидаги) деформациясининг эластик куч билан боғланишини аниқлаб, тенгламани математик кўринишда, қуйидагича ифодалади:  $F_{\text{эл}} = -kx$  (1)

Гук қонуни. Бу формулада  $F_{\text{эл}}$  — эластиклик кучи;  $x$  — жисмнинг узайиши;  $k$  — жисмнинг ўлчами ва материалига боғлиқ бўлган, пропорционаллик коэффиценти бўлиб, жисмнинг бирлигини ифодалайди. Бирлиги Ньютон тақсим метр (Н/м).

Гук қонуни таърифи: жисмнинг деформацияланишида пайдо бўладиган эластиклик кучи жисмнинг узайишига пропорционал бўлиб, жисм зарраларининг бошқа зарраларга нисбатан кўчиш йўналишига қарама-қарши йўналган.

Энди Гук тажрибаси билан танишиб чиқайлик. Цилиндр шаклидаги пружинанинг симметрик ўқи  $AH$  ўқ (тўғри чи-зиқли) билан мос тушадиган қилиб жойлаштирилиб, пружинанинг бир учи  $A$  таянчга маҳкамланади, иккинчи учига эса  $M$  жисм ўрнатилади. Пружинага куч таъсир этмаганда система  $C$  нуқтада бўлади (5.7-расм, а), бу ҳолат  $X$  координатанинг боши деб олинади. Пружинани куч таъсирида чўзиб нуқтага олиб келинса,  $M$  жисм координатаси  $x > 0$  бўлиб,  $M$  жисмга эластиклик кучи таъсир этади. Бу кучнинг қиймати

$$F_x = -kx < 0. \quad (2)$$

(5.7-расм,б). Пружинани сиқиб, жисм вазиятини  $C$  нуқтага олиб келинса,  $M$  жисмга эластиклик кучи таъсир этади. Жисмнинг бу ҳолда координатаси  $x < 0$  бўлади.

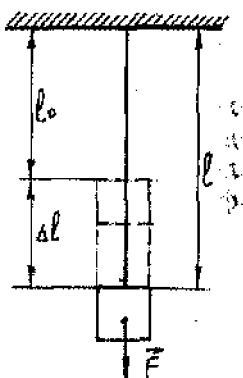
$$F_x = -kx > 0. \quad (3)$$

(5.7-расм, в). Расмдан кўришиб турибдики, пружина чўзилганда ҳам, сиқилганда ҳам эластиклик кучи ҳосил бўлиб, унинг йўналиши доимо мувозанат вазиятни ифода-ловчи  $C$  нуқта томон йўналган бўлади:

(5.7-расм, г)да Гук қонунининг графиги келтирилган. Графикнинг абцисса ўқига  $X$  узайиш, ордината ўқига эластиклик кучи қиймати қўйилган.

Эластиклик кучи билан  $X$  узайиш графиги координата бошидан ўтувчи тўғри чи-зиқдан иборат.

Яна бир тажрибани кўриб чиқайлик. Фараз қилайлик, бир учи осмага маҳкам-ланган ва иккинчи учига юк осилган пўлат сим (стержен) бўлсин. Юкнинг оғирлиги ташқи таъсир этувчи  $F$  кучга тенг деб, бу куч симнинг кўндаланг кесим юзасига перпендикуляр равишда таъсир этсин (5.8-расм).



5.9-расм.

Пўлат сим ташқи куч таъсирида қис-ман чўзилади, лекин шу вақтнинг ўзида ташқи куч йўнали-шига қарши бошланғич узунликни тикловчи эластиклик кучи вужудга келади, яъни:

эластиклик хусусиятини маълум миқдорда сақлайди. В ҳолатга мос келган  $\sigma_{ок}$  кучланиш эластиклик чегараси дейилади. В қисми кичик бўлганлиги сабабли амалда  $\sigma_{гн} < \sigma_{ок}$  дейиш мумкин.

Кучнинг қиймати янада орттириб борилса, қолдиқ деформация юзага келади. ВС қисм ва бу соҳага қолдиқ деформация соҳаси дейилади.

Диаграмманинг СД қисмида куч ортмаса ҳам деформация ўз-ўзидан ортиб боради ва С нуқтадаги  $\sigma_{ок}$  кучланишни оқувчанлик кучланиши, чегарани эса оқиш чегараси дейилади. Бу соҳада график деярли горизонтал бўлади. Д нуқтадан бошлаб эластиклик кучлари яна орта бошлайди. Стержень яна деформациялана бошлайди ( $\sigma > \sigma_{ок}$ ) ва деформация  $\sigma_{муст}$  кучланишгача давом этади.  $\sigma_{муст}$  кучланишга кучланишнинг мустақамлик чегараси дейилади.

(Е нуқта). Ташқи куч яна орттирилса, эластиклик кучлари кескин камайиб, стержень қаршиликсиз чўзилади ва тезда узилади.

Эластик деформация хилма-хил бўлади: бир томонлама чўзилиш (сиқилиш), ҳар томонлама чўзилиш (сиқилиш), эгилиш, силжиш ва буралиш.

Бу деформация турлари соф ҳолда учрайвермайди, улар бир неча содда турдаги деформацияларга келтириб ўрганилади.

Масалан, стерженнинг эгилишини бир жинсли бўлмаган чўзилиш ва сиқилишга, буралишни бир жинсли бўлмаган силжишга ва бошқалар.

## 26-§. БУТУН ОЛАМ ТОРТИШИШ ҚОНУНИ

Динамика қонунларининг асосчиси Ньютон осмон жисмларининг ҳаракатини ўрганиш даврида нима сабабдан бу жисмлар ўртасида тортишиш кучи ҳосил бўлади, деган саволга жавоб беришга ҳаракат қилди.

Ньютон Ернинг йўлдоши Ой нима сабабдан Ер атрофида айланма орбита бўйича ҳаракат қилади, шунингдек, нима сабабдан жисмларнинг эркин тушиш тезланиши ҳамма жисмлар учун бир хил бўлади ва жисм массасига боғлиқ эмас, динамиканинг иккинчи қонунига асосан тезланиш

массасига тескари пропорционал  $\left( a = \frac{F}{m} \right)$  бўлади?

■ ■ ■



Бу саволларга Ньютон ўз мулоҳазаларига таяниб қуйидагича жавоб берди: 1) барча жисмлар Ерга тортилиши натижасида Ерга тушади. Ҳар қандай жисм Ер сиртида бўлса, албатта, унга Ернинг тортилиш кучи таъсир этиши билан бир қаторда жисм ҳам Ерни шундай куч билан тортади. 2) Ойнинг айланма орбита бўйича ҳаракат қилишини аниқлаш учун Ойнинг марказга интилма тезланишини аниқлади. Маълумки, Ер сиртида эркин тушиш тезланиш  $g=9,8$

м/с<sup>2</sup> га тенг. Марказга интилма тезланиши  $a = \frac{V^2}{R}$  формуладан топиш мумкин. Ой айланишининг чизиқли тезлиги

$V = \frac{2\pi R}{T}$  ҳисобга олинса,  $a = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$  бўлади. Ой Ер марказидан 385000 км масофада бўлиб, бу масофа Ер радиусидан 60 марта катта (Ер радиуси 6380 км) Ойнинг Ер атрофини айланиб чиқиш даври тахминан  $T_{\text{ой}} = 27,3$  сутка эканлигини ҳисобга олсак:

$$a_{\text{ой}} = \frac{4 \times 9,8 \times 60 \times 6380 \times 10^3 \text{ м}}{(27,3 \times 24 \times 3600 \text{ с})^2} = \frac{9,8 \text{ м}}{3600 \text{ с}^2} = \frac{1}{3600} g = 27,3 \times 10^{-2} \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

Демак, Ер сиртида турган жисмга нисбатан Ойнинг марказга интилма тезланиши  $1/3600$  кичик экан, яъни тортилиш кучи 3600 марта кам бўлар экан. Ой орбитаси радиусининг квадрати Ер радиусининг квадратиغا нисбатан 3600 га тенг:

$$\frac{R^2}{R_{\text{Ер}}^2} = \frac{(60 R_{\text{Ер}})^2}{R_{\text{Ер}}^2} = 3600$$

Шундай қилиб, Ойнинг Ерга тортилиш кучи улар орасидаги масофа квадратиغا тесқари пропорционал бўлиши келиб чиқади

$$F_a \sim \frac{1}{R_a^2}$$

Юқорида келтирилган далилларга асосланиб. Ньютон қуйидаги хулосага келди:

$$F_{\text{ой}} \sim m_{\text{ой}};$$

$$F_{\text{ой}} \sim m_{\text{сп}};$$

$$F_{\text{ой}} \sim F_{\text{сп}};$$

$$F_{\text{сп}} \sim m_{\text{сп}};$$

$$F_{\text{о}} \sim \frac{1}{R^2_{\text{о}}};$$

$$F_{\text{ой}} \sim \frac{m_{\text{о}} m_{\text{сп}}}{R^2_{\text{о}}},$$

бундан тенглик белгисига ўтсак

$$F = G \frac{m_{\text{о}} \cdot m_{\text{сп}}}{R^2_{\text{о}}}.$$

Кейинчалик Ньютон ўзи аниқлаган формула ёрдамида жисмнинг ўлчамлари улар орасидаги масофага нисбатан жуда кичик бўлган исталган жисмларнинг ўзаро тортиш кучини ҳисоблаш мумкин деган ғояни илгари суриб, бутун олам тортишиш қонунини кашф этди. Ньютон томонидан бу қонунни кашф этиш ишлари 1667 йили бошланиб 1685 йили тўлиқ тасдиқланди.

Бутун олам тортишиш қонуни таърифи:

Икки жисм (моддий нуқта деб қараш мумкин бўлган), бир-бирига ўзаро туташтирувчи тўғри чизиқ бўйлаб йўналган, уларнинг массалари кўпайтмасига тўғри ва улар орасидаги масофанинг квадратиغا тескари пропорционал бўлган куч билан тортади:

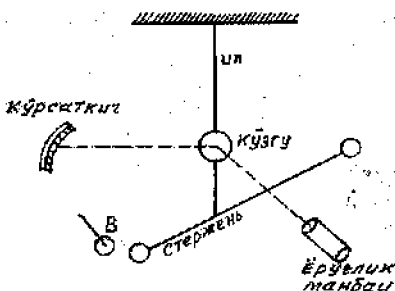
$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

Формулада  $G$  — гравитацион доимий ёки бутун олам тортишиш доимийси бўлиб, унинг физик маъноси қуйидагича:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2} \text{ дан } G = \frac{FR^2}{m_1 m_2}.$$

Айтайлик, массалари 1 кг дан бўлган икки жисм бир-биридан 1 м масофада турган бўлса, улар орасидаги тортишиш кучи сон жиҳатидан  $[G] = 1 \text{ Нм}^2/\text{кг}^2$  бўлади. 1798 йили инглиз физиги Г.Кавендиш биринчи марта тажрибада бутун олам тортишиш қонунининг Ердаги жисмлар учун тўғри

эканлигини исбот қилди ва гравитацион доимийсини тажрибада аниқлади. Кавендиш тажрибасининг схемаси 5.11-расмда келтирилган. Иккита бир хил массали стерженга шарлар ўрнатилган бўлиб, стерженнинг ўртасидан ингичка эластик ил ёрдамида кўзгу орқали осмага маҳкамланган. Стерженга



5.11-расм.

ўрнатилган шарлардан бирига В шар яқинлаштирилганда гравитацион тортишиш куч таъсирида стержендаги шарни ҳаракатга келтириб, ипни бўрилишига мажбур этади.

Буралиш натижасида шарнинг силжишини ёруғлик манбаи орқали Кўзгуга тушаётган ёруғлик нурлари дастаси ёрдамида кўрсаткичдан аниқланади. Ўлчаш кўзгуга тушаётган ёруғлик нурлари кўзгудан қайтиб, кўрсаткичга тушишига асосланган. Тажриба ёрдамида Кавендиш Нютоннинг жисмларнинг бир-бирига тортилиши ғоясини исботлабгина қолмай, жуда яхши аниқликда қуйидаги катталикларни ( $F$ ,  $m$ ,  $r$ ) ўлчади ва гравитацион доимийсининг сон қийматини ҳисоблаб чиқди.

$$G = (6,720 \pm 0,0041) \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2 / \text{кг}^2 \quad \text{ёки}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Нм}^2 / \text{кг}^2$$

Бу қиймат жуда кичик бўлганлиги сабабли, биз аτροφимиздаги жисмлар ўртасидаги тортишиш, ўзимиз ҳам уларга тортилишимизни сезмаймиз.

Маълумки, бутун олам тортишиш қонуни асосан бир тўғри чизиқда жойлашган жисмлар учун келтириб чиқарилган (Кўёш ва планеталар ҳаракати мисолида). Сизларга эслатма сифатида қуйидаги маълумотларни берамиз: Ҳар 800 йилда бир марта Ер, Марс ва Юпитер планеталари бир тўғри чизиқда жойлашади. Бу кун дунёга машҳур кишилар туғилганлар: Искандар Зулқарнайн (Александр Македонский), ўзбек халқининг буюк саркардаси Соҳибқирон Амир Темур ва дунёнинг охириги пайғамбари Муҳаммад Мустафо (Алайҳиссалом).

Шунингдек, ҳар 2000 минг йилда бир марта Ер, Зухра, Юпитер планеталари бир тўғри чизиқда бўлади. Бу кун ҳам

дунёга энг машхур кишилар келишади (охирги тўғри чиқиққа тўғри келиш 1999 йилда кузатилди) .

Мазкур инсонларни бу кунларда дунёга келиши сабаблари ҳозирча фанда ўрганилмаган, бу туғилишларни бутун олам тортишиш қонунига боғлиқлиги борми, бу ҳозирча муаммодир.

Хулоса қилиб, коинотдаги ҳамма жисмлар бир-бирига тортилади. Ҳар бир жисмнинг атрофида ўзига хос бўлган тортишиш майдони ҳосил бўлади. Бу майдон таъсири жисмга яқинлашганда кучаяди, узоқлашганда эса кучсизланиб боради. Майдон таъсири жисм массасига боғлиқ, жисм массаси ортиб бориши билан тортишиш майдони таъсири ортиб боради. Бу майдоннинг ажойиб хусусияти молдалардан поэрон (текис) ўғишдир. Жисм массаси жисмнинг инертлик хоссаларини ифодалаш билан бир қаторда, ўзаро тортишиш хусусиятини ҳам ифодалайди, яъни гравитацион массани (оғир массани). Демак, масса бир вақтда жисмларнинг инертлик ўлчови сифатида ҳам, жисмлар тортишишининг (гравитацияси) ўлчови сифатида ҳам намоён бўлади.

## **27-§. ОҒИРЛИК КУЧИ ВА ЖИСМНИНГ ВАЗНИ. ВАЗНСИЗЛИК**

Ер сирти яқинида жойланган барча жисмлар бир хил тезланиш билан Ерга тушади. Бу тезланишнинг қиймати  $9,8 \text{ м/с}^2$  бўлиб, эркин тушиш тезланиши деб аталади. Маълумки, Ер билан боғланган саноқ системаларида ҳар қандай жисмга

$$P = mg \quad (1)$$

куч таъсир этади. Бу кучга оғирлик кучи деб аталади. Оғирлик кучи тахминан Ер томонидан жисмга таъсир этувчи тортиш кучига тенг. Ер билан боғлиқ саноқ системалари тўлиқ инерциал бўлмаганлиги сабабли оғирлик кучи билан тортилиш кучи орасида тахминан  $0,36 \%$  фарқ вужудга келади, аммо бу фарқ кичик бўлганлиги сабабли оғирлик кучини Ерга тортилиш кучига тенг деб олиш мумкин. У ҳолда, Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан жисмнинг эркин тушиш тезланишини қуйидагича топиш мумкин:

$$g = \frac{P}{m} = \frac{F_T}{m} = \frac{G \frac{M \cdot m}{R^2}}{m} = G \frac{M}{R^2} \quad (2)$$

Формуладан кўриниб турибдики, жисм эркин тушиш тезланиши жисм массасига боғлиқ эмас, ҳамма жисмлар учун бир хилдир.

Жисм Ер сиртидан маълум баландликка кўтарилиши натижасида оғирлик кучи ҳам ўзгаради, бинобарин, эркин тушиш тезланиши ҳам ўзгаради. Агар жисм Ер сиртидан  $h$  баландликда турган бўлса, унинг  $P_h$  оғирлик кучи қуйидагига тенг бўлади:

$$P_h = mg_h = G \frac{M_{Er}}{(R_{Er} + h)^2} \quad (3)$$

Жисм бирор осмага осиб қўйилса (5.12-расм,а) ёки таянч устига қўйилса (5.12-расм.б), у Ерга нисбатан тинч ҳолатда бўлади. Бу ҳолда оғирлик кучи османинг ёки таянчнинг  $R$  реакция кучи билан мувозанатланади.

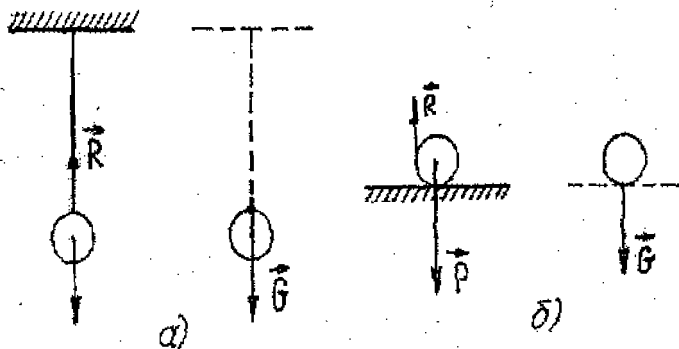
Мазкур жисм динамиканинг учинчи қонунига кўра осмага ёки таянчга  $G$  куч билан таъсир қилади ва унга жисмнинг вазни деб аталади.

Жисмнинг вазни (оғирлиги) деб, Ерга тортилиши туфайли жисм томонидан осмага ёки таянчга таъсир қилаётган кучга айтилади.

5.12 а, б-расмдан кўриниб турибдики,  $P = -R$  бўлади. Ньютоннинг учинчи қонунига асосан эса  $G = -R$  тенглик ҳам ўринли (осма ва жисмга қўйилган кучлар). Ҳар иккала тенгликдан  $G = P = mg$  муносабатни ёзиш мумкин. Демак, жисмнинг тинч ҳолатдаги вазни билан  $P$  оғирлик кучи ўзаро тенг бўлади. Амалда жисмнинг вазни таянчга ёки осмага, оғирлик кучи эса жисмга қўйилган бўлади. Агар осма ёки таянч Ерга нисбатан тезланиш билан ҳаракатланса, жисмнинг вазни оғирлик кучига тенг бўлмайди.

Мисол учун жисм пружинали тарозига осиб қўйилган бўлса, унга оғирлик кучи  $P = mg$  ва пружинанинг эластиклик кучи  $F_{сп} = \times kx$  таъсир этади. Жисм эркин тушиш тезланишга нисбатан тик йўналишда юқорига ва pastга ҳаракат

қилади. У ҳолда Ньютоннинг II қонунига биноан  $ma = P + F_{\text{эл}}$  тенгламани ёзиш мумкин.



5.12-расм.

Бунда жисм вазни тенг бўлади ва  $mg - ma = -F_{\text{эл}}$  муносабатни ёзиш мумкин. Демак,  $P = m(g - a)$ , бу ҳолда,  $P$  ва  $F_{\text{эл}}$  кучлари тик равишда йўналган жисмнинг олган тезланиши эркин тушиш тезланиши каби пастга йўналган бўлса,  $P = m(g - a)$  формула ўринли бўлиб, жисмнинг тинчликдаги вазнидан жисм вазни кам бўлади. Агар жисмнинг тезланиши эркин тушиш тезланишига қарама-қарши йўналган бўлса,  $P = m(g + a)$  формулага биноан, жисм вазни тинчликдаги вазнидан ортиқ бўлади. Жисм вазнининг таянч ёки османинг тезланувчан ҳаракати туфайли ортиши ўта юкланиш деб аталади.

Ўта юкланиш ҳолатини космонавтлар космик кема кўтарилиши вақтида, космик кема қалин атмосфера қатламига киришида тормозланиш вақтида сезади.



5.13-расм.

Агар жисм таянч ёки осма билан бирга эркин тушса, у ҳолда  $a = g$  бўлади ва  $P = m(g - a)$  формуладан  $P = 0$  келиб чиқади.

Таянчнинг эркин тушиш тезланиши билан ҳаракатланишида жисмнинг вазни нолга тенг бўлган ҳолатга **вазнсизлик** деб аталади.

Вазнсизлик ҳолатида жисмга фақат оғирлик кучи таъсир этади ва куч жисмга  $g$  тезланиш беради. Бу ҳолатда жисм зарралари бир хил тезланиш билан ҳаракат қилгани учун деформацияга учрамайди. Демак, вазнсизлик ҳолатида жисм деформацияга учрамайди. Вазнсизлик ҳолати космик кема двигатели ишдан тўхтаб, Ер атрофида ҳаракат қилаётганда намоён бўлади.

Бу ҳолатда космик кема ва унинг ичидаги барча жисмлар бир хил  $g$  тезланишга эга бўлади.

## 28-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

**1-масала.** Ой ва Ер орбиталарининг радиуслари маълум бўлганда Ой ва Ернинг массаларини таққосланг.

Ер ва Ой ўзаро таъсирланиши ҳисобига Ой ҳам, Ер ҳам марказга интилма тезланиш олиши керак.

Берилган:

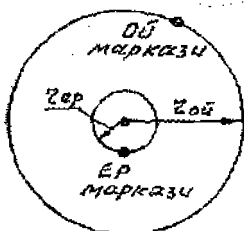
$$r_{\text{ер}} = 4700 \text{ км}$$

$$r_{\text{ой}} = 380000 \text{ км}$$

Топиш керак:

$$m_{\text{ер}}, m_{\text{ой}} - ?$$

Ечиш. Ой Ер таъсирида Ер атрофида ҳаракат қилади, бунда Ернинг маркази Ой орбитасининг қўзғалмас маркази бўлади.



5.14-расм.

Кузатишлардан маълум бўлдики, Ой Ер маркази атрофида ҳаракат қилмай, Ер марказидан 4700 км масофадаги Р нуқта атрофида ҳаракат қилар экан (5.14-расм). Ер маркази ҳам Р нуқта атрофида айлана бўйлаб ҳаракат қилади. Айланма ҳаракат қилаётган жисмлар ўзаро таъсирлашганда қуйидаги муносабат ўринли эди:

$$\frac{a_o}{a_{\text{ер}}} = \frac{r_o}{r_{\text{ер}}}$$

Иккинчи томондан 
$$\frac{a_o}{a_{\text{ер}}} = \frac{m_{\text{ер}}}{m_o} = \frac{r_o}{r_{\text{ер}}}$$

муносабат ҳам ўринли бўлади. Ҳисоблашларни амалга оширсак:

$$\frac{m_{\text{Ер}}}{m_{\text{о}}} = \frac{r_{\text{о}}}{r_{\text{Ер}}} \frac{380000 \text{ км}}{4700 \text{ км}} = 81 \quad \text{нўруқ нў}$$

**Жавоб.** Ернинг массаси Ой массасидан 81 марта катта экан.

**2-масала.** Ер сиртидан Ер радиуси қадар узоқликдаги нуқтада жисмнинг оғирлик кучи неча марта камаяди? Эркин тушиш тезланишичи?

Берилган

$$h = R_{\text{Ер}}$$

Топиш керак:

$$P/P_h - ?$$

$$g/g_h - ?$$

Ечиш. Ер сиртидаги жисмнинг оғирлик кучи бутун олам тортишиш қонунига асосан аниқланади:

$$P = G \frac{M_{\text{Ер}} \cdot m}{R_{\text{Ер}}^2} \quad (1)$$

Шу жисмнинг Ер сиртидан  $h = R_{\text{Ер}}$  баландликдаги оғирлик кучи оса

$$P_h = G \frac{M_{\text{Ер}} \cdot m}{(R_{\text{Ер}} + h)^2} = G \frac{M_{\text{Ер}} \cdot m}{(R_{\text{Ер}} + R_{\text{Ер}})^2} = G \frac{M_{\text{Ер}} \cdot m}{4R_{\text{Ер}}^2} \quad (2)$$

(1) ва (2) формулалардан нисбатни топамиз:

$$\frac{P}{P_h} = \frac{G \frac{M_{\text{Ер}} \cdot m}{R_{\text{Ер}}^2}}{G \frac{M_{\text{Ер}} \cdot m}{4R_{\text{Ер}}^2}} = 4.$$

Оғирлик кучи эркин тушиш тезланиши билан қуйидагича:

$$P = mg \quad (3)$$

$$P_h = mg_h$$

Нисбатларни олсак, муносабатла боғланганлиги учун

$$\frac{g}{g_h} = \frac{P}{P_h} = 4 \quad \text{бўлади.}$$



**Жавоб.** Ер сиртидан  $h = R_p$  баландликдаги оғирлик кучи ҳам, эркин тушиш тезланиши ҳам 4 марта камайар экан.

**3-масала.** Буюк ўзбек алломаси Аҳмад Ал-Фарғоний Ер меридианининг узунлигини ўлчашда маълум географик кенгликдаги  $1^\circ$  ёйнинг узунлигини 102,87 км деб ҳисоблаб, Ер меридианининг узунлигини 40800 км эканини аниқланган, агар Фарғона водийсида  $1^\circ$  узунлиги 115,87 км бўлса, Ер меридиани узунлиги қанча бўлади?

Берилган: $R = 115,87$ км Топиш керак: $L_m$ -?	Ечиш. Масалани ечиш учун $1^\circ$ ёйнинг узунлигини $360^\circ$ га кўпайтириш керак: $L_m = 2\pi R = 360 \cdot 115,87$ км = 41713,2 км. Ҳозирги замон ўлчашларида $L_m = 40000$ км фарқи (41713,2 - 40000) км = 1713,2 км.
--	---

**Жавоб:** 41713,2 км.

**4-масала.** Ер сиртига нисбатан 1700 км баландликда ҳаракат қилаётган сунъий йўлдошнинг тезлиги ва айланиш даври топилсин.

Берилган: $h = 1700$ км = $1,7 \cdot 10^6$ м Топиш керак: $V$ -? $T$ -?	Ечиш. Ер сиртидан маълум баландликда ҳаракат қилаётган сунъий йўлдошга Ернинг тортишиш кучи таъсир қилади.
--	--

$$F = G \frac{mM}{(R+h)^2} \quad (1)$$

Ньютоннинг II қонунига асосан сунъий йўлдош Ер марказига нисбатан ҳаракат қилади.

$$F = ma_{\text{м.и.}} \quad (2)$$

Ёйиш мумкин:  $a_{\text{м.и.}}$  марказга интилма тезланиш.  
 У ҳолда

$$a_{\text{м.и.}} = \frac{V^2}{(R+h)} \quad \frac{V^2}{r} = g \quad (3)$$

$$(1) \text{ ва } (2) \text{ дан } G \frac{mM}{(R+h)^2} = \frac{mV^2}{(R+h)} \quad (4)$$

$$(4) \text{ дан } V^2 = G \frac{M}{R^2} \times \frac{R^2}{R+h} \quad (5)$$

$$(5) \text{ формулада } g = G \frac{M}{R^2} \quad (6)$$

$$\text{эканини ҳисобга олсак, } V^2 = \frac{gR^2}{(R+h)} \quad (7)$$

$$V = R \sqrt{\frac{g}{R+h}} = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м} \times \sqrt{\frac{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{6,37 \cdot 10^6 \text{ м} + 1,7 \cdot 10^6 \text{ м}}} = 7,10 \cdot 10^3 \text{ м/с}$$

Айланиш даврини

$$T = \frac{2\pi(R+h)}{V} \quad (8)$$

дан толамиз.

$$T = \frac{2 \times 3,14 \times (6,37 \times 10^6 \text{ м} + 1,7 \times 10^6 \text{ м})}{7,01 \times 10^3 \text{ м/с}} = 7,24 \times 10^3 \text{ с}$$

Жавоб:  $V = 7,01 \times 10 \text{ м/с}$ ;  $T = 7,24 \times 10^3 \text{ с}$ .

**5-масала.** Агар баъзи планеталарга қараганда жисмнинг вазни кутбга нисбатан экваторда икки марта кам деб ҳисобланса, планетанинг ўз ўқи атрофида айланиш даври қандай бўлади?

Планетадаги модда зичлиги  $3 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$  деб ҳисоблансин.

Берилган:

$$P_{\text{э}} = \frac{P_{\text{к}}}{2}$$

Қа.  $P_{\text{к}}$

Ечиш. Планета сиртида турган

жисмга:  $F$  — планетанинг торти-

$$\rho_s = 3 \times 10^3 \text{ кг / м}^3$$

тортишиш кучи

Топиш керак:

$$F = G \frac{mM}{R^2}. \quad (1)$$

T- ?

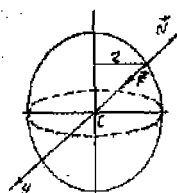
хамда планетанинг нормал реакция кучи N таъсир этади. Планетанинг массаси  $M = \rho V$  (2)

десак, V ҳажм  $\frac{4\pi R^3}{3}$  га тенг бўлади.

У ҳолда

$$M = 4/3 \pi R^3 \rho \quad (3)$$

бўлади.



5.15-расм.

$$F = G \frac{4\pi R^3 \rho m}{3R^2} = \frac{4}{3} \pi G \rho m R \quad (4)$$

Реакция кучи оғирлик кучига тенгдир ва радиус бўйича C планетага йўналган бўлади.

Ньютоннинг II қонунига асосан

$$F - N = m\alpha_y \quad (5)$$

(5) га асосан

$$\frac{4}{3} \pi G m \rho R = m\alpha_y + N \quad (6)$$

ни ёзиш мумкин.

Масалани икки ҳол учун ечамиз:

1) Жисм қутбда турган ҳол учун:

Қутбда  $r = 0$  бўлгани учун чизиқли тезликни топамиз.

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 0 \quad (7)$$

демак, (6) дан

$$\frac{4}{3} \pi G m \rho R - N_k = 0 \quad (8)$$

Бундан

$$N_k = \frac{4}{3} \pi G m \rho R \quad (9)$$

келиб чиқади.

2) Жисм экваторда бўлса,

у ҳолда  $r = R$  ва  $V = \frac{2\pi R}{T}$  десак,

$$\frac{4}{3} \pi G m \rho R - N_s = m \frac{(2\pi R)^2}{RT^2} \quad (10)$$

ни ёзиш мумкин. (10) дан айланиш даври:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R m}{\frac{4}{3} \pi G m \rho R - N_s}} \quad (11)$$

Масала шартига биноан  $P_s = \frac{P_o}{2}$  ва  $P = N$  десак,

(8)  $N_s = \frac{N_k}{2}$  ни ёзиш мумкин. У ҳолда

$$N_s = \frac{2}{3} G \pi m \rho R \quad (12)$$

дан  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 m R}{\frac{4}{3} \pi G \rho m R - \frac{2}{3} G \pi \rho m R}} = \sqrt{\frac{6\pi}{G\rho}} \quad (13)$

келиб чиқади.  $T = \sqrt{\frac{6 \times 3,14}{6,67 \times 10^{-11} \frac{H \times M^2}{кг} \times 3 \times 10^3 \frac{кг}{M^3}}} = 9,7 \times 10^3$

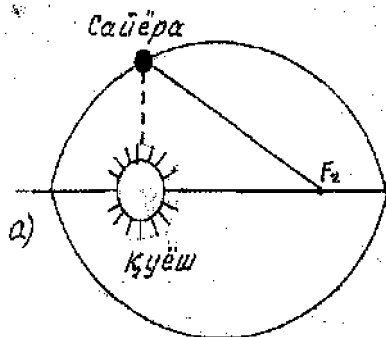
Жавоб:  $T = 9,7 \times 10^3$  с.

## 29- § . ПЛАНЕТАЛАР ҲАРАКАТИ. ЕРНИНГ СУНЪИЙ ЙЎЛДОШЛАРИ. КОСМИК ТЕЗЛИКЛАР

Барча сайёралар Қуёш тизимига биноан Қуёшнинг атрофида эллиптик орбиталар бўйича айланма ҳаракат қиладди. Бу орбиталар деярли бир текисликда жойлашган. Қуёш тизимидаги барча сайёраларнинг табиий йўлдошлари мавжуд. Шу жумладан, Ернинг табиий йўлдоши Ой ҳисобланади. Ҳозирги даврда Ернинг атрофида табиий йўлдошдан ташқари жуда кўп миқдорда сунъий йўлдошлар ҳам ҳаракат қилмоқда.

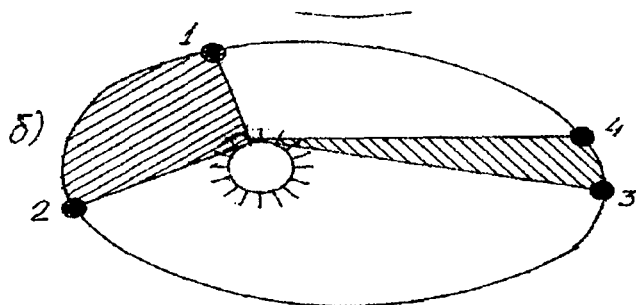
Сайёралар ва уларнинг табиий йўлдошлари ҳамда сунъий йўлдошлар ҳаракати ўртасида умумий қонуният мавжуд бўлиб, бу қонуниятни даниялик астроном Т.Брагге (1546-1601) жуда кўп кузатишларда аниқлаган. XVII асрда эса немис олими И.Кеплер (1571-1630) сайёралар ҳаракатининг қонуниятларини умумлаштириб, ўзининг куйидаги учта қонунини яратди:

1. Барча сайёраларнинг орбиталари эллиписдан иборат бўлиб, унинг бир фокусига Қуёш жойлашган: (5.16-расм, а).



5.16-расм, а.

2. Сайёранинг радиус-вектори тенг вақтлар оралиғида тенг юзалар чизади (5.16-расм, б).

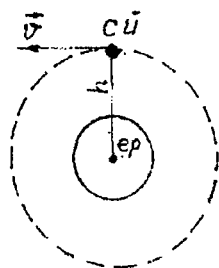


5.16-расм, б.

3. Сайёраларнинг айланиш даврлари квадратларнинг эллиптик орбиталар катта ярим ўқларининг қутбларига нисбати барча сайёралар учун ўзгармасдир.

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3 = \text{const}$$

Куюш тизимидаги сайёраларнинг ҳаракатини ва коинот сирларини ўрганиши учун сайёралар томон ва коинотга Ернинг сунъий йўлдошларини парвоз қилдириш керак бўлади. Бунинг учун сунъий йўлдош Ернинг тортиш кучини енгиб, эллис, парабола ёки гиперболадан иборат траектория бўйича ҳаракат қилиши керак. Бундай ҳаракатни амалга ошириш Ернинг сунъий йўлдошига муайян равишда бошланғич тезлик берилиши лозим.



5.17-расм.

5.17-расмда Ер сиртидан  $h$  баландликда  $V_1$  тезлик билан учирилган Ернинг сунъий йўлдошининг ҳаракати кўрсатилган. Сунъий йўлдош Ернинг тортишиш кучи натижасида  $r = R + h$  орбита бўйича.

Марказга интилма тезланиш олади:

$$a = \frac{V_1^2}{r} = \frac{V_1^2}{R + h} \quad (1)$$

Бу вақтда таъсир этувчи тортиш кучининг модули

$$F_T = G \frac{Mm}{r^2} = G \frac{Mm}{(R+h)^2} \quad (2)$$

формула бўйича аниқланади. Формуладан Нютоннинг иккинчи қонунига асосан  $m$  — йўлдош массаси;  $M$  — Ер массаси.

$$\text{У ҳолда } a = G \frac{M}{(R+h)^2} \quad (3)$$

$$(1) \text{ ва } (3) \text{ формулалардан } \frac{V_1^2}{R+h} = G \frac{M}{(R+h)^2} \text{ га асосан}$$

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M}{R+h}} \quad (4)$$

келиб чиқади. (4) формула ёрдамида Ер сиртидан  $h$  баландликда учирилган йўлдошнинг биринчи космик тезлиги топилади. Ер сиртида  $h=0$  бўлганлиги учун биринчи космос тезлиги қўйиллагича топилади:

$$V_1 = \sqrt{G \frac{M}{R}} \quad (4)$$

Ер сиртида жисмнинг эркин тушиш тезлиниши

$$g = G \frac{M}{R^2} \text{ эканлигини ҳисобга олсак, шунингдек, } gR = G \frac{M}{R}$$

га эътибор берсак, биринчи космик тезлик формуласини  $V_1 = \sqrt{gR}$  (6)

кўринишда ёзиш мумкин.

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2 \text{ ва } R = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м дэб,}$$

$$V_1 = \sqrt{gR} = \sqrt{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 6,4 \times 10^6 \text{ м}} \cong 7,9 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

қийматни аниқлаймиз. Бу тезлик биринчи космик тезлигидир. Бундай тезликка эришган Ернинг сунъий йўлдоши Ернинг тортиш кучи таъсирида Ер орбитасида айланма ҳаракат қила-

ди. Ер тортиш кучини енгиб, Куёшнинг сунъий йўлдошига айланиши учун йўлдошга (ракетага) иккинчи космик тезлик берилиши керак. Бундай тезликка эришиш учун йўлдошнинг тўла энергиясини аниқлаш керак, яъни

$$W_T = \frac{mV_2^2}{2} - G \frac{M_{\text{еп}} m}{R} = 0 \quad (7)$$

Бундан

$$\frac{mV_2^2}{2} = G \frac{M_{\text{еп}} m}{R} \quad \text{ва} \quad V_2^2 = \frac{2GM_{\text{еп}}}{R} \quad (8)$$

келиб чиқади. Бу ҳолда Ернинг ўз ўқи атрофида айланиш натижасида вужудга келадиган марказдан қочма куч ҳисобга олинамасигина Ернинг тортиш кучи йўлдошга таъсир этувчи кучга тенг бўлади.

$$G \frac{M_{\text{еп}} m}{R^2} = mg \quad G \frac{M_{\text{еп}}}{R} = gR \quad (9)$$

(8) ва (9) дан иккинчи космик тезликни ҳисоблаб топish мумкин

$$V_2 = \sqrt{2gR} = \sqrt{2} \sqrt{gR} = \sqrt{2} V_1 = 1,41 V_1 = 1,2 \frac{\text{км}}{\text{с}} \quad (10)$$

Бундан ташқари, учинчи космик тезлик ҳам мавжуд бўлиб, бу тезликка эришган йўлдош (ракета) Ер ва Куёшнинг тортиш кучини енгиб, Куёш доирасидан чиқиб кетиши керак. Бунинг учун йўлдошнинг Ер сиртидаги бошланғич тезлигини аниқлаш зарур бўлади. Бунинг учун Куёшнинг массаси  $M = 1,97 \times 10^{30}$  кг, Ернинг Куёш атрофидаги ҳаракат орбитаси радиусининг ўртача қиймати

$$R_{\text{еп}}^k = 1,5 \times 10^{11} \text{ км} \quad (11)$$

ҳисобга олиб, формула ёрдамида топилади, яъни

$$V_3^1 = \sqrt{2 \frac{GM}{R_{\text{еп}}^k}} = \sqrt{2 \frac{6,67 \times 10^{-11} \times 1,97 \times 10^{30}}{1,5 \times 10^{11}}} \frac{\text{км}}{\text{с}} = 42,2 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$



Бу олинган натижа Ер қўзғалмас бўлганда ўринлидир. Аммо Ернинг ўз орбитасидаги ўртача тезлиги  $V_{cp} = 29,8 \text{ км/с}$  га тенглигини эътироф этиб, бошланғич тезлик билан Ернинг ўз орбитасидаги ўртача тезлигининг вектори бир хил йўналган бўлса, йўлдошнинг Ер орбитасидан чиқиб кетишининг энг кичик тезлиги келиб чиқади, яъни

$$V^k = V_3^1 - V_{Er} = (42,2 - 29,8) \frac{\text{км}}{\text{с}} = 12,4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

Амалда учинчи космик тезлик  $V_3 = 16,7 \text{ км/с}$  га тенг. Учинчи космик тезлик, сунъий йўлдошларнинг тезлиги Ернинг ўз орбитасидаги ҳаракат йўналишига нисбатан қандай бурчак бўйича ҳаракат қилишга боғлиқ равишда учинчи космик тезлик  $16,7 \text{ км/с}$  дан  $73 \text{ км/с}$  гача ўзгариши мумкин.

Танишиш сифатида тўртинчи космик тезликни сизларга эслатиб ўтамиз. Бундай тезликка эришган сунъий йўлдош Галактиканинг тортиш кучини енгиб, коинотга чиқиб кетиши керак. Тўртинчи тезликни ҳисоблаш анча мураккаб, Куёшнинг орбитадаги тезлиги  $V_k = 220 \text{ км/с}$  эканлиги ҳисобга олинса, Галактика марказида юлдуз тезлиги  $V_{\text{ю}} = 185 \text{ км/с}$  бўлиши керак, лекин бундай тезлик билан ҳаракат қилалган юлдуз коинотда бўлмаса керак, юлдузнинг Галактикада ушлаб турувчи энг катта тезлик ҳисобланди. Шунинг учун тўртинчи космик тезлик  $V_{\text{ю}} < V_y$  бўлиши керак, яъни тахминан  $V_y = 290 \text{ км/с}$  бўлиши керак.

### 30-§. ИШҚАЛАНИШ КУЧЛАРИ. ИШҚАЛАНИШ ТУРЛАРИ. АМОНТОН ВА КУЛОН ҚОНУНИ

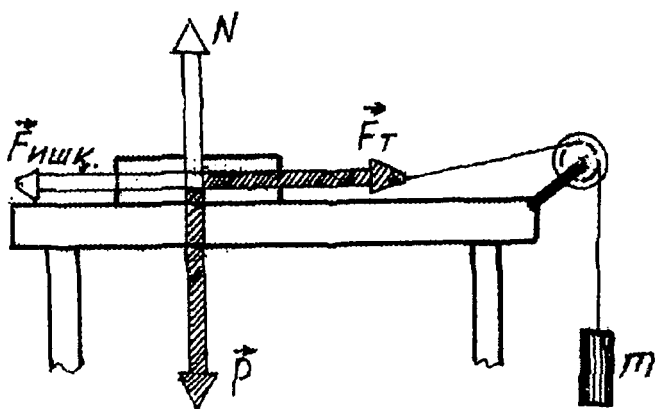
Биз жисм ҳаракатини ўрганишимиз давомида жисм ҳаракатига муҳитнинг қаршилигини ҳисобга олмадик. Жисмлар ёки жисмнинг бўлаклари бир-бирига нисбатан ҳаракат қилганда ёки бир-бирига тегиб турганда ишқаланиш кучлари ҳосил бўлади. Ишқаланиш ташқи, ички ишқаланишларга бўлинади. Икки жисм тегиб турган жойида бир-бирига нисбатан кўчиши натижасида ҳосил бўлган ишқаланишга ташқи ишқаланиш деб аталади. Бир яхлит жисм, суюқлик ёки газ бўлаклари орасидаги ишқаланишга ички ишқаланиши деб аталади. Қаттиқ жисм, суюқлик ёки газга нисбатан ҳара-

кат қилганда ички ишқаланиш ҳосил бўлади. Бунда жисмнинг муҳитга тегиб турган қатламлари жисмга эргашиб, бир хил тезликда ҳаракатланади, натижада қатламлар орасида ишқаланиш содир бўлади.

Ташқи ишқаланиш тинчликдаги (статик) ишқаланишга ва сирпаниш ишқаланиш ҳамда думаланишдаги ишқаланишларга (кинетик) бўлинади. Ишқаланиш кучлари хусусияти жиҳатидан электромагнитик хоссасига эга бўлган кучдир.

Кинематик ишқаланиш қуруқ ишқаланиш бўлиб, икки қаттиқ жисм орасида бошқа қатлам бўлмаган ҳолда намоеън бўладиган ишқаланишдир. Ишқаланиш кучи ишқаланувчи сиртларга уринма сифатида йўналгани учун бир-бирига тегиб турувчи сиртлар ёки қатламларнинг бир-бирига нисбатан силжишга тўсқинлик қилади, натижада жисмнинг энергияси камаяди. Энергиянинг камайишига сабаб ишқаланиш натижасида жисмнинг иссиши, жисмларнинг зарядланиши ва емирилиши содир бўлишидир.

Қуруқ ишқаланишни ўрганиш учун столнинг горизонтал сиртига тахтача қўйиб, тахтачани блок орқали ип билан боғлаймиз ва ишнинг иккинчи учига  $m$  массали юк осамиз (5.18-расм). Юк осилганда тахтача ҳаракат қилмайди. Бунга сабаб тахтачага таъсир этувчи кучларнинг мувозанат ҳолатида бўлишидир. Тахтага қандай кучлар таъсир этиши билан танишиб чиқайлик.



5.18-расм.

Тахтачага Р оғирлик кучи ва уни мувозанатловчи N реакция кучи, шунингдек, ипнинг таранглик кучи  $F_T$  таъсир қилади. Ипнинг таранглик кучини жисмларнинг бир-бирига тегиб турган сиртлари бўйлаб таранглик  $F_T$  кучига қарама-қарши бўлган  $F_{\text{инк}}$  кучи мувозанатлайди.

$$F_{\text{инк}} = - F$$

Илга осилган юкни аста-секин орттириб бериш натижа-сида тахтани ҳаракатга келтиришга эришамиз. Демак, ишқаланиш кучи, тахтага стол сирти бўйлаб ҳаракат қилганда ҳосил бўлмасдан, тахтача столга нисбатан тинч турганда юзага келади. Бир-бирига нисбатан ҳаракат қилмайдиган сиртлар орасида намоеън бўладиган ишқаланишга тинчликдаги ишқаланиш деб аталади.

Тажрибани тахтача устига оғирлик қўйиб такрорланганда ҳам натижа бир хил бўлади, лекин бу ҳолда тинчликдаги ишқаланиш кучи максимал қийматга эга бўлади. Бунга сабаб бир-бирига тегиб турган сиртларга таъсир этаётган босим кучининг ўзгаришидир.

Тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи эса босим кучига тўғри пропорционал. Демак, Ньютоннинг узинчи қонунига асосан босим кучи таянчнинг реакция кучига тенг бўлганлиги учун, тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи таянчнинг реакция кучига пропорционал бўлади.

Бир-бирига тегиб гурувчи сиртларнинг материали ўзгартирилса, тинчликдаги максимал ишқаланиш кучи босим кучига боғлиқ бўлиши билан тегиб турувчи сиртлар материалига ҳам боғлиқ экан, яъни  $F_{\text{инк}} \sim M_0$  -катталиқ тинчликдаги ишқаланиш коэффициенти. Демак, тинчликдаги ишқаланиш кучи босим кучи билан бир-бирига тегиб турувчи сиртларнинг материалига боғлиқ экан, яъни :

Тинчликдаги ишқаланиш кучи жисмларнинг ҳаракат қилишига қаршилик кўрсатиш билан бир-бирига тегиб турувчи жисмларнинг нисбий тинчлик ҳолатини сақлайди.

Баъзи бир ҳолларда тинчликдаги ишқаланиш кучи жисм ҳаракатида тезланишни юзага келтиради.

Масалан, одамлар юрганида пойафзал таг чаримига таъсир этувчи ишқаланиш кучи одамга тезланиш берди. Таг чарм орқага сирланмагани сабабли у билан йўл (таянч) орасида тинчликдаги ишқаланиш содир бўлади. Тинчликдаги ишқаланиш кучига модули бўйича тенг, ammo қарама-қарши йўналган куч таянчга тезланиш беради.

Жисмга таъсир этувчи ташқи куч тинчликдаги максимал ишқаланиш кучидан катта бўлган ҳолда жисм сирпана бошлайди, яъни сирпанишдаги ишқаланиш амалга ошади. Сирпанишдаги қопунлар франциялик физиклар Г.Амонтон (1699 й.) ва Ш.Кулон (1781 й.) томонидан кашф этилган: тинчликдаги ишқаланиш кучининг максимал қиймати бир-бирига тегиб турган жисмларнинг туташ сиртларига нормал бўлган  $N$  босим кучига пропорционал бўлиб, ишқаланаётган сиртларнинг юзасига боғлиқ эмас (5.19-расм).

$$F_{\text{ишқ}} = \mu N$$

$\mu$  — сирпанишдаги ишқаланиш коэффициентини бўлиб, ишқаланаётган сиртларнинг хоссаларига боғлиқ бўлган доимий.

Ишқаланиш коэффициентининг қийматини аниқлаш учун қия текисликда турган жисмнинг сирпана бошлагандаги қиялик бурчаги  $\alpha_0$  топилади. Жисм сирпаниши учун оғирлик кучининг ташқи этувчиси ишқаланиш кучига тенг бўлиши керак.

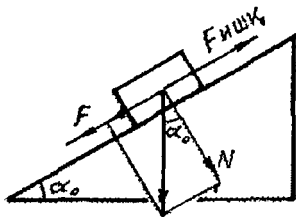
$$F_{\text{ишқ}} = F \text{ ёки}$$

$$P \sin \alpha_0 = \mu N = \mu P \cos \alpha$$

$$\mu = \frac{P \sin \alpha_0}{P \cos \alpha_0} = \operatorname{tg} \alpha_0$$

ишқаланиш коэффициентини тангенс  $\alpha_0$  бурчагига тенг бўлганда жисм қия текисликда сирпана бошлайди.

Ҳозирги вақтда ишқаланишни мукамал тушунириб берувчи назария яратилгани йўқ. Ишқаланиш кучини тушуниб беришда: 1) бир-бирига тегиб турувчи сиртлар идеал силлиқ бўлмай, балки дўнглик ва чуқурчалардан иборат бўлган сиртлардир. Сиртлар бир-



5.19-расм.

бирига тегиб турганда дўнгликлар ва чуқурчалар бир-бирини тўлдириб ишқаланиш кучини ҳосил қилади. 2) бир-бирига тегиб турувчи жисмлар молекулаларининг ўзаро тортишишидир. Бунда яхшилаб силлиқланган сиртлар бир-бирига текканда молекулаларнинг бир қисми бир-бирига жуда яқин-

лашиб, тегишувчи жисм молекулалари орасида тортишиш кучи ҳосил бўлади. Бу қонунни 1902 йили Б.В.Дерягин сирпанишдаги ишқаланиш учун тавсия этади. Қонуннинг математик кўриниши қуйидагича:

$$F_{\text{ишқ}} = \mu_x (N + Sp_v),$$

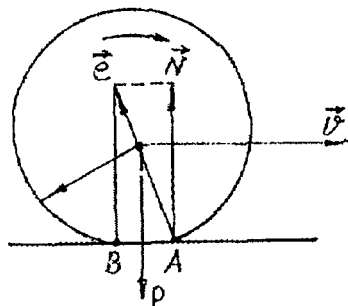
бу формулада,  $P_0$  — молекулаларнинг тортишиш кучи натижасида ҳосил бўладиган қўшимча босим;  $S$  — тегишувчи сиртлар юзаси, ҳақиқий ишқаланиш коэффициентини.

Одатда ишқаланиш коэффициентини бирдан кичик бўлади. I-жадвалда сирпаниш-ишқаланиш коэффициентининг баъзи материаллар учун қийматлари келтирилган.

I-жадвал

Материаллар	
Пўлат билан пўлат	0,05 - 0,12
Пўлат билан муз	0,015 - 0,02
Пўлат билан бронза	0,07 - 0,15
Бронза билан чўян	0,20 - 0,21
Ёғоч билан ёғоч	0,34 - 0,40

Сирпанишдаги ишқаланишни камайтириш мақсадида сирпанишни думалатиш билан алмаштирилади, яъни гилдираклар, цилиндрлар, роликли ва шарикли подшипниклардан фойдаланилади. Думаланувчи жисм текис сирт устида думалаётганда бир-бирига тегиб турувчи қисмлар деформацияланади. Натижада таъсир таянч нуқтасига берилмай, маълум бир юзага берилди (5.20-расм).



5.20-расм.

Жисм думалаётганда А таянч нуқтаси оғирлик марказидан ўтувчи вертикалдан олдинга В нуқтага силжиган бўлади. Таянчга таъсир этувчи куч (босим кучи  $N$ ) таъсир чизиқдан орқада қолади. Натижада бу куч оғирлик кучи таъсирида мувозанатланади. Чунки  $N = R_{II}$ . Демак,  $R_{II} = -P$ . Аммо босим кучининг тенгенциал ташкил этувчиси ҳаракат йўналишига тескари йўналишда бўлганлиги сабабли думаланишдаги ишқаланиш кучининг юзага келишига сабаб бўлади. Думала-

нишдаги ишқаланиш кучининг миқдори Кулон қонуни асосида аниқланади:

$$F_D = \mu_D \frac{N}{r},$$

бу формулада,  $\mu_d$  — думаланишдаги ишқаланиш коэффициентини бўлиб, узунлик бирлигида ўлчанади;  $\mu_l$  — ўзаро таъсирлашувчи жисмлар материалига ва сиртларнинг ҳолатига боғлиқ, думаланиш тезлигига ва думаланувчи жисм радиусига боғлиқ эмас. Табиатда думаланишдаги ишқаланиш жуда кам учрайди. Думаланишдаги ишқаланиш кучи сирпанишдаги ишқаланиш кучидан анча кичик. Мисол учун, 1000 кг юкни ўрнидан силжитиш учун сирпанувчи подшипникдан фойдаланилса, 600 Н куч, шарикли подшипникдан фойдаланилса, бор-йўғи 40 Н куч етарли бўлади. Шунинг учун ҳам совуткичларда, тикув машиналарида, кир ювиш машиналарида, пианино ва роялларда гилдираклардан фойдаланилади. 2-жадвалда думаланишдаги ишқаланиш коэффициентининг баъзи материаллар учун қиймати келтирилган.

## 2-жадвал

Материаллар	
Ёғоч билан ёғоч	0,05 - 0,06
Тобланган пўлат билан пўлат	0,001
Юмшоқ пўлат билан юмшоқ пўлат	0,03 - 0,04

Биринчи ва иккинчи жадваллардан кўриниб турибдики, энг катта ишқаланиш коэффициенти тинчликдаги ишқаланишда, энг кичиги думаланишдаги ишқаланишда содир бўлар экан. Демак, қуйидаги шартни ёзиш мумкин:  $\mu_r > \mu_c > \mu_g$ . Шунинг учун нотекис ва ботқоқли йўлда ҳаракат қилувчи машиналарнинг гилдиракларини радиуслари катта қилиб тайёрланади.

Ишқаланиш кучи кундалик ҳаётимизда ва табиатда муҳим аҳамиятга эгадир. Масалан, деворга қоқилган миҳ, кийимга қадалган тугма, тишли бирикмалар, уйдаги жиҳозлар ишқаланиш бўлганлиги сабабли ўрнида туради. Ёки ишқаланиш кучи таъсирида қоқилган миҳни суғуриб оламиз. Бу куч таъсирида ҳаракат қиламиз, машина ва механизмлари ҳара-

кати амалга ошади. Шу билан бир қаторда ишқаланиш кучи таъсирида жисм емирилади, жисмнинг ишқаланиш кучи таъсирида қизиб, айланма ҳаракатда иштирок этаётган механизмларни ҳаракатдан тўхтатиб қўйиши мумкин (жисмнинг иссиқликдан кенгайиши ҳисобига).

Ишқаланишни камайтириш учун:

1. Сирпанишдаги ишқаланишни думаланишдаги ишқаланиш билан алмаштириш керак.

2. Бир-бирига тегиб турувчи сиртларни мойлаш керак. Бунда ишқаланиш тегувчи сиртларда бўлмай, мойлар ўртасида ички ишқаланиш ҳисобига ишқаланиш 8-10 марта камаяди.

3. Бир-бирига тегиб турувчи сиртлар орасида мой ўрнига ҳаво (газ) қатламини киритиш керак.

Қаттиқ жисмни суюқлик ёки газда ҳаракат қилдириш учун албатта, шу муҳитни қаршилигини ҳисобга олиш керак бўлади. Масалан, суюқлик сиртида турган жисмга жуда кичик куч таъсир қилиши билан жисм ҳаракатга келади.

Тажириба асосида суюқлик ва газларда ҳаракат қилаётган жисмларга таъсир этувчи қаршилиқ кучи, жисм кичик тезлик билан ҳаракат қилганда чизикли ортиб бориб, тезликка қарама-қарши йўналганлиги аниқланади, яъни

$$F_k = KV.$$

Катта тезликларда эса қаршилиқ кучи квадратик қонун асосида топилаётган экан, яъни  $F_k = KV^2$ . Формулада  $K$  — коэффициент ҳаракатланаётган сиртнинг ҳолатига, шаклига, ўлчамларига ва муҳитнинг хоссаларига боғлиқ. Қаршилиқни камайтириш ва тезликни орттириш учун автомобиль, самолёт, ракета, кема ва машиналар энг кам қаршилиқка учрайдиган сирт-суйри шаклида тайёрланади.

## 31-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

*1-масала.* Массаси 100 кг бўлган одам лифт билан биргаликда текис тезланувчан ҳаракат қилиб, 7 с давомида 49 м пасга тушди. Одамнинг лифт ҳаракатланиш вақтидаги оғирлигини топинг.

Берилган:  
 $m = 100$  кг;  
 $t = 7$  с;  
 $S = 49$  м;  
 $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>  
 Топиш керак:

$P$ -?

Ечиш. Лифт пастга томон текис тезланувчан ҳаракатланганда одамнинг оғирлиги

$$P = m(g - a) \quad (1)$$

формула ёрдамида топилади. Лифтнинг (одамнинг) тезланиши

$$S = V_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (2)$$

формула орқали аниқланади.

Бошланғич тезлик  $V_0 = 0$  бўлганлиги сабабли

$$S = \frac{at^2}{2} \quad (3)$$

дан  $a = \frac{2S}{t^2} \quad (4)$

ни топамиз.

Тезланиш формуласи (4) ни (1) га қўямиз, у ҳолда одамнинг оғирлиги:

$$P = m(g - a) = m \left( g - \frac{2S}{t^2} \right) \quad (5)$$

бўлади.

$$P = 100 \text{ кг} \left( 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - \frac{2 \times 49 \text{ м}}{49 \text{ с}^2} \right) = 100 \text{ кг} \times 7,8 = 780 \text{ кг}$$

Жавоб:  $P = 780$  кг.

**2-масала.** Қўзғалмас блокдан ўтказилган чўзилмайдиган ва вазнесиз ишнинг бир учига 25 кг, иккинчи учига 15 кг массали юклар осилган. Блокдаги ишқаланишни ҳисобга олмасдан жисмлар тезланишини ва ишнинг таранглик кучини аниқланг (5.19-расм).

Берилган:  
 $m_1 = 25$  кг  
 $m_2 = 15$  кг

Ечиш. Ишнинг таранглик кучини  $F_1$  деб, ҳар жисм учун ҳаракат тенгламасини ёзамиз:



Тоғниш керак:  
а - ? F - ?

$$\begin{aligned} m_1 g - F_T &= m_1 a \\ m_2 g - F_T &= - m_2 a \end{aligned}$$

Тенгламаларни бир-биридан айирсак

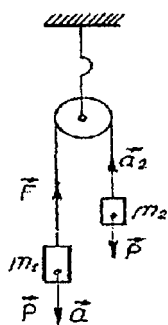
$$m_1 g - m_2 g = - m_1 a - (- m_2 a)$$

$$\text{ёки } g (m_1 - m_2) = a g (m_1 + m_2)$$

$$\text{ипнинг таранглик кучи } F_T = m_1 (g - a),$$

$$F_T = 25_{\text{кг}} \left( 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} - 2,45 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \right) = 25_{\text{кг}} \times 7,35 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 183,75 \text{ Н}$$

$$\text{Жавоб: } a = 2,45 \text{ м/с}^2; F_T = 183,75 \text{ Н.}$$



5.21-расм.

3-масала. Тоққа  $a=1 \text{ м/с}^2$  тезланиш билан ҳаракатланиб чиқаётган автомобиль моторининг тортиш кучи  $F$  ни аниқланг. Тоғнинг қиялиги ҳар 25 м йўлда 1 м. Автомобилнинг оғирлиги  $P=9,8 \times 10^3 \text{ Н}$ . Ишқаланиш коэффициентини  $\mu=0,1$ .

Берилган:

$$P = 9,8 \times 10^3 \text{ Н.}$$

$$a = 1 \text{ м/с}^2$$

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2$$

$$\sin \alpha = 1/25 = 0,04$$

Тоғнинг керак:

Ечиш. Автомобилнинг  $P$  оғирлигини икки ташкил эувчига ажратамиз (5.21-расм). Автомобилни тоғдан пастга ҳаракат қилдирувчи  $F$  куч, бу куч тоғ сиртига параллел бўлади.

2. Тоғ сиртига перпендикуляр бўлган

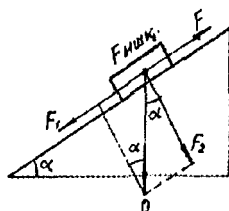
$F$  нормал босим кучи (5.22-расм).

Тоққа чиқаётган автомобиль мотори  $F_1$  ва  $F_{\text{ишқ}}$  кучларини енгиб, автомобильга тезланиш бериш керак, яъни

$$F = F_1 + F_{\text{ишқ}} + F_{\text{тез}}$$

тоғнинг қиялиги  $\alpha$ ,  $F_2$  ва  $P$  кучлар орасидаги бурчак бўлгани учун  $\sin \alpha = 1/25 = 0,04$  га тенг.

Ньютоннинг II қонунига



5.22-расм.

$$\text{кўра } F_{\text{тез}} = ma = \frac{P}{g} a;$$

$$F_{\text{ишқ}} = \mu F_2 = \mu P \cos \alpha \text{ га тенг.}$$

У ҳолда

$$F = P \sin \alpha + \mu P \cos \alpha + P \frac{a}{g} = P \left( \sin \alpha + \mu \cos \alpha + \frac{a}{g} \right)$$

$$F = 9,8 \times 10^3 \text{ Н} \left( 0,04 + 0,1 \sqrt{1 - 0,04 + \frac{1 \text{ М} / \text{с}^2}{9,8 \text{ М} / \text{с}^2}} \right) = 2352 \text{ Н}$$

Жавоб:  $F = 2352 \text{ Н}$ .

**4-масала.** Парашют билан массаси 100 кг бўлган парашютчи вертикал йўналишда 10 км га тенг масофани парашютни очмаган ҳолда 3 минутда босиб ўтди. Ҳавонинг қаршилик кучини топинг.

Берилган:

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$h = 10000 \text{ м}$$

$$t = 180 \text{ с}$$

Топиш керак:

$$F_k - ?$$

Ечиш: Парашютчига иккита куч таъсир этади:

- 1) Парашютчининг оғирлик кучи;
- 2) Ҳавонинг қаршилик кучи.

Бу кучлар йўналиши бўйича қарама-қаршидир.

Шунинг учун парашютчининг ҳаракат тенгламаси

$$mg - F_k = ma,$$

$$F_k = m(g - a),$$

парашютчининг тезланиши  $h = V_0 t + \frac{at^2}{2}$  формуладан топилади.

Бошланғич тезлик  $V_0 = 0$  бўлгани учун  $h = \frac{at^2}{2}$  дан

$$a = \frac{2h}{t^2} \text{ ни топамиз.}$$

Тезланишнинг бу қийматини  $F_k$  формуласига қўямиз:



$$F_k = \left( g - \frac{2h}{t^2} \right)$$

$$F_k = 100 \text{ кг} \left( \frac{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 2 \times 10000 \text{ м}}{(180 \text{ с})^2} \right) = 877 \text{ Н}$$

Жавоб:  $F_k = 877 \text{ Н}$ .

5-масала. Узунлиги  $l = 50 \text{ м}$ , баландлиги  $h = 10 \text{ м}$  бўлган тепаликдан арқонга боғланган  $m = 60 \text{ кг}$  массали чана тушмоқда. Қиялик охирида чана  $V_1 = 5 \text{ м/с}$  тезликка эришса ва унинг ишқаланиш коэффициентини  $\mu = 0,1$ га тенг деб, арқоннинг таранглик кучи  $F_T$  топилсин.

- Берилган:
- $l = 50 \text{ м};$
  - $h = 10 \text{ м};$
  - $m = 60 \text{ кг}$
  - $V_1 = 5 \text{ м/с};$
  - $V_0 = 0;$
  - $\mu = 0,1;$
  - $g = 9,8 \text{ м/с}^2.$
- Топиш керак:
- $F_T - ?$

- Ечиш. Чанага: 1)  $P = mg$  оғирлик кучи;  
 2)  $F_c = P \sin \alpha$  чанани судровчи куч (5.22-расм);  
 3)  $F_{\text{ишқ}} = \mu P = \mu mg$  ишқаланиш кучи;  
 4)  $F_T$  арқонни тарангловчи кучлар таъсир этади. Чана қия текислик бўйича тепага ҳаракат қилганда, Ньютоннинг иккинчи қонунини қуйидагича ёзамиз.

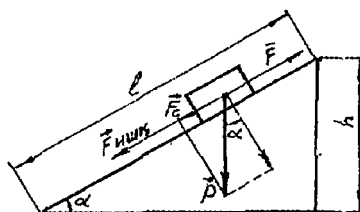
$$m\alpha = F_c - F_{\text{ишқ}} - F_T \text{ ёки } m\alpha = P \sin \alpha - \mu P - F_T$$

формулада  $P = mg$ ;  $F_c = mg \sin \alpha = mg \frac{h}{l}$ ;  $\alpha = \frac{V_1^2}{2l}$ .

У ҳолда  $F_T mg \left( \frac{h}{l} - \mu - \frac{V_1^2}{2jg} \right)$  бўлади,

$$F_T = 60 \text{ кг} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \left( \frac{10 \text{ м}}{50 \text{ м}} - 0,1 - \frac{25 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{2 \times 50 \text{ м} \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \right) = 588 \text{ Н} (0,2 - 0,10,025) = 588 \text{ Н} \times 0,075 = 44,1 \text{ Н}$$

Жавоб:  $F_T = 44,1 \text{ Н}$ .

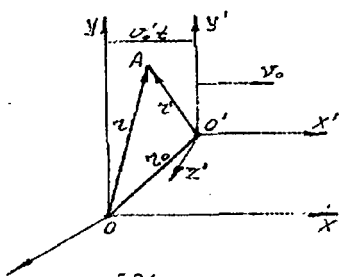


5.23-расм.

## 32-§. ГАЛИЛЕЙНИНГ НИСБИЙЛИК ПРИНЦИПИ

Биз жисмнинг механик ҳаракатини инерциал саноқ системасига нисбатан ўрганиб чиқдик. Баъзи ҳолларда бу ҳаракатни бир инерциал саноқ системасидан бу системага нисбатан ўзгармас  $V_0$  тезлик билан ҳаракатланаётган бошқа системага ўтгандаги ўзгаришини ўрганишга тўғри келади. Бунинг учун координата ўқлари ўзаро параллел, координата бошлари устма-уст тушувчи ва  $X$  ўқи бўйича тезлик йўналган координаталар системасини олиб, бу координаталар системасида  $A$  нуқтанинг

иккала системасидаги координаталари орасидаги муносабатни топиш керак бўлади. Фараз қилайлик координаталари  $X, Y, Z$ , бўлган  $K$  инерциал координаталар системаси қўзғалмас бўлсин, координаталари  $X', Y', Z'$ , бўлган  $K'$  координаталар системаси  $K$  системага нисбатан  $V_0$  тезлик билан те-



5.24-расм.

кис ва тўғри чизиqli ҳаракат қилсин (5.24-расм). Бошланғич вақт momentiда ( $t=0$ ) иккала системанинг координата бошлари устма-уст тушсин деб ҳисоблаймиз. Бошланғич радиус вектор  $r_0=00=V_0 t$  тенглигидан  $r=r'+r_0=r'+V_0 t$  тезликни ёзиш мумкин. Ихтиёрий  $t$  вақтдан сўнг  $A$  нуқтанинг иккала саноқ системасидаги координаталари қуйидаги муносабатдан топилади:

$$\left. \begin{aligned} X &= X' + V_x t \\ Y &= Y' + V_y t \\ Z &= Z' + V_z t \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Ньютон механикасига асосан фазо ва вақт тушунчасига асосланиб, иккала саноқ системасида ҳам вақт бир хил бўлади деган хулосага келамиз, яъни  $t=t'$ .

Шуни таъкидлаш лозимки, (1) тенгламалар системаси Галилей алмаштиришлари бўлиб, узунлик ва вақт оралиқлари мутлақ ўзгармас деб ҳисобланиб, у ёруғлик тезлигидан кичик ( $V_0 \ll c$ ) тезлик билан ҳаракат қилаётган ҳолларда ўринли бўлади. Галилей алмаштиришларидаги фойдаланиб, ҳаракатланаётган жисмнинг (нуқтанинг) бирор инерциал саноқ системасидаги тезлиги билан бошқа инерциал саноқ системасидаги тезлиги орасидаги муносабатни топиш мумкин.  $K$  ва  $K'$  системасидаги нуқтанинг тезликларини  $t=t'$  вақтдаги проекцияларини топайлик

$$\left. \begin{aligned} V_x &= V'_x - V_0 \\ V_y &= V'_y \\ V_z &= V'_z \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2) тенгламалар системасини умумлаштирсак, Ньютон механикасидаги тезликларни қўшиш қонуни келиб чиқади.

$$V = V' + V_0 \quad (3)$$

Жисмнинг (нуқтанинг)  $K$  саноқ системасидаги тезлиги унинг  $K'$  системасидаги тезлиги билан  $K'$  системасининг  $K$  системасига нисбатан тезлигининг вектор йиғиндисига тенг экан. Масалан, каналда сузиб кетаётган сузувчининг қирғоққа нисбатан тезлиги унинг сувга нисбатан тезликларини вектор йиғиндисига тенг бўлади.  $V_0 = \text{const}$  эканлигини ҳисобга олсак,  $K$  ва  $K'$  системалар учун жисмнинг (нуқтанинг) тезланиши  $\alpha = \alpha'$  бўлади.

Юқорида қайд этилганидек, барча инерциал саноқ системаларида вақт  $t$  нинг ўтиши бир хил ( $t=t'$ ) бўлганидек, жисмнинг массаси  $m$  ҳам ўзгармасдир, яъни  $m=m'$  бўлади.

Жисмга таъсир этувчи кучлар  $K$  ва  $K'$  саноқ системаларидаги

$F = ma$  ва  $F' = ma'$  ҳамда  $a = a'$  эканлигидан  $F = F'$  дейиш мумкин.

Бир саноқ системасидан иккинчисига ўтганда қиймати ўзгармай қоладиган катталиклар Галилей алмаштиришларига нисбатан инвариант бўлар экан.

Шундай қилиб, қуйидаги умумий хулосага келамиз, узунлик, вақтнинг ўтиши, жисмнинг массаси, тезлашиши ва унга таъсир этувчи кучлар Галилей алмаштиришларига нисбатан инвариант экан. Барча инерциал саноқ системаларида механик тажрибалар бир хил содир бўлади. Механик тажрибалар ёрдамида инерциал саноқ системанинг тинч турганлигини ёки тўғри чизиqli текис ҳаракатланаётганлигини аниқлаб бўлмайди. Бу принципга Галилейнинг нисбийлик принципи ёки нисбийликнинг механик принципи деб аталади.

Хулоса қилиб, Галилей алмаштиришларини жадвал асосида берамиз:

$K'$ системадан $K$ га ўтиш	$K$ системадан $K'$ га ўтиш
$r = r' + V_0 t$	$r' = r - V_0 t$
$X = X' + V_0^x t$	$X' = X - V_0^x t$
$Y = Y' + V_0^y t$	$Y' = Y - V_0^y t$
$Z = Z' + V_0^z t$	$Z' = Z - V_0^z t$
$t = t'$	$t = t'$
$m = m'$	$m = m'$
$V = V' + V_0$	$V' = V - V_0$
$a = a'$	$a = a'$
$F = F'$	$F = F'$

## VI боб

### МЕХАНИКАДА САҚЛАНИШ ҚОНУНЛАРИ

Ньютон қонунарига асосан жисмга таъсир этувчи кучлар маълум бўлса, механика қонунарига тегишли масалаларни ҳал қилиш мумкин бўлади. Аммо қўпчилик ҳолларда жисмга таъсир этувчи кучлар номатълум бўлганлиги сабабли ҳаракат қонунарини аниқлаш мумкин бўмайди. Айниқса, икки жисм ўзаро тўқнашганда тўқнашиш вақти жуда ҳам қисқа бўлганлиги сабабли жисмларнинг ўзаро тўқнашиши натижасида эластиклик кучи ҳосил бўлади. Шунингдек, жисмлар тўқнашганда деформация жуда мураккаб бўлади. Бундай ҳолларда жисмга таъсир этувчи куч, жисм тезлигининг ўзгариши ва тезланиши ўрнига янги физик катталиклардан фойдаланилади. Бу катталиклар импульс ва энергиядир. Импульс ва энергия сақланиш хоссасига эга, улар алоҳида-алоҳида катталиқ ҳисобланали. Бу катталикларнинг ўзи билан бир қаторда уларнинг сақланиш қонунари физика фанининг барча бўлимларида катта аҳамиятга эга ва муҳимдир.

#### 33-§. КУЧ ВА ИМПУЛЬС

Жисм ҳаракати натижасида унинг ҳаракат тезлигининг ўзгариш жадаллиги тезланиш орқали аниқланадир эди, яъни

$$\bar{a} = \frac{\bar{V}' - \bar{V}_0}{t}, \quad (1)$$

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан  $m$  массали жисмга таъсир этувчи куч  $\bar{F} = m\bar{a}$  (2) формула ёрдамида аниқланишини ҳисобга олиб, (1) формула ифодасини (2) формулага қўйсақ,

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{t} \quad (3)$$

ифода аниқланади. Формулада  $V - V_0$  тезликнинг ўзгариши,  $t$ - тезлик ўзгариши юз берган вақт.

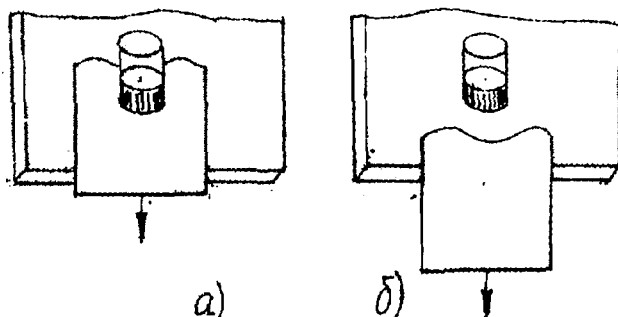
Жисмнинг тезлиги куч таъсирида ўзгаришини ҳисобга олсак, у ҳолда кучнинг таъсир этиш вақти  $t$  бўлади, натижада тезлик

$$\vec{V} - \vec{V}_0 = \frac{\vec{F}t}{m} \quad (4)$$

катталиққа ўзгаради.

Мисол учун, стол устига стакан қўйиб, стакан устига стаканнинг юзасидан қатта картон қоғоз қўйиб, қоғознинг устига танга, ёки майда жисмлар қўйиб картон қоғозни секин чертсак танга ва майда жисмлар картон қоғоз билан биргаликда стол сиртига тушади, тажрибанинг картон қоғозни кучлироқ чертиб такрорласак, у ҳолда танга ёки майда жисмларнинг стакан ичига тушганини кўраемиз.

Тажрибани бошқачароқ шаклда қилиб кўрайлик, яъни столнинг устига қоғоз варағини қўйиб, унинг устига сув тўлдирилган стаканни қўйиб, қоғозни аста-секин тортсак, у ҳолда стакан қоғоз билан бирга сурилади. Қоғозни горизонтал йўналишда кескин тортишимизда стакан остидан қоғоз чиқиб кетади, стакан эса ўз жойида қолади (6.1-а, б расм).



6.1-расм.



Тажрибадан кўриниб турибдики, жисмларнинг ўзаро таъсир натижасида фақат куч катталигини ҳисобга олиш билан бир қаторда, кучнинг таъсир вақтини ҳам ҳисобга олиш керак. Шунинг учун ҳам куч таъсирини ҳисоблашда махсус катталик — куч импульсидан фойдаланилади, яъни

$$Ft = mV - mV_0 \quad (5)$$

формулада  $Ft$  катталик куч импульсини билдиради. Куч импульсининг йўналиши кучнинг йўналиши билан мос тушади. Халқаро бирликлар системасида куч импульси бирлиги Ньютон-секунд (Нс) қабул қилинган, яъни 1 секунд давомида жисмга таъсир қилувчи куч 1Н га тенг бўлиши керак.

(5) формулада  $mV$  кўпайтмага жисмнинг импульси ёки жисмнинг ҳаракат миқдори дейилади.  $mV_0$  ва  $mV$  кўпайтмалар мос равишда жисмнинг куч таъсирининг бошлан-ғич ва охириги вақт momentiдаги импульсини  $mV - mV_0$  айирма эса  $Ft$  куч импульси таъсирида ўзгаришини билдиради. Лекин шу билан бир қаторда битта куч импульсининг ўзини ҳам ҳар хил куч таъсирида ҳосил қилиш мумкин. Бунинг учун жисмга қисқа вақт ичида катта куч таъсир қилиши керак ёки узоқ вақт давомида кичик куч таъсир қилиши керак бўлади, натижада бир хил куч импульси ҳосил бўлади. Иккала ҳолда ҳам куч импульси  $F \cdot t$  бир хил қийматга эга бўлганлиги сабабли жисм импульсининг ўзгариши ҳам бир хил бўлади. Агар ҳар хил массали жисмларга бир хил куч импульси таъсир этса, барча жисм импульсларининг ўзгариши бир хил бўлади, ammo жисмларнинг тезликлари ҳар хил ўзгаради, буида массаси кам бўлган жисм тезлигининг ўзгариши катта бўлади.

Жисм импульси  $P$  ҳарфи билан белгиланади. Математик ифодаси  $P = mV$ .

Жисм импульси куч импульсига тўғри пропорционал бўлиб, куч йўналиши бўйича йўналади.

Халқаро бирликлар тизимида импульс бирлиги қилиб, 1 м/с тезлик билан ҳаракатланувчи 1 кг массали жисм импульси қабул қилинган

$$[P] = 1\text{кг} \cdot 1\text{ м/с} = 1\text{ кг м/с}.$$

Хулоса қилиб, шунини қайд этамизки, «импульс» латинча *impulsus* сўзидан келиб чиққан бўлиб, «туртки» маъносини англатади.

### 34-§. ИМПУЛСНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНИ

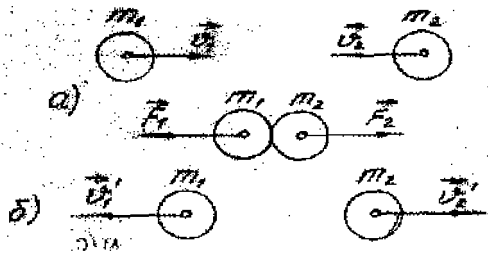
Импульснинг асосий ва муҳим хоссаси, унинг сақланиш хоссасидир. Сақланиш хоссаси — ўзгармай қолиш хоссасидир. Бу ҳолда икки ёки ундан ортиқ jismlar бир-бири билан ўзаро таъсирлашиб, бунда уларга ташқи кучлар таъсир қилмайди. Битта jisimga ташқи куч таъсир қилмаса, у ҳолда бу jisм импульси ўзгармайди, демак, импульснинг сақланиш қонуни jismlar тизими учун муҳимдир. Jismlar тизими деганда ўзаро таъсирлашувчи jismlar тўплами тушунилади.

Агар тизимга ташқи кучлар таъсир қилмаса, бундай тизимга берк тизим дейилади.

Jisм импульси фақат миқдорий жиҳатдан аниқланмасдан, йўналиши бўйича ҳам аниқланади. Jisм импульсининг йўналиши jisм ҳаракат тезлигининг йўналишига мос келади. Айтайлик,  $m_1$  ва  $m_2$  массали иккита шар  $V_1$  ва  $V_2$  тезликлар билан бир-бирига томон ҳаракат қилиб, бир-бири билан тўқнашсин. Тўқнашиш марказий ва абсолют эластик бўлганлиги сабабли шарларнинг тезлиги ва импульси ўзгарсин. Шарлар тўқнашгандан сўнг уларнинг тезликлари мос равишда  $V'_1$  ва  $V'_2$  бўлсин (6.2-расм, а). Ньютоннинг учинчи қонунига асосан, миқдор жиҳатидан тенг, аммо қарама-қарши йўналган кучлар шарлар тўқнашиши натижасида ҳосил бўлади (6.2-расм, б).

$$F_1 = - F_2$$

Ньютон иккинчи қонунига асосан шарлар ўзаро тўқнашгандан сўнг импульснинг ўзгариши куч импульсига мос равишда тенг бўлади:



6.2-расм.

$$\left. \begin{aligned} m_1 \vec{V}'_1 - m_1 \vec{V}_1 &= \vec{F}_1 \times t \\ m_2 \vec{V}'_2 - m_2 \vec{V}_2 &= \vec{F}_2 \times t \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

(1) системани ҳадма-ҳад қўшамиз:

$$m_1 \vec{V}'_1 - m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}'_2 - m_2 \vec{V}_2 = 0$$

(2)

Бундан

$$m_1 \vec{V}'_1 + m_2 \vec{V}'_2 = m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 \quad (3)$$

ёзиш мумкин, ёки

$$\vec{P}'_1 + \vec{P}'_2 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 \quad \text{ни} \quad (4)$$

(3) ва (4) формулаларнинг чап томони тизимни ташкил этган жисмларнинг таъсирлашувгача бўлган импульсларнинг вектор йиғиндиси бўлса, ўнг томони эса таъсирлашувдан кейинги импульсларнинг вектор йиғиндиси бўлади.

Шундай қилиб, берк тизимни ташкил этган жисмлар импульсларининг вектор йиғиндиси бу тизимдаги жисмларнинг бир-бири билан бўладиган ҳар қандай ўзаро таъсирида ўзгармас экан, яъни  $P' = P$  ёки  $P' - P = \Delta P = 0$  десак,

$$\begin{aligned} \vec{P} &= \vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \text{const} \\ m_1 \vec{V}_1 + m_2 \vec{V}_2 &= \text{const} \end{aligned} \quad (5)$$

Охирги ифодалар берк тизим учун импульснинг сақланиш қонунини ифодалайди.

Берк тизимларда жисмларга таъсир этувчи ички кучлар тизим импульсини миқдорий жиҳатдан ҳам, йўналиш жиҳатдан ҳам ўзгартира олмас экан.

Агар тизим берк бўлмаса, у ҳолда жисмларнинг ўзаро таъсирлашувидан ташқари тизимга кирмаган ташқи кучлар билан ҳам таъсирланувини ҳисобга олиш керак. Бу ҳолда жисмлар ўзаро таъсирлашганда ташқи ва ички кучлар таъсирида жисм импульси ўзгаради.

Нютоннинг иккинчи қонунига асосан жисмлар импульсининг ўзгариши мос равишда қуйидагича аниқланади:

$$\left. \begin{aligned} \Delta \vec{P}_1 &= \vec{F}_1 t + \vec{F}_1' t \\ \Delta \vec{P}_2 &= \vec{F}_2 t + \vec{F}_2' t \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Ойи аёаи аёа  $F_1'$ ,  $F_2'$  ва  $F_2$ ,  $F_1$  — ташқи кучлар;  $t$  — мос равишда ички ва ташқи кучларнинг таъсир этиш вақти. Тенгламани ҳадма-ҳад қўшиб чиқсак

$$\Delta(P_1 + P_2) = (F_1 + F_2) t + (F_1' + F_2') t \quad (7)$$

Тизимнинг тўлиқ импульси  $P = P_1 + P_2$  ни ҳисобга олсак, Ньютоннинг учинчи қонунига асосан тизимга таъсир этувчи ички кучлар  $F_1' + F_2' = 0$  ёки  $F_1' = -F_2'$  бўлади, ташқи кучлар эса  $F_1 + F_2 = F$  га тенг бўлиб, таъсир этувчи куч тенг бўлади. Демак, тизимга фақат ташқи кучлар таъсир этади, яъни

$$\Delta P = F \Delta t \quad (8)$$

Тизимнинг тўлиқ импульси фақат ташқи кучлар таъсирида ўзгаради. Агар тизим берк бўлса, у ҳолда  $F = 0$  бўлгани учун  $\Delta P = 0$  бўлади ва демак,  $p = \text{const}$  ўрилли бўлади. Шундай қилиб, (5) ифода (8) ифоданинг хусусий кўринишидир.

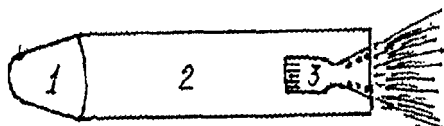
### 35- §. РЕАКТИВ ҲАРАКАТ

Коинот сирларини, Ер атрофидаги фазони, Қўш тизимни ўрганиш инсониятнинг асосий мақсадларидан ҳисобланади. Ана шу мақсадни рўёбга чиқариш учун одамлар қанот ясаб фазога учишга ҳаракат қилганлар. Лекин бу уринишлар натижа бермаган. Ҳозирги вақтда ҳаммага маълумки, коинот сирларини ўрганиш учун катта тезликка эга бўлган учувчи аппаратлардан фойдаланилади. Учувчи аппаратлар асосида реактив ҳаракат этади. Реактив ҳаракат эса импульснинг сақланиш қонунига асосланади.

Реактив ҳаракатнинг асосий хусусияти асосан берк тизим массасининг ҳаракат давомида узлуксиз ўзгариши ҳисобланади, яъни ракетада ёнган ёқилгидан ҳосил бўлган газ ракетадан доимий равишда отилиб чиқиши ҳисобига ракета-нинг массаси узлуксиз камайиб боришидир.

Ракета реактив ҳаракатни вужудга келтирувчи учувчи аппарат бўлиб, унинг бош қисми (1) фойдали юклар, зарядлар, илмий асбоблар ва космонавтлар жойлаштирилади. Ракетанинг 2-қисмини ёқилги ва турли хил бошқарув жиҳозлари ташкил этади. Ёқилги (3) ёниш камерасига уза-

тилиши натижасида у ерда юқори ҳароратли ва юқори босимли газга айланади. Ракетанинг сопло (4) қисми насадка бўлиб, ундан газ ташқарига чиқади ва реактив оқимни ҳосил қилади (6.3-расм). Сопло эса оқим тезлигини орттиради. Ёниш камерасидаги газ ва ракетани ташкил этган жисмлар ўзаро таъсирлашувчи икки жисм тизими ҳисобланади.



6.3-расм.

Ёқилғи ёнғандан сўнг у ракетанинг сопло қисмидан катта тезлик билан отилиб чиқади, натижада ракетанинг қобиғи олдинга ҳаракат қилади. Ернинг тортилиш кучи ҳисобга олмайдиган даражада кам деб ҳисоблаб, ракетани берк тизим сифатида қабул қиламиз. Демак, ракета ва ёнилғи учун йиғинди импульс ўзгармас бўлади. Ҳаракат давомида ракетанинг массаси билан бир қаторда тезлиги ҳам ўзгаради ва ракета тезланиш билан ҳаракат қилади. Ракетага тезланиш берувчи куч реактив кучдир.

Энди ракетанинг ҳаракат тезлигини топайлик.

Фараз қилайлик, ёнилғининг ёниши натижасида ҳосил бўлган газнинг ракетадан отилиб чиқиш тезлиги  $V_r$  ва массаси  $m_r$  бўлсин, у ҳолда ракета қобиғининг массаси  $m_k$  ва тезлиги  $V_k$  бўлади. Ракета қобиғи йўналиши координата ўқи бўйича бўлсин. У ҳолда газ ва ракета қобиғи тезликлари проекциялари модули жиҳатидан  $V_r$  ва  $V_k$  векторларнинг модулларига тенг, аммо қарама-қаршӣ иншорали бўлади. Импульснинг сақланиш қонунига асосан

$$m_r V_r - m_k V_k = 0 \text{ ёки } m_r V_r = m_k V_k$$

тенгламани ёзиш мумкин. Тенгламадан ракета қобиғининг тезлигини топамиз

$$V_k = \frac{m_r}{m_k} V_r ,$$

бу формуладан кўришиб турибдики, ракета қобиғининг тезлигини орттириш учун, ёнилғи массаси ракета қобиғи массасидан катта бўлиши керак. Ҳисобларнинг кўрсатишига кўра

ракета биринчи космик тезликка эришиши учун ( $V_1=7,9$  км/с) ёнилгининг массаси қобиқ массасидан 55 марта ортиқ бўлиши керак.

Ракетага таъсир этувчи реактив кучни топиш учун  $t$  бошланғич вақт momentiда ракета билан газнинг массасини  $m$ , Ерга нисбатан тезлигини  $V$  билан белгилаймиз,  $t_1$  вақт momentiда ёнилгининг ёниши ҳисобига ракетанинг массаси камайиб  $m_1$  ва Ерга нисбатан тезлиги  $V_1$  бўлсин.  $U$  ҳолда ракета ҳаракатига қарама-қарши йўналган газнинг тезлиги  $u$  бўлади.  $U$  — ёнилги ёнганда ракетадан ажралиб чиқаётган газ тезлиги. Бу газнинг Ерга нисбатан  $t_1$  пайтдаги тезлиги  $V_1 = V_1 - U$  десак, ракетанинг  $t_0$  вақтдаги импульси  $P_0 = mV$  бўлади.  $t_1$  вақтдаги ракетадаги газ учун йиғинди импульс қуйидагига тенг:

$$P_1 = m_1 V_1 + m_r V_r = m_1 V_1 + (m - m_1) (V_1 - U)$$

ёки 
$$m (V - V_1) = -U (m - m_1).$$

Формуладаги  $V - V_1 = \Delta V$  ракета тезлигини ўзгариши  $\Delta t = t - t_0$  вақт ичида ёнган ёнилги массаси  $m - m_1 = \Delta m$  десак,  $-m \Delta V = U \Delta m$  келиб чиқади.

Охирги тенгликнинг иккала томонини  $\Delta t$  га бўлсак, тенгликнинг чап томони реактив кучни беради, яъни

$$F = \frac{m \Delta V}{\Delta t}.$$

Бирлик вақт ичида ёнилги сарфи 
$$\mu = \frac{\Delta m}{\Delta t}.$$

Охирги ифодаларни ҳисобга олсак, реактив кучни  $F = -\mu U$  формуладан топамиз. Формуладан кўриниб турибдики, реактив куч бирлик вақт ичида ёнилги сарфи билан ракетадан отилиб чиқаётган газнинг тезлигига тўғри пропорционал экан.

Коинотга учишда реактив кучдан фойдаланиш ғояси 1881 йил Н.И.Кибальчич томонидан таклиф этилган бўлиб, бу ғоянинг назарий асосларини 1903 йили К.Э.Циолковский исботлаб, коинот кемаларининг биринчи схематик чизмасини чизиб берди. Циолковский ишларини амалий жиҳатдан С.П.Королев бажариб, унинг раҳбарлигида 1957 йилнинг 4 октябрида Ернинг биринчи йўлдоши, 1961 йилнинг 12 апрелида инсоният тарихида биринчи фазогир Ю.А.Гагарин

қоинотга парвоз қилди. Қоинотни забт этишда Ойга, Марсга, Венерага ва бошқа сайёраларга сунъий йўлдошлар учири-  
либ, улар ёрдамида қоинот сирлари ҳақида зарурий маълумотлар олинмоқда.

Улар ёрдамида телеражалар кўрсатилади, узоқ масофалар ўртасида телефон алоқаси ўрнатилмоқда, об-ҳаво ҳақида маълумотлар олинмоқда, ҳар хил машина-механизмларни юритиш аниқликлари белгиланмоқда ва бошқалар.

## VII боб

### ЭНЕРГИЯНИНГ САҚЛАНИШ ҚОНУНИ

Моддий оламда барча нарсалар ҳаракатда бўлганлиги сабабли улар доимий равишда ўзаро таъсирлашади. Натижада жисмларнинг механик ҳаракати бошқа турдаги ҳаракатга айланади.

Масалан, стол устида турган жисмга куч таъсир этса, жисм ҳаракатга келади, куч таъсири тўхташи билан жисм ҳам механик ҳаракатдан тўхтайди. Бироқ жисмнинг ҳаракати сезгир термометр билан ўлчанса, жисм исиб қолганини сезиш мумкин. Бунда жисм ҳаракат қилганда, жисмни ташкил этган молекулаларнинг ҳаракат тезлиги ортиб, молекулалар ўртасидаги тўқнашишлар сони ҳам ортади, натижада жисмнинг ички энергияси ортади ва жисм ҳаракатига айланади.

Механик ҳаракатнинг ўлчови орқали аниқланиш сизга маълум, лекин импульс бошқа турдаги ҳаракатнинг ўлчови бўла олмайди, чунки механик ҳаракат бошқа турдаги ҳаракатга ўтганда жисм импульси камаяди ва нолга тенг бўлади. Шунинг учун энергия тушунчасидан фойдаланилади. Энергия ҳам жисм импульси каби маълум катталикларга боғлиқ бўлади.

Бу катталиклардан асосийси механик иш ёки кучнинг иши ҳисобланади. Шунинг учун ҳам энг аввало, иш тушунчаси билан танишамиз.

#### 36-§. МЕХАНИК ИШ

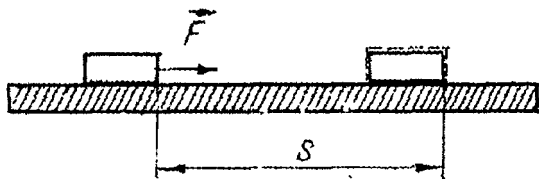
Кундалик ҳаётимизда иш тушунчасидан жуда кўп фойдаланамиз. Масалан, маъруза ўқиётган ўқитувчи, китоб ўқиётган талаба, кўниқ айтаётган хофиз, оғир юкни куч ишлатиб жойидан қўзғота олмаган ходим иш бажардик ёки ишга бордим дейди. Бироқ уларнинг бажарган ишлари, физика нуқтаи назаридан механик иш деб ҳисобланмайди, чунки



механик ҳаракат билан боғлиқ бўлган иш тушунчаси кундалик ҳаётимизда қўлланиладиган иш тушунчасидан тубдан фарқ қилади. Механик иш ҳаракат билан боғлиқ бўлиб, жисм ташқи куч таъсирида бир жойдан иккинчи жойга кўчиш натижасида амалга ошади. Фараз қилайлик, стол устида турган жисмга  $F$  ташқи куч таъсир этсин. Жисм бу куч таъсирида куч йўналиши бўйича  $S$  масофага кўчиб, ўзининг механик вазиятини ўзгартирсин (7.1-расм). Маълумки,  $F$  куч ва  $S$  масофа йўналишлари мос тушса, у ҳолда куч модулининг кўчиш модулига кўнайтмаси кучнинг бажарган ишига тенг бўларди, яъни

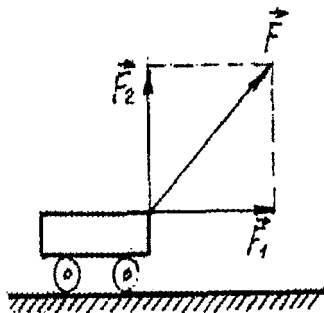
$$A = FS \quad (1)$$

бунда,  $A$  — кучнинг бажарган иши,  $u$  скаляр катталиқдир.



7.1-расм.

Кўпчилик ҳолларда куч ва кўчиш йўналишлари мос тушмайди. Бундай ҳолларда куч билан кўчиш орасида маълум бурчак ҳосил бўлади ва бу бурчакнинг қиймати нолга тенг ёки  $\pi$  га тенг бўмайди. Масалан, юк ташинга мўлжалланган арава-ни арқон билан боғлаб, от таъсирида ҳаракатга келтирсак, таъсир этувчи (отнинг тортиши) куч йўналиши билан арава-нинг кўчиши орасида  $\alpha$  бурчак ҳосил бўлади (7.2-расм).



7.2-расм.

Бу ҳолда ишни ҳисоблаш учун  $F$  кучни ўзаро перпендикуляр бўлган иккита ташкил этувчиларга ажратамиз, яъни  $F_1$  ва  $F_2$  кучларга ва таъсир этувчи кучни  $F = F_1 + F_2$  йиғинди шаклида топамиз. Механик иш юқорида эслатганимиздек скаляр катталиқ бўлганлиги сабабли умумий ишни ишларнинг алгебраик йиғиндиси деб олиш керак.

$$A = A_1 + A_2 \quad (2)$$

Аммо  $F_2 \perp S$  бўлганлигини ҳисобга олсак,  $A_2 = 0$  бўлади, чунки жисм вертикал йўналишда кўчмайди, демак,

$$A = A_1 = F_1 S \quad (3)$$

Расмдан эса

$$F_1 = F \cos \alpha \quad (4)$$

бўлади. Шунинг учун қуйидаги формулани ёзиш мумкин:

$$A = F S \cos \alpha \quad (5)$$

Шундай қилиб, ташқи кучнинг иши куч вектори модулининг кўчиш вектори модулига ва шу векторлар орасидаги бурчак косинуси кўпайтмасига тенг.

Кучнинг бажарган иши жисм кўчиш йўналишида амалга ошса, бажарилган иш мусбат бўлади. Бу ҳолда  $\cos \alpha > 0$  бўлиб,

$\pi < \frac{\pi}{2}$  ва ўткир бурчакни ҳосил қилади. Агар кучнинг бажарган

иши жисм кўчиши йўналишига қарама-қарши йўналишида амалга ошса, бажарилган иш манфий бўлади, демак,  $\cos \alpha < 0$  бўлиб,

$\alpha > \frac{\pi}{2}$  шарт бажарилади ва  $\alpha$  бурчак ўтмас бўлади.

Халқаро бирликлар тизимида иш бирлиги қилиб 1 метр йўлда 1 Ньютон куч билан бажарилган иш қабул қилинган. Бу бирлик инглиз физиги Жеймс Жоуль шарафига Жоуль (Ж) деб аталади.

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

Бундан ташқари иш бирлиги сифатида тизимдан ташқари бирликлар ҳам қўлланилади.

$$1 \text{ ватт соат} = 1 \text{ Вт} \times \text{с} = 3600 \text{ Ж} = 3,6 \times 10^3 \text{ Ж}$$

$$1 \text{ гектоватт соат} = 1 \text{ гВт} \times \text{с} = 360000 \text{ Ж} = 3,6 \times 10^5 \text{ Ж}$$

$$1 \text{ киловатт соат} = 1 \text{ кВт} \times \text{с} = 3600000 \text{ Ж} = 3,6 \times 10^6 \text{ Ж}$$

$$1 \text{ меговатт соат} = 1 \text{ МВт} \times \text{с} = 3600000000 \text{ Ж} = 3,6 \times 10^9 \text{ Ж}$$

Жисм ҳаракат қилаётганда жисмнинг ҳаракатига қарама-қарши йўналган қаршилик кучи (сирпанишдаги ишқаланиш

кучи) таъсир этади ва манфий иш бажаради, чунки  $\cos \alpha = \cos 180^\circ = -1$ , демак,  $A = -FS$  бўлади.

### 37-§. КОНСЕРВАТИВ ВА НОКОНСЕРВАТИВ КУЧЛАР БАЖАРГАН ИШ

Физика фанида ўрганиладиган кучлар консерватив (потенциал) ва ноконсерватив (нопотенциал) кучларга бўлинади. Бажарган ишлари фазонинг бир нуқтасидан иккинчи нуқтасига кўчирганда жисмни босиб ўтган йўлининг шаклига боғлиқ бўлмай, кучларга консерватив кучлар дейилади. Консерватив сўзи консерватор сўзидан олинган бўлиб, ўзгаришларни қабул қилмайдиган одам маъносини билдиради. Бундай кучларга тортишиш кучлари, эластиклик кучлари, зарядланган жисмлар орасидаги электростатик тортишиш ва итаришиш кучлари киради.

Бажарган ишлари йўл шаклига боғлиқ бўлган кучларга ноконсерватив кучлар дейилади. Ишқаланиш кучлари, қаршилик кучлари ноконсерватив кучлардир.

Консерватив кучларнинг бажарган ишини аниқлаш учун  $m$  массали жисмнинг оғирлик кучи таъсирида  $h$  баландликдан тушишдаги бажарган ишини ҳисоблаш керак (7.3-расм). Агар жисм 1 ҳолатдан 2 ҳолатга эркин тушади деб олинса, у ҳолда оғирлик кучининг бажарган иши қуйидагича топилади:

$$A_{1,2} = Ph = mg h.$$

Агар шу жисм қия текислик бўйлаб ишқаланишсиз сирпаниб 1 ҳолатдан 3 ҳолатга туша ва ишқаланишсиз горизонтал йўналишида 3 ҳолатдан 2 ҳолатга кўчса оғирлик кучининг бажарган иши 1-3 ва 3-2 ҳолатларга мос келган ишларнинг йиғиндисига тенг бўлади

$$A_{1,2,3} = A_{1,3} + A_{3,2}.$$

1-3 ҳолатга ўтишда бажарилган иш  $A_{1,3} = P \cos \alpha$ ,  $\cos \alpha = \frac{h}{S}$  дан

$h = S \cos \alpha$  эканини ҳисобга олсак,  $A_{1,2,3} = mgh$  келиб чиқади, чунки  $A_{2,3} = P \cos 90^\circ = 0$ . Натижадан кўришиб турибдики, оғирлик кучининг иши йўлнинг шаклига боғлиқ бўлмай, балки жисмнинг бошланғич ва охирига вазиятига боғлиқ экан.

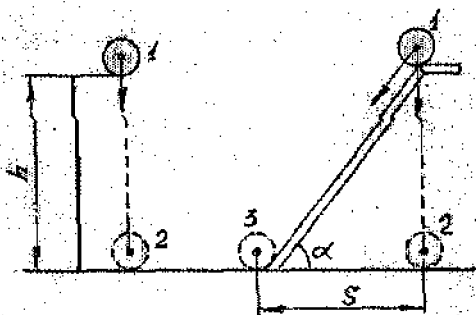
Энди иш билан энергия ўртасидаги боғланишни аниқлашга киришамиз.

### 1. Кинетик энергия ва иш

Энергия универсал катталиқ бўлиб, барча ҳаракат турларининг умумий миқдорий ўлчовидир. Аниқроғи энергия жисмнинг иш бажариш қобилиятини ифодалайди, демак, ҳаракатдаги жисмнинг энергияси кинетик энергиядан иборат бўлади. Кинетик энергия деб ҳаракатланаётган жисмнинг иш бажариш қобилиятига айтилади.

Фараз қилайлик,  $m$  массали жисмга ўзгармас куч  $F = \text{const}$  таъсир қилсин. Бу куч таъсирида жисм тўғри чизиқли тезланувчан ҳаракат қилади. Бундай ҳаракатда жисмнинг тезланиши ўзгармас бўлади, яъни  $a = \text{const}$ . У ҳолда ўзгармас куч таъсирида жисмнинг тезлик модули  $V_1$  дан  $V_2$  га ўзгариб иш бажаради.

7.4-расмдан кўриниб турибдики,  $m$  массали жисм бу куч таъсирида  $S$  масофани босиб ўтиб,  $A$  миқдорда иш бажаради. Сизга маълумки,

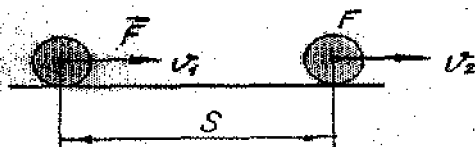


7.3-расм.

ўзгармас кучнинг бажарган иши  $A = FS \cos \alpha$  формула ёрдамида топилади. Жисм горизонтал йўналишда ҳаракат қилгани учун ва куч билан кўчиш бир томонга йўналганлиги сабабли  $\cos \alpha = 1$ , демак,  $A = FS$ .

Ньютоннинг иккинчи қонунига асосан  $F = ma$ . Куч билан кўчиш орасидаги муносабатларни ҳисобга олсак,

$$F = ma = m \frac{V_2 - V_1}{t} \quad \text{ва} \quad S = V_{\text{ур}} t = \frac{V_1 + V_2}{2} t,$$



7.4-расм.

Бажарилган иш

$$A = Fs = m \frac{V_2 - V_1}{t} \frac{V_1 + V_2}{2} t = \frac{m}{2} (V_2^2 - V_1^2)$$

$$A = \frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}$$

Формулада  $\frac{mV_2^2}{2}$  ҳад жисмнинг охириги вазиятини,

$\frac{mV_1^2}{2}$  ҳад эса бошланғич вазиятини ифодалайди.

Куч таъсирида жисмнинг кинетик энергияси ўзгаради, демак,  $\frac{mV_2^2}{2}$  ҳад куч таъсири қўйилган пайтдаги кинетик

энергияси,  $\frac{mV_1^2}{2}$  ҳад эса жисмнинг куч таъсири тўхтаган пайтдаги кинетик энергияси бўлади, яъни

$$W_{k_1} = \frac{mV_1^2}{2}; W_{k_2} = \frac{mV_2^2}{2}$$

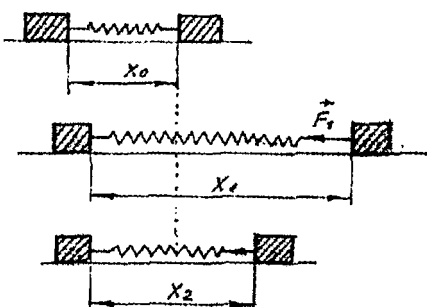
Шундай қилиб, кучнинг иши жисм кинетик энергиясининг ўзгаришига тенг бўлади

$$A = W_{k_2} - W_{k_1} = \Delta W$$

Ўзгармас массали жисмнинг кинетик энергияси жисмнинг ҳаракат тезлиги билан белгиланиб, энергия жисмга қандай усулда берилганига боғлиқ бўлмайди.

### 3. Эластиклик кучининг иши ва потенциал энергияси

Айтайлик эластиклик кучи таъсирида жисм деформацияга учраб, пружина узунлиги  $X_1$  дан  $X_2$  гача чўзилиб,  $S = X_2 - X_1$  масофага ўзгарсин (7.6-расм). Бу ҳолда эластиклик кучининг бажарган иши қандай ҳисобланади?



7.6-расм.

Эластиклик кучи пружина деформацияланишига боғлиқ бўлганлиги сабабли,  $F_1$  дан  $F_2$  гача ўзгаради. Куч кўчиришига чизиқли бўлиб, ўзгарувчан катталиқ ҳисобланади. Шунинг учун ишни ҳисоблашда кучининг ўртача қиймати олинади

$$F_{\text{ypt}} = \frac{F_1 + F_2}{2}.$$

Бироқ эластиклик куч  $F = kX$  ни ҳисобга олсак,

$F_1 = kX_1$ ;  $F_2 = kX_2$  бўлади. Шунинг учун ўртача куч

$$F_{\text{ypt}} = \frac{kX_1 + kX_2}{2} = \frac{k}{2}(X_1 + X_2) \text{ бўлади.}$$

Бажарилган иш

$$A \doteq F_{\text{ypt}} \times S = \frac{k}{2}(X_1 + X_2)(X_2 - X_1) = \frac{k}{2}(X_2^2 - X_1^2)$$

ёки

$$A = \frac{kX_1^2}{2} - \frac{kX_2^2}{2}.$$

Эластиклик куч таъсирида иш бажарилиб, пружинанинг потенциал энергияси ўзгаради. Формуладаги  $\frac{kX_1^2}{2}$  ҳад пружинанинг

жишанинг бошланғич вазиятдаги энергияси,  $\frac{kX_2^2}{2}$  ҳад эса пружинанинг охириги вазиятдаги потенциал энергиясини ифода қилади. Демак,

$$A = W_{p1} - W_{p2} = - (W_{p2} - W_{p1}) = - \Delta W_p$$

Шундай қилиб, эластиклик кучининг иши қарама-қарши ишора билан олинган потенциал энергия ўзгаришига тенг. Манфий ишора эластиклик кучи бажарган иш натижа-сида потенциал энергия камайганлигини билдиради.

Мисол учун, девор соат калит билан буралганда соат механизмининг пружинаси потенциал энергияга ҳамда иш бажариш қобилиятига эга бўлади ва соат механизми ҳара-кат қилади.

Маълум бўлдики, барча ҳолларда  $F$  кучининг иши энергия-нинг ўзгаришига тенг, яъни кучининг иши бир турдаги энерги-янинг бошқа турдаги энергияга айланишининг ўлчови экан.

$$A = \pm \Delta W$$

Шунинг учун ҳам халқаро бирликлар тизимида энергия бирлиги иш бирлиги каби Жоуль бўлади. Энергия скаляр катталиқ ҳисобланади.

## 38-§. ҚУВВАТ

Кундалиқ ҳаётимизда турли хил механик ишларни куза-тамиз. Бироқ бу ишларнинг бажарилиши вақти турлича экан-лигига қуйидаги мисоллар орқали ишонч ҳосил қиламиз. Ерни ҳайдашда (ишлов беришда) одам меҳнат қуроли кетмон ёки белкурак ёрдамида ишлов берган майдондаги ишини ерга ишлов берувчи трактор қисқа вақтда бажаради. Оғир юкни кўтариш крани бақувват одамга нисбатан тезроқ белгилан-ган жойга чиқариб қўяди. Бизни ишни бажариш тартиби қизиқтирмай, балки ишни бажариш жадаллиги қизиқтира-ди, бошқача айтганда, машина ва механизм-лар ёрдамида иш бажарилганда бир турдаги энергияни бошқа турдаги эн-ергияга айланиш тезлиги, яъни иш бажариш тезлиги қизиқти-ради. Юқоридаги мисолларимизда, ерга ишлов бераётган трак-торнинг ёнилғи энергияси механик ва ички энергияга, кўта-риш крани электр энергияси эса механик энергияга айлана-ди. Энергиянинг айланиш тезлигини — иш бажариш жадал-

Кинетик энергия тўғрисидаги теоремага асосан кинетик энергия ҳаракатланувчи жисмни характерлайдиган физик катталиқ бўлиб, бу катталиқнинг ўзгариши жисмга қўйилган кучнинг ишига тенг деган хулосага келамиз.

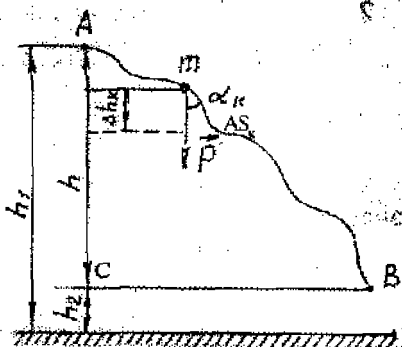
Агар куч таъсирида бажарилган иш  $A > 0$  бўлиб, мусбат қийматли бўлса,  $W_{k2} - W_{k1} > 0$  дан  $W_{k2} > W_{k1}$  бўлади, яъни кинетик энергия ортиб бориши ҳисобига мусбат иш бажарилади. Куч йўналиши жисм кўчиши йўналишига қарама-қарши бўлса,  $A < 0$  бўлиб, манфий иш бажарилади, яъни  $W_{k2} - W_{k1} < 0$  бўлиб,  $W_{k2} < W_{k1}$  бўлади ва кинетик энергия камаяди.

Кинетик энергиянинг бажарган ишига қуйидагиларни мисол қилиб олиш мумкин: болға билан мих қоқилганда, болғанинг кинетик энергияси ҳисобига мих қоқилади ва бу энергия ҳисобига иш бажарилади. Темирчи ҳар хил темир буюмларни ясашда тобланган темирни болға билан уриб ишлов беради, натижада темир турли шакли буюмга айланади. Бу ҳолда ҳам болғанинг кинетик энергияси ҳисобига иш бажарилапти.

## 2. Оғирлик кучининг иши ва потенциал энергия

Фараз қилайлик,  $m$  массали жисм 7.5-расмда кўрсатилганидек эгри чизиқли траектория бўйлаб, оғирлик кучи таъсирида ҳаракат қилсин.

Жисм (моддий нуқта) Ернинг тортишиш майдони таъсирида А нуқтадан В нуқтага кучади ва иш бажаради. Тўлиқ бажарилган ишни аниқлаш учун жисмнинг ҳаракат траекториясини кичик  $\Delta S_k$  бўлакчаларга бўлиб чиқамиз. Натижада ҳар бир бўлакча тўғри чизиқдан иборат бўлади. Ихтиёрий танлаб



7.5-расм.

олинган бўлакча учун оғирлик кучи  $P$  билан кўчиш оралиғи  $\Delta S_k$  орасида  $\alpha_k$  бурчак бўлганлиги сабабли бажарилган иш қуйидаги муносабатдан топилади:

$$\Delta A_k = P \Delta S_k \cos \alpha_k = mg \Delta S_k \cos \alpha_k$$

AC тик чизиқ бўйича проекцияси  $\Delta h_k = \Delta S_k \cos \alpha_k$  га тенг-лигини ҳисобга олсак, ихтиёрий танлаб олинган бўлак-



чадаги оғирлик кучининг иши  $\Delta A_x = P \Delta h_x$  га тенг бўлади. АВ траектория бўйича бажарилган иши ҳамма бўлакчалардаги бажарилган ишларнинг йиғиндисига тенг бўлади.

$$A = mgh_1 + mgh_2 + mgh_3 + \dots + mgh_k = mg(h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_k).$$

Умумий баландлик:  $h = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_k$  га тенг бўлганлиги учун  $A = mgh$  бўлади. Расмдан эса  $A = P \times h = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$ .

Формуладаги  $mgh_1$  жисмнинг бошланғич вазиятини,  $mgh_2$  ҳад эса охириги вазиятини характерлайди. Жисмнинг тушиши натижасида жисм потенциал энергияси ўзгаради, шунинг учун  $mgh_1$  ҳад биринчи ҳолатдаги жисмнинг потенциал энергияси,  $mgh_2$  эса иккинчи ҳолатдаги потенциал энергияси бўлади, яъни

$$W_{p1} = mgh_1; W_{p2} = mgh_2.$$

Шундай қилиб, оғирлик кучининг иши жисм потенциал энергиясининг ўзгаришига тенг

$$A = W_{p1} - W_{p2} = - (W_{p2} - W_{p1}) = - \Delta W_p.$$

Манфий ишора оғирлик кучининг иши натижасида тортишиш майдонидаги жисм потенциал энергиясининг камайишини билдиради.

**Потенциал энергия** деб жисмларнинг ўзаро таъсирлашиш натижасида уларнинг бир-бирига нисбатан вазиятининг бир ҳолатдан иккинчи ҳолатга ўтишида бажарган иши билан ўлчанадиган катталиқка айтилади. Потенциал энергия ўзаро таъсирлашаётган жисмлар энергияси бўлиб, уларнинг ҳаракат тезлигига боғлиқ эмас. Потенциал энергиянинг ишораси ва миқдорини ҳисоблаш нолинчи сатҳни танлаб олишга боғлиқ. Нолинчи сатҳ ихтиёрий танлаб олинади. Кўпинча Ер сирти нолинчи сатҳ деб олинади. Агар жисм нолинчи сатҳдан бўлса, потенциал энергия манфий бўлади. Бажарилган иш эса нолинчи сатҳга боғлиқ эмас, чунки у потенциал энергиянинг ўзгаришига боғлиқ бўлади.

Демак, оғирлик кучининг иши жисм босиб ўтган йўлнинг траекториясига боғлиқ бўлмай, жисмнинг бошланғич ва охириги вазиятига боғлиқ экан.

Мисол учун кўтарма кран оғир юкни бирор баландликка кўтариб, тинч турган бўлса, кран ва юк потенциал энергияга эга бўлади, юки туширилганда оғирлик кучининг иши юкнинг потенциал энергиясига тенг бўлади. Потенциал энергия алоҳида олинган бир жисмга тегишли бўмайди, балки жисмлар тизимига тегишли бўлади.

лигининг моҳиятини белгилаш учун муҳим катталиқ — қувват тушунчасидан фойдаланилади. Қувват одатда  $N$  ҳарфи билан белгиланади. Машина ва механизмларнинг қуввати деб бирлик вақт ичида бажарилган ишга миқдор жиҳатидан тенг бўлган скаляр катталиқ айтилади, яъни

$$N = \frac{A}{t} \quad (1)$$

бу ерда,  $A$  — бажарилган иш;  $t$  — шу ишни бажариш учун кетган вақт. Халқаро бирликлар тизимида қувват бирлиги қилиб буюк инглиз ихтирочиси ва олими Жеймс Уатт шарафига Ватт (Вт) қабул қилинган. 1Вт шундай катталиқки, бунда 1с ичида 1Ж га тенг иш бажарилиши керак. Техникада кўпроқ қувват бирлиги сифатида 1кВт =  $10^3$  Вт ва 1МВт =  $10^6$  Вт қўлланилади.

Автомобиль ва бошқа ҳаракатланувчи механизмларнинг қувватини аниқлашда от кучидан фойдаланилади. 1 о.к. = 735 Вт.

Кўпинча ҳаракат қилувчи машина ва механизмлар: самолёт, ракета, сунъий йўлдошлар, кема ва бошқалар ўзгармас тезлик билан ҳаракат қилади. Бундай ҳаракат, ҳаракатланувчи машиналарнинг тортишиш кучи қаршилик кучига модуль жиҳатидан тенг бўлади ва қарама-қарши йўналганда амалга ошади. Агар ҳаракат ўзгарувчан бўлса, қувват ҳам вақт ўтиши билан ўзгаради, у ҳолда қувватнинг оний қиймати. Агар ҳаракат тўғри чизиқли бўлса, кучнинг йўналиши кўчиш йўналишига мос тушади, яъни  $\alpha=0$  ва  $\cos \alpha=1$  бўлиб, бажарилган иш  $A=FS$  га тенг бўлади, у ҳолда қувват

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = FV$$

формуладан топилади.

Демак, ҳаракатланувчи машинанинг қуввати ўзгармас бўлганда тезлик таъсир этувчи кучга тескари пропорционал бўлади. Мана шу принцип асосида машиналарнинг тезликлар тақсимоги қутиси ишлайди. Шунинг учун автомобиль ҳайдовчиси тепаликка чиқишда тортишиш кучи энг катта бўлиши керак бўлганда двигателни кичик тезликка ўтказиши керак.

Агар ҳаракат ўзгарувчан бўлса, қувват ҳам вақт ўтиши билан ўзгаради, у ҳолда қувватнинг оний қиймати оний тезлик орқали топилади.

$$N_0 = FV_0$$

Ўзгарувчан ҳаракатда қувватининг ўртача қийматини топиш мақсадга мувофиқ келади, шунинг учун  $V$  тезликни  $V_{\text{орт}}$  тезлик билан алмаштириб, ўртача қувват топилади

$$N_{\text{орт}} = FV_{\text{орт}}$$

**ЭСЛАТМА:** жуда катта тезликларда (самолёт, кема) муҳитнинг қаршилик кучи тезликнинг квадратига пропорционал бўлади, яъни  $F = \beta V^2$ , қувват эса тезликнинг кубига пропорционал бўлади, яъни  $N = FV = \beta V^3$ . Демак, самолёт ёки кеманинг тезлигини икки марта орттириш учун двигател қувватини 8 марта орттириш керак бўлади.

### 39-§. Фойдали иш коэффиценти

Ҳар қандай ҳаракат қилувчи машиналар двигател ёрдамида ҳаракатга келтирилиб, маълум бир ишни бажаришга мўлжалланади. Двигателнинг ҳаракати давомида энергиянинг сақланиш қонуни қатъиян бажарилади, чунки сарфланган энергия миқдори ҳеч қачон олинган энергиядан ортиқ бўмайди. Масалан, ерга ишлов берувчи тракторнинг двигатели ишлаганда ёнилғи энергиясининг учдан бир қисми механик энергияга айланиб, иш бажаради. Қолган учдан икки қисм энергия фойдасиз ишга сарф бўлади. Фойдасиз иш асосан қаршилик кучини енгиш учун амалга ошади. Фойдали иш эса доимий тўлиқ ишдан кам бўлади.

Машиналар бажарган ишдан унумли фойдаланиш мақсадида фойдали иш коэффиценти тушунчаси киритилади.

**Фойдали иш коэффиценти** деб сарфланган тўлиқ ишнинг қанча қисми фойдали ишни ташкил қилганини кўрсатувчи ўлчамсиз катталиқка айтилади, яъни

$$\eta = \frac{A_{\text{ф}}}{A_{\text{т}}}$$

Формуладаги  $\eta$  — фойдали иш коэффиценти ( $\eta$ -эта);  $A_{\text{ф}}$  — фойдали иш;  $A_{\text{т}}$  — тўлиқ иш. Фойдали иш коэффици-

енти (ФИК) ҳар доим бирдан кичик бўлади. ФИК бирга яқинлашган сари машина тежамлиги ортиб боради. Амалда ФИК фоизларда ҳисоблангани учун ФИК

$$\eta = \frac{A}{A_T} 100\%$$

билан ифодаланади.

Фойдали иш  $A_\phi = N_\phi t$  ва тўлиқ иш  $A_T = N_T t$  бўлгани учун ФИКни қувват орқали қуйидагича ёзиш мумкин:

$$\eta = \frac{N_\phi}{N_T} \quad \text{ёки} \quad \eta = \frac{N_\phi}{N_T} 100\% .$$

Қуйидаги жадвалда баъзи бир мосламаларнинг фойдали иш коэффициенти келтирилган:

МОСЛАМАЛАР	Фойдали иш коэффициенти % ларда
Чўланма электр лампа	3,0
Кукдузги ёруғлик лампа	25
Карбюраторли двигател	25
Дизел двигатели	35-40
Турбовинтли двигател	30
Иссиқлик электр станциялари	25
Электровоз	90
Қувватли электродвигател	95
Қувватли ўзгарувчан ток генератори	97-98
Қувватли электр трансформатор	98-99

Фойдали иш коэффициентнинг моҳияти нима?  
У нимани аниқлайди?

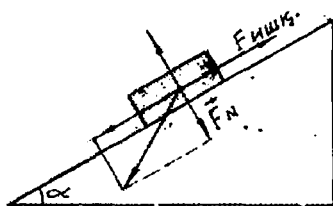
## 40-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

1-масала. 1000 кг массали вагонетка қиялиги  $\alpha=30^\circ$  бурчакни ташкил этувчи темир йўл бўйлаб тепаликка кўтарилаётган бўлса, вагонетка  $a=0,2 \text{ м/с}^2$  тезланиш билан ҳаракат қилганда, тортиш кучининг  $S=100 \text{ м}$  йўлда бажараган иши қанча бўлади? Ишқаланиш коэффициентги 0,2 га ва эркин тушиш тезланиши  $10 \text{ м/с}^2$  деб олинсин.

Берилган:  
 $m = 1000 \text{ кг};$   
 $\alpha = 30^\circ;$   
 $a = 0,2 \text{ м/с}^2;$   
 $S = 100 \text{ м};$   
 $\mu = 0,2;$   
 $g = 10 \text{ м/с}^2$   
 Тошиш керак:  
 А-?

Ечиш. Масалани ечиш учун чизма чизамиз (7.7-расм).

Вагонеткага  $F_T$  — тортиш кучи;  $P$  — оғирлик кучи;  $F_c$  — пастга судровчи куч;  $F_N$  — босим кучи таъсир этади.  $F_T$  — тортиш кучини аниқлаш учун  $P=mg$  оғирлик кучини;  $F_c = mg \sin \alpha = P \sin \alpha$  пастга судровчи ва  $F_N = P \cos \alpha = mg \cos \alpha$  ташкил этувчи кучларни аниқлаб, динамиканинг II қонунини қўллаймиз, яъни  $ma = F_T - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$  бўлади.



7.7-расм.

Ишқаланиш кучи чизмага асосан  $F_{\text{ишк}} = \mu F_N = \mu mg \cos \alpha$  бўлади. У ҳолда  $ma = F_T - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha$  ни ёзиш мумкин. Тортиш кучи  $F_T = m(a + g \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha)$  бўлади ёки  $F_T = ma + g \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha$  бўлади.

Бажарилган иш  $A = F_T \times S = m(a + g \sin \alpha + \mu g \cos \alpha) \times S$

$$A = 1000_{\text{кг}} \times \left( 0,2 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} + 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \times \frac{1}{2} + 0,2 \times 10 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \times 0,866 \right) \times 100_{\text{М}} = 1000_{\text{кг}}$$

$$\left( 0,2 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} + 5 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} + 1,732 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right) \times 100_{\text{М}} = 1000_{\text{кг}} \times 6,932 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \times 100_{\text{М}} = 693200 = 693$$

Жавоб.  $A = 693$  кН.

2-масала. Бирлиги  $k=29,4$  Н/см бўлган пужинани  $X=5$  см. га сиқиш учун қанча иш бажарилди?

Берилган:

$$K=29,4 \text{ Н/см} = 29,4 \times 10^2 \text{ Н/м}$$

$$X=5 \text{ см} = 5 \times 10^{-2} \text{ м}$$

Ечиш. Пужина сиқилганда бажарилган иш потенциал энергиянинг ўзгариши ҳисобига амалга ошади,

$$\text{яъни } A = \Delta W_p = \frac{KX^2}{2}$$

Ҳисоблашларни амалга оширсак

$$A = \frac{29,4 \times 10^2 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \times (5 \times 10^{-2})^2}{2} = \frac{29,4 \times 10^2 \times 25 \times 10^{-4}}{2} = \frac{735 \times 10^{-3}}{2} \text{ Н} \times \text{м} = 367 \times 10^{-3}$$

Жавоб.  $A=367 \times 10^{-3}$  Ж максимал бўлади.

3-масала.  $m$  массали шар  $\ell$  узунликдаги ипга осилган, агар тизимни  $90^\circ$  бурчакка оғдириб қўйиб юборилса тизим тебранма ҳаракатга келади. Бу ҳолда ипнинг максимал тарангловчи кучи қандай қийматга эришади?

Берилган:

$$\alpha = 90^\circ \approx 1,57 \text{ рад}$$

Тоғиш керак:

$$F_T - ?$$

Ечиш. Масалани ечиш учун қуйидаги 7.8-расмни чизамиз. Шар В нуқтада бўлганда ипнинг таранглик кучи максимал бўлади. Бу нуқтада шарга

ипнинг  $F_T$  таранглик кучидан ташқари оғирлик кучи ҳам таъсир этади. Динамиканинг II қонунига асосан У ўқидаги проекцияси  $F_T - mg = ma_y$  бўлади.

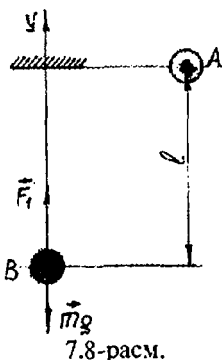
Тезланиш марказига интилма  $a = \frac{V^2}{R}$  ва  $R = \ell$  ни ҳисобга

олсак, 
$$F_T = mg + \frac{mV^2}{2}$$
 га тенг бўлади.

Жавоб. Тарангловчи куч

$$F_T = mg + \frac{mV^2}{2}.$$

4-масала. Одам аравача ичида туриб иккинчи аравачани итариб ҳаракатга келтиради. Иккала аравача ҳаракатга келиб, маълум масофага кўчади ва ишқаланиш таъсирида тўхтайди. Агар биринчи аравачанинг одам билан массаси, иккинчи аравачанинг массасидан 4 марта ортиқ бўлса, аравачалар тўхтагунча кўчишларнинг нисбати қандай бўлади?



Берилган:

$$m_1 = 4 m_2$$

Топиш керак:

$$\frac{S_1}{S_2} \rightarrow ?$$

тенгламани

Ечиш. Импульсининг сақланиш қонуни бўйича ўзаро таъсир натижасида ҳаракат йўналишлари X ўқ бўйича амалга

ошганлиги сабабли қуйидаги

ёзиш мумкин:

$$m_1 V_1 - m_2 V_2 = 0 \text{ ёки } m_1 V_1 = m_2 V_2$$

$$m_1 = 4m_2 \text{ ни ҳисобга олсак, у ҳолда тенглама } 4 m_1 V_1 = m_2 V_2$$

тенг бўлади. Бундан  $V_1 = \frac{V_2}{4}$  га тенглиги келиб чиқади. Тан-қи кучнинг бажарган иши кинетик энергиянинг ўзгаришига

тенг эди.  $A = \Delta W_g = -\frac{mV^2}{2}$ . Бажарилган иш  $A = -F_{\text{ишқ}} \times S = -\mu mgS$  десак,

$$-\frac{mV^2}{2} = -\mu mgS \text{ ёки } \frac{V^2}{2} = \mu gS \text{ ёзиш мумкин.}$$

Биринчи аравача учун  $\frac{V_1^2}{2} = \mu gS_1$  ўринли бўлади.

Иккинчи аравача учун  $\frac{V_2^2}{2} = \mu g S_2$  келиб чиқади.

Тенгламаларни бўлсак  $\frac{S_1}{S_2} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$ .

$V_1$  тезликни охириги формулага қўйсак  $\frac{S_1}{S_2} = \frac{\left(\frac{V_2}{4}\right)^2}{V_2^2} = \frac{1}{16}$ .

Жавоб.  $\frac{S_1}{S_2} = \frac{1}{16}$ .

5-масала. Кўтарма кран  $2 \text{ м/с}^2$  тезланиш билан тинч турган юкни  $10 \text{ с}$  давомида кўтариб,  $590 \times 10^4 \text{ Ж}$  иш бажарган. Юкнинг массасини аниқланг.

Берилган:

$$a = 2 \text{ м/с}^2$$

$$t = 10 \text{ с}$$

$$A = 590 \times 10^4 \text{ Ж}$$

$$V_0 = 0$$

Топиш керак:

$m$  - ?

Ечиш. Кўтарувчи куч ва кўчиш йўналиши бир хил бўлганлиги учун  $\alpha = 0$  ва  $\cos = 1$  бўлади, у ҳолда бажарилган иш  $A = F \times S$  га тенг бўлади.

Шунингдек, юкка оғирлик кучи таъсир этади, у ҳолда юкнинг  $a$  тезланиш билан юқорига кўтарилиши учун Ньютоннинг II қонунидан фойдаланиб, қуйидаги формулани ёзиш мумкин:

$$F - mg = ma \quad \text{ёки} \quad F = m(g+a).$$

Юк  $t$  вақт ичида  $S = \frac{at^2}{2}$  масофага кўчади, чунки бошланғич тезлиги  $V_0 = 0$ . Куч ва кўчишни иш формуласига

қўйиб,  $A = m(g+a) \times \frac{at^2}{2}$  ишни топамиз. Бундан



$m = \frac{2A}{(g+a)kt}$ , ни ёзиш мумкин, сон қийматларини қўйиб ҳисоблаймиз

$$m = \frac{2 \times 59 \times 10^4}{\left(9,8 \frac{M}{c^2} + 2 \frac{M}{c^2}\right) \times 2 \frac{M}{c^2} \times 100 c^2} = \frac{11800}{23,6 \frac{M^2}{c^2}} = 500 \text{ кг}$$

Жавоб.  $m = 500$  кг.

6- масала. Мотоцикл массаси ҳайдовчиси билан бирга-ликда 200 кг. Мотоцикл жойидан қўзғалиб, қиялиги 0,02 бўлган тепалик бўйлаб 100 м масофага қўчганда 10 м/с тезликка эришиди. Ишқаланиш коэффициентини 0,05 га тенг бўлса, мотоцикл моторининг ўртача қувватини топинг.

Берилган:	Ечиш. Мотоциклчи ҳаракати $V = \sqrt{2aS}$ формуладан $a = \frac{V^2}{2S}$ тезланиш билан, $t = \frac{V}{a} = \frac{V}{\frac{V^2}{2S}} = \frac{2S}{V}$
$V = 20$ м/с;	
Тоғини керак:	
$N_{\text{врт}} - ?$	

$V = V_0 + at$  да  $V_0 = 0$  деб.

вақт давом этади.

Мотоциклга тезланиш берувчи торғини кучи билан бир қаторда ишқаланиш кучи  $F_{\text{тр}} = \mu mg$  ва судровчи куч  $F_c = mg \sin \alpha$  таъсир этади.

Ньютоннинг II қонунига асосан

$$F_i = F_{\text{тр}} + F_c + F = \mu mg + mg \sin \alpha + ma \text{ га тенг}$$

$$F_T = m(\mu g + \sin \alpha + a) = m \left[ g(\mu + \sin \alpha) + a \right] = m \left[ g(\mu + \sin \alpha) + \frac{V^2}{2S} \right]$$

Ўртача қувват

$$N_{\text{врт}} = \frac{A_{\text{врт}}}{t} = \frac{F_T S}{t} = \frac{F_T S}{\frac{2S}{V}} = \frac{mS}{t} \left[ g(\mu + \sin \alpha) + \frac{V^2}{2S} \right]$$

$$\frac{mS}{2S} \left[ g(\mu + \sin \alpha) + \frac{V^2}{2S} \right] = \frac{mV}{2} \left[ g(\mu + \sin \alpha) + \frac{V^2}{2S} \right]$$

$$N_{\text{ypr}} = \frac{200_{\text{кг}} \times 10 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{2} \left[ 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} (0,05 + 0,02) + \frac{100 \frac{\text{М}^2}{\text{с}^2}}{2 \times 100_{\text{М}}} \right]$$

$$= 1000 \frac{\text{кг} \times \text{М}}{\text{с}} \left[ 9,8 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} (0,07) + 0,5 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right] = 1000 \frac{\text{кг} \times \text{М}}{\text{с}} \times 1,186 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$$

$$= 1186 \frac{\text{Н} \times \text{М}}{\text{с}} = 1186 \frac{\text{Вт}}{\text{с}} = 1186 \text{ Вт}$$

Жавоб.  $N_{\text{ypr}} = 1186 \text{ Вт}$ .

7-масала. 20 м/с тезлик билан учиб келаётган массаси 0,6 кг бўлган футбол коптогини дарвозабон 0,1 с ичида ушлаб олиши керак бўлса, дарвозабоннинг қувватини аниқланг.

Берилган:

$V = 20 \text{ м/с}$ ;

$m = 0,6 \text{ кг}$ ;

$t = 0,1 \text{ с}$ ;

Топиш керак:

$N = ?$

Ечиш. Дарвозабон копток ҳаракатига қаршилиқ кўрсатиб коптокни ушлайди.

Дарвозабоннинг кўрсатган кучи

$$F = ma = m \frac{V}{t};$$

Дарвозабоннинг ўртача қуввати

$$N_{\text{ypr}} = FN_{\text{ypr}} = m \frac{V \cdot V}{t \cdot 2};$$

$$N_{\text{ypr}} = \frac{20 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{0,1 \text{ с}} \times 0,6_{\text{кг}} \times \frac{20 \frac{\text{М}}{\text{с}}}{2} = 1200$$

Жавоб.  $N_{\text{ypr}} = 1200 \text{ Вт}$ .

8-масала. Оғирлиги 0,08 Н бўлган ўқ милтиқдан горизонтал йўналишда учиб чиқади. Нишон 400 м узоқликда жойлашган бўлиб, ўқ нишонга етиб келгунча 2 м пасаяди. Ўқнинг милтиқдан учиб чиқиш вақтидаги кинетик энергиясини топинг.

Берилган:  $P=0,08 \text{ Н};$   
 $S=400 \text{ м};$   
 $h=2 \text{ м}.$

Ечиш.  $W_k = \frac{mV^2}{2}$  формула ёрдамида ўқнинг кинетик энергияси топилади. Ўқ биринчидан эркин тушиш ҳаракатида қатнашиб,  $h$  масофага пастга тушади.

Топиш керак:  $h = \frac{gt^2}{2}$  га тенг бўлади.

Ўқни нишонга етиб келиш вақти  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  бўлади.

Иккинчидан ўқ горизонтал йўналишда  $S$  масофани босиб ўтади, ўқ тезлиги:

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

Тезлик ифодасини кинетик энергия формуласига қўйиб,

$$W_k = \frac{mV^2}{2} = \frac{m}{2} \left( S \sqrt{\frac{g}{2h}} \right)^2 = \frac{mgS^2}{4h} = \frac{PS^2}{4h}$$

сонли қийматларни қўйиб ҳисоблаймиз

$$W_k = \frac{0,08 \text{ Н} \times (4 \times 10^2)^2 \text{ М}^2}{4 \times 2 \text{ м}} = \frac{0,08 \text{ Н} \times 16 \times 10^4 \text{ М}^2}{8 \text{ м}} = 1600 \text{ Ж}$$

Жавоб.  $W = 1600 \text{ Ж}.$

## 41-§. МЕХАНИК ЭНЕРГИЯНИНГ АЙЛАНИШ ВА САҚЛАНИШ ҚОНУНИ

Моддий оламда барча нарса ҳаракат қилади. Бу ҳаракат доимо ўзгариб туради, ҳаракат бир турдан бошқа турдаги ҳаракатга айланади, демак, энергия турларининг ўзаро айланиши содир бўлади. Илгариланма ҳаракат қиладиган жисмлар тизимининг кинетик энергияси фақат шу жисмлар тезлигига, потенциал энергияси эса жисмларнинг бошланғич ва охириги вазиятига боғлиқ эди. Жисмлар тизимининг тўла энергияси унинг кинетик ва потенциал энергиялари йиғиндисига тенг бўлиб, тизимдаги жисмларнинг ўзаро жойлашуви ва уларнинг тезлигига боғлиқ бўлади.

$$W_T = W_K + W_P \quad (1)$$

Фараз қилайлик, жисм консерватив куч таъсирида бўлиб, жисмга фақат консерватив кучдан бошқа куч таъсир қилмасин. Бу ҳолда жисм  $S$  масофага кўчиб, потенциал энергия камайиши ҳисобига иш бажаради, яъни

$$A = -W_P \quad (2)$$

Иккинчи томондан жисмга консерватив куч таъсирида  $S$  масофага кўчишида кинетик энергия ортиб иш бажаради, бу ишнинг миқдори

$$A = W_K \quad (3)$$

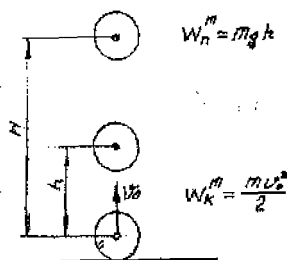
(2) ва (3) тенгликдан  $W_K = -W_P$  ни ҳосил қиламиз, Демак, кинетик ва потенциал энергияларнинг йиғиндиси  $W_T = W_K + W_P$  тўла энергияга тенг бўлади, яъни  $W_T = W_K + W_P = \text{const}$ .

Бу ифода энергиянинг сақланиш қонунидир.

Демак, консерватив кучлар майдонида ҳаракатланаётган жисмларнинг механик энергияси ўзгармасдир.

Мисол учун,  $m$  массали жисмни вертикал равишда юқорига  $V_0$  тезлик билан отсак, жисм кинетик энергияга эга бўлади

$$W_K = \frac{mV_0^2}{2} \quad (4)$$



Жисм юқорига кўтарилиши натижасида тезлиги камайиб, по-

Ж. 7.9-расм.

тенциал энергияси ортади (7.9-расм).

$$W_p = mgh \quad (5)$$

Бу ерда  $h$  — жисмнинг кўтарилиш баландлиги. Жисм энг юқори баландлик  $H$  га кўтарилганда кинетик энергия эса энг катта қийматга эришади

$$W_p = mgH$$

Бу баландликнинг қиймати  $H = \frac{V_0^2}{2g}$  эканлигини ҳисоб

га олсак, потенциал энергия миқдори қуйидагига тенг бўлади:

$$W_p = mgH = mg \frac{V_0^2}{2g} = \frac{mV_0^2}{2} \quad (6)$$

Бу формуладан кўриниб турибдики, жисм юқорига кўтарилаётганда унинг кинетик энергияси потенциал энергияга айланади, лекин тўлиқ энергия миқдори ўзгармайди, яъни  $W_T = W_K + W_p = const$ . Бу механиканинг олтин қонунидир.

Фараз қилайлик, бир-бири билан ўзаро таъсирлашувчи  $n$  дона жисм тизимига ички консерватив кучлардан ташқари, ташқи консерватив кучлар ҳам таъсир қилаётган бўлсин. Бу икки куч таъсирида жисмлар тизимининг вазияти ва бир-бирига нисбатан жойлашуви ўзгаради. Бу кучлар иш бажаради. Ташқи куч таъсирида потенциал энергия камайиши ҳисобига бажарилган иш  $A_1 = -W_p$ , ўзаро таъсир натижасида ҳосил бўлган ички кучларнинг иши жисмларнинг ўзаро таъсир потенциал энергиясининг камайиши ҳисобига амалга ошади:  $A_2 = -W_p$ . Барча кучлар таъсиридаги бажарилган иш кинетик энергиянинг ортиш ҳисобига амалга ошади

$$A_1 + A_2 = W_K \text{ ёки } -W_p - W_p = W_K$$

## 42-§. АБСОЛЮТ ЭЛАСТИК ВА НОЭЛАСТИК ТЎҚНАШИШЛАР

Импульс ва энергиянинг сақланиш қонунларига яққол мисол қилиб жисмларнинг абсолют эластик ва ноэластик тўқнашишларини олиш мумкин. Жисмларнинг бир-бирига бевосита тегиши туфайли юз берадиган ўзаро таъсирга тўқна-

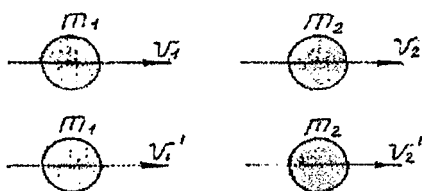
шув ёки урилиш деб аталади. Тўқ-нашув жараёни фазонинг кичик соҳасида жисмларнинг қисқа вақтли ўзаро таъсирида намоён бўлади. 10 см диаметри икки пўлат шар бир-бирига қараб 5 м/с тезликда яқинлашиб тўқнашганда ўзаро таъсир 0,0005 с давом этади, ammo шарларнинг бир-бирига тегиши соҳасида жуда катта кучлар намоён бўлади. Мисолмизда намоён бўлаган куч миқдори 40000 Н дан ортиқ бўлади. Тўқнашиш вақтида жисмлар деформацияга учрайди, натижада тўқнашувчи жисмларнинг кинетик энергиясининг бир қисми эластик деформациянинг потенциал энергиясига ва қолган қисми жисмларнинг ички энергиясига айланиб, жисмлар ҳароратини ортиради. Тўқнашувлар икки хил бўлади, абсолют эластик ва ноэластик. Бу тўқнашувлар билан алоҳида-алоҳида танишиб чиқайлик.

**1. Абсолют эластик тўқнашиш.** Бундай тўқнашишнинг ажойиб хусусиятлари қуйидагилар: 1) тўқнашиш вақтида жисмларнинг эластик деформацияланиши вужудга келади,

лекин тўқнашишдан сўнг деформация бутунлай йўқолади; 2) тўқнашиш натижасида жисмларнинг кинетик энергияси эластик деформациянинг потенциал энергиясига айланади;

3) потенциал энергия жисмлар ўз шаклини тиклаши натижасида яна кинетик энергияга айланади; 4) кинетик энергия жисмларнинг ички энергиясига айланмайди; 5) тўқнашувдан сўнг жисмлар биргаликда ҳаракатланмайди; 6) бундай тўқнашишда тизим импульсининг ва тизим механик энергиясининг сақланиш қонунлари бажарилади.

Бундай тўқнашишда пўлат, фил суяги каби моддалардан фойдаланилади. Фараз қилайлик  $m_1$  ва  $m_2$  массали жисмларнинг тўқнашгунча тезликлари мос равишда  $V_1$  ва  $V_2$  бўлса, тўқнашгандан сўнг  $V_1'$  ва  $V_2'$  бўлади (7.10-расм). Тўқнашиш марказий тўқнашишдан иборат деб катталиклар модулини ҳисоблаймиз. Биринчи жисм йўналиши мусбат, иккинчичикини манфий деб оламиз. Мос ҳолда импульс ва энергиянинг сақланиш қонунлари қуйидагича ёзилади:



7.10-расм.

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{m_1 V_1'^2}{2} + \frac{m_2 V_2'^2}{2} \quad (1)$$

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 V_1' + m_2 V_2' \quad (2)$$

(1) ва (2) тенгламаларни биргаликда ечамиз

$$m_1 (V_1 - V_1') = m_2 (V_2' - V_2) \quad (3)$$

$$m_1 (V_1^2 - V_1'^2) = m_2 (V_2'^2 - V_2^2) \quad (4)$$

охирги тенгламани

$$m_1 (V_1 - V_1')(V_1 + V_1') = m_2 (V_2' - V_2)(V_2' + V_2) \quad (5)$$

шаклга келтирсак, сўنгра

$$V_1 + V_1' = V_2' + V_2 \quad (6)$$

ҳосил қиламиз (3) тенгламага нисбатан ечиб). Жисмларнинг тўқнашгандан кейинги  $V_1'$  ва  $V_2'$  тезликларини аниқлайлик. Бунинг учун (6) ни  $m_2$  га кўпайтирамиз

$$m_2 V_1 + m_2 V_1' = m_2 V_2' + m_2 V_2 \quad (7)$$

Бу натижани (3) тенгламадан айириб, биринчи жисмнинг тўқнашишидан кейинги тезлигини топамиз

$$V_1' = \frac{2m_2 V_2 + (m_1 - m_2)V_1}{m_1 + m_2} \quad (8)$$

Шундай усул билан (6) ифодани  $m_1$  га кўпайтириб, олинган натижани (3) ифодадан айириб, иккинчи жисмнинг тўқнашишидан кейинги тезлиги учун

$$V_2' = \frac{2m_1 V_1 + (m_2 - m_1)V_2}{m_1 + m_2} \quad (9)$$

формуллани аниқлаймиз. Олинган натижалар учун қуйидаги хусусий ҳолларни кўриб чиқамиз:

1) Агар  $V_2 = 0$  бўлса,

$$V_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} V_1 \quad (10)$$

$$V_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} V_1 \quad (11)$$

формуллалар ҳосил бўлади. Бунда,

а)  $m_1 = m_2$  бўлса,  $m_2$  массали жисм тинч турган бўлади ( $V_2 = 0$ ) (7.11-расм), тўқнашгандан сўнг биринчи жисм тўхтайди ( $V_1' = 0$ ), иккинчи жисм биринчи жисмнинг тўқнашгунча бўлган тезлиги билан ҳаракат қилади ( $V_2' = V_1$ ).

б) Агар  $m_1 > m_2$  бўлса, биринчи жисм ҳаракат йўналиши тўқнашгунча қандай бўлса, тўқнашишдан кейин ҳам шу йўналиш бўйича бўлади, ammo тезлиги камаяди ( $V_1' < V_1$ ). Иккинчи жисмнинг тўқнашишдан кейинги тезлиги биринчи жисмнинг тўқнашишдан кейинги тезлигидан ортиқ бўлади ( $V_2' > V_2$ ).

в) Агар  $m_1 < m_2$  бўлса, биринчи жисм тўқнашишдан сўнг орқага қайтади, иккинчи жисм кичик тезлик билан олдинга ҳаракат қилади (7.11-расм).

г) Агар  $m_2 \gg m_1$  бўлса, ( $V_1' = -V_1$ ) ва  $V_2' \approx -\frac{2m_1 V_1}{m_2} \approx 0$

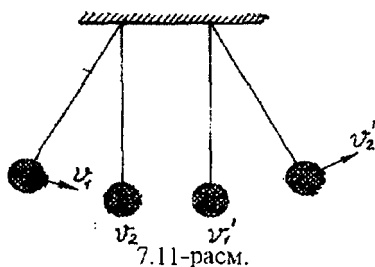
бўлади.

2)  $m_1 = m_2$  бўлганда (8) ва (9) формулалардан  $V_1' = V_2$  ва  $V_2' = V_1$  бўлади ва жисмлар тезликлари ўзаро алмашинади.

**2. Абсолют ноэластик тўқнашиш.** Бундай тўқнашишнинг ажойиб хусусияти куйидагилардан иборат:

- тўқнашишда жисмлар деформацияга учрайди;
- деформация натижасида потенциал энергия вужудга келмайди;
- жисмлар кинетик энергиясининг бир қисми жисмларнинг деформацияланишига сарф бўлади ва ички энергияга айланади;
- кинетик энергия тикланмайди;
- тўқнашишдан сўнг жисмлар умумий тезлик билан ҳаракатланади ёки нисбий ҳолатда бўлади;
- фақат импульснинг сақланиш қонуни бажарилади;
- механик энергиянинг сақланиш қонуни бажарилмай, ammo энергиянинг сақланиш қонуни бажарилади.

Бундай тўқнашишда, мой пластилин, кўрғошнинг каби моддалардан фойдаланилади. Фараз қилайлик,  $m_1$  ва  $m_2$  мас-





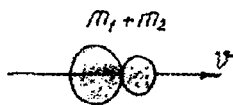
сали жисмлар бир-бирига томон  $V_1$  ва  $V_2$  тезлик билан ҳаракат қилаётган бўлсин (7.12-расм).

У ҳолда импульснинг сақланиш қонунига асосан

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V \quad (12)$$

Тўқнашишдан кейинги тезликни ёзини мумкин:

$$V = \frac{m_1 V_1 + m_2 V_2}{m_1 + m_2} \quad (13)$$



7.12-расм.

бўлади.

Тўқнашгандан сўнг жисмлар яхлит жисм сифатида ҳаракат қилади, ҳаракат йўналиши катта массали жисм йўналишида бўлади. Агар жисмларнинг тўқнашгунча импульслари тенг

бўлса (жисмлар бир-бирига қараб йўналганда), яъни  $m_1 V_1 = m_2 V_2$  да тўқнашгандан сўнг  $V = 0$  бўлади. Жисмлар тўқнашгандан сўнг ҳаракат қилмайди. Бундай тўқнашувда энергия жисмларнинг ички энергиясига айланади. Натижада механик энергиянинг сақланиш қонуни бажарилмайди. Чунки тўқнашгунча жисмларнинг тўлиқ кинетик энергияси:

$$W_K = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 \quad (14)$$

бўлади.

Тўқнашгандан сўнг жисмларнинг кинетик энергияси

$$W_K^1 = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) V^2 \quad (15)$$

ёки

$$W_K^1 = \frac{(m_1 V_1 + m_2 V_2)^2}{2(m_1 + m_2)} \quad (15a)$$

Тўқнашиш натижасида энергиянинг қанча қисми ички энергияга айланганлигини топиш учун (14) дан (15a) ни айирамиз.

$$W_K - W_K^1 = \frac{1}{2} m_1 V_1^2 + \frac{1}{2} m_2 V_2^2 - \frac{(m_1 V_1 + m_2 V_2)^2}{2(m_1 + m_2)} = \frac{1}{2} \frac{m_1 m_2}{(m_1 + m_2)} (V_1 - V_2)^2 \quad (16)$$

формулаи ҳосил қиламиз. (16) ифодада  $\frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2} = \mu$  — келтирилган масса;  $V_1 - V_2$  — нисбий тезлик.

У ҳолда  $W_K - W_K^i = \frac{1}{2} \mu (V_1 - V_2)^2$  дейиш мумкин.

Хулосалаб шуни қайд этамиз, абсолют ноэластик тўқнашда диссинатив кучлар таъсирида механик энергия сарфи (камайиши) юзага келади.

## VIII боб

# ГИДРОСТАТИКА ВА АЭРОСТАТИКА АСОСЛАРИ

Механиканинг газ ва суюқликларнинг мувозанатлик ҳолатини ўрганувчи бўлимига гидроаэростатика деб аталади. Грекча «гидро — сув», «аэро — ҳаво», «статос — тинч» деган сўزلардан иборат.

Биз шу кунгача асосан қаттиқ жисмларнинг хусусиятларини ўргандик. Энди суюқлик ва газларнинг механик хусусиятларини ўрганамиз.

## 43-§. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАРДА БОСИМ

Газ молекулалари орасидаги боғланиш жуда кучсиз бўлганлиги сабабли, улар эркин ҳаракат қилади. Патижада молекулалар ўзаро тўқнашиб, идишнинг бугун ҳажмини эгаллайди. Газнинг босими унинг ҳажми билан аниқланади.

Суюқликлар ҳам газ сингари қўйилган идиш шаклини эгаллайди, лекин суюқлик молекулалари орасидаги ўртача масофа ўзгармайди.

Суюқлик ва газларнинг хоссалари ўртасида фарқ бўлиши билан бирга, ўхшанлик хусусиятлари ҳам мавжуд. Бу ўхшанлик уларнинг оқувчанлигида намоён бўлади. Суюқлик ва газларнинг бир томонга йўналган ҳаракатини оқиш деб, ҳаракатланаётган суюқлик ёки заррачаларининг тўпламига оқим деб аталади. Улар узлуксиз бўлади. Суюқлик зичлиги босимга деярли боғлиқ бўлмаганлиги сабабли зичлиги ҳамма нуқталарда бир хил бўлади ва вақт ўтиши билан ўзгармайди, шунинг учун ҳам кам сиқилувчан бўлади. Суюқлик мувозанатда бўлиши учун суюқликнинг эркин сиртига таъсир этаётган куч суюқлик сиртининг ҳамма нуқтасида тик бўлиши керак.

Суюқлик ва газларнинг асосий моҳиятини очиб берувчи физик қатталиқ босимдир. Босим деб сиртнинг бирлик юзи-

га тик равишда таъсир этувчи кучга тенг бўлган катталиққа айтилади ва  $P$  ҳарфи билан белгиланади. Босим бирлиги қилиб,  $1\text{ м}^2$  юзага тик равишда таъсир этаётган  $1\text{ Н}$  куч ва

юзани  $S$  билан белгиласак,  $P = \frac{F}{S}$  формула билан аниқлаб,

$\text{Н}/\text{м}^2$  бирлик қабул қилинади ва француз олими Паскаль шарафига Паскаль (Па) деб аталади:  $1\text{ Н}/\text{м}^2 = 1\text{ Па}$ .

Бу бирликдан ташқари техник атмосфера (ат)  $1\text{ ат} = 9,8 \cdot 10^4$  Па, физик атмосфера (атм);  $1\text{ атм} = 1,013\text{ ат} = 1,013 \cdot 10^5$  Па; миллиметр симоб устуни (мм сим.уст.):  $1\text{ мм. сим.уст.} = 133,3\text{ Па}$ , об-ҳавони аниқлашда бир  $1\text{ бар} = 10^5$  Па, миллиметр сув устуни ( $4^\circ\text{С}$ )  $1\text{ мм. сим.уст.} = 9,8\text{ Па}$ .  $1\text{ мм. сим.уст.} = 1,03 \cdot 10^4$  мм. сув уст. ( $4^\circ\text{С}$  даги сув учун) бирликлар ҳам системадан ташқари ишлатилади.

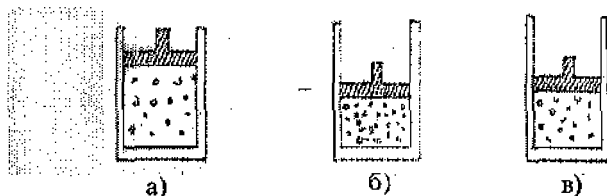
Босим формуласидан кўриниб турибдики, босим кучи таъсирининг натижаси мазкур куч қийматигагина боғлиқ бўлмай, куч таъсири узатилаётган сирт юзига ҳам боғлиқдир. Мисол учун, қор устида юрган одам ҳар қадамда қорга ботади, агар оёғига чанғи бойлаб олса, қорга ботмай текис юра олади. Ёки ботқоқлик ердан ўтишда одамлар оёғига юзаси кенг қилиб тайёрланган шиппакдан фойдаланганликларини эсга олиш кифоя. Бунга сабаб одамнинг оғирлиги туфайли вужудга келаётган босим кучининг таъсири турлича бўлишидир.

Маълумки, қаттиқ jismlарга бериладиган босим кучи таъсир этаётган йўналишда узатилади. Суюқлик ва газларда босим кучининг таъсири бошқача бўлади, чунки суюқлик ва газларнинг зарралари бир-бирига нисбатан барча йўналишда эркин силжий олади, демак, суюқлик ва газларга ташқаридан бериладиган босим ҳамма йўналишда узатилади. Суюқлик ва газларнинг бу хусусияти уларнинг ҳаракатчанлигини билдиради.

Фараз қилайлик эркин ҳаракат қила оладиган поршенли цилиндр ичига газ ёки суюқлик жойлаштирилган бўлсин. Газ зарралари идишнинг бутун ҳажми бўйича бир текисда тақсимланган бўлади (8.1-расм).

Куч таъсирида поршенни ҳаракатлантириб цилиндр ичига киритамиз (8.1-расм, а), натижада поршен остидаги газ сиқилади, газ зарралари зичроқ жойлашади (8.1-расм, б). Газ зарралари ҳаракатчанлиги туфайли идиш ичида ҳамма

йўналиш бўйича силжийди. Маълум вақтдан сўнг заррачалар яна бир текисда жойлашади (8.1-расм, в). Бу эса газ босими ортганлигини билдиради. Қўшимча босим газ ва суюқлик заррачаларига узатилади. Демак, суюқлик ёки газга таъсир этаётган ташқи босим суюқлик ва газнинг ҳар бир нуқтасига ўзгаришсиз узатилади. Бу қонун Паскаль қонунидир.



8.1-расм.

Маълумки, суюқлик ва газларда босим юқоридан пастга томон ортиб боради, суюқликнинг юқори қатлами остки қатламни босади. Паскаль қонунига асосан бу босим ҳамма йўналишлар бўйича узатилади. Демак, суюқлик идиш туби ва деворларига, шунингдек, унга ботирилган ҳар қандай жисм сиртида босим ҳосил қилади, бу босим гидростатик босимдир. Фараз қилайлик,  $S$  кўндаланг кесим юзали цилиндр идишга  $h$  баландликка тенг бўлган суюқлик қуйилган бўлсин, бу суюқлик устунининг оғирлиги  $P$  бўлса, у ҳолда идиш тубига берилган босим

$$p = \frac{P}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{dV}{S} = \frac{dSh}{S} = dh = \rho gh \quad \text{бўлади. Формулада}$$

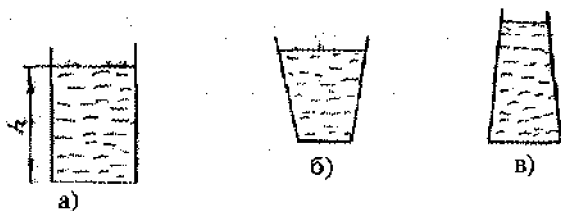
$$d = \frac{P}{m} = \frac{mg}{V} = \rho g \quad \text{суюқликнинг солиштирма оғирлиги.}$$

Энди шакли ҳар хил, аммо идиш тубининг юзалари бир хил бўлган идишлардаги суюқлик устунларининг баландликлари бир хил бўлганда босимни аниқлайлик (8.2-расм).

Бу идишлардаги суюқлик массалари турлича бўлади, аммо идиш тубларига берилган босим бир хил бўлади  $p = \rho gh$ . У ҳолда идиш тубига таъсир этувчи босим кучлари ҳам бир хил бўлиб, суюқликнинг тик устун оғирлигига тенг бўлади, яъни  $P = pS = \rho ghS$ . Гидростатик босим суюқлик сиртидаги минимал қийматдан ( $h=0$ ) максимал қийматгача ўзгариши туфайли идиш тубидаги босим билан идишнинг ён деворига берилган

босимлар ўртасида фарқ бўлади.  $P_{\text{туб}} = \rho gh$   $P_{\text{ён}} = \rho g \frac{h}{2}$  чунки

$h = 0$  ва  $h \neq 0$  даги босимларнинг ўртача қиймати олинади. Идиш тубига берилган босим, идиш ён томониغا берилган ўртача босимдан икки марта катта экан.



8.2-расм.

Агар тугаш идишлар берилган бўлиб, уларга бир жинсли (бир хил) суюқлик қуйилса, Паскаль қонуни бўйича идиш тубига берилган босим бир хил бўлади.  $P_1 = P_2$  ёки  $\rho gh_1 = \rho gh_2$  дан  $h_1 = h_2$  бўлади.

Агар бир жинсли бўлмаган суюқлик (ҳар хил) қуйилса (яъни аралашмайдиган суюқлик), идиш тубига берилган босим Паскаль қонунига асосан қуйидагича топилади:  $\rho_1 gh_1 = \rho_2$

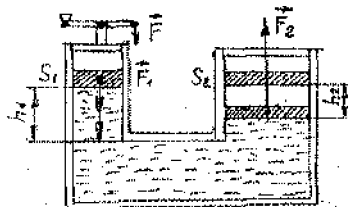
$gh_2$  дан  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}$  формуладаги  $\rho_1$  ва  $\rho_2$  — суюқлик зич-

ликлари;

$h_1$  ва  $h_2$  — суюқлик устуни баландликлари.

Демак, суюқлик устунининг баландлиги тугаш идишлардаги суюқлик зичлиги кам бўлганда катта бўлади.

Паскаль қонуни асосида гидравлик пресс ишлайди. Гидравлик пресс диаметрлари ҳар хил бўлган, ўзаро тугашган икки цилиндр ва улар ичида ҳаракатлана оладиган поршенлардан иборат (8.3-расм). Поршенларнинг юзалари мос равишда  $S_1$  ва  $S_2$ . Цилиндрларга трансформатор ёғи қуйилади.



8.3-расм.

Паскаль қонунига асосан поршенлар остидаги босим бир хил бўлади.  $P_1 = P_2$ . Кичик поршенга  $F_1$  катталиклдаги куч тик

равишда таъсир этсин. Натижада сууюқликда  $P = \frac{F_1}{S_2}$  босим

вужудга келади ва иккинчи поршенга узатилади. Иккинчи поршеннинг юзи  $S_2$  бўлганлиги сабабли поршенга таъсир

этувчи куч  $F_2 = pS_2$  дан  $P = \frac{F_2}{S_2}$  бўлади.

Бундан  $\frac{F_2}{S_2} = \frac{F_1}{S_1}$  ёки  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$  келиб чиқади.

Демак, катта поршеннинг юзи кичик поршеннинг юзидан неча марта катта бўлса,  $F_2$  куч  $F_1$  кучдан шунча марта катта бўлади. Гидравлик пресс оддий механизм турига киради.

Фараз қилайлик  $F_1$  куч таъсирида биринчи поршень (кичик поршень)  $h_1$  масофага пастга тушсин, катта поршень  $F_2$  куч таъсирида  $h_2$  масофага юқорига чиқсин, у ҳолда кучларнинг бажарган ишлари мос равишда куйидагича бўлади:

$$A_1 = F_1 h_1 \text{ ва } A_2 = F_2 h_2.$$

Бажарилган ишларнинг нисбати  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{F_1 h_1}{F_2 h_2}$

Мойларнинг сиқилмаслигини ҳисобга олсак,  $S_1 h_1 = S_2 h_2$

ёки  $\frac{h_1}{h_2} = \frac{S_2}{S_1}$  тенгликни ёзиш мумкин бўлади. У ҳола механиканинг олтин қонунига асосан

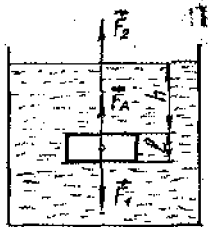
$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{F_1 h_1}{F_2 h_2} = \frac{F_1 S_2}{F_2 S_1} = \frac{S_2 S_1}{S_1 S_2} = 1$$

Гидравлик пресс уй-биноларни кўтаришда, пресслаш ишларида кенг қўлланилади.

#### 44-§. АРХИМЕД ҚОНУНИ

Гидростатик босим сууюқликка ботирилган жисмга ҳар томонлама таъсир этади. Фараз қилайлик, куб шаклидаги жисм сууюқликка 8.4-расмда кўрсатилгандек туширилган

бўлсин. Сууюқликка ботирилган жисмнинг ён сиртларига, устки ва остки асосларига гидростатик босим таъсир қилади. Ён сиртларга таъсир қилувчи сууюқлик босимлари ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналганликлари учун ўзаро мувозанатлашган бўлади. Жисмнинг юқориги сиртига пастга йўналган  $F_1$  босим кучи таъсир этади. Бу кучнинг миқдори  $F_1 = \rho_c ghS$ , бунда,  $\rho_c$  — сууюқлик зичлиги;  $S$  — куб сиртининг юзи; жисмнинг пастки сиртига юқорига йўналган  $F_2$  босим кучи таъсир этади:



8.4-расм.

$F_2 = \rho_c g (h+1) S$ .  
 $h + 1 > h$  ва  $F_2 > F_1$  шартларга асосан бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси юқорига йўналган бўлиб, Архимед кучига тенг бўлади  $F_A = F_2 - F_1$ .

Архимед кучининг модули:  $F_A = \rho_c g (h+1)S - \rho_c gS = \rho_c g (1S - hS) = \rho_c g V = P_c$  га тенг бўлади.

Бу формулада  $V$  — кубнинг ҳажми;  $P_c$  — сиқиб чиқарилган сууюқлик вазни;  $F_A$  — сууюқликка ботирилган жисмга сууюқлик томонидан таъсир этувчи кўтарувчи куч.

Бу кучни грек олими Архимед тажрибада аниқлагани учун, сууюқликдаги жисмни юқорига кўтарувчи  $F_A$  кучга **Архимед кучи** дейилади.

Архимед қонуни: **сууюқлик ёки газга ботирилган ҳар қандай жисмга шу жисм сиқиб чиқарган сууюқлик ёки газнинг оғирлигига тенг ва юқорига йўналган куч таъсир этади.** Бошқача айтганда, сууюқлик ёки газга ботирилган жисм ўзи сиқиб чиқарган сууюқлик ёки газнинг оғирлигига ўз оғирлигини йўқотади, яъни  $F_A = P_0 = \rho_0 gV$ .

Архимед кучи жисмнинг масса марказига қўйилади ва оғирлик кучи йўналишига доимо қарама-қарши йўналган бўлади. Архимед қонуни вазнсизлик ҳолатида амалга ошмайди.

Фараз қилайлик, жисмнинг вакуумдаги оғирлиги  $P = \rho gV$  ва сууюқликдаги оғирлиги  $P_1$  бўлса, Архимед кучи  $F_A = P_0 = \rho_0 gV$  га қадар кичик бўлади, яъни  $P_1 = P - F_A = P - \rho_0 gV$ .

Жисмнинг ҳажми  $V = \frac{P}{\rho g}$  ни ҳисобга олсак, жисмнинг сууюқликдаги оғирлиги  $P_1 = P - \rho_0 g \frac{P}{\rho g}$  ёки



$$P = P_1 - \rho \frac{P_0}{\rho}$$

Суyoқлик зичлиги  $\rho_0$  ни гидростатик тарозидида тортиб аниқланса, жисмнинг зичлиги куйидаги формула буйича аниқ-

$$\text{ланади: } \rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}$$

Агар жисмларнинг зичлиги маълум бўлса, суyoқликнинг зичлиги  $\rho$  ни куйидаги формуладан топилади:

$$\rho_0 = \rho \frac{P - P_1}{P}$$

Суyoқликка ботирилган жисмга вертикал пастга йўналган  $P$  оғирлик кучи билан вертикал юқорига йўналган  $F_A$  Архимед кучи таъсир этади. Бу кучлар таъсирида жисм катта куч томон ҳаракат қилади. Бунда, 1)  $F_A$  Архимед кучи жисмнинг оғирлигидан кичик бўлса, яъни  $P > F_A$  ( $\rho_{ж} > \rho_0$ ) шартда  $F_A = P - F_{ж}$  куч таъсирида жисм суyoқлик тубига чўқади.

2)  $F_A$  Архимед кучи жисмнинг оғирлигига тенг бўлса, яъни  $F_A = P$  ( $\rho_{ж} = \rho_0$ ) шартда жисм суyoқлик ичида мувозанат ҳолатида бўлади;

3)  $F_A$  Архимед кучи жисмнинг оғирлигидан катта бўлса, яъни  $F_A > P$  ( $\rho_{ж} < \rho_0$ ) шартда  $F = F_A - P$  куч таъсирида жисм суyoқлик сиртига чиқади, яъни жисмнинг қалқиб чиқиш жараёни амалга ошади ва бу жараён  $F_A = P$  да тўхтайтиди, жисм қисман суyoқликка ботган ҳолда суyoқлик сиртида сузиб юради.

Архимед кучига асосланиб, денгиз ва океанларда кема-лар сузади, аэростат ва дирижабллар фазога кўтарилади.

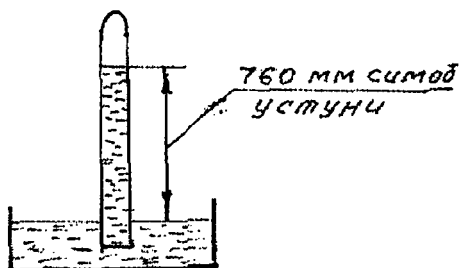
## 45-§. АТМОСФЕРА БОСИМИ. ТОРРИЧЕЛЛИ ТАЖРИБАСИ

Ҳамма жисмлар сингари Ернинг ҳаво қатлами таркибига кирувчи газларнинг молекулалари ҳам Ернинг тортишиш майдони таъсирида Ерга тортилади. Газ молекулалари суyoқликлар сингари эркин сиртни ҳосил қилмайди. Газ молекулалари тартибсиз ҳаракат қилгани сабабли маълум баландликка тарқалиб кетади. Юқорига кўтарилган сари зичлиги

ҳам камайиб боради. Газ аралашмалари молекулаларини ҳаво қатламлари ҳосил қилиб, ҳар бир қатлам остки қатламга босим беради.

**Атмосфера босими** деб ҳаво устунининг Ер сиргига кўрсатилган босимига айтилади. Атмосферанинг аниқ чегараси йўқ, шунинг учун ҳам суyoқлик устунининг босимини ўлчагандек осонгина ўлчаб бўмайди. Атмосфера босимини биринчи бўлиб 1643 йили италян олими Торричелли тажриба асосида аниқлади. Тажрибанинг моҳияти қуйидагича: Узунлиги 1 м бўлган бир учи берк, қалин деворли шиша найга симоб тўлдирлади. Симоб оқиб кетмаслиги учун найнинг иккинчи учини бармоқ билан беркитиб, уни тўнкарилган ҳолда симобли косага ботирилади ва симоб ичида найнинг учи очиб юборилади (8.5-расм).

Бунада найдаги симоб устуни баланглиги пасайганлиги кузатилади. Найдаги симоб устунидан тепада Торричелли бўшлиғи ҳосил бўлади. Торричелли бўшлиғи ҳавосиз бўлади. Найдаги симобнинг тўлиқ тўкилмаслигига сабаб, симоб устунининг

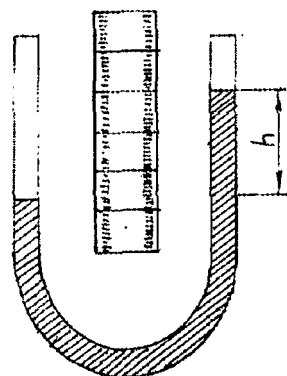


8.5-расм.

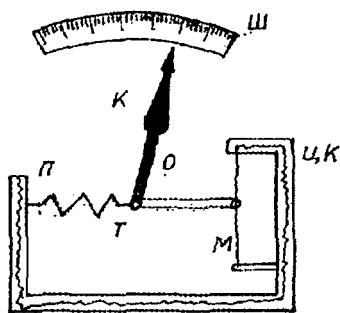
нинг пастки асосига катталиги симоб устунининг оғирлигига тенг, аммо унга тескари йўналган куч таъсир этади. Бу кучнинг юзага келишига сабаб атмосфера босимидир. Найнинг бир учи кавишарланганлиги сабабли симоб устунининг тепасида бўшлиқ ҳосил бўлади. Идишдаги симобга Ер атмосфераси тегиб туради. Атмосфера зарраларининг оғирлиги туфайли идишдаги симоб сиргига вертикал равишда пастга йўналган атмосфера босими вужудга келади. Бу босим Паскаль қонунига биноан, суyoқлик бўйлаб барча йўналишда ўзгаришсиз узатилади. Демак, симоб устуни оғирлигини мувозанатловчи куч атмосфера босими туфайли вужудга келади.

Ер сиргидан кўтарилган сари ҳаво устунининг баланглиги ва зичлиги камайиши ҳисобига атмосфера босими ҳам камайиб боради. 8.6-расмда атмосфера босимининг баланглик бўйича ўзгариши келтирилган. Денгиз сатҳидан 0°C ҳаро-

ратдаги баландлиги 760 мм симоб устунига тенг бўлган босимга, **нормал атмосфера босими** дейилади. 10 км баландликда босим 200 мм, 0 км баландликда эса 0.7 мм симоб устунни ҳосил бўлади. Денгиз сатҳидан 5 км баландликда атмосфера қатлами массаси бутун атмосфера массасининг ярмига, 30 км дан 6000 км гача баландлик орасида атмосфера қатламининг массаси бутун массанинг 1% ини, 6000 км дан юқори баландликларда ҳавонинг босими ва зичлиги полга тенг бўлади. Босимнинг баландлик ортиб бориши билан камайишидан кўтарилиш баландлигини ўлчовчи барометрлар-альтиметрлар ёрламида самолётларнинг учуш баландлиги, тоғларга кўтарилиш баландлиги ўлчанади. Атмосфера босими барометрларда ўлчанади. Барометрлар симобли ёки металл барометр



а)



б)

8.6-расм.

- aneroid турларига бўлинади. Симобли барометр бир учи қавшарланган U — симон найдан иборат (8.6-расм, а). Найнинг иккинчи учи очик бўлганлиги сабабли унга атмосфера босими таъсир эгади. Найлар миллиметрли масштабда бўлимларга бўлинганлиги учун атмосфера босимини мм симоб устунларда ўлчаш имконини беради.

Металл барометрнинг асосий қисми ҳавоси сўриб олинган тўлқинсимон қопқоқ (мембрана) ли қутгичадан иборат. Атмосфера босими ўзгариши билан барометр мембранасининг эгилиши ҳам ўзгаради (8.6-расм, б). Натижада мембрана билан туташтирилган барометр кўрсаткичи ҳаракатга келиб бурилади.

Барометр шкаласи даражаланганлиги сабабли кўрсаткичнинг кўрсатишига қараб атмосфера босими аниқланади. Расмда, Ш — шкала; ЦК — цилиндрсимон камера; М — мембрана; П — пружина; О — айланиш ўқи; Т — торт-қич; К — кўрсаткич. Берк идишлардаги босимни ўлчашга мўлжалланган асбобларга **манометрлар** дейилади. Манометрлар суюқликли ва металл манометрларга бўлинади. Суюқликли манометрларда кичик босимлар ўлчанади, металл манометрлар эса катта босимлар ўлчашда ишлатилади. Суюқликли манометр U симон шаклда бўлиб, унга маълум сатҳгача суюқлик қуйилади. Бундай манометрларда суюқлик сатҳлари бир хил бўлади. Ишлаш жараёни қуйидагича: биринчи тирсакдаги суюқлик сиртига таъсир этаётган босим, иккинчи тирсакдаги суюқлик сиртига таъсир этаётган босимдан катта бўлса, у вақтда ортиқча босим манометрнинг иккинчи тирсакдаги суюқликни юқорига кўтаради. Натижада сатҳларда баландликлар фарқи ҳосил бўлади ва атмосфера босими ўлчанади. Металл манометрларнинг асосий қисми бир томони қавшарланган ёйсимон ичи бўш эластик найчадан иборат. Найчанинг очиқ учи босими ўлчанадиган идишга уланади. Босим ортиши билан най тўғриланади, камайганда эгилади. Найчанинг берк учига даражаланган шкала устида ҳаракатланувчи кўрсаткич ричаглар ёрдамида бирлаштирилган. Бу манометрлар сиқилган ҳаво ёрдамида ишлайдиган асбоблардаги босимни ўлчашда ишлатилади.

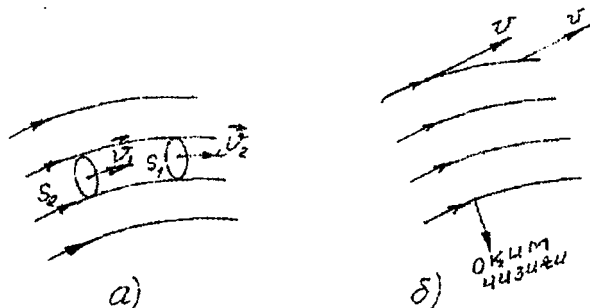
## IX боб

### 46-§. ГИДРОДИНАМИКА ВА АЭРОДИНАМИКА АСОСЛАРИ

Ҳозиргача суюқлик ва газларнинг мувозанатлик шартларини кўриб чиқдик. Навбатда ҳаракатланувчи суюқлик ва газларнинг хоссаларини кўриб чиқамиз. Механиканинг газ ва суюқликларнинг ташқи кучлар таъсири натижасида ҳаракати ва мувозанатли ҳолатини ўрганадиган бўлимга **гидроаэродинамика** дейилади.

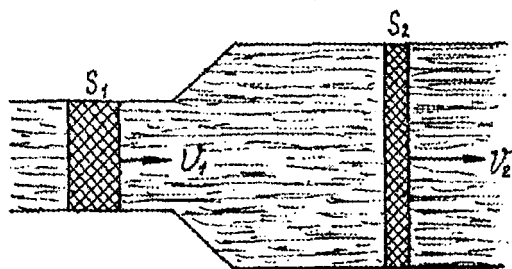
Суюқлик ҳаракатини ўрганиш учун ҳаракатдаги суюқликка бир неча калий перманганат кристалли ташланса, у ҳолда уларнинг эришидан ҳосил бўлган рангли суюқлик оқими суюқлик заррачаларининг ҳаракат траекториясини кўсатади ёки оқим чизиқларини тасвирлайди. Суюқликнинг оқими деганда, маълум тезлик билан ҳаракатланаётган заррачалар тўплами тушунилади. Суюқлик заррачаларининг траекторияларига **оқим чизиқлари** дейилади. Оқим чизиқлари ёрдамида суюқлик заррачасининг тезлигини ҳам миқдоран, ҳам йўналиши бўйича аниқлаш мумкин. Бунда суюқлик ҳаракати йўналишига перпендикуляр жойлаштирилган бирлик юзани кесиб ўтувчи оқим чизиқларининг сони шу юзадан ўтаётган суюқлик заррачалари тезлигига пропорционал қилиб олинди (9.1-расм). Оқим чизигининг бирор нуқтасига ўтказилган уринма эса суюқлик заррасининг оний тезлиги йўналишига мос келади (9.1-расм).

Демак, оқим чизиқлари зич бўлган соҳада оқим тезлиги катта бўлади. Оқим чизиқларининг манзараси вақт ўтиши билан ўзгариши мумкин. Агар бир нуқтадан ўтаётган суюқлик заррасининг тезлиги оқим чизиқларининг шакли ва вазияти вақт ўтиши ўзгармаса, бундай ҳаракат **станционар оқим** дейилади. Стационар оқимда суюқлик ичидаги босимни ва унинг ўзгаришини аниқлаш муҳимдир.



9.1-рasm.

Шунинг учун оқим найи тушунчаси киритилади. Оқим найи деб, олатда бирор сирт юзини кесиб ўтувчи оқим чизиқлари тўпламига айтилади. Фараз қилайлик, оқим найининг кўндаланг кесимлари мос равишда  $S_1$  ва  $S_2$  бўлсин (9.2-рasm). Бу кесимлардаги суюқлик оқими тезликлари  $V_1$  ва  $V_2$ , суюқлик зичликлари  $\rho_1$  ва  $\rho_2$  бўлса, оқимнинг стационарлик шартига асосан  $S_1$  ва  $S_2$  кўндаланг кесимлардан вақт бирлигида оқиб ўтаётган суюқлик массалари ўзаро тенг бўлади, яъни  $m_1 = \rho_1 V_1 S_1$  ва  $m_2 = \rho_2 V_2 S_2$



9.2-рasm.

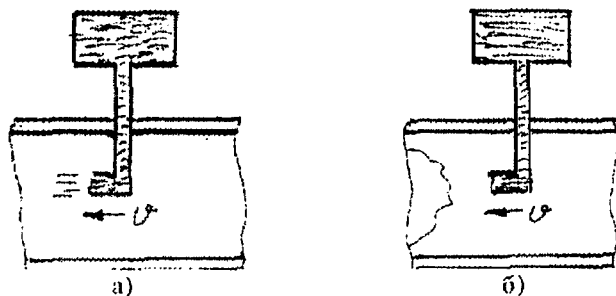
Олатда суюқликларнинг ҳаракатини ўрганишда инқаланиш кучлари полга тенг ва сиқиямайди деб идеал суюқлик тушунчасидан фойдаланилади. Идеал суюқликларда, яъни суюқлик зичликлари ўзаро тенг бўлганлиги ҳисобга олинса, яъни қуйидаги тенгиликни ёзиш мумкин бўлади:  $\rho_1 = \rho_2$  бу ифодада **узлуксизлик тенгламаси** дейилади. Демак, оқим найи нисбатан инпичка бўлган соҳаларда оқим тезлиги катта, аксинча, оқим найи кенг бўлган қисмларда эса оқим тезлиги

кичик бўлади. Сиқилмайдиган суюқликларнинг ҳамма нуқталарида суюқлик зичлиги бир хил бўлганлиги учун суюқлик ҳажмининг сақланиш қонуни ўришли бўлади  $SV=const$ .

Бу ифодадан оқим тезлиги най кесимининг юзасига тесқари пропорционал эканлиги келиб чиқади. Суюқлик оқаётган найнинг кесими ўзгарса, оқим тезлиги ҳам ўзгариб, бу оқаётган суюқликка қандайдир куч таъсир қилаётгандек бўлади, яъни оқим тезлиги кичик бўлган кесимдаги босим тезлик ортиқроқ бўлган кесимдагига нисбатан ортиқ бўлади.

Суюқликнинг оқиши икки турли бўлади: ламинар ва турбулент.

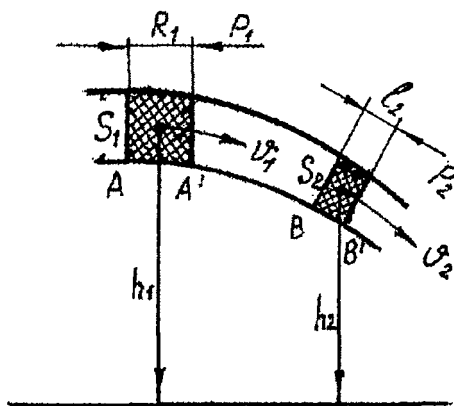
Ламинар (лотинча сўз бўлиб, *laminia* — қатлам маъносини билдиради), оқимни ўрганиш учун, сувнинг оқиши бўйича оқим ичига рангли суюқлик заррасини киритамиз. Оқим тезлигини ўзгартириб, кичик тезликларда рангли заррача сувда ёйилиб кетмади ва ўз шаклини сақлайди. Бу эса суюқлик заррачалари бир қатламдан иккинчи қатламга ўтмаётганлигини билдиради. Бу ҳолда оқин қатлами бўлади, суюқлик қатламлари бир-бирга сирпанади. Суюқликнинг бундай ҳаракати **ламинар оқим** деб аталади (9.3-расм, а). Агар сувнинг оқиш тезлигини орттириб бориб, маълум бир тезликка эришилганда рангли шаррача найнинг бутун кесими бўйича ёйилиб кетади, демак, суюқлик қатламлари бир-бирига аралаша бошлайди. Суюқликнинг бундай ҳаракатига **турбулент оқим** деб аталади. (9.3-расм, б).



9.3-расм.

## 47-§. БЕРНУЛЛИ ТЕНГЛАМАСИ

Фараз қилайлик, ўзгарувчан кўндаланг кесимли пайда су-  
юқлик ишқаланишсиз оқаётган бўлсин. Фикран сиқилмайди-  
ган суюқликнинг стационар оқимидаги найнинг А ва В кесим-  
лари орасидаги қисمنى ажратамиз. Бу кесимларда босим ва  
оқим тезликлари мос равишда  $P_1, V_1$  ва  $P_2, V_2$  бўлсин.  $S_1$  ва  $S_2$   
кўндаланг кесим юзлари бўлса, бу кесимларнинг горизонтга  
нисбатан баландликлари  $h_1$  ва  $h_2$  га тенг бўлади (9.4-расм).



9.4-расм.

Энергиянинг сақланиш қонунига асосан, оқим найнинг  
ажратилган қисмидан оқиб ўтаётган суюқлик энергияси-  
нинг ўзгариши ташқи куч таъсирида бажарилган ишга тенг  
бўлади. Оғирлик кучи ва найнинг ажратилган қисмига таъ-  
сир этувчи босим кучлари ташқи куч ҳисобланади. У ҳолда  
АВ қисмига таъсир қилаётган

$$F_1 = P_1 S_1 \text{ ва } F_2 = P_2 S_2 \quad (1)$$

босим кучлари иш бажаради, чунки оқим найнинг ён девор-  
ларига таъсир этаётган босим кучи суюқлик зарралари ҳара-  
катига тик бўлганлиги сабабли иш бажармайди. Аl вақт ичи-  
да  $S_1$  кесимдан маълум миқдордаги суюқлик  $l_1$  масофага ку-  
чади, яъни

$$l_1 = \Delta L' = V_1 \Delta t \quad (2)$$

Худди шунингдек,  $S_2$  кесимда эса шундай миқдордаги  
суюқлик  $l_2$  масофага кўчади, яъни



$$l_2 = BB' = V_2 \Delta t \quad (3)$$

$l_1$  ва  $l_2$  масофалар ҳамда  $\Delta t$  вақт оралиги кичик бўлганлиги сабабли  $AA'$  ва  $BB'$  кесимлар орасидаги қисмларни цилиндр шаклида деб

$$\Delta V_1 = S_1 V_1 \Delta t \quad \text{ва} \quad \Delta V_2 = S_2 V_2 \Delta t \quad (4)$$

ёки узунликсиз тенгламасига асосан  $\Delta V_1 = \Delta V_2$  ни ёзиш мумкин. Стационар оқишда  $A'$  ва  $B$  кесимлар орасида сууқлик миқдори энергияси ўзгармайди, демак,  $\Delta t$  вақт оралигида оғирлик кучи ҳисобига  $S_1$  кесимдан

$$W_1 = \frac{mV_1^2}{2} + mgh_1 = \left( \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 \right) \Delta V_1 \quad (5)$$

миқдорда энергия узатилади.

$S_2$  кесимда эса

$$W_2 = \frac{mV_2^2}{2} + mgh_2 = \left( \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 \right) \Delta V_2 \quad (6)$$

миқдорда энергия узатилади. Умумий энергиянинг ўзгариши

$$W = W_2 - W_1 = \left( \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 \right) \Delta V_2 - \left( \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 \right) \Delta V_1 \quad (7)$$

Бу энергиянинг ўзгариши оғирлик кучининг бажарган иши орқали потенциал энергиянинг ўзгаришини билдиради, яъни

$$\left( \frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 \right) \Delta V_2 - \left( \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 \right) \Delta V_1 = A \quad (8)$$

$A$  кесимга таъсир қилаётган  $F_1 = P_1 S_1$  босим кучи оқим бўйлаб қўналгани учун мусбат иш бажаради.  $B$  кесимдаги  $F_2 = P_2 S_2$  кучининг иши манфий бўлади.

$A = F_1 l_1 - F_2 l_2 = P_1 S_1 l_1 - P_2 S_2 l_2 = P_1 \Delta_1 V_1 - P_2 \Delta_2 V_2$  (9) формулани ҳисобга олиб (9) ифодани (8) га қўйсак

$$\frac{\rho V_2^2}{2} + \rho gh_2 + P_2 = \frac{\rho V_1^2}{2} + \rho gh_1 + P_1 \quad (10)$$

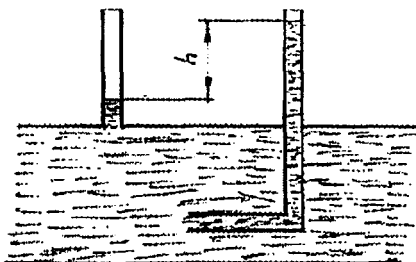
ифодани ҳосил қиламиз. Ихтиёрий кесим учун (10) ни

$$\frac{\rho V^2}{2} + \rho gh + P = \text{const} \quad (11)$$

кўринишда ёзиш мумкин. Бу тенглама 1738 йили Д. Бернулли томонидан аниқланганлиги учун **Бернулли тенгламаси** деб аталади. Тенгламада: 1)  $P$  — ҳаракатланувчи суюқлик ичидаги статик босим. Суюқликнинг оқиш тезлиги  $V=0$  ва  $h=0$  бўлган ҳолда  $P=P_0$  бўлиб  $P_0=\text{const}$  бўлади. Бернулли тенгламасига асосан оқётган суюқликдаги статик босим оқим тезлигининг ортини ва суюқлик найнинг кўтарилиши туфайли камайишини билдирadi.

$$2) \quad m = \frac{\Gamma^2 k}{2\pi^2} = \frac{h^2}{2\pi^2} = \frac{t^2 k}{2\pi^2 h^2} \quad \text{— динамик босим бўлиб,}$$

ҳаракатдаги суюқликнинг статик босимини қанча миқдорга камайишини билдирadi ва уни ўлчап учун кесими оқиш чизиқларига тик бўлган найдан фойдаланилади ва **Пти найи** дейлади (9.5-расм).



9.5-расм.

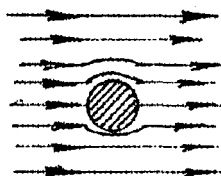
3)  $\rho gh$  — гидростатик босим бўлиб, суюқлик найи горизонтал бўлган ҳолда  $h_2 = h_1$  найнинг торайган жойларида оқим тезлиги ортиб, босим камайди ва аксинча найнинг кенг қисмида босим ортиб, оқим тезлиги камайди. Бу ҳолда кесимларда статик ва динамик босимлар йиғиндиси ўзгармайди.

## 48 - §. СУЮҚЛИК ВА ГАЗЛАРДА ЖИСМ ҲАРАКАТИ

Фараз қилайлик, идеал суюқлик шарсимон жисмни айланиб оқётган бўлсин (9.6-расм).

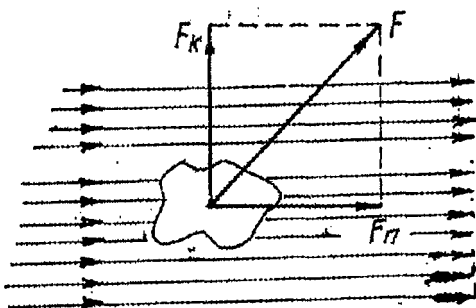
Ишқаланиш бўлмагани сабабли суюқлик шар сирти бўйлаб сирпанади. Оқим чизиқлари оқим йўналишида ва

кўндаланг йўналишда симметрик жойлашади, демак, босим ҳам симметрик тақсимланади. Бу ҳолда шар сиртига таъсир этаётган босим кучларининг тенг таъсир этувчиси нолга тенг бўлади.



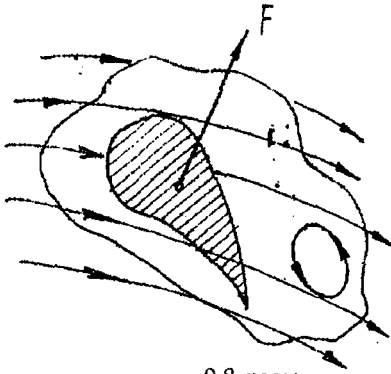
9.6-расм.

Демак, Эйлер гоёсига асосан қаршилик кучи жисмга таъсир қилмайди. Реал суюқликларда оқим шар сиртини сирпашиб ўта олмайди. Оқим тезлиги ортиб бориши билан чегара қатлам қалинлиги камайиб, жисм ортида уюрма ҳосил бўлади. Суюқлик ҳаракатланганда ўзининг ичидаги жисм таъсир этади, яъни пешона қаршилиги юзага келтирилади. Суюқлик ёки газда ҳаракатланаётган жисмга таъсир қиладиган  $F$  куч ҳаракат йўналишига бир бурчак остида йўналган бўлади. Бу кучни пешона қаршилигини юзага келтирувчи  $F_n$  ва  $F_k$  кўтариш кучига ажратилади (9.7-расм).



9.7-расм.

Самолётнинг юқорига кўтарилиши унинг қанотига таъсир қиладиган кўтариш кучига асосланган. Бу назарияни Н.Е.Жуковский яратган. У самолёт қаноти ёнидаги ҳаво оқими иккита: силлиқ сирпаувчи оқим ва вужудга келадиган уюрмали оқимлардир. Уюрмали оқим рўпарадан келадиган оқим билан кўнирилиши натижасида самолёт қаноти устида иккала оқим бир йўналишда бўлиб, оқим тезлигини орттиради, қанот остида оқимлар йўналиши қарама-қарши бўлганлиги учун оқим тезлиги камайди, демак, қанот остидаги босим қанот устидаги босимдан ортиқ бўлади. Натижада самолёт қанотини кўтарувчи куч ҳосил бўлади (9.8-расм).



9.8-расм.

Самолёт горизонтал йўналишида текис учаётган пайтда двигателнинг тортиш кучи пешона қаршилиги кучи, кўтариш кучи, оғирлик кучини мувозанатлайди.

Айланаётган цилиндр шаклидаги жисм суyoқлик ёки газда ҳаракат қилганда, бу ҳаракатга тик йўналишда кўтариш кучи ҳосил бўлади ва жисмни ўз ҳаракат йўналишидан оғдиради, бу самарага **Магнус самараси** деб аталади.

## 49-§. МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

*1-масала.* Асосининг радиуси 0,1 м бўлган цилиндрик идишдаги суyoқликнинг баландлиги 0,5 м бўлса, суyoқлик томонидан идиш тубига ва ён деворларига таъсир этувчи босим кучлари неча марта фарқланади?

Берилган:

$$R = 0,1 \text{ м};$$

$$h = 0,5 \text{ м};$$

Топиш керак:

$$P_{\text{туб}} / P_{\text{ён}} - ?$$

Ечиш. Агар суyoқлик зичлиги  $\rho$  маълум бўлса, суyoқлик идиш тубига берадиган босими  $P_{\text{туб}} = \rho gh$  идишнинг ён деворларига босими эса  $r gh$  дан 0 гача ўзгаради, демак, ўртача босим

$$P_{\text{ён}} = \frac{0 + \rho gh}{2} = \frac{\rho gh}{2}$$

бўлади. Цилиндр идиш тубининг юзи  $S_{\text{туб}} = \pi R^2$  га, ён деворларининг юзи эса  $S_{\text{ён}} = 2 \pi R h$  га тенг. У ҳолда суyoқлик томонидан идиш тубига таъсир этувчи босим кучи:

$F_{\text{Туб}} S_{\text{Туб}} = \rho gh \pi R^2$ , ён деворга таъсир этувчи босим кучи эса

$$F_{\text{ЕН}} = P_{\text{ЕН}} = \frac{\rho gh}{2} \times 2\pi Rh = \rho gh^2 \pi R$$

ифодалар ёрдамида аниқланади.

$$\frac{F_{\text{Туб}}}{F_{\text{ЕН}}} = \frac{\rho gh \pi R^2}{\rho gh^2 \pi R} = \frac{R}{h}$$

$$\frac{F_{\text{Туб}}}{F_{\text{ЕН}}} = \frac{0,1 \text{ м}}{0,5 \text{ м}} = 0,2$$

*Жавоб.*  $\frac{F_{\text{Туб}}}{F_{\text{ЕН}}} = 0,2$  Идиш тубига берилган босим кучи

ён деворга берилган босим кучидан 0,2 марта ортиқ экан.

*2-масала.* Тоғнинг ҳаводаги массаси 14,7 кг, сувдаги массаси 13,4 кг бўлса, тоғ соф олтидан тайёрланганми?

Берилган:

$$m_x = 14,7 \text{ кг};$$

$$m_c = 13,4 \text{ кг};$$

Тоғиш керак:

$$\rho_x / \rho_c - ?$$

Ечиш. Жисмнинг (тоғнинг) сувдан чиқиб турган қисмининг вазни  $G$  жисмнинг сувга ботиб турган қисмидаги вазни  $G'$  дап Архимеднинг қўтарувчи кучини айрилганига тенг, яъни

$$G = G' - F_A = \rho_x gV - \rho_c gV$$

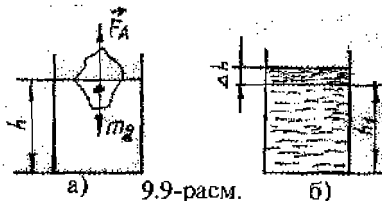
Демак,  $\frac{G}{G - G'} = \frac{\rho_x gV}{\rho_c gV} = \frac{\rho_x}{\rho_c}$  муносабатни ёзиш мумкин.

$$\frac{\rho_x}{\rho_c} = \frac{G}{G - G'} = \frac{14,7 \text{ кг}}{14,7 \text{ кг} - 13,4 \text{ кг}} = \frac{14,7 \text{ кг}}{1,3 \text{ кг}} = 11,3$$

қўрғошиннинг зичлиги  $11300 \text{ кг/м}^3$  га тенг, демак, тоғ қўрғошидан тайёрланган.

*Жавоб.* 11,3 (қўрғошин).

3-масала. Цилиндр шаклидаги идиш асосининг юзи  $10^{-2} \text{ м}^2$  бўлиб, зичлиги  $1,2 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$  бўлган суюқлик куйилган. Бу суюқлик ичида  $0,3 \text{ кг}$  массали муз сузиб юрибди деб,



9.9-расм.

1) муз эримагандаги

ҳолда суюқлик томонидан идиш тубига берилган босим кучини (9.9-шакл, а).

2) муз эригандан сўнг идиш тубига таъсир этувчи босим кучини (9.9-шакл, б) аниқланг.

Берилган:

$$S = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$\rho = 1,2 \times 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$m_m = 0,3 \text{ кг}$$

Топиш керак:

$P_1$ ?

$V' = S(h - h_1)$  муносабатдан топилади. Идиш тубига берилган босим  $P_1 = P_{\text{атм}} + \rho g h_1$  бўлади.

Муз бўлганда эса идиш тубига таъсир этувчи босим  $P_2 = P_{\text{атм}} + \rho g h$  бўлади. Бу ҳолда босимлар фарқи

Муз эригандан сўнг сув сатҳининг баландлиги  $h$ , га ўзгаради ва  $\Delta h$  қатламни ҳосил қилади. У ҳолда идиш тубига таъсир этувчи босим  $P' = P_{\text{атм}} + \rho g h_1 + \rho_0 g \Delta h$  бўлади.

$$\Delta P_1 = P_2 - P_1 = \rho g (h - h_1) = \frac{\rho g V'}{S} = \frac{F_A}{S} = \frac{m_m g}{S} = \frac{0,3 \text{ кг} \times 9,8 \text{ м/с}^2}{10^{-2} \text{ м}^2} = 294 \text{ П}$$

Шунинг учун  $P' = P_{\text{атм}} + \rho g h_1 + \frac{m_m g}{S}$  ни ёзиш мумкин.

Босимлар фарқи эса

$$\begin{aligned} \Delta P_2 = P' - P_2 &= P_{\text{атм}} + \rho g h_1 + \frac{m_m g}{S} - P_{\text{атм}} - \rho g h = \\ &= P_1 + \frac{m_m g}{S} - P_2 = \frac{m_m g}{S} (P_2 - P_1) = 0 \end{aligned}$$

Муз эриб сувнинг сатҳи камайса ҳам, идиш тубига таъсир этадиган босим ўзгармас экан.

Жавоб.  $\Delta P_1 = \Delta P_2 = 294 \text{ Па}$ .

4-масала. Ҳаво шарининг умумий ҳажми  $600 \text{ м}^3$  бўлиб, у мувозанат ҳолатида турибди. Ҳаво шари  $\alpha = 0,1 \text{ м/с}^2$  тезланиш билан юқорига кўтарилиши учун қандай масса ташлаб юборилиши керак?

Берилган:

$\alpha = 0,1 \text{ м/с}^2$

$V = 600 \text{ м}^3$

Топиш керак:

$\Delta m - ?$

Ечиш. Мувозанатлик шартига кура

$\rho_1 gV - mg = 0$  бўлиши керак.

Масса эса  $m = \rho_1 V$  бўлади.

$m$  — умумий масса. Маълум миқдорда юк ташлаб юборилгандан сўнг  $\rho_1 gV - (m - \Delta m)g = (m - \Delta m)a$  шарт бажарилади.

$\Delta mg = (m - \Delta m)a$  ва  $\Delta m(y+a) = ma$  тенгликдан

$$\Delta m = \frac{\rho_1 V a}{g+a} = \frac{1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times 600 \text{ м}^3 \times 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} + 0,1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 7,81 \text{ кг}$$

Жавоб.  $\Delta m = 7,81 \text{ кг}$ .

5-масала. Шприц поршенининг юзи  $S = 2 \text{ ў } 10^{-2} \text{ м}^2$  шприц тешикчасининг юзи  $S_2 = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2$  бўлиб, шприц поршенига таъсир этувчи куч  $F = 8 \text{ Н}$  бўлганда, суюқлик  $l = 0,05 \text{ м}$  масофани қанча вақтда босиб ўтади.

Берилган:

суюқлик

$S_1 = 2 \times 10^{-4} \text{ м}^2$ ;

$S_2 = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

$F = 8 \text{ Н}$

$l = 0,05 \text{ м}$

Топиш керак:

$t - ?$

Ечиш. Шприцдан оқиб чиққан

ҳажми узлуксизлик тенгламисига асосан

$$S_1 V_1 t = S_2 V_2 t,$$

бу ерда,  $V_2$  — шприцдан оқиб чиққан сувнинг тезлиги.

Бернулли тенгламасини қўлласак

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{\rho V_1^2}{2} = P_2 + \rho gh_2 + \frac{\rho V_2^2}{2}$$

Шприц горизонтал ҳолатда бўлганда  $h_1 = h_2$  бўлади.

У ҳолда  $P_1 = \frac{F}{S_1} + P_{ATM}$ ;  $P_2 = P_{ATM}$  муносабатдан Бернулли

тенгламасини қуйидагича ёзамиз:

$$\frac{F}{S_1} + \frac{\rho V_2^2}{2} = \frac{\rho V_2^2}{2}$$

$S_1 V_1 = S_2 V_2$  узлуксизлик тенгламасига асосан

$$\frac{F}{S_1} + \frac{\rho V_2^2 S_2^2}{S_1^2} = \frac{\rho V_2^2}{2} \text{ ни ёзиш мумкин.}$$

Бу формуладан  $V_2 = \sqrt{\frac{2FS_1}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$  қийматни  $t = \frac{S_1 l}{S_2 V_2}$

формулага қўйсак,

$$t = \frac{S_1 l}{S_2} \sqrt{\frac{\rho(S_1^2 - S_2^2)}{2FS_1}} = \frac{S_1 l}{S_2} \sqrt{\frac{\rho S_1}{2F} \left[ 1 - \left( \frac{S_2}{S_1} \right)^2 \right]}$$

муносабат келиб чиқади.  $S_2 \ll S_1$  бўлганлиги учун  $\frac{S_2}{S_1}$  нис-

батни ҳисобга олмаса ҳам бўлади. У ҳолда

$$t = \frac{S_1 l}{S_2} \sqrt{\frac{\rho S_1}{2F}} = \frac{2 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \times 5 \times 10^{-2} \text{ м}}{1 \times 10^{-6} \text{ м}^2} \sqrt{\frac{1 \times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \times 2 \times 10^{-4} \text{ м}^2}{2 \times 8 \text{ Н}}} = 1,12 \text{ с}$$

Жавоб.  $t = 1,12 \text{ с}$ .

*б-масала.*  $h = 100 \text{ м}$  чуқурликда сув ости кемаги турган бўлиб, унинг қобиғи тешилган. Тешикнинг диаметри  $a = 2 \text{ см}$  бўлса, сув қандай тезлик билан кема ичига киради? 1 соат ичида қанча миқдорда сув кемага киради? Кема ичидаги босим атмосфера босимига тенг деб олинсин.



Берилган:  
 $h = 100 \text{ м}$

$$\alpha = 2 \times 10^{-2} \text{ м}$$

$$t = 3600 \text{ с}$$

Топиш керак:

$V - ?$

Ечиш. Сув оқими учун Бернулли тенгласини ёзамиз.

$$\rho gh + P_{\text{АТМ}} = P_{\text{АТМ}} + \frac{\rho V^2}{2}; \rho gh = \frac{\rho V^2}{2} \text{ дан}$$

$2gh = V^2; V = \sqrt{2gh}$  Торичелли тенгласи ёзилади.

$$V = \sqrt{2 \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \times 100 \text{ м}} = 44,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

1 с ичида кемага кирган сув ҳажми

$$V^1 = VS = V \frac{\pi d^2}{4}$$

1 соат ичидагиси  $V = V^1 \times 3600 \text{ с} = \frac{U \pi d^2}{4} \times 3600 \text{ с}$

$$V = \frac{44,3 \frac{\text{м}}{\text{с}} \times 3,14 \times (2 \times 10^{-2})^2 \text{ м}^2}{4} \times 3600 \text{ с} = 50 \text{ м}^3$$

Жасоб.  $V = 44,3 \text{ м/с}; V = 50 \text{ м}^3$ .

## Х боб

### СТАТИКА АСОСЛАРИ

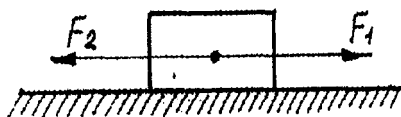
#### 50-§. КУЧЛАРНИ ҚЎШИШ ВА ТАШКИЛ ЭТУВЧИЛАРГА АЖРАТИШ. ТЕНГ ТАЪСИР ЭТУВЧИ КУЧ

Физикада кучлар таъсирида жисмларнинг мувозанатда бўлиши шартларини ўрганадиган бўлимга **статика** дейилади. Амалда жисмга бир вақтда бир неча куч таъсир қилсада, жисм нисбатан тинч туради. Жисмга таъсир қилувчи кучнинг учта муҳим белгиси бўлиб, улар: 1) кучнинг йўналиши; 2) маълум бирликдаги миқдори; 3) жисмга таъсир қилиш нуқтасидан иборатдир.

Бир вақтнинг ўзида жисмга бир неча куч таъсир қилганда жисм тинч туриши ёки тўғри чизиқли текис ҳаракат қилиши мумкин. Масалан, бинога атмосфера босим кучи, оғирлик кучи, шамол таъсири, пойдевор ва тупроқ орасидаги ишқаланиш кучи таъсир қилади, бино нисбатан тинч туради. Ёки самолётга моторнинг тортишиш кучи, оғирлик кучи, кўтариш кучи ва бошқа кучлар таъсир қилганда ҳам у тўғри чизиқли текис учини мумкин. Жисмга бир неча куч таъсир қилганда жисм тўғри чизиқли текис ҳаракат қилса ёки нисбатан тинч турса, бундай кучларга мувозанатланган кучлар дейилади. Хусусий ҳолда бир нуқтага таъсир қилган миқдордан тенг ва қарама-қарши йўналишда бўлган икки куч ҳам мувозанатланган бўлади. Физиканинг статика бўлимида абсолют қаттиқ жисмлар хусусияти ўрганилади. **Абсолют қаттиқ жисм** деб нисбатан деформацияга учрамайдиган жисмларга айтилади.

Фараз қилайлик. катталиклари жиҳатдан тенг, аммо йўналишлари қарама-қарши бўлган икки куч жисмнинг бир нуқтасига қўйилган бўлсин (10.1-расм). Биринчи  $F_1$  кучи жисмга  $a_1$  тезланиш, иккинчи  $F_2$  куч эса  $a_2$  тезланиш беради. Ди-

намикасининг учинчи қонунига асосан  $F_1 = F_2$  ёки  $a_1 = a_2$  дан  $F_1 + F_2 = 0$  ёки  $a_1 + a_2 = 0$  шарт бажарилиб, жисм мувозанатда бўлади. Амалда жисмга бир неча куч таъсир қилганда у бу кучларнинг таъсирига тенг бўлган битта кучнинг таъсири билан алмаштирилади. Бу куч жисмга қўйилган бир неча кучлар сипгари тенг куч таъсир этувчи дейилади. Тенг таъсир этувчи куч билан алмаштириладиган кучларни унинг **гашиқил этувчилари** дейилади. Тенг таъсир этувчи кучни топишга, **кучларни қўшиш** дейилади. Фараз қилайлик, блокдан иш ўтказилиб, унинг икки учига

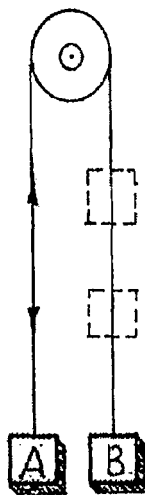


10.1-расм.

бир-бирига тенг А ва В юк осилган бўлсин (10.2-расм). Агар В юкни ишнинг ҳар хил нуқталарига кўчирилса, кучнинг таъсир қиладиган нуқтаси ўзгаради, аммо кузатишлар натижасида В юкни ишнинг қайси жойига кўчирилса ҳам кучларнинг мувозанати ўзгармаслигига ишонч ҳосил қилинади. Айтайлик, икки электр поезда ийўлнинг тўғри чизикли қисмида оғир юк вагонлар жамламасини ҳаракатга келтирсин, биринчи электр поезднинг тортиниш кучи  $F_1$ , иккинчисиники  $F_2$  бўлсин.

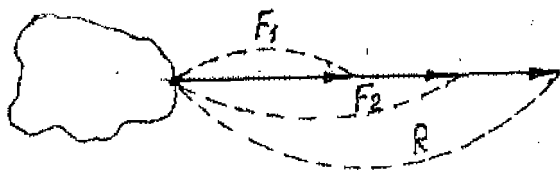
Электр поездлари бир томонга ҳаракат қилгани ва тортиниш кучлари бир тўғри чизик бўйича йўналгани учун тенг таъсир этувчи  $R$  куч ташкил этувчиларнинг йиғиндисига тенг, яъни  $R = F_1 + F_2$ .

Демак, жисмга тўғри чизик бўйлаб бир йўналишда таъсир қилувчи икки кучнинг тенг таъсир этувчиси бу кучларнинг йиғиндисига тенг ва ўша тўғри чизик бўйлаб ўша йўналишда таъсир қилади (10.3-расм).



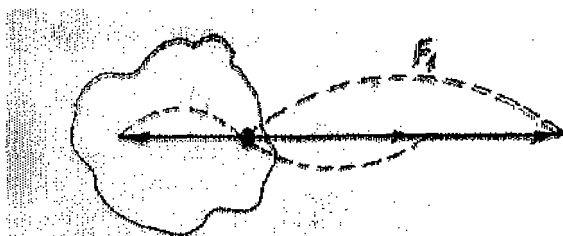
10.2-расм.

*Кучнинг қўшилиш нуқтасини кўчириш.*



10.3-рasm.

Электр поездининг тортиш кучи  $F_1$ , поезднинг ҳаракати-га қаршилиқ кучи  $-F_2$  бўлса, тенг таъсир этувчи  $R$  куч ташкил этувчиларнинг алгебраик йиғиндисига тенг бўлади (10.4-рasm), яъни  $R = F_1 + (-F_2)$  ёки  $R = F_1 - F_2$ .

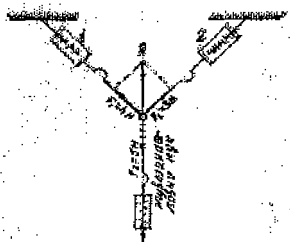


10.4-рasm.

Демак, жисмга бир тўғри чизиқ бўйлаб қарама-қарши томонга таъсир қилувчи икки кучнинг тенг таъсир этувчиси бу кучларнинг айирмасига тенг бўлиб, ўша тўғри чизиқ бўйлаб, катта кучнинг йўналишида таъсир қилади.

Кўпинча жисмга кучлар бурчак остида таъсир қилади, бундай кучларнинг таъсир этувчисини топиш учун учта динамометр олиб, уларнинг илмоқларига иплар боғланади, ипларнинг иккинчи учлари эса тугун қилиб боғланади (10.5-рasm). Динамометр-дан икkitаси катта тахтачага маҳкамланади, учинчи динамометрни тараглаб боғлаймиз.

Бу ҳолда тугунча қўйилган учла куч мувозанатлашади. Ипларнинг вазияти ва динамометрларнинг кўрсатишдан бу кучларнинг йўналиши ва катталиклари аниқланади.



10.5-рasm.

Агар 1 ва 2 ипга таъсир қилувчи кучларни ташкил этувчи кучлар деб ҳисобланса, у ҳолда 3 ипга таъсир қилувчи куч **тенг таъсир этувчи куч** бўлади. Тенг таъсир этувчи кучни аниқлаш учун кучлар график равишда тасвирланади. Бунинг учун тахтага (ипларнинг остига) бир варақ қоғоз қўйиб, тугун ва ипларнинг вазияти белгиланади. Ихтиёрий масштаб танлаб олиб, таъсир қилувчи кучлар ва уларнинг тенг таъсир этувчиси белгиланади.  $F_1$ ,  $F_2$ , ва  $F_3$  кучлар бир нуқтага қўйилгани учун  $F_3$  куч мувозанатловчи куч бўлади. Мувозанатловчи куч миқдор жиҳатидан тенг таъсир этувчи кучга тенг бўлади, бироқ йўналиши жиҳатидан қарама-қарши бўлиши керак. Тенг таъсир этувчи кучни тасвирлаш учун  $F_1$  ва  $F_2$  кучларни параллелограмм томонлари қилиб, унинг диагонали тенг таъсир этувчи куч сифатида олинади.

Параллелограмм қойдасига асосан:

жисмнинг бир нуқтасига бир-бирига бурчак остида таъсир қилувчи икки кучнинг тенг таъсир этувчиси катталиги ва йўналиши жиҳатдан шу кучларга қурилган параллелограммнинг диагонали билан ифодаланади ва ўша нуқтага қўйилган бўлади.

Тенг таъсир этувчи кучнинг бундай аниқлаш усули **геометрик қўйиш** дейилади. Геометрик йигинди  $R = F_1 + F_2$  параллелограммнинг вектор диагонали бўлади. Кучлар бурчак остида таъсир қилганда геометрик йигинди алгебраик йигиндидан кичик бўлади.

Тенг таъсир этувчи кучнинг модули қуйидаги формуладан аниқланади:

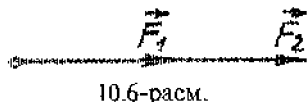
$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$$

Бунда икки ҳол бўлади: 1) Агар икки куч бир нуқтага қўйилган бўлиб, тўғри чизик бўйича таъсирлашганда бурчак  $\alpha = 0$  бўлади (10.6-расм). Тенг таъсир этувчи куч

$$R = \sqrt{(F_1 + F_2)^2} = F_1 + F_2$$

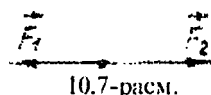
формуладан аниқланади.

2) Бир тўғри чизик бўйича бир нуқтага қўйилган икки куч йўналиши қарама-қарши бўлганда (10.7-расм) бурчак  $\alpha = \pi$  тенг бўлади ва тенг таъсир этувчи куч



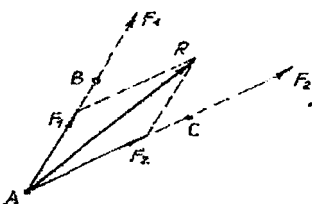
$R = \sqrt{(F_1 - F_2)^2} = F_1 - F_2$  формула бўйича аниқланади.

Расмда жисмнинг икки нуқтасига қўйилган ва бурчак ҳосил қилиб, йўналган кучлар кўрсатилган. В ва С нуқталарни кучларнинг таъсир чизиқлари кесинидаган А нуқтага кўчириб, сўнгра параллелограмм қондасига биноан геометрик қўпилади ва ташкил этувчи кучларга кўра параллелограмм диагонали сифатида R тенг таъсир этувчи куч топилади.



10.7-расм.

Техник масалаларни ечишда кўпинча бир кучни уни ташкил қиладиган икки куч билан алмаштиришга тўғри келади. Берилган кучга қараб унинг ташкил этувчиларини топиш кучларни ажратиш дейилади. Кучни унинг бурчак ҳосил қилиб, йўналган икки ташкил этувчисига ажратилишда қуйидагиларни билиш керак:

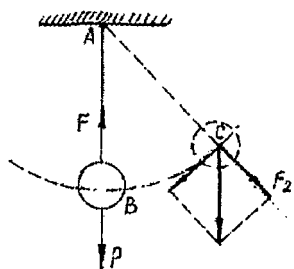


10.8-расм.

1. Иккала таъсир этувчи кучларнинг йўналишини.
2. Таъсир этувчи кучлардан бирининг модулини.
3. Иккала таъсир этувчи кучнинг модулини.

Кучларни ажратилишига мисоллар кўрайлик.

1. Тебрангични ҳаракатлангирувчи кучни тонайлик, А0 мувозанат вазиятида турган тебрангичга фақат оғирлик кучи таъсир қиладди ва унинг таъсири таянчнинг қаршилиқ кучи F билан мувозанатлашади (10.8-расм). Тебрангич мувозанат вазиятидан чиқарилганда тебрангич оғирлиги ва таянчнинг қаршилиги мувозанатлашмайди ва тебрангич ҳаракат қиладди. Р оғирликни АС ип бўйлаб ва унга перпендикуляр йўналган кучларнинг тенг таъсир этувчиси десак, ип бўйлаб ҳаракатланиш амалга ошмайди, чунки ип чўзимайди. Тебрангични ҳаркапта келтирувчи СВ тўғри чизик бўйлаб ва АСга перпендикуляр йўналади. (СВ АС).

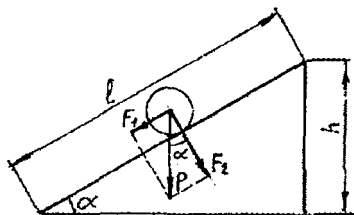


10.9-расм.

Р оғирликни АС ип бўйлаб ва унга перпендикуляр йўналган кучларнинг тенг таъсир этувчиси десак, ип бўйлаб ҳаракатланиш амалга ошмайди, чунки ип чўзимайди. Тебрангични ҳаркапта келтирувчи СВ тўғри чизик бўйлаб ва АСга перпендикуляр йўналади. (СВ АС).

10.9-расмдан кўриниб турибдики, параллелограммнинг диагонали  $P$  ва  $F_1$  ҳаракатлантирувчи куч ва  $F_2$ нинг таранглик кучларини топиш мумкин.

2. Жисмни қия текислик бўйича ҳаракатга келтирувчи кучни аниқлаш қия текисликнинг узунлиги  $l$  ва баландлиги  $h$  бўлиб,  $P$  оғирликдаги жисм қия текислик устига жойлаштирилган бўлсин, у ҳолда жисмни қия текислик бўйлаб ҳаракатлантирувчи куч топилади (10.10-расм).



10.10-расм.

Ташкил этувчилардан бири қия текисликнинг узунлиги  $l$  қия текисликка тик йўналган бўлади, у ҳолда ташкил этувчи қия текисликка параллел йўналган бўлади, натижада  $P$  куч ва шу йўналишлар бўйича чизилган параллелограммнинг томонлари  $F_1$  ва  $F_2$  ташкил этувчи кучлар бўлади.  $F_2$  куч қия текисликни босади натижада жисмга кўрсатилган таъсир қия текисликнинг қаршилик кучи билан мувозанатлашади:  $F_1$  куч таъсирида жисм ҳаракатга келади (шар думалайди). Параллелограмм қондасига асосан  $P$  жисм оғирлиги параллелограммнинг диагонаlidir (10.10-расмга қаранг). Ҳаракатни мувозанатга келтирувчи  $F$  куч ҳаракатлантирувчи кучга тенг ва қарама-қарши йўналганлигидан  $F=F_1$  ва

$$F_1 = P \sin \alpha = P \frac{h}{l} \text{ ни ҳисобга олсак, мувозанатловчи кучни}$$

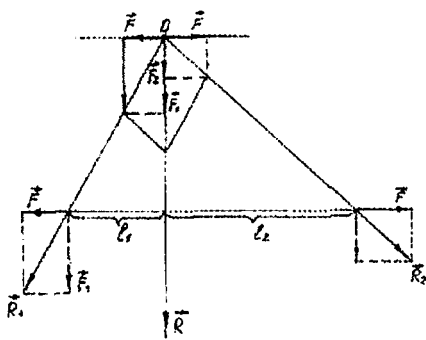
$$F = P \frac{h}{l} \text{ формула ёрдамида топиш мумкин.}$$

Шунга ўхшаш мисоллар сифатида самолёт қапотининг кўтариш кучи ва пеллона қаршилигини, металларни қирқишга қаршилик кучи ва тигнинг ёйилиш сабабларини, кронштейнга таъсир этувчи кучни топиш мумкин.

## 51-§. ПАРАЛЛЕЛ КУЧЛАРНИ ҚЎШИШ

Фараз қилайлик, қаттиқ жисмнинг  $A$  ва  $B$  нуқталарга бир томонга йўналган ва ўзаро параллел бўлган  $F_1$  ва  $F_2$

кучлар қўйилган бўлсин (10.11-расм) А ва В нуқталарга таъсир этувчи кучларнинг тенг таъсир этувчисини аниқлаш учун модули жиҳатдан тенг, аммо йўналиши қарама-қарши бўлган  $F$  мувозанатловчи куч аниқланади. А нуқтага тўғри бурчак остида  $F_1$  ва  $F$  куч В нуқтага эса мос равишда  $F_2$  ва  $F$  куч таъсир қилади. Расмдан бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси  $R_1 = F_1 + F$  ва  $R_2 = F_2 + F$  бўлади. Кўриниб турибдики, тенг таъсир этувчилар ўзаро параллел эмас. Маълум қаттиқ жисмларда кучларнинг қўйилиш нуқталарини таъсир чизиғи бўйича кўчириш мумкин.  $R_1$  ва  $R_2$  кучларнинг таъсири О нуқтада кесишганини ҳисобга олиб, О нуқтага  $R_1$  ва  $R_2$  кучларни кўчириб параллелограмм қойласига биноан таъсир этувчи  $R$  куч топилadi. Бу ҳолда  $R_1$  кучнинг таъсир этувчилари  $F_1$  ва  $F$ ,  $R_2$  ники мос равишда  $F_2$  ва  $F$  бўлади, икки ҳол учун  $F$  куч модули тенг ва қарама-қарши йўналганлиги сабабли ўзаро мувозанатланади.  $F_1$  ва  $F_2$  кучлар бир тўғри чизиқ бўйича бир томонга йўналганлиги учун, уларнинг тенг таъсир этувчиси  $R=0$  га тенг бўлади, яъни  $R = F_1 + F_2$ . Энди тенг таъсир этувчи кучни О нуқтадан таъсир чизиғи бўйича  $O_1$  нуқтага кўчирилган ҳолни кўриб чиқамиз.  $F_1$  ва  $F_2$  куч билан тенг таъсир этувчи  $R$  кучнинг қўйилиш нуқталари орасидаги масофалар мос равишда  $l_1 = |AO_1|$  ва  $l_2 = |O_1B|$  тенг бўлади. Расмдан  $\triangle ODR \sim \triangle O_1A$  чунки бу учбурчаклар ўхшаш учбурчаклардир. Шунинг учун



10.11-расм.

$$\frac{|OF_1|}{|R_1F_1|} = \frac{|OO_1|}{|AO_1|} \text{ деб ёзиш мумкин.}$$

$$|AO_1| - l \cdot |R_1F_1| - F \cdot |OF_1| = F \text{ тенглигидан } \frac{F_1}{F} = \frac{|OO_1|}{l}$$

шарт қонидан бўлади. Демак,  $F_1 l_1 = F / |OO_1|$ . Иккинчи то-



мондан  $\triangle OF_2 R_2 \sim \triangle OVO_1$  учбурчакларнинг ўхшашлигидан

$$\frac{|OF_2|}{|F_2 R_2|} = \frac{|OO_1|}{|O_1 B|} \text{ бўлади.}$$

$|OF_2| = F_2$ ;  $|F_2 R_2| = F$  ва  $|O_1 B| = l_2$  тенгликлардан

$$\frac{F_2}{F} = \frac{|OO_1|}{l_2} \text{ қониқарли бўлади. Демак, } F_2 l_2 = F |OO_1|. \text{ Икка-}$$

ла тенгликни ўнг томонлари бир хил қийматли бўлгани учун

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \text{ ёки } \frac{l_2}{l_1} = \frac{F_1}{F_2} \text{ тенглик келиб чиқади.}$$

Бир томонга йўналган иккита параллел кучнинг таъсир этувчиси шу кучларнинг йиғиндисига тенг ва улар билан бир томонга йўналган бўлиб, қўйилиш нуқтаси шу кучлар қўйилган нуқталар орасидаги масофани кучларга тескари пропорционал кесмаларга бўлади.

## 52-§. ОФИРЛИК МАРКАЗИ

Жисмга таъсир этувчи кучнинг қўйилиш нуқтасини аниқлаш учун параллел кучларни қўшиб қонунидан фойдаланилади. Бунинг учун оғирлик кучи таъсир қилаётган жисм майда қисмларга бўлинади. Ҳар бир қисмга оғирлик кучи таъсир қилади деб олсак барча таъсир этувчи кучларнинг тенг таъсир этувчиси шу жисмнинг умумий оғирлигини белгилайди.

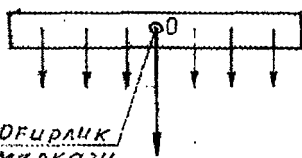
Параллел кучлар тизимининг тенг таъсир этувчисини қўйилиш кучининг нуқтаси бу кучларнинг маркази бўлади. Бу марказнинг ҳолати кучларнинг йўналишига боғлиқ бўлмайди, балки параллел кучларнинг катталиги ва қўйилиш нуқталарига боғлиқ бўлади. Жисмнинг айрим бурчакларига таъсир этувчи оғирлик кучларининг марказига, шу жисмнинг **оғирлик маркази** дейилади.

Оғирлик марказини аниқлаш учун баъзи мисолларни кўриб чиқайлик.

1. Бир жинсли таёқчанинг оғирлик маркази.

Бир хил моддadan ясалган ва узунлиги бўйича қўндаланг кесими бир хил бўлган таёқчага **бир жинсли таёқча** дейилади.

Бу таёқчани бир неча тенг бўлакчаларга бўлиб, бу бўлакчалар таёқчанинг ўртасига писбатан симметрик жойланган бўлсин (10.12-расм).

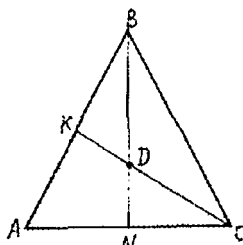


10.12-расм.

Бўлакчалар сони  $O$  нуқтанинг иккала томонидан бир хил тажрибада  $O$  нуқталар иккала томонга бир хил масофада турган бўлакчаларга бир хилда куч (юк осиб) оғирлик маркази аниқланади. Текширинлар натижасига кўра бир жинсли таёқчанинг оғирлик маркази унинг ўртасида бўлишига ишонч ҳосил қилинади.

2. Бир жинсли учбурчак пластинканинг оғирлик марказини аниқлаш.

Агар  $ABC$  учбурчак пластинка берилган бўлса, учбурчакнинг томонларидан бири, масалан, кесмалар, яъни ингичка йўллар ажратамиз (10.13-расм).



10.13-расм.

Ҳар бир ингичка йўлларни бир жинсли таёқча деб қараш мумкин. Барча таёқчаларнинг умумий оғирлик маркази, уларнинг ўрталарини бирлаштирувчи чизиқда яна  $CK$  медианада бўлади. Шундай усул билан учбурчак пластинканинг маркази медианада бўлишини аниқлаймиз.

Пластинканинг оғирлик маркази бир вақтда иккала медианада бўлиши, учбурчакнинг оғирлик маркази учбурчак медианалари нуқтасида ( $D$ ) нуқтала бўлишини исбот қилади.

Шундай қилиб, бир жинсли ва симметрия марказга эга бўлган жисملарнинг (масалан, шар, сфера, доира ва шу кабиларнинг) оғирлик марказлари геометрик марказлари билан мос тушади.

Бир жинсли учбурчак пластинканинг оғирлик маркази учбурчак медианалари кесинган нуқтада бўлади.

Бир жинсли тўртбурчак, параллелограмм шаклидаги пластинкаларнинг оғирлик марказлари диагоналларининг кесинган нуқтасида ётади.

Жисملарнинг шаклига қараб оғирлик марказлари жисмдан ташқарида жойлашини ҳам мумкин. Масалан, ҳалқа, гардина, говак, цилиндр ва шунга ўхшаш жисملарнинг оғир-

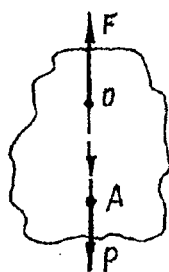
лик марказлари геометрик марказлари билан мос тушади. Жисм оғирлик марказининг ҳолати жисм ҳаракатланганда ёки бурилганда жисмга нисбатан ўзгармайди. Аммо жисмлар шакли ўзгарса ёки жисм маълум бир қисм бошқа модданан ясалса, марказнинг ҳолати ўзгаради.

## 53-§. ТАЯНЧ НУҚТАГА ЁКИ ТАЯНЧ ЧИЗИҚҚА ЭГА БЎЛГАН ЖИСМЛАРНИНГ МУВОЗНАТИ

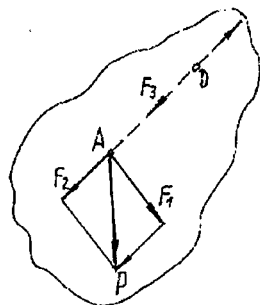
Таянч нуқтага эга бўлган жисмларнинг шарти техникада жуда кўп қўлланилади. Расмда битта таянч нуқтага эга бўлган жисм тасвирланган. Жисмнинг оғирлик кучи унинг оғирлик марказига қўйилган  $O$  таянч нуқтага оғирлик кучи билан шу кўп йўналишда унга тенг бўлган  $F_1$  куч ҳам таъсир этади.  $F_1$  кучи таянч деформациялангани учун  $P$  оғирлик кучига тенг ва унга қарама-қарши йўналган  $F$  таъсир эта бошлайди. Ўзаро мувозанатлашган  $P$  ва  $F$  кучларнинг тенг этувчиси  $O$  тенг бўлганлиги сабабли жисм мувозанат ҳолатда бўлади.  $O$  ва  $A$  нуқталар битта тик чизиқда ётгандагина жисм мувозанат ҳолатида бўлади. Бошқа ҳолатларда жисм битта таянч нуқтага эга бўлса ҳам мувозанат ҳолатда бўмайди. Кейинги расмда  $O$  таянч нуқтаси ва  $A$  оғирлик марказлари турли тик чизиқда жойланган жисм тасвирланган.

Жисм  $P$  оғирлигининг ўзаро перпендикуляр бўлган иккита ташкил этувчиларга ажратамиз, улардан биттаси  $F_2$  кучи  $OA$  тўғри чизиқ бўйича йўналганлиги сабабли таянчга таъсир этувчи кучни ҳосил қилади (10.15-расм).

Таянч ўз навбатида  $F_2$  кучга тенг бўлган  $F_3$  куч билан таъсир этади, натижада жисмга  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  кучлари таъсир этади.  $F_2$  ва  $F_3$  кучлар мувозанатлашгани туфайли, бу кучларнинг тенг таъсир этувчиси  $F_1$  бўлади ва у нолга тенг бўмайди, шунинг



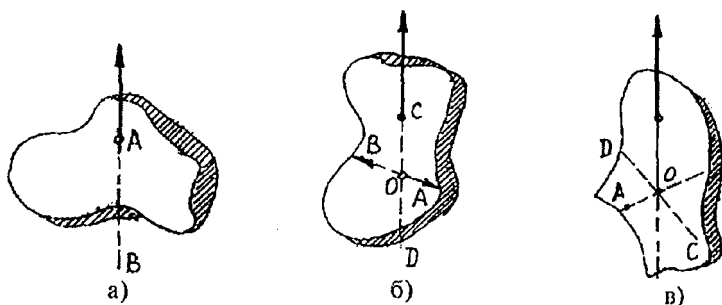
10.14-расм.



10.15-расм.

учун жисм мувозантда бўмайди. Бу куч таъсирида жисм ҳаракатга келади. Демак, битта таянч нуқтага эга бўлган жисмнинг оғирлик маркази билан таянч нуқтаси фақат бир тик чизиқда ётгандагина бу жисм мувозанатда бўлади.

Агар жисм ихтиёрий ясси шаклда бўлса, унинг оғирлик маркази тажриба ёрдамида аниқланади. Бу жисм бирор А нуқталан осиб мувозанат ҳолатга келтирилади, сўнгра осилиш нуқтасидан ўтвучи тик АВ чизиқ ўтказамиз (10.16-рasm).



Бу ҳолда жисмнинг <sup>10.16-рasm</sup> оғирлик маркази шу тик чизиқда бўлади. Сўнгра шаклни тик АВ чизиқда ётмайдиган С нуқтасидан осиб, янги тик чизиқ СД ни ўтказамиз. Бунда шаклнинг оғирлик маркази СД тик чизиқда жойлашиши керак бўлади. Демак, оғирлик маркази иккала тик чизиқларнинг кесилиш нуқтасида жойлашади.

Таянч юзи ва таянч нуқтасига эга бўлган жисмнинг мувозанатда бўлиши учун жисмнинг оғирлик маркази билан унинг таянч юзи ёки таянч нуқтага фақат бир тик чизиқда жисм мувозанатда бўлади.

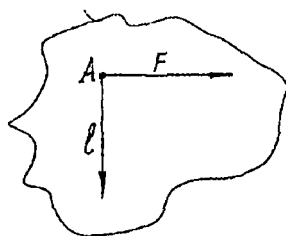
## 54-§. ҚАТТИҚ ЖИСМЛАРНИНГ АЙЛЛАНИШИ. КУЧ МОМЕНТИ. ЖУФТ КУЧЛАР

Амалда барча мавжуд жисмлар куч таъсирида деформацияга учрайди бунда баъзи жисмлар кўпроқ, бошқалари камроқ деформацияланади. Масалан, соддалаштириш мақсадида абсолют қаттиқ жисм тушунчасидан фойдаланилади. Абсолют қаттиқ жисм деб куч таъсирида мутлақо деформацияга

учрамайдиган жисмга айтилади. Каттиқ жисм илгариланма ва айланма ҳаракат қилади.

Айланма ҳаракат деб шундай ҳаракатга айтиладики, булда жисмининг ҳамма нуқталари марказлари бир тўғри чизиқда ётган айланмалар бўйлаб ҳаракатланали, бу тўғри чизиқ эса айланиш ўқи дейилади. Булда айланиш ўқи ётган нуқталар қўзғалмас бўлади. Бундай ҳаракатга мисол автомобиль гилдирагининг айланма ҳаракати, чарх тошининг ҳаракати, велосипед гилдирақларининг ҳаракатини кўрсатиш мумкин.

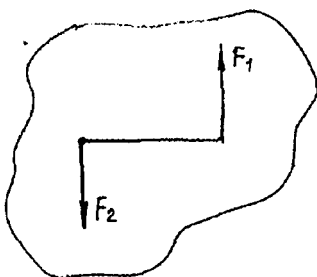
Тажриба ёрдамида айланиш ўқи бўлган жисмга кучнинг таъсири фақат катталигига эмас, шунингдек, кучнинг қўйилиш нуқтасидан айланиш ўқиғача бўлган масофага боғлиқлигини кўрсатиш мумкин. Айланиш ўқидан  $F$  кучининг таъсир чизиғигача бўлган энг қисқа  $l$  масофа куч елкаси дейилади (10.17-расм).



10.17-расм.

Кучнинг айлантирувчи таъсир кучи катталигига ва куч елкасига боғлиқ бўлади. Куч ва елканинг қиймати қанчалик катта бўлса, кучнинг таъсири ҳам шунча катта бўлади. Демак, кучнинг таъсири қўйилаётган куч ва елкага пропорционал бўлади. Кучнинг таъсирини ўрганиш учун  $M$  куч моменти тушунчаси киритилади.

Куч моменти деб кучнинг елкасига кўлайтмасига тенг бўлган катталиқка айтилади:  $M = F l$  формулада  $M$  — куч моменти;  $F$  — куч;  $l$  — елка. Агар кучнинг таъсир чизиғи айланиш ўқидан ўтса (айланиш марказидан ўтса), кучнинг елкаси нолга тенг бўлади. Демак, айланиш ўқидан ўтган тўғри чизиқ бўйлаб йўналган кучнинг моменти ҳам 0 га тенг бўлади. Халқаро birlikлар системасида куч моменти бирлиги Ньютон метр, қисқача Нм. Кўпинча жисмга иккита бир-бирига тенг, қарама-қарши йўналган ва параллел  $F_1$  ва  $F_2$  кучларнинг таъсирини



10.18-расм.

исботлашга тўғри келади. Бундай кучлар тизими **жуфт кучлар** деб аталади (10.18-расм).

Бундай кучларни бир куч билан алмаштириб бўлмайди, жуфт кучларнинг тенг таъсир этувчиси бўлмайди. Шунинг учун жуфт кучлар жисми илгариланма ҳаракатга келтира олмайди. Жуфт кучлар таъсирида жисм айланма ҳаракатга келади. Жуфт кучларнинг елкаси деб, кучларнинг таъсир чизиқлари орасидаги энг қисқа масофага айтилади. Кучлардан бирининг жуфт куч елкасига кўпайтмаси **жуфт моменти** деб аталади. Жуфт моментининг катталиги айланиш ўқининг вазиятига боғлиқ бўлмайди.

## 55-§. АЙЛАНИШ ҲАМ ЭГА БЎЛГАН ЖИСМЛАРНИНГ МУВОЗАНАТ ШАРТИ

Горизонтал равишда турган таёқчанинг О айланиш ўқиغا нисбатан А, В, С, Д нуқталарига мос равишда тик

кучлар  $F_1, F_2, F_3, F_4$  қўйилган (10.19-расм).

$F_1$  куч таъсирида ҳосил бўлган  $M_1 = F_1 l_1$  куч моменти таёқчани О айланиш ўқи атрофида соат кўрсаткичи ҳаракатига қарши йўналишда айлангирари. Худди шундай  $F_2$  кучининг моменти  $M_2 = F_2 l_2$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Худди шундай  $F_3$  кучининг моменти  $M_3 = F_3 l_3$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

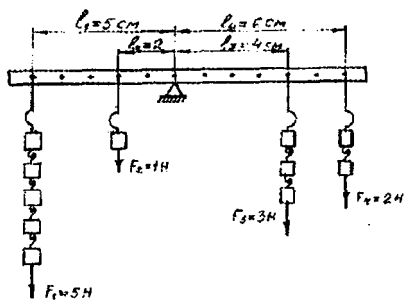
Худди шундай  $F_4$  кучининг моменти  $M_4 = F_4 l_4$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_1$  кучининг моменти  $M_1 = F_1 l_1$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_2$  кучининг моменти  $M_2 = F_2 l_2$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_3$  кучининг моменти  $M_3 = F_3 l_3$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_4$  кучининг моменти  $M_4 = F_4 l_4$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.



10.19-расм.

Ҳудди шундай  $F_3$  кучининг моменти  $M_3 = F_3 l_3$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_4$  кучининг моменти  $M_4 = F_4 l_4$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_1$  кучининг моменти  $M_1 = F_1 l_1$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_2$  кучининг моменти  $M_2 = F_2 l_2$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_3$  кучининг моменти  $M_3 = F_3 l_3$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

Ҳудди шундай  $F_4$  кучининг моменти  $M_4 = F_4 l_4$  ҳам айнан шу йўналишда таёқчани айлангирари.

$$M'_r = M''_r \text{ ёки } M_1 + M_2 = M_3 + M_4;$$

$$F_1 l_1 + F_2 l_2 = F_3 l_3 + F_4 l_4.$$

Демак, айланиш ўқига эга бўлган жисм мувозанатда бўлиши учун жисмни соат мили ҳаракат йўналишида айлантирувчи куч моментларининг йиғиндисига соат мили ҳаракатига қарши айлантирувчи куч моментларининг йиғиндисига тенг бўлиши керак.

Айлантирувчи моментлар қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилганлиги сабабли мил йўналишидаги ҳаракат мусбат, аксинча ҳаракат йўналиши манфий ишоралар билан белгиланади. У ҳолда

$$M_1 + M_2 + M_3 + M_4 = 0$$

мувозанатлик шарт бўлади. Айланиш ўқига эга бўлган жисм мувозанатда бўлиши учун жисмни айлантирувчи барча кучлар моментларининг алгебраик йиғиндисига нолга тенг бўлиши керак.

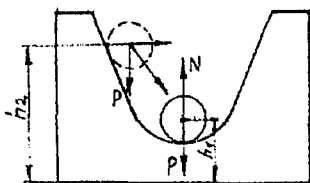
## 56-§. ЖИСМ МУВОЗАНАТИ ТУРЛАРИ

Жисм мувозанати ўз моҳиятига кўра уч турга бўлинади:

1) турғун, 2) турғун бўлмаган ва 3) фарқсиз.

Жисм мувозанати турларини алоҳида-алоҳида кўриб чиқайлик.

1. Фараз қилайлик,  $r$  радиусли шарча силлиқ эгри сиртли ботиқ чуқурликда мувозанат ҳолатда турган бўлсин (10.20-расм). Бу ҳолатда шарчанинг оғирлик маркази ер сиртидан  $h$  баландликда жойлашган. Шарча ер сиртидан маълум баландликда турганда шарчага  $r$  оғирлик кучи билан таъликнинг акс таъсир кучи  $N$  мувозанатланган ҳолда бўлгани учун шарча мувозанат ҳолатда бўлади. Агар шарчани мувозанат вазиятидан (O)

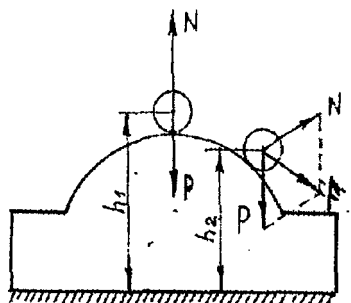


10.20-расм.

бироз четга  $a$  вазиятга чиқариб, кейин қўйиб юборилса, шарчага унинг мувозанат вазиятга қайтаради. Шарчанинг мувозанат ҳолатга қайтишига сабаб, биринчидан,  $F$  қайтарувчи куч бўлса, иккинчидан, қайтарувчи куч билан бир қаторда ҳосил бўлган куч моментидир. Шарга куч momenti таъсирида шарча илгариланма ҳаракат билан шарчанинг оғирлик марказидан

ўқ атрофида айланма ҳаракат қилиб думалайди. Жисм мувозанат вазиятда бўлганда қайтарувчи куч  $F=0$  ва куч momenti  $M=0$  бўлади,  $M=F \times r=0$ .

Демак, жисм турғун мувозанатда бўлади ва бу вазиятда жисм исталганча узоқ вақт тура олади. Турғун мувозанатда жисмнинг потенциал энергияси энг кичик (минимум) бўлади, чунки  $h_1 < h_2$  га асосан  $Wp_1 < Wp_2$ .

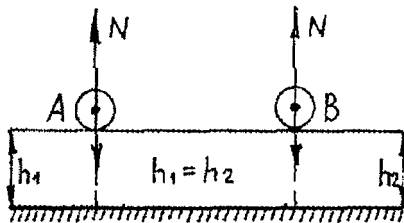


10.21-расм.

Жисм мувозанат ҳолатдан четга чиқарилганда уни дастлабки вазиятига қайтарувчи куч ёки куч momenti ҳосил бўладиган мувозанатга **турғун мувозанат** дейилади.

2. Жисмнинг турғун бўлмаган мувозанати 10.21- расмда тасвирланган.

Маълум радиусли шарча силлиқ эгри сирт-қаварик сиртда мувозанат ҳолатда турган бўлсин. Бу ҳолатда шарчанинг огирлик маркази ер сиртидан  $h$  баландликда бўлади. Шарчага огирлик кучи  $P$  билан силлиқ сиртнинг таъсир кучи  $N$  ўзаро тенг ва қарама-қарши томонга йўналган. Шунинг учун шарча мувозанат ҳолатда бўлади. Лекин бу мувозанат



10.22-расм.

ҳолатда турғун бўлмайди, чунки жуда кичик ташқи куч таъсирида жисм ўзининг мувозанат вазиятидан чиқади. Шарчани мувозанат вазиятга қайтарувчи куч  $F=P+N$  шарчани мувозанат вазиятга қайтара олмайди, аксинча шарчани мувозанат вазиятидан узоқлаштиради. Демак, шарча турғун бўлмаган мувозанатда бўлади. Турғун бўлмаган мувозанатда жисмнинг потенциал энергияси энг катта (максимум) қийматга эга бўлади, чунки  $h_1 > h_2$  асосан  $Wp_1 > Wp_2$ .

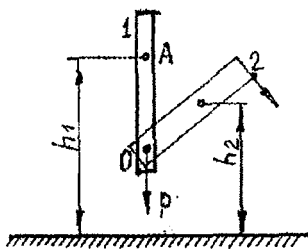
Жисмни мувозанат ҳолатида четга чиқарилганда унинг мувозанат вазиятидан янада кўпроқ узоқлаштирадиган куч



ёки куч momenti ҳосил бўладиган мувозанатга тургун бўлмаган мувозанат дейилади.

3. Агар шарчанинг (жисм) оғирлик маркази Ер сиртидан  $h_1$  баландликда бўлиб, горизонтал текисликда тинч турган бўлса, унга оғирлик кучи  $P$  билан жисм турган таъликнинг акс таъсири  $N$  ўзаро мувозанатлашган бўлади (10.22-расм).

Шарча А вазиятдан В вазиятга қўчирилганда ҳам  $P$  ва  $N$  кучлар ўзаро мувозанатлашган бўлади. Натижада жисмни аввалги вазиятига қайтарувчи куч ҳосил бўлади ва жисм мувозанат ҳолатда бўлади, мувозанатнинг бу турига **фарқсиз мувозанат** дейилади. Фарқсиз мувозанатда жисмнинг потенциал энергияси горизонтал текисликка нисбатан энг кичик (нолга тенг) бўлиб, у бир вазиятдан иккинчи вазиятга ўтганда ўзгармайди, чунки  $h_1 = h_2 = h = \text{const}$  га асосан  $W_p = \text{const}$  бўлади.

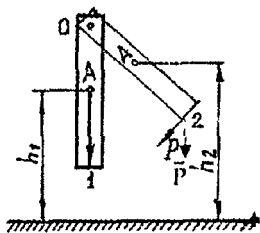


10.23-расм.

Мувозанат ҳолатдаги жисмни жойидан қўзғатилганда, унинг ҳолатини ўзгартирадиган куч ёки куч momenti ҳосил бўлмайдиган мувозанатга **фарқсиз мувозанат** дейилади.

Энди айланиш ўқига маҳкамлашган жисмнинг мувозанат турларини кўриб чиқамиз.

Тўғри бурчакли ёғочдан тайёрланган бир жинсли таёқчанинг оғирлик маркази А айланиш ўқидан юқорида жойлашган бўлсин (10.23-расм). Таёқча мувозанат ҳолатда (1) турган бўлсин. Жуда кичик миқдорда куч таъсир қилиши билан таёқча (2) ҳолатга бурилади ва олдинги вазиятга қайтмайди. О айланиш ўқи бўйича ер сиртига томон оғади.  $h_1 > h_2$  шартга асосан таёқчанинг потенциал энергияси камаяди, яъни  $W_{p1} > W_{p2}$ , демак, таёқчанинг 1 ҳолатдаги мувозанати тургун бўлмаган мувозанатдир. Шундай қилиб, айланиш ўқига эга бўлган жисмнинг қисман оғиши натижасида унинг потенциал энергияси камаяди ва жисм тургун бўлмаган мувозанатда бўлади. Энди таёқча оғирлик марказининг таёқчанинг осилиш нуқ-



10.24-расм.

тасидан пастга кўчирилган ҳолини кўриб чиқайлик (10.24-расм). Таёқча  $P$  оғирлик кучи таъсирида 1 ҳолатда бўлсин. Бу ҳолатда таёқчага ташқи куч таъсир этганда 1 ҳолатдан 2 ҳолатга ўтади. Аммо қайтарувчи куч таъсирида яна олдинги 1 вазиятга қайтади, натижада таёқча турғун мувозанатда бўлади. Таёқчанинг бундай мувозанат ҳолатга қайтишига сабаб айланishi ўқиға нисбатан таёқча жуда кичик бурчакка оғдирилганда потенциал энергиянинг ортишидир, чунки  $h_1 < h_2$  шартга асосан  $W_{p1} < W_{p2}$ .

Агар жисмнинг айланиши ўқи таёқчанинг оғирлик марказидан ўтса, таёқча фарқсиз мувозанатда бўлади

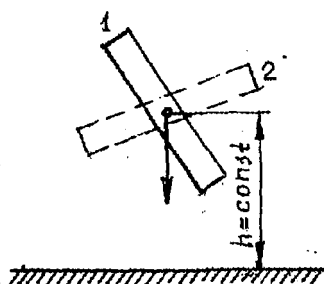
(10.25-расм), чунки таёқчанинг (жисмнинг) оғирлик маркази ер сиртидан 1 ҳолатда ҳам, 2 ҳолатга ўтганда ҳам бир хил баландликда бўлади, демак, потенциал энергия ўзгармас бўлади,  $W_p = \text{const}$ .

Навбатдаги вазифа таянч юзали жисмларнинг мувозанат турларини ўрганишдан иборат. Таянч юзага эга бўлган жисмнинг оғирлик марказидан ўтувчи тик чизиқ таянч юза ташқарисига чиқмаган

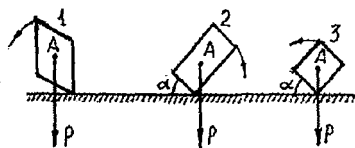
ҳолдаги жисмнинг мувозанати турғун, турғун бўлмаган ва фарқсиз мувозанатлик шартларидан фарқли бўлади. Чунки жисмнинг мувозанатда бўлиши учун жисмнинг оғирлик маркази ер сиртидан қандай балан-

дликда бўлишидан ташқари, жисмнинг қандай ҳолатда турганлиги ва таянч юзасининг ўлчамини ҳам билиш керак. Фараз қилайлик, цилиндр шаклидаги жисм берилган бўлсин.

Агар цилиндрни жуда кичик бурчакка оғдирсак, у яна ўзининг бошланғич 1 ҳолатига қайтади. Аммо оғдириш бурчаги ани орттириб бориш натижасида оғирлик марказидан ўтувчи тик чизиқ таянч юзасидан ташқарига чиққанлигини кўра-миз (10.26-расм). Бу ҳолда цилиндр ағдарилиб тушади (2 ҳолат). Агар жисмнинг таянч юзаси орттириб борилса, яъни  $S_2 > S_1$  да оғирлик маркази ер сиртидан бир хил балан-дликда жой-



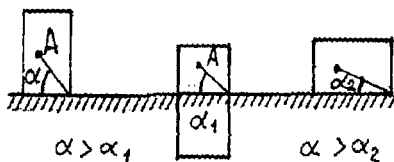
10.25-расм.



10.26-расм.

ланган бўлса, жисм ағдарилмай бошланғич (3) ҳолатига қайтади.

Таянч юзаси ва оғирлик марказининг ер сиртидан баландлигини бир вақтнинг ўзида аниқлаш учун мувозанат бурчаги тушунчасидан фойдаланилади. Мувозанат бурчаги деб оғирлик маркази таянч юзаси қирғоғи билан



10.27-расм.

билан туганпирилганда горизонтал сирг ёки чизик орасида ҳосил бўлган бурчакка айтилади. 10.27-расмда мувозанат бурчаги кўрсатилган. Мувозанат бурчаги кичик бўлиши учун жисмнинг оғирлик марказини маълум миқдорда пасайтириш билан бир вақтнинг ўзида таянч юзасини орттириш керак. Мувозанат бурчаги қанчалик кичик бўлса, жисм шунчалик турғун мувозанатда бўлади.

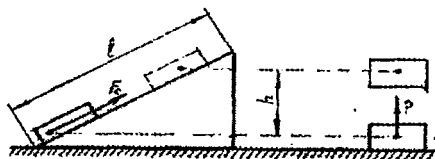
## XI боб

### 57- §. ОДДИЙ МЕХАНИЗМЛАР. МЕХАНИКАНИНГ ОЛТИН ҚОИДАСИ

Инсоният тарихидан маълумки, одамлар жуда қадим замонлардан бери қўл меҳнاتини енгиллаштиришга ҳаракат қилишади. Ага шу мақсадда жуда кўп мослама ва машиналар яратилди. Бу мослама ва машиналар ёрдамида иш бажариш вақтини тежаш билан бир қаторда куч сарфини камайтиришга эришилди. Масалан, темирчи уста бир иш кутида 500 дона мих ясаसा, мих ясайдиган машина шунча михни ортиғи билан бир минутда ясайди. Ёки тикув машинаси матони тикиш учун минутига матога 1500 марта пина санчса, қўлда тикувчи бир минутда 50 марта нина санча олади холос. Машина ва мосламаларнинг энг соддаси оддий механизмлар бўлиб, улар жумласига блок, чиғириқ, ричаг, пона, қия текислик, винт ва бошқалар киради. Бу механизмларнинг ишлаш принциплари билан алоҳида-алоҳида танишиб чиқамиз.

#### 1. Юкни қия текислик ёрдамида кўтаришда бажарилган иш

Бунинг учун юкни (жисми) маълум бир баландликка тик равишда ва қия текислик бўйлаб кўтарилганда бажарилган ишларни таққослаш керак. Фараз қилайлик,  $M$  жисми  $h$  баландликка кўтариш керак бўлсин.



11.1-расм.

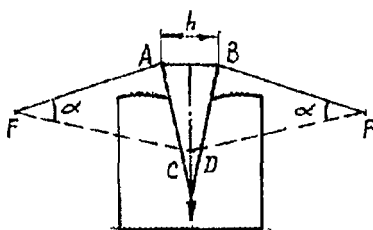
$M$  жисми қия текислик бўйлаб текис ҳаракат қилдириб, ишқаланишсиз  $l$  масофани босиб ўтиб,  $h$  баландликка олиб чиқилган деб аталади, жисмга таъсир этувчи  $F = F_c$  куч таъсирида  $A_1$  иш бажарилади, яъни  $A_1 = F \cdot l$ , агар жисми  $P$  оғирлик кучига

тенг бўлган куч таъсирида  $h$  баландликка кўтарсак, бажарилган иш миқдори  $A_2 = P \times h$  га тенг бўлади. Бу иккала тенгликни тенглаштирсак,  $F \times l = Ph$  бўлади ва  $A_1 = A_2$  дейиш мумкин.

Шундай қилиб, қия текислик ишда ютуқ бермас экан. Амалда эса жисм қия текислик бўйлаб кўтарилганда ишқаланиш кучини енгиш керак бўлади, бунинг учун қўшимча иш бажариш лозим. Демак, қия текисликлардан асосан оғир юкларни машиналар кузовига чиқаришда (туширишда) фойдаланилади.

## 2. Пона қия текисликнинг бир кўриниши

Пона — бу кесими тўғри бурчакли учбурчак ҳосил қиладиган бир қаттиқ жисмдир. Пона ёрадиган, кесадиган, рандалайдиган асбобларнинг бир қисмини ташкил этади. Масалан, болта, ранда, омоч тишлари, қайчи ва бонқалар. Мисол учун пона бирорта жисмга қоқилаётган бўлсин (11.2-расм). Пона жисмга



11.2-расм.

қоқилиш давомида унга босим беради, ўзига эса жисм томонидан реакция кучи таъсир этади. Бу куч понанинг I қирғоқларига тик йўналган бўлади. Понанинг орқасига тик йўналган  $P$  куч пона қирғоқларига тик бўлган ташкил этувчи  $F$  ва  $F$  кучларга ажратилади. Бу кучларнинг ҳар бири ёриладиган жисмнинг понага бўлган таъсир кучига тенг ва қарама-қарши йўналган бўлади, демак, бу кучлар мувозанатлашган.  $P$  куч ва ишқаланиш кучи бўлмаса ёрилувчи жисм понани сиқиб чиқаради.  $\alpha$  бурчаклар тенг бўлганлигидан, чунки пона тенг ёни учбурчак кўринишида ясалган, учбурчаклар ўхшаш ва куйидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$\frac{AC}{AB} = \frac{l}{h} \quad \text{ёки} \quad \frac{F}{P} = \frac{l}{h}$$

Пона қия текисликнинг бир кўриниши ҳисоблангани учун бу мослама ҳам ишда ютуқ бермайди.

Кучдан ютиш мақсадида понанинг орқаси юнқа ва қирғоқлари узун қилиб ясалади.

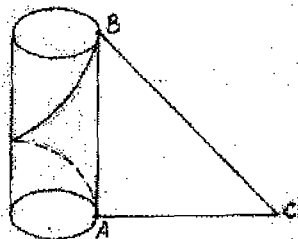
### 3. Винт — қия текисликнинг махсус кўриниши

Сиртига винт изи ўйилган тўғри цилиндр винт дейилади.

Винт изи винт чизиги бўйлаб йўналади. Винт чизиги деб цилиндрга ўралган учбурчак гипотенузасининг цилиндр сиртида чизган чизигига айтилади. Бунда учбурчакнинг асоси цилиндр асоси айланасига тенг бўлади (11.3-расм).

Винт чизигининг цилиндр ясов-чиси устидаги иккита кушни нуқта-си орасидаги масофа **винтнинг қада-ми** дейилади.

Ёғочни, металлни ва ерни те-шишда винтнинг махсус тури пар-мадан фойдаланилади. Винт изини жипс қилиб ўраб олган жисм **гайка** дейилади. Гайканинг ички томонида ҳам винт изи бўлади. Винт ёрдамида



11.3-расм.

жисмни кўтарганда ёки туширганда кўйилган куч винтнинг ўқи бўйлаб олдинги томонга йўналади. Қаршиликни енгувчи куч эса винт цилиндри айланасига уринма чизиқ бўйлаб йўна-лади. Одатда таъсир қиладиган кучни тўғридан-тўғри цилиндр сиртига кўйилмасдан, винтнинг бошига радиуси катта бўлган доира ёйи кўйиб, шу даста ёки доиранинг четки нуқталарига кўйилади.

Винтда кучларнинг мувозанатлик шартини қўллаш учун, винтдаги бир куч узунлиги винт чизигини ташкил қиладиган қия текисликнинг баландлиги  $h$  га, иккинчиси эса унинг асосига параллел равишда таъсир қилади. Винтнинг қадами-ни  $h$ , винт доирасининг параллел радиусини  $R$ , винт ўқи бўйлаб таъсир этувчи қаршилик кучини  $P$ , винт доирасига уринма равишда таъсир этувчи кучни  $F$  дейлик. У ҳолда винт бир марта айланганда таъсир этувчи кучнинг таъсир қилган нуқтаси винт доираси айланасининг узунлиги  $2\pi R$  масофага кўчиб,  $A_F = 2\pi RF$  иш бажаради. Қаршилик кучи  $P$  таъсир қилган нуқта айни вақтда  $h$  масофага кўчганлиги туфайли  $P$  қаршиликни енгиш учун  $A_p = Ph$  иш бажарилади. Ишлар тенг  $A_F = A_p$  бўлганлигидан  $2\pi RF = Ph$  шарт бажарилади. Бун-

дан  $A = \frac{Ph}{2\pi R \cdot F}$  келиб чиқади.

Ишқаланиш бўлмаганда винтни мувозанатда сақлаш ёки текис ҳаракат қилдириш учун винт қадами винт доирасининг айланасидан неча марта кам бўлса, винтнинг доирасига таъсир қилувчи куч ҳам, винтнинг ўқи бўйлаб йўналган кучдан шунча марта кам бўлади.

Винт қадами жуда майда учбурчак шаклида бўлса, ҳар хил буюмларни маҳкамлаш даражаси ортади, бунда ишқаланиш ортади. Винт қадамининг шаклига қараб, винтнинг қўлланиш соҳаси ортиб боради. Винт қадамига қараб, винтли прессларда, домкратларда, айланадиган винтлар кемаларда, самолётларда кенг қўлланилади.

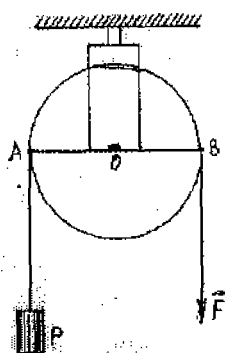
#### 4. Блок, блок турлари

Ўз ўқи атрофида айланувчи ва ён сиртига арқон, ип, занжир ўтказиш учун нав шаклида ўйилган гилдирак блок дейилади. Юк кўтариш жараёнида айланиш ўқи кўзгалмайдиган блок **кўчмас блок** дейилади. Аксинча айланиш ўқи кўчса, бундай блок **кўчар блок** деб аталади. Блоклар асосан юк кўтаришда қўлланилади.

Кўчмас блокнинг нави орқали арқон ўтказиб, арқоннинг бир учига  $P$  юк осилади, иккинчи учига ҳаракатланувчи  $F$  куч қўйилади (11.4-рasm). Блокни мувозанат ҳолатда сақлаш ёки  $O$  ўқи атрофида текис айлантириш учун уни соат мили ҳаракати йўналишидаги айлантирувчи куч momenti соат мили юришига тескари йўналишда айлантирадиган куч momentига тенг бўлади.

Кўчмас блокда куч елкалари блок радиусига тенг бўлади.  $OA=OB=r$  ҳаракатланувчи куч momenti  $Fg$ , оғирлик кучининг momenti эса  $Pg$  бўлганлигидан,  $F=P$  дан шарт келиб чиқади. Демак, кўчмас блок кучдан ютуқ бермайди, ammo куч таъсир йўналишини ўзгартиришга имкон беради.

Мисол учун, юкни иккинчи қаватга чиқариш керак бўлса, кўчмас блок ёрдамида чиқариш мумкин, бунда юкка қўйилган куч ҳаракатлантирувчи кучни тик юқорига йўналтириши керак. Бундай юкни қўл билан кўтариб иккинчи қаватга олиб чиқиб бўлмайди. Юкни бинонинг томига маҳкамланган



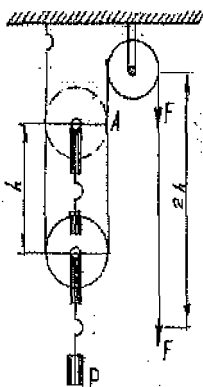
11.4-рasm.

кўчмас блок орқали арқоннинг бир учига бойлаб, иккинчи учини тик ёки қия равишда пастга торганимизда юк юқорига кўтарилади. Юкни  $h$  баландликка кўтарилганда  $A_2 = Ph$  иш бажарилади. Ҳаракатлантирувчи куч эса  $A_1 = Ph$  миқдорда иш бажаради. Кучларнинг  $F = P$  тенглик шартидан  $A_2 = A_1$  ёки

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{Fh}{Ph} = 1 \text{ муносабат ўринли эканлиги исботланади. Шундай}$$

қилиб, кўчмас блок ҳам ишдан ютуқ бермас экан.

Кўчар блокдан фойдаланган вақтда кўтариладиган юк блокнинг ўқини айлантрииб олган тутқичдаги илмоққа осилади (11.5-расм). Оғирлик кучи таъсир қиладиган нуқта блокнинг ўқида бўлади. Юкни кўтарадиган ҳаракатлантирувчи куч арқоннинг бўш учининг  $A$  нуқтасига қўйилади. Ҳаракатлантирувчи кучни тик юқорига қаратиб йўналтириш ўрнига арқон кўчмас блокдан ўтказилади.



11.5-расм.

Куч эса тик пастга қаратиб қўйилади. Кучлар блок кўтарилганда арқоннинг маҳкамланган учи блокка тегиш нуқтасидан ўтадиган ўқ атрофида айлана бошлайди ва айланиш ўқи  $O$  нуқтадан ўтади. Бу ўққа нисбатан оғирлик кучи  $P$  нинг елкаси блок радиусига тенг бўлади. Куч momenti эса  $P_2$  га тенг бўлади. Ҳаракатлантирувчи кучнинг елкаси блокнинг диаметри  $2r$  га тенг бўлиб, унинг куч momenti  $2rF$  бўлади. Momentларнинг тенглигидан ( $2rF = P_2$ ) муносабатни ёзиш мумкин.

Демак, кўчар блокдан фойдаланганда кучдан икки марта ютилади.

Кўчар блок ёрдамида юкни кўтариш учун бажарилган иш  $A_2 = Ph$ , ҳаракатлантирувчи кучнинг бажарган иши эса  $A_1 = 2hF$  бўлади, аммо  $F = P/2$  ни ҳисобга олсак,

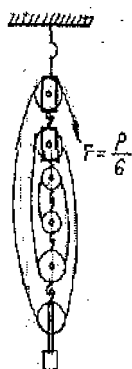
$$A_1 = 2h \frac{P}{2} = Ph \text{ келиб чиқади. Шунинг учун ҳам } \frac{A_1}{A_2} = \frac{Ph}{Ph} = 1$$

шарт бажарилади.



Шундай қилиб, кўчар блокдан фойдаланганда ҳам ишдан ютилмас экан деган хулосага келинади.

Амалда кучдан кўпроқ ютиш мақсадида полиспастрлардан фойдаланилади. Полиспастр маълум бир усулда бирлаштирилган блоклардир. Полиспастр — грекчадан олинган бўлиб, полис — кўп, спастр — ортаман деган маънони билдиради. Полиспастрнинг бир тутқичида кўчар блоklar, иккинчи тутқичида кўчмас блоklar ўрнатилади. Кўчар ва кўчмас блоklar сони бир хил бўлади. Бундай полиспастр **каррalli полиспастр** дейилади (11.6-расм). Бундан ташқари, блоklarнинг ҳаммаси бир умумий ўққа кўчмас блоklarнинг ҳаммаси эса иккинчи бир умумий ўққа ўрнатилади.



11.6-расм.

Фараз қилайлик, 6 блокли каррalli полиспастр ёрдамида юкни 1 м баландликка кўтариш керак бўлсин. Бунинг учун блоklarни ўраб олган 6 та арқоннинг ҳар бирини 1 м дан тортиш керак, у ҳолда арқоннинг бўш учини 6 марта кўпроқ, яъни 6 м га тортилади, демак, таъсир этувчи куч оғирлик кучидан 6 марта кам бўлади. Умумий блоklar сони  $n$  та бўлса, юкни  $h$  м баландликка кўтариш учун  $n$  та арқоннинг ҳар бирини  $h$  м тортиш керак. Арқоннинг бўш учини эса  $nh$  м га тортиш керак бўлади. У ҳолда оғирлик кучини енгиш учун  $A_1 = Ph$  ҳаракатлантирувчи куч таъсирида иш бажариш керак, бажарилган иш эса  $A_2 = nhF$  га тенг бўлади. Ишларнинг тенглигидан  $nhF = Ph$ , бундан қуйидаги муноса-

батни ёзиш мумкин:  $F = \frac{P}{n}$ .

Демак, каррalli полиспастрларда ҳаракатлантирувчи куч миқдори блоklar сони билан аниқланар экан, яъни кучдан  $n$  марта ютиш мумкин экан. Полиспастр омборларда юк кўтаришда, темир йўлларда тендларга кўмир юклашда, кемаларда елканларни тутиб туришда кўпроқ қўлланилади.

### 5. Чиғириқ ва унинг турлари

Ўқига филдирак кийгизилган вал чиғириқ дейилади, у ишлаган вақтда чиғириқнинг ўқи кўзгалмас подшипникларда айланади (11.7-расм). Баъзан радиус бўйлаб айланадиган

кегай қўлланилади. Бундай чиғириқ ёрдамида қудуқлардан сув олинади. Оғир буюмларни кўтаришда ёки кўтаришда лебёдкали чиғириқдан фойдаланилади.

Лебёдкада оддий гилдирак ўрнига иккита ҳар хил диаметрли тишли гилдирак ўрнатилади ва тишли узатма ёрдамида вал ҳаракатга келтирилиб юк кўтарилади. Ўқитик жойлаштирилган чиғириқ кабестон дейилади. Кабестонлар асосан кемаларда лангарларни кўтаришда ишлатилади.

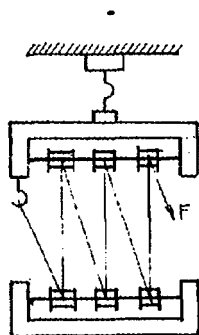
Чиғириқда оғирлик кучи асосан чиғириқ ўқига ўралган арқонга таъсир қилади. Бу кучни енгувчи ёки текис ҳаракатни юзага келтирувчи куч эса гилдиракка ўралган арқонга таъсир қилади. Бу кучлар вал ва гилдиракка уришма чизиқ бўйлаб таъсир қилади, натижада қарама-қарши йўналишда куч моментлари ҳосил бўлади. Ҳаракатлантирувчи  $F$  кучнинг елкаси гилдиракнинг  $R$  радиусига тенг бўлиб, унинг momenti  $FR$  га, оғирлик кучининг елкаси валнинг радиуси  $r$  га тенг бўлиб, унинг momenti  $P r$  га тенг бўлади. Моментлар тенглигидан  $FR = Pr$ ,  $F/P = r/R$  келиб чиқади.

Демак, чиғириқда валнинг радиуси гилдирак радиусидан неча марта кичик бўлса, гилдиракка қўйилган куч ҳам валга қўйилган кучдан шунча марта кам бўлади.

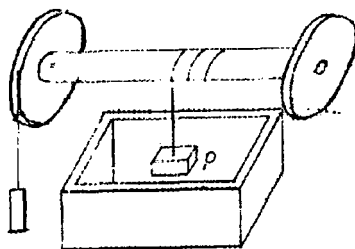
Чиғириқ гилдираги бир марта айланганда унга таъсир этувчи куч қўйилган нуқта айлана узунлигига ( $2\pi R$ ) тенг масофага кўчади, натижада  $A_1 = 2\pi R F$  миқдорда иш бажаради. Моментларнинг тенглигидан  $FR = Pr$  га асосан  $A_1 = A_2$  муносабатни ёзамиз. Шундай қилиб, чиғириқ ҳам ишдан ютук бермаслигига ишонч ҳосил қилинади.

### 6. Ричаг ва унинг турлари

Оғир юкларни кўтариш ёки силжитиш учун кўпинча гаянч нуқтага ёки айланиш ўқига эга бўлган мослама ричагдан фойдаланилади. Лом билан оғир нарсаларни кўтаришда, бол-

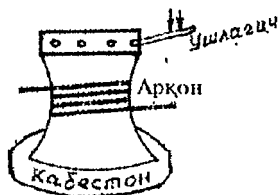


11.7-расм.



11.8-расм.

ганинг ўткир учи билан миҳни суғуриб олишда, белкурак билан ерга ишлов беришда, ўроқ билан ўришда, қайчи билан материални қийишда энг содда ричаг сифатида фойдаланилади. Ричаглар икки хил кўринишда бўлади. Биринчи тур ричагларда айланиш ўқи қўйилган кучлар орасида жойлашган бўлиб, таъсир қилувчи кучлар бир томонга йўналган бўлади (11.10-расм). Қайчи, темир йўл шлагбауми, тенг елкали ва турли елкали тарозилар биринчи тур ричагларга мисол бўлади. Иккинчи тур ричагда, ричагнинг айланиш ўқи ричагнинг бир четки нуқтасига қўйилган бўлиб, ричагга таъсир этувчи кучлар қарама-қарши томонга йўналган бўлади (11.11-расм). Мисол учун гайкаларни буровчи калит, ёнғоқ чақувчи мослама, эшиклар иккинчи тур ричаг бўлади.

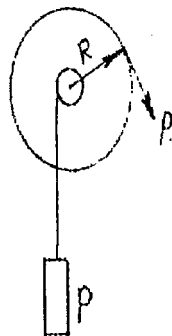


11.9-расм.

Ричагга қўйилган кучнинг таъсир чизиғи билан таянч нуқта орасидаги энг қисқа масофа **кучнинг елкаси** дейилади.

Кучлар мувозанатининг асосий шарти ричагга таъсир этувчи кучнинг айлаштирувчи куч моментларининг тенг бўлишидир, яъни

$$F_1 l_1 = F_2 l_2 \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$$



11.10-расм.

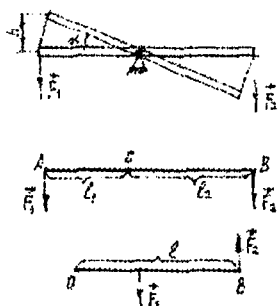
Ричаг мувозанатда бўлганида кучлар елкаларга тескари пропорционал экан ёки ричагнинг бир елкаси иккинчи елкасидан неча марта катта бўлса, ричаг кучдан шунча марта ютук беради. Расмдан  $F_1$  куч таъсирида бир текис  $a$  бурчакка бурилса, бу кучнинг бажарган иши  $A_1 = -h_1 F_1$  га,  $F_2$  кучнинг бажарган иши эса  $A_2 = F_2 h_2$  га тенг бўлади. Бажарилган ишлар ўзаро тенг бўлади, яъни  $A_1 = A_2$ . Куч моментларининг тенгли-

гини ҳисобга олсак,  $\frac{A_1}{A_2} = \frac{F_1 h_1}{F_2 h_2} = \frac{l_2 h_1}{l_1 h_2} = 1$  шарт ўринли бўли-

шидан  $h/h_2 = l_1/l_2$  муносабатни ёзини мумкин.

Шундай қилиб, ричаг ишда ютук бермас экан.

Кўп асрлик амалий ишлар натижасида кучни ўзгартиришга хизмат қиладиган мосламалар, яъни оддий механизмларнинг биронтаси ҳам ишда ютуқ бермаслигига ишонч ҳосил қилинди, агар кучдан ютилса, йўлдан ютказилади ва аксинча, йўлдан ютилса, кучдан ютказилади, бу қоида «механиканинг олтин қоиласи»дир.



11.11-расм.

## МАСАЛА ЕЧИШ ЦАМУНАЛАРИ

1-масала.  $60^\circ$  остида таъсир этувчи 2 Н ва 3 Н бўлган кучларнинг тенг таъсир этувчисини аниқланг (11.12-расм).

Берилган:	Ечиш. Масалани ечиш учун чизма чизамиз. Косинуслар теоремасига асосан тенг таъсир этувчи кучни топамиз. $R^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2 F_1 F_2 \cos \beta$ бурчак $\beta = 180^\circ - \alpha$ га тенг.
$F_1 = 2 \text{ Н}$	
$F_2 = 3 \text{ Н}$	
$\alpha = 60^\circ$	
Топиш к-к:	

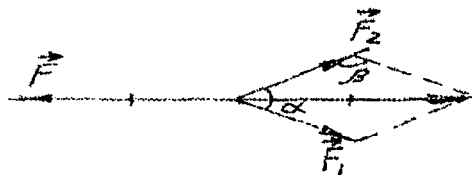
$F \rightarrow ?$

$$F = R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha} = \sqrt{2^2 \text{ Н}^2 + 3^2 \text{ Н}^2 + 2 \cdot 2 \text{ Н} \cdot 3 \text{ Н} \cos 60^\circ} = 4,364 \text{ Н}$$

Жавоб.  $F = 4,36 \text{ Н}$ .

2-масала. Турли елкага эга бўлган тарозида 0,3 кг масса-ли жисм тортилди. Тарози елкалари  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{1}{3}$  нисбатда бўлганда

елкалар йиғиндиси  $l_1 + l_2 = 0,24 \text{ м}$  бўлади. Таъсир этувчи оғирлик кучи 1,5 Н бўлса, тарози палласини мувозанатловчи массани топинг.



11.12-расм.

Берилган:  
 $m_1 = 0,3 \text{ кг}$   
 $l_1 / l_2 = 1/3$   
 $l_1 + l_2 = 0,24 \text{ м}$   
 $P = 1,5 \text{ Н}$   
 Топиш к-к:  
 $m_2 \rightarrow ?$

Ечиш. Чизма чизамиз. Моментлар  
 коидасидан фойдаланиб, ечиш қулай  
 бўлганлиги сабабли параллел кучларни  
 қўшиш қоидасини қўлаймиз.

$$m_2 g l_2 + P_k [l_2 - (l_1 + l_2) / 2] = m_1 g l_1$$

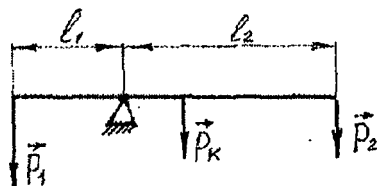
$$m_2 g l_2 = m_1 g l_1 - P_k [l_2 - (l_1 + l_2) / 2]$$

$$m_2 = \frac{m_1 g l_1 - P_k [l_2 - (l_1 + l_2) / 2]}{g l_2} = m_1 \frac{l_1}{l_2} - \frac{P_k}{2g} \left(1 - \frac{l_1}{l_2}\right);$$

$$m_2 = 0,3_{\text{кг}} \times \frac{1}{3} - \frac{1,5 \text{ Н}}{2 \times 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \times \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 4,9 \times 10^{-2} \text{ кг}.$$

Жавоб.  $m_2 = 4,9 \times 10^{-2} \text{ кг}$ .

3-масала. Айланмиш ўқига  
 эга бўлган жисмга соат кўрсат-  
 кичи йўналишида  $F_1 = 5 \text{ Н}$  ва  
 $F_2 = 3 \text{ Н}$ , аксинча йўналишда  
 $F_3 = 2 \text{ Н}$  ва  $F_4 = 6 \text{ Н}$  га тенг куч-  
 лар таъсир этади. Куч елкалари  
 мос равишда  $l_1 = 0,5 \text{ м}$ ,  $l_2 = 0,25$   
 $\text{м}$ ,  $l_3 = 0,75 \text{ м}$  ва  $l_4 = 0,2 \text{ м}$  бўлса,  
 жисм қайси йўналиш бўйича  
 айланади? Жисм мувозанат  
 ҳолатда бўлиши учун куч мо-  
 менти қандай бўлиши керак?



И.13-расм.

Берилган:  
 $F_1 = 5 \text{ Н}$ ;  $l_1 = 0,5 \text{ м}$   
 $F_2 = 3 \text{ Н}$ ,  $l_2 = 0,25 \text{ м}$ ;  
 $F_3 = 2 \text{ Н}$ ,  $l_3 = 0,75 \text{ м}$

Ечиш. Соат кўрсаткичи йўналишидаги  
 momenti:

$$M_1 = F_1 l_1 + F_2 l_2 = 5 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} +$$

$$+ 3 \text{ Н} \cdot 0,25 \text{ м} = 3,25 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

аксинча йўналишдаги momenti:

$$M_2 = F_3 l_3 + F_4 l_4 = 2 \text{ Н} \cdot 0,75 \text{ м} +$$

$$+ 6 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 2,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$F_1 = 6 \text{ Н}, l_2 = 0.2 \text{ м}$$

Топиш к-к:

$M \rightarrow ?$

Айланиш ўқиға нисбатан моментларнинг алгебраик йиғиндиси нолга

теп булмаганлиги сабабли жисм мувозанат ҳолатида бўмайди. Мувозанат ҳолатини амалга ошириш учун қўшимча момент жисмга қўйилиши керак, яъни

$$M = M_1 - M_2 = 3,25 \text{ Нж} - 2,7 \text{ Нж} = 0,55 \text{ Нж}.$$

Демак, жисм соат кўрсаткичи йўналишига тескари йўналишда айланиши керак.

**4-масала.** Антенна мачтанинг юқори учига горизонтал йўналишда 500 Н куч билан таъсир қилади. Мачта узунлиги 17 м лик тортки билан тортиб, маҳкамлаб қўйилган (11.14-расм). Агар мачтанинг баландлиги 15 м бўлса, мачтага ва торткига таъсир килувчи кучларни топинг.

Берилган:

$$h = 15 \text{ м}$$

$$l = 17 \text{ м}$$

$$F = 500 \text{ Н}$$

Топиш керак:

$$F_1 \rightarrow ? \quad F_2 \rightarrow ?$$

Ечиш. Масалани ечиш учун чизма чизамиз.

Параллелограмм қондасига асосланиб  $F$

куч  $F_1$  ва  $F_2$  ташкил этувчиларга ажратилади.

$F_1$  куч тортини таранглайди,  $F_2$  эса мачтани

тупроққа сиқиб туради.

Пифагор теоремасига асосан ABC тўғри бурчакли учбурчакдан AC томонни топамиз

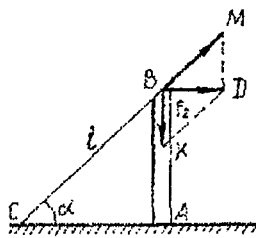
$$AC = \sqrt{l^2 - h^2}$$

ABC ва BDM учбурчаклар ўхшаш бўлгани учун  $F_1$  кучни топиш мумкин

$$\frac{F_1}{F} = \frac{BC}{AC}; F_1 = \frac{F \cdot BC}{\sqrt{l^2 - h^2}}$$

Шунингдек, бу учбурчаклар ўхшашлигидан MD томонни аниқлаш мумкин:

$$\frac{MD}{AB} = \frac{BD}{AC}; MD = \frac{BD \times AB}{AC}$$



11.14-расм.

Учбурчак BDM ва KBD да  $MD = BK = F_2$ ;  $BD = F$ .

Демак,

$$F_2 = \frac{F \times AB}{AC}; AB = h.$$

Ҳисоблашларни амалга оширамиз:

$$F_1 = \frac{500H \times 17_M}{\sqrt{(17_M)^2 - (15_M)^2}} \approx 1600; F_2 = \frac{500H \times 15_M}{\sqrt{(17_M)^2 - (15_M)^2}} = 940H$$

Жавоб.  $F_1 = 1600$  Н;  $F_2 = 940$  Н.

## ХII боб

### ТЕБРАНИШЛАР ВА ТЎЛҚИНЛАР

#### 58-§. ТЕБРАНМА ҲАРАКАТ

Кундалик ҳаётимизда ҳар қадамда тебранма ҳаракатга дуч келамиз. Дарахтларнинг барги, шохларининг шамол пайтидаги тебраниши, даладаги буғдой майсаларининг тебраниши, муסיқа асбоблари — рубоб, тор, дугор торларининг ҳаракати, осма соат тебрангичи ҳаракати, телефон мембранасининг тебраниши, ички ёнув двигатели цилиндридаги поршеннинг ҳаракати тебранма ҳаракатга мисол бўлади. Тебранма ҳаракатлар механик, электромагнит, электромеханик тебранма ҳаракатга бўлинади. Тебранма ҳаракатларнинг табиати ҳар хил бўлса ҳам, улар асосан ягона қонуният бўйича амалга ошади. Биз асосан механик тебранма ҳаракатни ўрганамиз. Механик ҳаракат қилаётган жисмлар тўпламига тизим дейилади. Тизим таркибига кирувчи жисмлар орасида содир бўладиган кучлар ички куч ва шу тизимга ташқаридан бўладиган таъсир кучи **ташқи куч** дейилади.

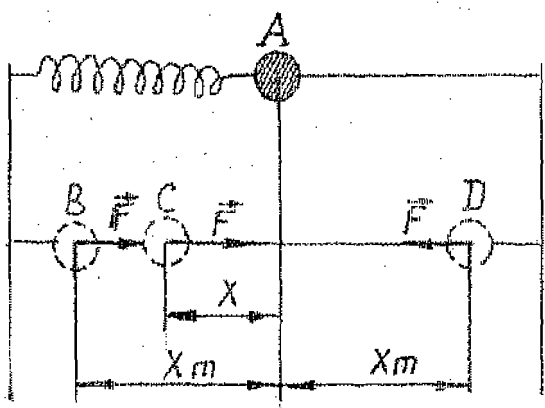
Вақт ўтиши билан такрорланиб турадиган ҳаракатларга **тебранма ҳаракат** ёки **тебранишлар** дейилади. Тебранишлар эркин (хусусий), мажбурий ва автотебранишларга бўлинади.

Мувозанат вазиятидан чиқарилган тизимда ички кучлар таъсирида вужудга келадиган тебранишлар эркин тебранишлар ёки **хусусий тебранишлар** дейилади. Даврий равишда ўзгарадиган кучлар таъсирида вужудга келадиган тебранишлар **мажбурий тебранишлар** дейилади. **Автотебраниш** бўлиши учун ташқи кучларнинг таъсири тизимнинг ўзи воқитасида амалга ошиши керак.

Энди эркин (хусусий) тебранишларни юзага келиш сабабларини аниқлашга киришамиз. Буни пружинали тебрангичнинг тебраниш жараёни билан танишишдан бошлаймиз (12.1-расм). Фараз қилайлик, яхлит шар диаметри бўйича



тешилиб, металлдан тайёрланган ингичка таёқчага горизонтал ҳолатда ўрнатилган бўлсин. Ишқаланиш жуда кам миқдорда бўлади деб, шарчани ингичка таёқча бўйлаб эркин ҳаракатга келтириш мумкин. Ингичка таёқча икки тик равишда турган таянчга маҳкамланади. Пружинанинг бир учи таянчга маҳкамланади, иккинчи учига шарча ўрнатилади.



12.1-расм.

Шарчага ташқи куч таъсир этмаганда, пружина деформацияга учрамайди ва пружина шарчани А мувозанат ҳолатда ушлаб туради. Пружинани чўзиб ёки сиқиб шарча мувозанат ҳолатидан чиқарилса, пружина деформацияга ўчрайди, натижада эластиклик кучи ҳосил бўлади. Бу кучнинг йўналиши доимо тизимнинг мувозанатлик ҳолати томон йўналади. Пружинани сиқиб В вазиятга келтирилганда тезланишли ҳаракат амалга ошади ва мувозанатлик ҳолати А дан ўз инерцияси бўйича ўтиб кетади. Пружина чўзилиши ҳисобига (Д ҳолатда ) яна эластиклик кучи пайдо бўлади, бу кучнинг йўналиши энди яна мувозанатлик ҳолати томонга бўлади, бироқ шарча инерция туфайли мувозанатлик ҳолатидан ўтиб кетади, бунинг натижасида ҳаракат тезлиги секинлашади. Бундай тебранма ҳаракат даврий равишда такрорланиб, охири тўхтайтиди.

Бундай тебрангичнинг тебраниши эластиклик кучи ва шарчанинг инертлигига боғлиқдир.

Агар пружинали тебрангичнинг бошланғич вақтидаги мувозанат вазиятидан силжишини  $x$  деб белгиласак,  $u$  ҳолда

шарчанинг мувозанат вазиятидан энг катта силжиши  $X_m$  бўлиб, унга тебрангичнинг **амплитудавий қиймати** дейилади. Шарчанинг массаси  $m$  таъсир этувчи эластиклик кучини  $F_{эл}$  билан белгиланса, Гук қонунига асосан  $F_{эл} = -kX$  ифодани ёзиш мумкин. Ифода  $k$  — пружинанинг бикрлиги.

Силжиш деб ихтиёрий вақтда тебранаётган жисмнинг мувозанат вазиятидан кўчиш масофасига айтилади.

Тебранувчи жисмнинг мувозанат вазиятидан энг катта силжишига **амплитуда** деб аталади.

Ньютоннинг иккинчи қонуни  $F = ma$  га асосан шарчанинг тезланишли ҳаракатини ҳисобга олсак,  $ma = -kX$  тенглик ўринли ҳисобланади. У ҳолда шарчанинг тезланиши

$a = -\frac{k}{m}X$  бўлиб, тебранишни даврий эканлигини исботлайди.

Пружинали тебрангичларнинг тебраниши даврий бўлиб, унинг тезланиши силжиш масофасига тўғри пропорционал бўлади ва йўналиши жиҳатидан қарама-қарши йўналади. Биқирлик коэффициенти  $k > 0$  ва  $m > 0$  бўлганлиги учун

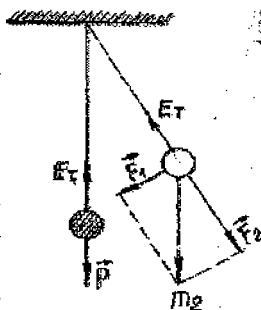
$\frac{R}{m} > 0$  шарт бажарилади.  $\frac{R}{m} = \omega_0^2$  катталиқка **хусусий частота** дейилади.

$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$  десак, тезланиш  $a = -\omega_0^2 X$  ифодага пружинали

тебрангичнинг **эркин тебраниш тенгламаси** дейилади.

Навбатда осмага ингичка ип билан осилган  $m$  массали юқдан иборат тизимни кўриб чиқайлик (12.2-расм). Тизим мувозанат вазиятида бўлганда, шарчага оғирлик  $P$  билан таранглик кучи  $F_1$  таъсир этади, бу кучлар ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналгани учун тизим мувозанат вазиятида бўлади. Шарчани мувозанат вазиятидан бир оз четлатиб, қўйиб юборилса, тебрангич мувозанат вазияти атрофида даврий равишда тебранади.

Тебрангичнинг даврий равишда тебранишига сабаб, тизими мувозанат



12.2-расм.

ҳолатига нисбатан бурчакка четлатилганда шарча ўз оғирлик кучининг  $F_1 = m g \sin \alpha$  га тенг ташкил этувчиси таъсирида бўлади. Бу куч таъсирида ҳамма вақт мувозанат ҳолатга қайтишга ҳаракат қилади, ammo шарча бирдан тўхтаб қолмай инерцияси туфайли тебранма ҳаракат қилади. Тебрангичнинг тезланишини аниқлаш учун Ньютоннинг иккинчи қонунидан фойдаланамиз.

$$a = \frac{F}{m} = \frac{mg \sin \alpha}{m} = g \sin \alpha.$$

## 59-§. ГАРМОНИК ТЕБРАНИШЛАР

Тебранма ҳаракатнинг энг содда тури гармоник тебранишлардир. Гармоник тебраниш деб силжиш масофасига пропорционал бўлган ва дастлабки мувозанат ҳолатига қайтарувчи куч таъсирида содир бўладиган эркин тебранишга айтилади.

Гармоник тебранишлар синус ёки косинус қонунига бўйсунadi. Тебранувчи жисмнинг мувозанат ҳолатидан икки марта кетма-кет йўналишда ўтиши **тўла тебраниш** дейилади. Тебранишларни моҳиятини очишда силжиш ва амплитудадан ташқари тебраниш даври, частотаси, фазаси каби физик катталиклардан фойдаланилади.

Битта тўла тебраниш учун кетган вақтга **тебраниш даври** дейилади ва  $T$  ҳарфи билан белгиланади.

Бир секунддаги тебранишлар сонини ифодалайдиган катталикка **тебраниш частотаси** деб аталади ва  $n$  (ню) ҳарфи билан белгиланади. Тебраниш фазаси деб даврнинг тебраниш бошлангандан ўтган улушлари билан ўлчанадиган катталикка айтилади.

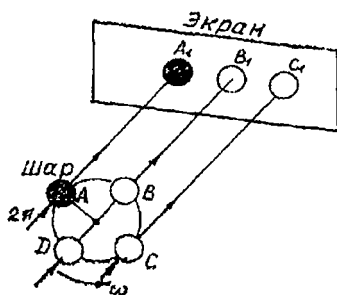
Давр ва частота бир-бири билан қуйидагича боғланган:

$$T = \frac{1}{\nu}; \nu = \frac{1}{T}.$$

Халқаро бирликлар системасида давр бирлиги секунд (с), частота бирлиги эса Герц (Гц) қабул қилинган.

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

Фараз қилайлик. шарча айлана бўйлаб текис ҳаракат қиладиган бўлсин (12.3-расм). Шарчанинг ёруғлик нурлари орқали тасвири нурлар йўлига тик қўйилган экранда ҳосил бўлади. Бу тасвир гармоник тебранишларнинг тасвири бўлиб, буида  $T$  тебраниш даври шарчанинг айланиш даврига, бурчак тезлиги

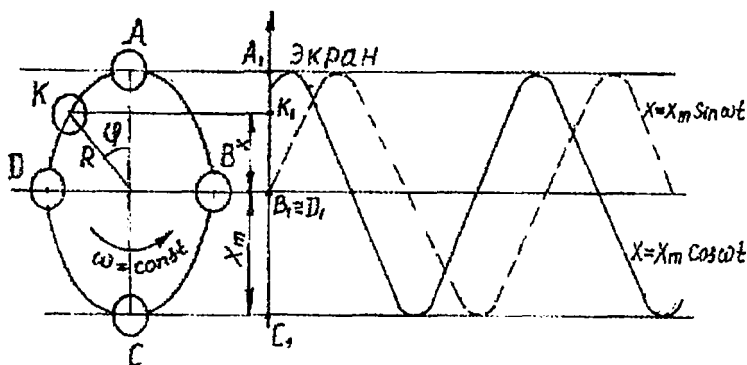


12.3-расм.

$$W = \frac{2\pi}{T} \text{ тебранишнинг циклик}$$

(доиравий) частотасига тенг бўлади. Доиравий частота  $W_0$  жисмнинг  $2\pi$  секунд давомида неча марта тўла тебранишини ифодаловчи катталиқ бўлиб, бирлиги радиан тақсим секунд (рад/с)ларда ҳисобланади.

Шарчанинг горизонтал текисликдаги тасвирини (проекциясини) аниқлайлик (12.4-расм). Айтайлик. шарча ҳаракатининг бошланиш вақтида  $A$  нуқтада бўлсин, бу вақтдаги унинг экрандаги тасвири  $A_1$  бўлади.  $T$  вақт ўтгандан сўнг шарча ўзгармас бурчак тезлик билан ҳаракат қилиб  $K$  вазиятга ўтса, экранда тасвири  $K_1$  нуқтада бўлади. Натижада айлананинг радиуси  $\varphi$  бурчакка бурилади. Тебранма ҳаракат қиладиган шарчанинг сояси бу вақтда  $|B_1, K_1| = X$  масофага кўчади.



12.4-расм.

Расмдан  $X = R \cos \varphi$ , шунингдек,  $R = |OA| = |B_1 A_1| = X_m$  бўлганлиги сабабли  $X = X_m \cos \omega t$  тенгламаси ёзиш мумкин.

Бурчак тезлик  $\omega = \frac{\varphi}{t}$  дан бурилиш бурчаги  $\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi \nu t$

га тенг бўлади. Бу натижани  $X = X_m \cos \varphi$  га қўйсак,

$X = X_m \cos \frac{2\pi}{T} t$  кўринишга келади.  $\varphi = \omega t = \frac{2\pi}{T} t = 2\pi \nu t$  кат-

талиқ силжиш миқдори ва йўналишини белгилангани учун **тебраниш фазаси** дейилади. Умумий ҳолда гармоник тебранишлар  $X = X_m \cos (\omega t + \varphi_0)$  кўринишда ёзилади. Тенгламада  $\varphi_0 t = 0$  вақтдаги тебраниш фазаси ёки бошланғич фаза дейилади. Охириги тенгламаси

$$X = X_m \sin (\omega t + \varphi_0)$$

кўринишда ҳам ёзиш мумкин.

Бу тебраниш ҳаракатнинг тезланишли ҳаракат эканлигини юқорида кўриб чиқдик. Бундай ҳаракатда тезлик билан тезланиш қандай ўзгаради? Бу катталиқлар бир вақт моментидан иккинчи вақт моментига ўтганда ўзгаради, демак, бир нуқтадан иккинчи нуқтага ўтишда ҳам ўзгаради. Тебранаётган жисм мувозанат вазиятидан энг катта оғиш нуқталарида ( $X = X_m$  ва  $X = -X_m$ ) тебраниш тезлиги нолга тенг бўлади ва жисм тўхтаб, сўнгра тескари йўналишда ҳаракатланади.  $X = 0$  мувозанат ҳолатдан ўтишда тезлик энг катта қийматга эга бўлади. Бу ҳолатда жисм тезланиш нолга тенг бўлади, чунки куч нолга тенг бўлади. Мувозанат ҳолатдан энг катта оғишга мос келувчи нуқталарда ( $X = X_m$  ва  $X = -X_m$ ) эластиклик кучи энг катта қийматга эришгани учун тезланиш қиймати энг катта бўлади. Демак, тебраниш ҳаракатда тезлик ва тезланиш даврий ўзгаради. Ҳар бир давр орасида тезлик вектори йўналиши ва модули бўйича такрорланиб туради.

## 60-§. МАТЕМАТИК, ПРУЖИНАЛИ ВА ФИЗИК ТЕБРАНИЧЛАР

**Маятник** деб оғирлик марказидан ўтмаган ихтибрий ўқ атрофида тебрана оладиган ҳар қандай қаттиқ жисмга айтилади. Маятникларга мисол қилиб миҳга осилган гардинни, ишга осилган қандилни, тарозининг шайинини кўрсатиш

мумкин. Энг содда тебрангич математик тебрангич ҳисобланади. Математик тебрангич деб вазнсиз ингичка чўзилмайлиган ипга осилган, маълум массали нуқтадан иборат тизимга айтилади.

Амалда узунлиги  $l$  бўлган вазнсиз ипга кичик массали шарчани осинда ҳосил бўлган тизимни математик тебрангич деб қараш мумкин (12.5-расм). Тебрангич мувозанат вазияти оғирлик кучи  $P$  билан ипнинг таранглик  $F_1$  кучи ўзаро тенг бўлган вақтда юзага келади, чунки бу кучлар ўзаро тенг ва қарама-қарши йўналган бўлади. Тебрангичнинг мувозанат вазиятдан маълум бир кичик  $\alpha$  бурчакка оғдирсак, уни мувозанат вазиятга қайтарувчи куч вужудга келади, яъни

$$F_1 = P \sin \alpha = mg \sin \alpha.$$

Бу куч ўзининг хусусияти жиҳатдан эластиклик кучига ўхшаш бўлади, чунки бу куч ҳам тебрангични мувозанат ҳолатига қайтаришга интилади. Шунинг учун ҳам бу куч **квазиэластик** куч деб аталади. Ньютошнинг иккинчи қонунига биноан  $F_1$  куч таъсирида тебрангич тезланиш олади. Агар шарчанинг массасини  $m_1$ , тезланишини  $a$  десак, қуйи-даги муносабат ўринли бўлади:

$$ma = -mg \sin \alpha \quad \text{ёки} \quad a = -g \sin \alpha.$$

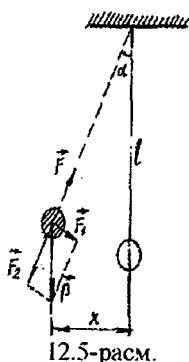
Манфий ишора  $F_1$  кучнинг силжиш йўналишига қарама-қарши йўналганлигини билдиради. Расмдан  $\sin \alpha = \frac{x}{l}$

эканлигини ҳисобга олсак,  $\ddot{x} = -\left(\frac{g}{l}\right)x$  тезланишнинг қийматига эга бўламиз. Иккинчи томондан  $\alpha = -\omega_0^2 x$  эди.

Тезланишларнинг бу қийматларини ўзаро тенглаштирсак,

$\omega_0^2 x = \frac{g}{l} x$  ёки  $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$  бўлиб, бу тебрангичнинг цик-

лик (доиравий) частотасини  $\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$  формула ёрдамида аниқлашга имкон беради.



Тебраниш даври  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  га асосан Гюйгенс формуласи

$$\text{келиб чиқали: } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Тебрангичларнинг тебранма ҳаракатларини биринчи бор тажрибада текширган олимлар Галилей, Гюйгенс ва Боссель, шунингдек, бошқа олимларнинг олиб борган изланишлари натижасида математик тебрангич учун қуйидагича хулосага келамиз:

1) тебрангичга таъсир этувчи квазиэластиклик кучи  $X$  силжинга тўғри пропорционал бўлади;

2) тебрангич жуда кичик бурчакка оғдирилганда ҳосил бўлган тебранишларни гармоник тебраниш деб ҳисоблаш мумкин. Оғиш бурчаги  $3^\circ$  дан ортмаганда бу хулоса ўринли бўлади;

3) тебраниш даври тўла тебраниш даврининг ярмига тенг бўлса, бундай тебранишга оддий тебраниш кўринишда ёзиш мумкин.

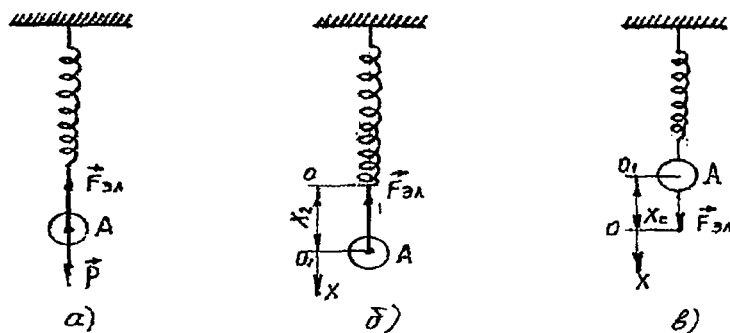
Тажрибада бир хил узунликдаги вазнсиз ишга турли жисмлардан (пўлат, ёғоч, пластмасса) тайёрланган шарчаларни осиб, тебрангичнинг тебраниш даври шарча массасига боғлиқ эмаслиги исботланди. Шунингдек, тебраниш даври амплитудага ҳам боғлиқ бўлмаслигини Галилей томонидан тебранишнинг бошидаги ва охиридаги тебраниш давларини, тебранишнинг изохронлик (тенг вақтlilik) хусусияти аниқланди. Бу қонуният очилиш (четга чиқиш) бурчаги  $6^\circ$  дан ортмаганда ўринли бўлади. Тебраниш сўнувчи тебраниш бўлганлиги сабабли тебраниш даври тебрангичнинг  $l$  узунлигига боғлиқлиги натижасида квазиэластиклик кучи намоёнлиги ҳисобига тебраниш даврини ортиши аниқланади.

Юқоридаги хулосаларга асосланиб, қуйидаги икки қонуниятни таърифлаймиз:

1. Агар очилиш бурчаги  $6^\circ$  дан ортмаса, математик тебрангичнинг тебраниш даври унинг массаси ва амплитудасига боғлиқ бўмайди.

2. Тебрангичнинг тебраниш даври узунликдан чиқарилган квадрат илдизга тўғри пропорционал бўлиб, оғирлик кучи тезланишдан чиқарилган квадрат илдизга тескари пропорционалдир.

Энди пружинали тебрангичнинг тебраниш даврини аниқлаймиз. Осмага осилган пружинали юкдан иборат бўлган тизим **пружинали тебрангич** деб аталади. Тебрангич мувозанат вазиятида бўлганда, унга оғирлик кучи  $P$  билан эластиклик кучи  $F_{эл}$  таъсир этади. Бу кучлар йўналиши жиҳатидан қарма-қарши йўналган, ammo миқдор жиҳатдан ўзаро тенг бўлади (12.6-расм, а). Агар тизимни ташқи куч таъсирида мувозанат вазиятидан чиқарилса, яъни  $Ox$  ўқи бўйича чўзиб ёки сиқиб,  $X$  масофага силтаб қўйиб юборилса, пружинали тебрангич тебрана бошлайди.



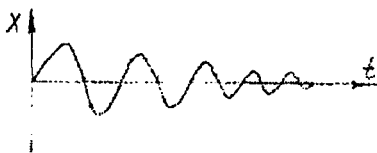
12.6-расм.

Бу тебранма ҳаракат пружинанинг чўзилиши ёки сиқилишида ҳосил бўлган  $F_{эл}$  эластиклик кучи ҳисобига амалга ошади. Бу кучнинг йўналиши доимо тебрангичнинг силжини йўналишига тескари бўлади (12.6-расм, б, в). Шарча тебраниш даврида мувозанатлик ҳолатида тўхтаб қолмай, балки инерцияси туфайли мувозанат ҳолатдан ўтиб кетади, маълум дақиқа тўхтаб яна тескари йўналишда  $F_{эл}$  кучи таъсирида ҳаракат қила бошлайди. Бундай ҳаракат даврий равишда такрорланади ва муҳитнинг қаршилиги натижасида охири тебранишдан тўхтайди (12.7-расм).

Пружина чўзилганда ёки сиқилганда (кам миқдорда) Гук қонуни ўринли бўлади, яъни

$$F_{эл} = -kX$$

формуладан кўриниб турибдики, пружинали эластиклик кучи тебрангичнинг абсолют кўчишига тўғри пропорционал бўлиб, доимо мувозанатлик ҳолати томон йўналган экан.



12.7-расм.



Динамиканинг иккинчи қонунига асосан тизим тезланишли ҳаракатда иштирок этганлиги учун  $ma = -kx$  муносабатни ёзиш

мумкин. Тизимнинг тезланиши  $a = -\frac{k}{m}X = -\omega_0^2 X$  бўлади.

Циклик (доиравий) частота  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ , чунки  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$  эди.

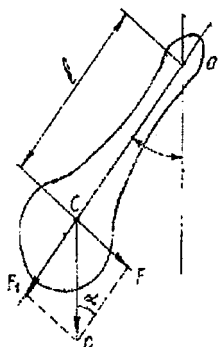
Тебрангичнинг тебраниш даври формулага  $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$  циклик

частота ифодасини қўйиб, пружинали тебрангичнинг теб-

раниш даври аниқланади, яъни  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ .

Энди физик тебрангичнинг тебраниш даврини аниқлашга ўтамиз.

**Физик тебрангич** деб оғирлик марказидан ўтмайдиган ўқ атрофида тебранма ҳаракат қила оладиган қаттиқ жисмга айтилади (12.8-расм). Бундай тебрангичда осилиш ўқи оғирлик марказидан  $l$  масофага жойлашади. Физик тебрангичнинг математик тебрангичдан фарқи, унинг моддий нуқта деб бўлмаслигидир. Тебрангич мувозанат вазиятидан жуда кичик бурчакка буриб қўйиб юборилса, у гармоник тебранма ҳаракат қилади. Физик тебрангичнинг оғирлик кучи унинг оғирлик марказида жойлашганлиги учун тебрангич мувозанат ҳолатига қайтади, демак, қайтарувчи куч оғирлик кучининг  $F$  таш-



12.8-расм.

кил этувчиси экан.  $O$  осилиш ўқига нисбатан бу кучнинг ҳосил қилган моменти  $M = -F\rho = -mgl\sin\alpha$  га тенг бўлади. Манфий ишора қайтарувчи  $F$  кучининг  $O$  осилиш ўқига нисбатан тебрангичнинг бурилиш бурчагига ва  $\sin\alpha$  бурчакка тескари йўналишда бўлишини билдиради.

Тебрангич айланма ҳаракат қилгани учун ҳосил бўлган куч моменти  $M = J\epsilon$  га тенг эканлигини эслатиб ўтамиз. Куч моментларининг тенглигидан  $J\epsilon = -mgl\sin\alpha$  тенгликни ёзиш

мумкин. Формулада  $J$  — тебрангичнинг инерция моменти,  $\varepsilon$  — бурчак тезланиши.

Бурилиш бурчаги жуда кичик бўлганлиги сабабли  $\sin\alpha \approx \alpha$

дейиш мумкин. У ҳолда  $\varepsilon = \frac{mgl}{J} \omega_0^2$  бўлади.

Бундан циклик частотани  $\omega_0 = \sqrt{\frac{mgl}{J}}$  деб белгиласак, фи-

зик тебрангичнинг тебраниш даврини қуйидаги формула ёр-  
дамида тонамиз:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}$$

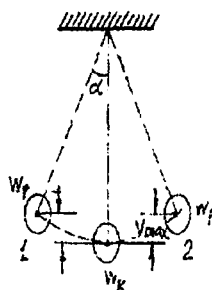
Демак, физик тебрангичнинг тебраниш даври унинг мас-  
сасига боғлиқ бўлмай массанинг тебрангичда тақсимлани-

шига боғлиқ экан. Формулада  $L = \frac{J}{mgl}$  физик тебрангичнинг

келтирилган узунлиги. Физик тебрангичлар асосан изохрон-  
лик хусусиятига биноан соатларда кўпроқ қўлланилади.

## 61-§. ГАРМОНИК ТЕБРАНМА ҲАРАКАТ ЭНЕРГИЯСИ

Математик тебрангични мувозанат вазиятидан жуда кичик  $\alpha$  бурчакка оғдириш натижасида тебрангичга қўшимча потен-  
циал энергия берган бўламиз, бу энергиянинг миқдори  $W_p =$   
 $mgH_{\text{пых}}$  бўлади. Формулада  $H_{\text{пых}}$  — тебрангич-  
нинг энг юқори кўтарилиш баланглиги (12.9-  
расм). Тебрангич қўйиб юборилганда, у теб-  
ранга ҳаракат қила бошлайди, тебрангич  
оғирлик кучи ва ишнинг таранглик (квази-  
эластик кучи) кучи таъсирида мувозанат ва-  
зият томон ҳаракат қилади. Бу ҳолда тебран-  
гичнинг потенциал энергияси кинетик энер-  
гияга айланади. Мувозанат вазиятда тебран-  
гичнинг потенциал энергияси тўлиқ кинет-  
ик энергияга айланади.



12.9 расм.

$$W_k = \frac{mV_{\max}^2}{2},$$

формуладаги  $V_{\max}$  — шарчанинг энг катта тезлиги.

Тебрангич мувозанат вазиятидан ўз инерцияси туфайли ўтиб, 2 ҳолатни эгаллайди, сўнгра тескари йўналишда орқага қайтади. Ишқаланиш кучининг таъсири ҳисобга олинмаса, энергиянинг сақланиш қонунига асосан потенциал энергиянинг энг катта қиймати кинетик энергиянинг энг катта қийматига тенг бўлади, яъни

$$mgH_{\max} = \frac{mV_{\max}^2}{2}.$$

Тебрангич даврий равишда тебранганлиги учун потенциал энергия кинетик энергияга ва аксинча, даврий айланишлар амалга ошади.

$$W_p \rightarrow W_k \rightarrow W_p \rightarrow W_k \rightarrow W_p \rightarrow \dots$$

Тебрангичнинг тўла механик энергияси энергиянинг айланиш ва сақланиш қонунига биноан потенциал ва кинетик энергияларнинг йиғиндисига тенг

$$W_r = W_p + W_k.$$

Кузатишлар натижасида тебрангичнинг тебраниш вақтида тебранишлар амплитудаси аста-секин камайиб тебранишларнинг сўнишига ишонч ҳосил қилади. Тебранишларнинг сўнишига сабаб тебрангичга берилган бошланғич энергиянинг ички энергиясига айланиб, атроф-муҳитга тарқалишидир.

Тебранма ҳаракат давомида тебрангичнинг кинетик энергияси узлуксиз ўзгаради. Кинетик энергия  $W_k = \frac{mV^2}{2}$

формуладан аниқланади. Формулада  $V$  — тебраниш вақтидаги тезлиги. Эслатиб ўтганимиздек, кинетик энергиянинг энг катта қиймати мувозанат вазиятидан ўтаётганда вужудга келади. Бу вақтда тезлик энг катта қийматга эришади.

Шунинг учун  $W_{k\max} = \frac{mV_{\max}^2}{2}$  бўлади.

Энди потенциал энергиянинг энг катта қийматини топайлик. Бунинг учун пружинали тебрангичнинг потенциал энергиясини аниқлаймиз. Пружинали тебрангични мувоза-

нат вазиятидан  $X$  масофага (чўзиб ёки сиқиб) чиқарилса, тебрангичга эластиклик кучи таъсир этиб, мувозанат вазиятга қайтаришга ҳаракат қилади. Гук қонунига биноан эластиклик кучи  $F_{\text{эл}} = -kX$  таъсирида тебрангич мувозанат вазиятига қайтарилганда  $kx$  дан  $0$  гача ўзгаради.  $F_{\text{эл}}$  кучининг бажарган иши  $A = F_{\text{эл}} \cdot x$  бўлиб, текшириладиган нуқталардаги тебрангичнинг потенциал энергиясига тенг бўлади. Куч  $0$

дан  $x$  гача чизиқли ўзгарса, унинг ўртача қиймати  $F_{\text{орт}} = \frac{kx}{2}$

га тенг бўлади, бажарилган иш эса  $A = \frac{kx^2}{2}$  га тенг бўлади.

Демак, тебранишларнинг потенциал энергиясининг оний қиймати силжиш квадратиغا тенг:  $W_p = \frac{kx^2}{2}$ .

У ҳолда тебрангичнинг энг катта потенциал энергияси силжиш энг катта қийматга эришган вазиятга тўғри келади

$$W_{\text{пмак}} = \frac{kx_m^2}{2}.$$

Гармоник тебранишнинг тўла энергиясига

$$\frac{kx^2}{2} + \frac{mV^2}{2} = \frac{k}{2} X_m^2 \quad \text{ёки} \quad kx^2 + mV^2 = kX_m^2$$

тенгламани иккала томонини  $k$  га бўлиб,  $X^2 + \frac{m}{k} V^2 = X_m^2$

тенгламани ҳосил қиламиз.

Тенгламада  $X$ ,  $V \times \frac{m}{k}$  ва  $X_m$  тўғри бурчакли учбурчакнинг катетлари ва гипотенузаси бўлганлиги сабабли

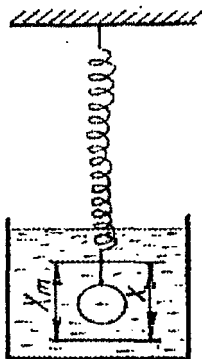
$$X = X_m \sin \alpha$$

муносабатни ёзиш мумкин.

## 62 -§. МАЖБУРИЙ ТЕБРАНИШЛАР. РЕЗОНАНС ҲОДИСАСИ

Амалда содир бўладиган хусусий тебранишлар асосан сўнувчи тебранишлардан иборат бўлади, чунки тебраниш жароҳида тебрангичдаги энергия ишқаланиш кучини ва муҳитнинг қаршилиқ кучини ечинга сарфланади. Сўнмайдиган тебранишларни ҳосил қилиш учун тебрангичга ташқаридан даврий равишда энергия бериб турилиши керак. Даврий ўзгарувчан куч таъсирида тебрангичнинг тебранишлари мажбурий тебранишлардан иборат бўлади. Масалан, радио карнайи, машинанинг мотори, дастгоҳ қобиғининг титрани мажбурий тебранишлардир. Мажбурий тебранишларда частота ташқи таъсир частотаси билан аниқлангани учун хусусий тебранишларда тебрангичнинг хусусиятидан частота аниқланади. Тебрангичга таъсир этувчи ташқи ўзгарувчан даврий куч **мажбурловчи куч** деб аталади. Мажбурий тебраниш частотаси ва даври мажбурловчи кучнинг частотаси ва даврига тенг бўлади. Мажбурловчи кучнинг берилган частотасида мажбурий тебранишлар амплитудаси, ҳатто тизимга мажбурловчи кучдан бошқа ишқаланиш кучи таъсир этган ҳолда ҳам ўзгармайди. Ишқаланишни енгини учун сарфланган энергия мажбурловчи куч томонидан бажарилган иш ҳисобига тўлдирилади.

Фараз қилайлик, пружинали тебрангич суюқлик идиш ичига туширилган бўлсин (12.10-расм). Пружинали тебрангичга бу ҳолда оғирлик кучи  $P=mg$ , эластиклик кучи  $F_{\text{эл}}=-kx$ , архимед кучи  $F_{\text{арх}}$ , қаршилиқ кучи  $F_{\text{хрп}}=-rV$ , мажбурловчи куч  $F=F_m \cos(\omega t + \alpha)$  таъсир этади. Бунда  $\omega$  — мажбурловчи кучнинг доиравий частотаси. Агар пружинага юк осилмаган бўлса, пружина чўзилмаган ҳолати 0 мувазанат вазиятни кўрсатади. Шарча осилиш билан пружина  $X_m$  статик масофага чўзилиб қолган бўлади. Бу ҳолда шарча мувазанат ҳолатда бўлиши учун  $P-kx_{\text{ст}}-F_{\text{арх}}=0$  шарт бажарилиши керак. Тебраниш натижасида силжиш масофаси  $X_{\text{ст}}$  дан бошлаб ҳисобланади. Ташқи куч таъсирида тебрангич мажбурий тебранма ҳаракат қила бошлайди. Ньютоннинг иккинчи



12.10-расм.

қонунига асосан тебрангичнинг ҳаракат қонунини, аниқлаймиз

$$P - k(X_{ст} + x) - F_{арх} - rV + F = ma$$

ёки

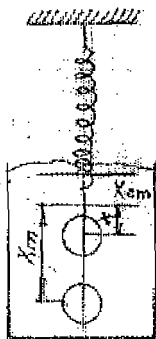
$$P - kX_{ст} - kx - F_{арх} - rV + F = ma.$$

Биринчи уч ҳад  $P - kX_{ст} - F_{арх} = 0$  бўлгани учун

$$F = ma + rV + kX$$

муносабатни ёзиш мумкин. Охири тенгламани шарчанинг массасига бўлсак, тенглама кўриниши қуйидагича кўринишга келади:

$$\alpha + \frac{r}{m}V + \frac{k}{m}X = \frac{F_m}{m} \cos(\omega t + \alpha).$$



12.11-расм.

Бу тенглама пружинали тебрангичнинг мажбурий тебра-

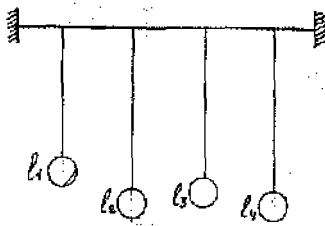
ниш тенгламасидир. Бу тенгламада  $\frac{k}{m} = \omega_0^2$  ва  $\frac{r}{m} = 2\delta$  деб

белгиласак, охири  $\alpha = 2\delta V + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \cos(\omega t + \alpha)$  тенглама

кўринишига келади.

Формуладаги  $S$  — тебранишларнинг сўниш коэффициенти. Тенгламани ечими  $x = X_m \cos(\omega t + \alpha)$  кўринишдаги гармоник тебранишдан иборат бўлади. Бунда мажбурий тебранишлар частотаси  $\omega$  бўлишини ҳисобга олиш керак. Биз тенгламани ечимини математик усулда ечиб ўтирмай, мажбурий тебраниш амплитудаси ( $X_m$ ) ва фазаси ташқи кучнинг ўзгариш частотаси ( $\omega$ ) га боғлиқ равишда ўзгаришини ( $\omega_0 = \text{const}$ ) қайд этамиз.

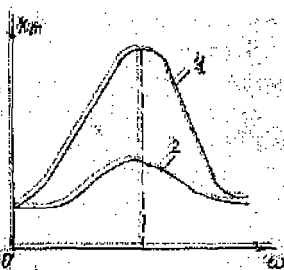
Энди эркин тебранишли тизимда мажбурий тебранишларни қандай ҳосил бўлишини кўриб чиқайлик. Фараз қилайлик, горизонтал ҳолатда маҳкамланган таёқчага ҳар хил узунликка эга бўлган математик тебрангич осилган бўлиб, уларнинг узунликлари мос равишда  $l_1, l_2, l_3, l_4$  бўлсин (12.12-расм). Тебрангичларнинг иккитасини узунлиги ўзаро тенг бўлсин, яъни  $l_2 = l_4$ .



12.12-расм.

Циклик частота  $\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$  шартдан  $\omega_{02} = \omega_{04}$  дейиш мум-

кин. Агар  $l_2$  узунликдаги тебрангични ҳаракатга келтирсак, аста-секин  $l_1$  ва  $l_3$  узунликдаги тебрангичлар тебрана бошлайди.  $l_4$  узунликдаги тебрангич эса кучли тебрана бошлайди. Тўртинчи тебрангичда катта амплитудали тебранишни юзага келишига сабаб ташқи куч таъсиридаги мажбурий тебраниш частотаси  $\omega$  нинг ўзгариши эркин тебранма ҳаракат қилаётган тебрангичларнинг хусусий  $\omega_0$  частотасига мос келиб қолишидир. Бундай ҳодисага тебранишларнинг **механик резонанси** дейилади. 12.13-расмда  $l_1$  ва  $l_2$  тебрангичлар мажбурий тебранишларининг амплитудаси ўзгариши кўрсатилган. Расмдан кўришиб турибдики, мажбурий тебранишларнинг  $\omega$  частотаси юкнинг хусусий частотаси  $\omega_0$  га яқинлашиб борган сари тебраниш амплитудавий қийматини ортиб боришига олиб келади ва  $\omega = \omega_0$  шарт



12.13-расм.

бажарилганда резонанс ҳодисаси қўзатилади. Резонанс ҳодисаси ишқаланиш кучига боғлиқ бўлиб, ишқаланиш қанчалик кам бўлса, резонанс шунчалик кучли бўлади (расмда 1 чизик) ва аксинча резонанс ҳодисаси кучсиз бўлганда ишқаланиш кучли бўлади (расмда 2 чизик). Баъзи ҳолларда тизимга таъсир этувчи мажбурловчи кучнинг таъсири жуда кам миқдорда бўлса ҳам резонанс ҳодисаси кучли бўлиши мумкин. Резонанс вақтида мажбурий тебранишларнинг амплитудаси қуйидаги формуладан топилади:

$$X_m = \frac{F_m}{\mu \omega_0}$$

Формулада  $F_m$  — ташқи кучнинг амплитуда қийматини ифодаловчи куч,  $\mu$  — ишқаланиш коэффициенти.

Резонанс ҳодисасини фойдали ва зарарли томонларини ҳисобга олиш керак. Айниқса техникада, халқ хўжалигида, машинасозликда, самолётсозликда, уй қурилишида, дарёлар устига кўприклар қуришда.

Масалан, уйимиз олдидан ўтиб кетаётган оғир машиналар таъсирида уйларнинг ойнаси титраши сезилади, бу ҳолат мажбурий тебранишларнинг натижасидир. Тарихдан маълумки, мажбурий тебранишларнинг амплитудаси кескин ортиб кетиши натижасида 1831 йили Манчестр шаҳрида, 1905 йили Петербург шаҳрида дарё устига қурилган кўприкдан саф тортиб ўтиб кетаётган аскарларнинг оёқ ташлаш частотаси билан кўприкнинг хусусий тебраниш частотаси мос тушиб қолиши натижасида кўприкнинг тебраниш амплитудаси кескин ортиб кетиб, кўприк бузилиб кетган, яъни резонанс ҳодисаси юзага келган. Резонанс ҳодисасига асосланиб мураккаб тебранишлар оддий тебранишларга ажратилади, яъни мураккаб тебраниш таркибидаги оддий тебранишларнинг частотаси аниқланади. Бу ҳодисадан радиотехника ва ойнаи жаҳон муҳандислик ишларида кенг фойдаланилади.

Энди автотебранишлар билан танишайлик. **Автотебраниш** деб ташқи манбадан олинаётган энергиянинг автоматик равишда бошқариладиган тизимларда содир бўладиган сўнмайдиган тебранишларга айтилади.

Автотебранишлар соатларда, электр кўнғироқларда, лампали генераторларда юзага келади. Тебрангичли соатни ишлаш жараёнини кўриб чиқайлик. Бундай соат тишли филдиракка эга бўлиб, унинг тишларига махсус шакл берилган. Филдирак ҳаракатланганда унинг тишлари махсус шакл-ли пластинкани гоҳ тутиб қолиб, гоҳ бўшатиб юборади. Тишли филдирак занжирга осилган юк ёрдамида ҳаракатга келтирилади. Тебрангич тебранаётганда унинг тишлари пластинкасини тутиб турган пайтда унга таъсир қилувчи кучнинг таъсир чизиғи айланиш ўқи орқали ўтиб, айлантирувчи момент нолга тенг бўлади. Пластинка тишдан ажраётганда, у билан тебрангичга қисқа вақт ичида осилиб турган юк ҳосил қилган айлантирувчи момент таъсир қилиб, тебрангич энергиясини орттиради. Қурилма тебрангичнинг ярим даврда йўқотган энергияси айлантирувчи момент таъсирида ўзатишган энергияга айнан тенг бўладиган қилиб тайёрланади. Ҳар даврда тебрангичга икки марта, у мувозанат ҳолатидан ўтаётган пайтда туртки берилади. Шундай қилиб, ҳар бир давр мобайнида тизим икки мартадан энергия олади. Бу энергия ишқаланишни енгишга сарфланадиган



энергиядан ортиқ бўлиб тебраниш бўмайди, лекин амплитуда етарли даражада кичик бўлса, тебранишни гармоник тебраниш деб ҳисоблаш мумкин.

## МАСАЛА ЕЧИШ НАМУНАЛАРИ

**1-масала.** Эркин тушиш тезланиши  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  бўлган жойлар учун оддий тебраниш даври  $T = 1 \text{ с}$  га тенг бўлган тебрангичнинг узунлиги топилсин.

Берилган:  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  | Ечиш. Оддий тебранишлар учун тебраниш даврини топиш формуласидан фойдала-

$T = 1 \text{ с}$  | намиз  $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$  дан  $T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

Топиш керак: 1-? | Формулани иккала томонини квадратга кўтариб, тебрангичнинг узунлигини топамиз

$$T^2 = \frac{\pi^2 l}{g} \text{ дан}$$

$$l = \frac{gT^2}{\pi^2} = \frac{9,8 \text{ м/с}^2 \times (1 \text{ с})^2}{(3,14)^2} = 0,994 \text{ м}$$

Жавоб.  $l = 0,994 \text{ м}$ .

**2-масала.** Икки тебрангич бир вақтда тебрана бошлади. Биринчи тебрангич 50 марта тебранган вақтда, иккинчи тебрангич 40 марта тебранади. Бу тебрангичларни узунликлари нисбати аниқлансин.

Берилган:  $h_1 = 50$  тебраниш | Биринчи тебрангичнинг тебраниш вақтини:  $t = T_1 h_1$   
 $h_2 = 40$  тебраниш | Иккинчисиники мос равишда  $t = T_2 h_2$  бўлади.  
 Топиш керак:  $l_1 | l_2 - ?$

Тебранишлар вақти тенг бўлганлиги учун ушбу муносабатни ёзиш мумкин

$$T_1 h_1 = T_2 h_2$$

Тебраниш даври формуласини қўллаймиз.

$$2\pi n_1 \sqrt{\frac{l_1}{g}} = 2\pi n_2 \sqrt{\frac{l_2}{g}} \quad \text{дан } l_1 n_1^2 = l_2 n_2^2 \text{ ни топамиз.}$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{n_2^2}{n_1^2} = \frac{(40)^2}{(50)^2} = \frac{16}{25}$$

Жавоб.  $\frac{l_1}{l_2} = \frac{16}{25}$ .

**3-масала.** Бир жойда турган икки тебрангичдан биттаси бир хил вақт давомида 10 марта, иккинчиси 6 марта тебранса ва уларнинг узунликлари 0,1 м га фарқ қилган бўлса, ҳар бир тебрангичнинг узунликлари аниқлансин.

Берилган:  $n_1 = 10$   
 $n_2 = 6$   
 $l_1 - l_2 = 0,1 \text{ м}$

Топиш керак:

$$l_1 - ? \quad l_2 - ?$$

Ечиш. Тебрангичнинг тебраниш вақтлари мос равишда  $t = T_1 n_1$   
 $t = T_2 n_2$  бўлади.

Вақтлар тенглигидан  $T_2 n_2 = T_1 n_1$  ни ёзиш мумкин. Бундан

$$2\pi n_1 \sqrt{\frac{l_1}{g}} = 2\pi n_2 \sqrt{\frac{l_2}{g}} \quad \text{келиб чиқади.}$$

$$n_1^2 l_1 = n_2^2 l_2 \quad \text{дан} \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{n_2^2}{n_1^2}$$

Тизим тузамиз:  $\begin{cases} l_2 - l_1 = 0,1 \\ \frac{l_1}{l_2} = \frac{n_2^2}{n_1^2} \end{cases}$  дан

$$\frac{l_1}{0,1 + l_1} = \frac{n_2^2}{n_1^2}, \quad l_1 n_1^2 = (0,1 + l_1) n_2^2$$

$$l_1 n_1^2 = 0,1 n_2^2 + l_2 n_2^2, \quad l_1 (n_1^2 - n_2^2) = 0,1 n_2^2 \quad l_1 = \frac{0,1 n_2^2}{n_1^2 - n_2^2} = \frac{0,1 \times 36}{100 - 36} = 0,056 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,1 \text{ м} + l_1 = 0,1 \text{ м} + 0,056 \text{ м} = 0,156 \text{ м}$$

$$l_2 = 0,1 \text{ м} + l_1 = 0,1 \text{ м} + 0,056 \text{ м} = 0,156 \text{ м}$$

Жавоб.  $l_1 = 0,056 \text{ м}$ ;  $l_2 = 0,156 \text{ м}$ .

4-масала. Бикрлиги 75 Н/м бўлган пружинага осилган юк  $t=6$  секунд давомида  $h=10$  марта тебранса, пружинага осилган юкнинг массасини топинг.

Берилган:	Ечиш. Пружинага юк осилганда,
$k=75 \text{ Н/м}$	деформация натижасида тизим тебранади,
$h=10$	у ҳолда тизимнинг тебраниш частотаси
$t=6 \text{ с}$	бирлик ва масса орқали қуйидагича

Топиш керак:

$m=?$

ифодаланади:  $W_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ .

Шунингдек, циклик частота тебраниш даври билан боғланган бўлади. Тебраниш даврини циклик частота билан боғланишини топайлик

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = W_0^2 = \frac{k}{m} \text{ ва } T = \frac{t}{h} \text{ дан } m = \frac{T^2 k}{2\pi^2} = \frac{t^2 k}{2\pi^2 h^2} \text{ бўлади.}$$

$$m = \frac{6^2 \text{ с}^2 \times 75 \text{ Н/м}}{2 \times (3,14)^2 \times 10^2} = \frac{36 \text{ с}^2 \times 75 \text{ Н/м}}{2 \times 9,856 \times 100} = \frac{18 \times_{\text{кг}} \times_{\text{м}} \text{ с}^2}{9,8} = \frac{27}{19,6} \text{ кг} = 2,7.$$

Жавоб.  $m=2,7 \text{ кг}$

5-масала. Соат тебрангичи ерда 1 с да 1 марта тебранади. Шу соат ер сиртидан маълум бир баландликда 10 соат вақт мобайнида ер сиртига нисбатан 3 с орқада қолаги бўлса, соат қандай баландликда жойлашган?

Берилган:	Ечиш. Тебрангичнинг ер сиртида ва $h$
$\Delta t = 3 \text{ с}$	баландликдаги тебраниш давлари мос

$R_{\text{сп}} = 6400 \text{ км}$	равишда $T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l_1}{g_1}}$ ва $T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l_2}{g_2}}$
-----------------------------------	--

$t = 10 \text{ 3600 с}$	бўлади.
-------------------------	---------

Тоғиш керак: |  
h-?

Ер сиртидаги эркин тушин тезланиши  $g_1 = G \frac{M}{R^2}$ , ер сир-

тидан баланшликка эса  $g_2 = G \frac{M}{(R+h)^2}$  бўлади.

$$\frac{g_2}{g_1} = \frac{G \frac{M}{(R+h)^2}}{G \frac{M}{R^2}} = \frac{R^2}{(R+h)^2} \text{ тебраниш даврларининг нисбати}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{g_2}{g_1}} = \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{g_2}{g_1} \text{ десак, } \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{R^2}{(R+h)^2} \quad \frac{T_1}{T_2} = \frac{R}{R+h} \text{ бўлади.}$$

$T_1 h_1 + T_1 R_1 = T_2 R$  тебраниш даврининг фарқи  $T_2 -$

$T_1 = \Delta T$  десак,  $\Delta T \approx \frac{T_1 h}{R}$  келиб чиқади.

Ер сиртида  $t$  вақтда тебранишлар сони  $n$  га  $t = h T_1$  бўлиб,

икки ҳол учун  $\Delta T = h \Delta T$  ни ёзиш мумкин.  $\Delta T = \frac{T_1 h^2}{R}$  ни

тебраниш сони  $n$  га кўпайтирсак,  $\Delta T \times n = \frac{T_1 h \times n}{R} = \Delta t$  келиб чи-

қади.  $T = T_1$  ни ҳисобга олсак вақт фарқи  $\Delta t = \frac{t \times h}{R}$  дан тоғамиз.

Охириги формуладан  $h = \frac{R \times \Delta t}{t}$  баланшлик тоғилади.

$$h = \frac{6400 \times 10^3 \text{ м} \times 3 \text{ с}}{10 \times 3600 \text{ с}} = \frac{192 \times 10^3}{36} \text{ м} = 533 \text{ м}$$

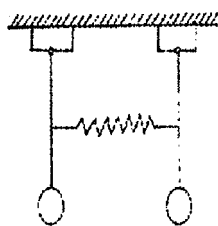
Жавоб.  $h = 533 \text{ м}$ .

## ХIII боб

### 63-§. МЕХАНИК ТЎЛҚИҲЛАР. ТЎЛҚИИ ТУРЛАРИ

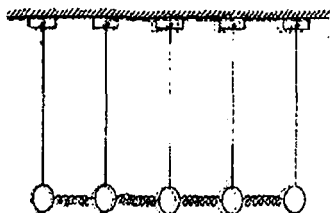
Биз шу вақтгача моддий нуқта ёки жисм тебранишларини ўрганишда битта координатани аниқлаш билан кифояландик. Амалда бир вақтнинг ўзида ўзаро боғланган бир неча жисмларнинг тебранишини ўрганишга тўғри келади. Бундай ҳолларда тизим бир неча тебраниш тизимларидан иборат деб қаралади. Бунда бир тизимнинг тебранишлари бошқа тизим тебранишларига таъсир қилади ва аксинча бўлади. Бундай мураккаб тизимни ташкил қилган алоҳида тизимлар парциал тизимлар деб юритилади. Фараз қилайлик, енгил пружина орқали боғланган иккита бир хил тебрангичдан иборат тебраниш тизимини кўрайлик (13.1-расм). Тебрангичлар тик вазиятда бўлганда пружина деформацияланмаган бўлади. Тебрангич биринчи мувозанат вазиятидан четга чиқарилиб, ҳар иккала тебрангич қўйиб юборилса, тез орада иккинчи тебрангич ҳам тебрана бошлайди, чунки пружина гоҳ чўзилиб, гоҳ сиқилиб, иккинчи тебрангични ҳам тебрантиради. Бунда биринчи берилган энергия аста-секин иккинчи тебрангични тебрантириш учун сарф бўлади. Натихада биринчи тебрангич тебранишлари амплитудаси камайиб, иккинчи тебрангичники эса ортиб боради.

Маълум вақтдан сўнг биринчи тебрангич бугундай тўхтаб, иккинчиси энг катта амплитуда билан тебрана бошлайди. Ишқаланишни енгилга сарфланадиган энергия жуда оз бўлганда мазкур амплитуда тахминан биригчи тебрангичнинг бошлангич пайтдаги амплитудасига тенг бўлади, сўнгра эса тебрангичларнинг тебраниш жараёни алмашади ва жараён даврий равишда такрорланади. Тебрангичларнинг оғишлари бир



13.1-расм.

хил бўлса, ҳар иккала тебрангич ҳам бир хил фазада, бир хил амплитуда ва частота билан тебранади. Пружина деформацияга учрамаганлиги сабабли тебрангичнинг тебранишига таъсир қилмайди, демак, тебрангичлар ўртасида энергия алмашмайди.



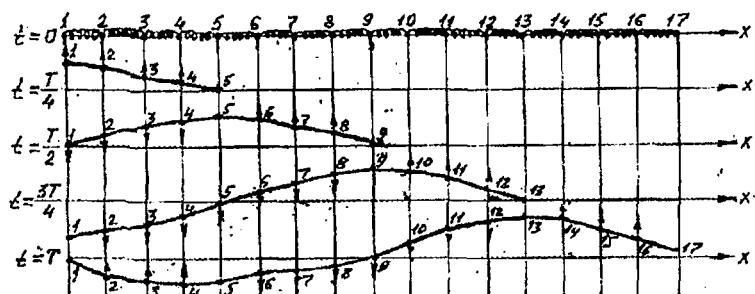
13.2-расм.

Агар тебрангичлар қарама-қарши томонга бир хил бурчакка оғдириб қўйиб юборилса, тебрангичлар қарама-қарши фазада, аммо аввалги частотасига нисбатан каттароқ частота билан тебранади. Бунда пружина гоҳ чўзилиб, гоҳ сиқилади, лекин унинг ўртасидаги нуқта жойидан қўзғалмайди, натижада тебрангичлар ўртасида энергия алмашмай тебранади. Боғланган тизимларда алоҳида тизимлар сони  $n$  та бўлса, бу ҳолда ҳам тебраниш жараёни юқоридагидек амалга ошади, аммо уларнинг частотаси  $h$  хил бўлади (13.2-расм). Боғланган тизимнинг тебраниш частотаси  $U$  тизимнинг ўлчамларига, зичлигига ва материалларининг эластик хусусиятларига боғлиқ бўлади.

Тебранишларнинг муҳитда тарқалиш жараёни **тўлқин** деб аталади. Физикада ҳар хил табиатга эга бўлган механик, электромагнит ва бошқа турдаги тўлқинлар билан иш кўрилади. Аммо уларнинг тарқалиш қонуниятлари кўп жиҳатдан бир хил бўлганлиги сабабли уларни механик тўлқин деб ҳисоблаш мумкин. Бу тўлқинлардаги тебранишларнинг тарқалиши қаттиқ, суюқ ва газ ҳолатидаги муҳит заррачалари ўзаро таъсирининг натижасидир. Муҳит заррачалари орасидаги ўзаро таъсир тебранишларни узатиш пайтида вужудга келадиган эластиклик кучлари орқали амалга оширилса, тўлқин эластик тўлқин деб аталади. Товун, ултратовун ва сейсмик тўлқинлар эластик тўлқинлардир. Механик тўлқинлар бўйлама ва кўндаланг тўлқинларга бўлинади. 13.3-расмда кўндаланг тўлқиннинг тарқалиш схемаси кўрсатилган.

Тасвирда эластик муҳитда тарқалаётган тўлқинлар учун бир-биридан чорак даврга  $\left( \frac{T}{4} \right)$  фарқ қиладиган белгига ҳолат кўрсатилган. Кўрсаткичлар билан заррачаларнинг ҳаракат йўналиши белгилашган пайтда барча заррачалар (нуқталар)

мувозанат ҳолатида бўлади. Бошланғич вақт momentiда биринчи заррага импульс берилса, бу заррача қўшни зарраларга таъсир этади. Натижада аста-секин қўшни заррачалар ҳам тебранма ҳаракат қилади. Қўшни заррачаларнинг тебранма ҳаракати инерция туфайли бироз кечикади. Ўз навбатида мазкур заррача навбатдаги заррачани эргаштиради, ушбу заррача ҳам бироз кечикиш билан ҳаракатга келади. Шу тарзда борган сари кўпроқ заррачалар тебрана бошлайди. Тебранишлар бир зумда узатилмагани туфайли заррачалар турли фазалар билан тебраниб, чуқурчалар ва чўққилардан иборат тўлқинни ҳосил қилади.



13.3-расм.

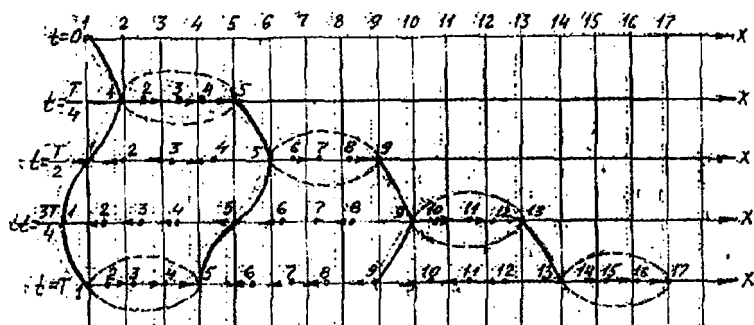
Муҳитнинг заррачалари тўлқин билан бирга кўчмайди, балки муайян  $T$  давр билан мувозанат ҳолати атрофида тебранади. Кўндаланг тўлқин деб муҳит заррачаларининг тўлқин тарқалиш йўналишига перпендикуляр йўналишида тебранишига айтилади.

Энди бўйлама тўлқиннинг бўлишини кўриб чиқайлик.

13.4-расмда бўйлама тўлқиннинг тарқалиш жараёни тасвирланган. Бундай тўлқин навбатланиб келадиган сиқилиш ва сийракланишдан иборат бўлиб, улар тўлқин тарқалиши йўналишида ҳаракатланади.

Расмдан кўриниб турибдики,  $t=0$  вақт momentiда барча заррачалар мувозанат ҳолатида бўлади. Биринчи заррачага импульс берилиши билан чорак давр ичида ( $t=T/4$ ) бошланғич вақт momentига нисбатан биринчи зарранинг тебранма ҳаракат тезлиги бешинчи заррачага етиб қолади, аммо бешинчи заррача бу вақтда тиш ҳолатини сақлайди. Бу вақт биринчи заррача амплитуда қийматига тенг миқдорда ўнгга силжиб улгуради. Биринчи ва бешинчи заррачалар орасида

сиқилиш бўлади, бу вақтда 2,3 ва 4 заррачалар ўз ҳаракатини давом эттириб, чапдан ўнгга силжишни давом эттиради.  $t=T/2$  даврда тўлқин тарқалиши тўққизинчи заррачага етиб келади. Тўққизинчи заррача ўзининг тинч ҳолатини сақдайди, биринчи заррача мувозанат ҳолатга қайтган бўлади, бешинчи заррача эса амплитуда қийматига тенг масофага ўнгга силжиган бўлади. Биринчи ва бешинчи заррачалар орасида сийраклашиш (чўзилиш) оралиғи ҳосил бўлади. Бешинчи ва тўққизинчи заррачалар оралиғида сиқилиш жараёни амалга ошади. Бундай тебранма ҳаракат даврий равишда такрорланиб боради.



13.4-расм.

Бўйлама тўлқин деб тебранишлари тўлқин тарқалиш йўналишида бўладиган тўлқинга айтилади.

Кўндаланг тўлқинда муҳит қатламлари бир-бирига нисбатан силжиб, силжиш деформацияси орқали тўлқин ҳосил қилинади. Бундай тўлқинлар фақат қаттиқ жисмларда ва суяқлик сиртида вужудга келади.

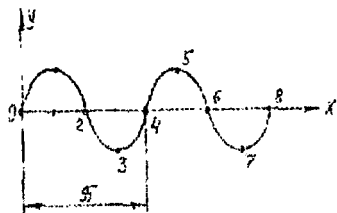
Бўйлама тўлқинларда муҳит қатламлари навбат билан зичланиб сийраклашади, натижада муҳитнинг ҳажми ўзгаради. Бундай хусусияти қаттиқ жисмлар, суяқлик ва газларга хосдир. Демак, бўйлама тўлқинлар қаттиқ жисмлар, суяқлик ва газларда тарқалиши мумкин.

## 64-§. МЕХАНИК ТЎЛҚИНЛАРНИНГ ТАФСИВЛОВЧИ КАТГАЛИКЛАРИ

Тўлқинлар фазо ва вақтда даврий равишда такрорланиб турувчи ҳаракат хусусиятига эга бўлганлиги учун кўндаланг



тўлқиннинг фазасини аниқлайлик. Фараз қилайлик, кўндаланг тўлқин заррачалари расмда кўрсатилганидек ОХ йўналишида тебранаётган бўлсин (13.5-расм).



13.5-расм.

Агар икки заррача тебраниш йўналишида бир вақтда мувозанат вазиятида ўтиб, амплитудаси қийматларининг модули бир хил

қийматга ва бир хил ишорага эга бўлса, уларнинг тебранишлари ҳам бир фазада бўлади. Бу ҳолат 0 ва 4, 1 ва 5, 2 ва 6, 3 ва 7, 4 ва 8 нуқталар учун ўришидир, чунки бу нуқталарда тебраниш фазалари бир хил бўлади, яъни  $\alpha_1 = \alpha_2$ . У ҳолда фазаларнинг силжиши бир хил бўлиб,  $\alpha_1 - \alpha_2 = 2\pi n$  ( $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ) формула ёрдамида аниқланади. Агар тебраниш фазалари аксинча бўлса, у ҳолда фазалар қарама-қарши ишорали бўлади, яъни  $\alpha_1 = -\alpha_2$  шарт бажарилади, фазаларнинг силжиши қуйидаги муносабатдан топилади:  $\alpha_1 - \alpha_2 = \pi(2n+1)$  ( $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ). Бу ҳолатга 0 ва 2, 1 ва 3, 2 ва 4, 3 ва 5, 4 ва 6, 5 ва 7, 6 ва 8 нуқталарининг тебраниши мос келади.

Агар икки заррача тебраниш вақтида мувозанатлик ҳолатидан бир вақтда ўтмаса, уларнинг фазалари силжиши 0 ва  $180^\circ$  га тенг бўлмайди.

Тўлиқ давр деб муҳитда тарқалаётган тўлқин заррачасининг бир марта тебраниши учун кетган вақтга айтилади ва  $T$  ҳарфи билан белгиланади.

Тўлқин частотаси деб тўлқин даврига тескари пропорционал бўлган ва  $\nu$  давомида тўлқин тебранишлар сонини ифодаловчи катталиққа айтилади. Частотаси  $\nu$  (ню) ҳарфи билан белгиланади, яъни

$$\nu = \frac{1}{T}$$

Бир тўлқин даври ичида бир хил фазада тебранаётган икки нуқта орасидаги энг қисқа масофа тўлқин узунлиги деб аталади ва  $\lambda$  (лямбда) ҳарфи билан белгиланади.

Маълумки, эластик муҳитда тебранишлар доимий тезликда тарқалади, демак, тўлқин ўтган йўлнинг унинг шу йўлни ўтган вақтига нисбати билан ўлчанадиган катталик тўлқин ҳаракатининг тарқалиш тезлиги деб аталади. Агар дав-

рга тенг  $T$  вақт ва тўлқин узунлигига тенг  $\lambda$  йўл олинса,

$$V = \frac{\lambda}{T} \text{ бўлади.}$$

Агар  $T = \frac{1}{\nu}$  ни ҳисобга олсак, у ҳолда тарқалиш тезлиги

$$V = \lambda \nu \text{ бўлади.}$$

Тўлқин тарқалиш тезлиги тўлқин фазасининг фазодаги силжишини аниқлагани учун фазавий тезлик деб аталади. Масалан, кўндаланг тўлқинларда чуқурча ва чуқурликларнинг, бўйлама тўлқинларда сиқилиш ва сийракланишнинг ҳосил бўлиши.

Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги паст частоталарда тебраниш частоталарига эмас, балки муҳитнинг хоссаси ва хусусиятига боғлиқ бўлади.

Бўйлама тўлқиннинг тарқалиш тезлиги Юнг модулининг муҳит зичлигига нисбати билан аниқланади, яъни

$$V_s = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ бунда } \rho \text{ — муҳит зичлиги, } E \text{ — Юнг модули.}$$

Кўндаланг тўлқиннинг муҳитда тарқалиш тезлиги муҳит силжиш модулининг муҳит зичлигига нисбатидан топилади, яъни

$$V_k = \sqrt{\frac{G}{\rho}},$$

формулада  $\rho$  — муҳит зичлиги,  $G$  — силжиш модули.

Тор ёки чўзилувчан ип учун тўлқиннинг тарқалиш тезлиги

$$V_k = \sqrt{\frac{F}{m_0}}$$

формуладан топилади. Бу формулада  $F$  — таранглик кучи,  $m_0$  — узунлик бирлигидаги масса.

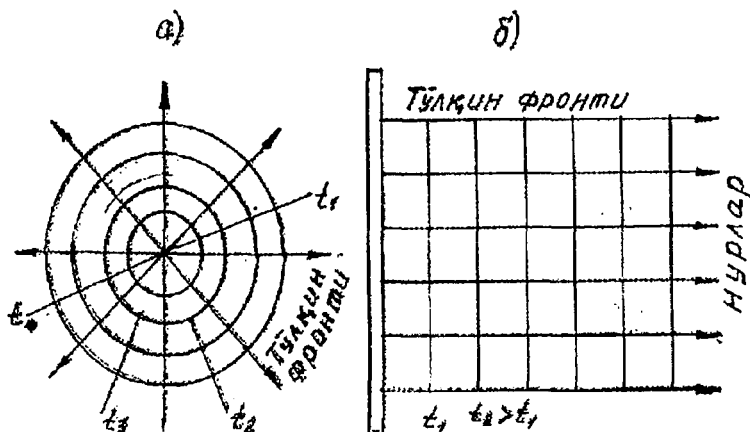
Агар тўлқин бир муҳитдан иккинчи муҳитга ўтса, частота ўзгармайди, тўлқиннинг тарқалиш тезлиги муҳитга боғлиқ бўлгани учун тўлқин бир хил ўзгаради.

## 65-§. БИР ЖИНСЛИ ЭЛАСТИК МУХИТДА ТЎЛҚИН ТАРҚАЛИШИ

Агар тўлқин манбаи бир жинсли изотроп эластик муҳи-  
да жойлашган бўлса, у ҳолда манбадан чиқаётган тўлқин  
фазода ҳамма йўналиш бўйича тарқалади ва маълум бир  
фазада тебранади. Худди шунишдек, бирлик вақт оралиғида  
тебранишда иштирок этаётган барча заррачалар ҳам бир хил  
фазада тебраниб, тўлқин ҳосил қилади. Муайян вақтда бир  
хил фазада тебранаётган заррачалар ҳосил қилган сирт **тўлқин  
фронти** дейилади. Тўлқин тарқалиши йўналишини белгилай-  
диган чизиқлар нур деб аталади. Тўлқин фронтининг шак-  
лига қараб сферик ёки ясси тўлқин кўринишида бўлади. 13.6-  
расмда сферик ва ясси тўлқин фронти кўрсатилган.

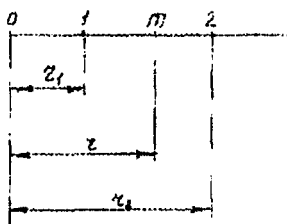
Тўлқин манбаидан узоқ бўлган нуқталарда сферик  
тўлқин фронтининг унча катта бўлмаган қисми амалда ясси  
бўлади. Бунида барча нурлар ўзаро параллел бўлиб, тўлқин-  
нинг мазкур қисми **ясси тўлқин** деб аталади. Чекланмаган  
муҳитда ҳеч қандай тўсиққа учрамай тарқалаётган тўлқин  
**югурувчи тўлқин** деб аталади.

Фараз қилайлик, ясси тўлқин гармоник қонуният бўйича  
тебранаётган бўлсин, яъни  $X = X_m \cos \omega t$  кўринишда ёзамиз. Бу  
ерда  $X$  — зарранинг муҳитуда силжиши,  $X_m$  — тебраниш ам-  
плитудаси,  $\omega = 2\pi\nu$  — цикли частотаси,  $t$  — тебраниш вақти.



13.6-расм.

Айтайлик,  $M$  нуқтадаги заррача  $0$  нуқтадан  $r$  масофада жойлашган бўлсин (13.7-расм). Тўлқиннинг тарқалиш тезлиги чекли бўлганлиги учун манбадан тарқалаётган ҳар бир заррачанинг тебраниши  $M$  нуқтага етиб келгунча маълум бир да-



13.7-расм.

қиқага кечикади, яъни  $t_k = \frac{r}{V}$ .  $M$

нуқтадаги заррачанинг тебраниш вақти эса  $t - t_k = t - \frac{r}{V}$  қий-  
матга тенг бўлади. У ҳолда гармоник тебранма ҳаракат учун  
қуйидаги муносабатни ёзиш мумкин:

$$X = X_m \cos W \left( t - \frac{r}{V} \right).$$

Бу тенглама ясси югурувчи тўлқин тенгламаси дейилади.

Бу ҳолда тўлқин фазаси  $a = W \left( t - \frac{r}{V} \right) = 2\pi\nu \left( t - \frac{r}{V} \right)$  бўлади.

Фараз этайлик,  $0$  нуқтада жойлашган манбага нисба-  
тан 1 ва 2 нуқтадаги заррачалар мос равишда  $r_1$  ва  $r_2$  масо-  
фага орқада қолаётган бўлсин. Улар орасидаги масофа ва

$r_2 = r_2 - r_1$  нуқтадаги заррача фазаси  $a_1 = W \left( t - \frac{r_1}{V} \right)$  ва 2 нуқта-

дагиси учун  $a_2 = W \left( t - \frac{r_2}{V} \right)$  бўлади. Бу нуқтадаги заррача-

ларнинг фазалар бўйича силжиши эса  $a_1 - a_2 = W \frac{r_2 - r_1}{V}$ .

Тўлқин узунлиги  $\lambda$  ни ҳисобга олсак, шунингдек, зарра-  
чалар бир хил фазада тебранса, фазалар силжиши  $a_1 - a_2 = 2\pi$

бўлгани учун  $\lambda = r_2 - r_1$  бўлади, демак,  $2\pi = \frac{\nu \times \lambda}{V}$  дейиш мум-

кин. Тўлқин тарқалиш тезлиги  $V = \lambda\nu = \frac{\lambda}{T}$  ва  $W=2\pi\nu$  дан тўлқин тенгзамаси

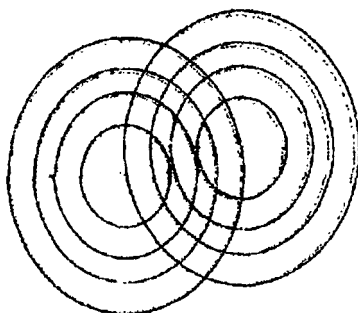
$$X = X_m \cos 2\pi\nu \left( t - \frac{r}{\lambda\nu} \right) \text{ ёки } X = X_m \cos 2\pi \left( \nu t - \frac{r}{\lambda} \right).$$

## 66-§. ТЎЛҚИН ИНТЕРФЕРЕНЦИЯСИ ВА ДИФРАКЦИЯСИ

Маълумки, тўлқин мустақиллик қонуниятига бўйсунган ҳолда тарқалиб, бошқа тарқалаётган тўлқинларга таъсир этмайди. Масалан, ҳовузга ташланган иккита тош ҳосил қилган тўлқинларнинг сув сирғида тарқалишини кузатиб, бунга ишонч ҳосил қилиш мумкин. Бунда бир-бири билан кесишадиган ҳалқасимон тўлқинлар маркази тош ташланган нуқтада жойлашган айланалар тарзида тарқалиб, бир манба ҳосил қилган тўлқиннинг тарқалишига иккинчи манба ҳеч қандай таъсир қилмайди.

Тўлқинлар суперпозицияси (қўшилиш) принципига кўра, муҳит заррачаларининг ихтиёрий пайтдаги силжиши уларнинг алоҳида тўлқинлар туфайли олган силжишларининг геометрик йиғиндисига тенг.

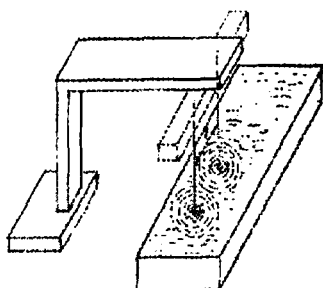
Бу принципни биринчи марта итальян олими ва мусавири Леонардо да Винчи сувга иккита тошни ташлаш орқали аниқлаган (13.8-расм).



13.8-расм.

Агар бир жинсли муҳитда тарқалаётган иккита тўлқиннинг асютоталари бир хил, фазалари ҳам бир хил ёки фазалари фадат доимий бўлса, бундай тўлқинлар **когерент тўлқин** бўлади. Когерент тўлқинларни ҳосил қилувчи манбалар эса когерент манбалар деб аталади.

Когерент тўлқин ва когерент манба тушунчаси мавҳум тушунча. Одатда когерент манбаларни ҳосил қилиш муайян шароитга боғлиқ. Когерент манбаларни, масалан, горизонтал жойлашган пружинага қосиб қўйилган икки тик сим ёрдамида ҳосил қилиш мумкин (13.9-расм). Симларни қисман тебратиб, яъни яқиндаги сув сиртига теккизиб қўйилса, иккита манбадан чиқиб тарқалаётган ва бир-бирига қўшилаётган, деярли когерент бўлган тўлқинларни кузатиш мумкин.

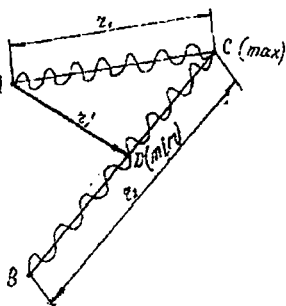


13.9-расм.

Агар: 1) симлар орасидаги масофа улар томонидан ҳосил қилинган тўлқин узунлигидан катта бўлса, яъни  $r > \lambda$  тўлқинлар қўшилиб тебраниш кучаяди; 2) аксинча  $r < \lambda$  да сусаяди.

Амалда тўлқинларнинг сусайиши ва қўшилиши натижасида тебранишлар кучайиши кузатилади. Бунда зарралар алоҳида тўлқинлар туфайли силжиб қўпилиб, муҳит заррачаларини тебраниш амплитуда даврий равишда фазовий тақсимлайди, натижада тебранишнинг амплитудалари энг катта ва энг кичик қийматга эришади. Бу ҳолат навбатлашиб, интерференция манзараси кузатилади. Турғун фазовий интерференция манзарасини овозга келтирувчи тўлқинларнинг қўшилиш ҳодисаси тўлқинлар **интерференцияси** деб аталади.

Фараз қилайлик, бир жинсли муҳитда иккита А ва В когерент манбалардан бир фазали тўлқинлар тарқалаётган бўлсин (13.10-расм). Бу тўлқинларнинг тўлқин узунликлари бир бўлганлиги сабабли уларнинг тарқалиш тезликлари мос равишда  $v_1 = \lambda_1 v_1$  ва  $v_2 = \lambda_2 v_2$  бўлади. Шартга кўра  $\lambda_1 - \lambda_2 = \lambda$  га асосан тебраниш ча-



13.10-расм.

стоталари ҳам ўзаро тенг, яъни  $v_1=v_2$ , демак, тезликлари ҳам ўзаро тенг:  $V_1=V_2$ .

Айтайлик, А ва В майдан тарқалаётган тўлқинлар С нуқтада ўзаро устма-уст тушсин. Бу ҳолда биринчи тўлқин С нуқтага етиб келгунча  $r_1$  масофани, иккинчиси эса  $r_2$  масофани босиб ўтади (13.10-расм). Йўллар орасидаги масофалар фарқи  $\Delta r=r_2-r_1$  га тенг.

Югурувчи тўлқин тенгламасига асосан биринчи тўлқин учун

$$X_1 = X_{m1} \cos 2\pi \left( \omega t - \frac{r_1}{\lambda} \right) = X_{m2} \cos \alpha_1,$$

иккинчиси учун

$$X_2 = X_m \cos 2\pi \left( \omega t - \frac{r_2}{\lambda} \right) = X_{m2} \cos \alpha_2$$

тенгламаларни ёзиш мумкин.

Фазалар силжиши эса

$$a_1 - a_2 = 2\pi \left( \omega t - \frac{r_1}{\lambda} - \omega t + \frac{r_2}{\lambda} \right) = 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda} = 2\pi \frac{\Delta r}{\lambda}$$

муносабатдан топилади.

Формуладан кўриниб турибдики, тўлқинларнинг С нуқтадаги фазасини тебраниш фазаларининг фарқидан топиш мумкин, бунда қуйидаги икки ҳол бўлиши мумкин: 1) тўлқин

узунлиги  $\lambda/2$  га тенг бўлса, йўллар фарқи  $\Delta r = 2n \frac{\lambda}{2} = n\lambda$

( $n=0,1,2,\dots$ ) бўлиб, фазалар силжиши  $a_1-a_2=2n\pi$  га тенг бўлади. Бу ҳолда тебранишлар қўшилиб кучаяди ва интерференция энг катта қийматга эришади; 2) агар йўллар фарқи

$\Delta r = (2n+1) \frac{\lambda}{2}$  га тенг бўлса,  $\alpha_1-\alpha_2=(2n+1)\pi$  бўлиб, тебраниш

фазалари қарама-қарши бўлади, натижада тебранишлар сусаяди ва интерференция энг кичик қийматга эришади.

Демак, икки когерент тўлқиннинг геометрик йўллар фарқи бир жинсли муҳитнинг ўзаро учрашув нуқтасида жуфт

сонли ярим бутун тўлқин сонига тенг бўлса, интерференция энг катта (максимум) қийматга эришади, аксинча, тоқ сонли ярим бутун сонига тенг бўлса, интерференция энг кичик (минимум) қийматга эришали, яъни

$$r_2 - r_1 = 2 \frac{\lambda}{2} \text{ да максимум кузатилади (С нуқта),}$$

$$r_2' - r_1' = \frac{\lambda}{2} \text{ да минимум кузатилади (Р нуқта).}$$

Маълумки, гармоник тебранишларнинг энергияси тебраниш амплитудасининг квадратиغا тўғри пропорционал бўлади

$$X_{m1} = X_{m2} = X_m, \text{ демак, } W = X_m^2.$$

Энг катта қиймат учун  $X_{nk} = X_{m1} + X_{m2} = 2X_m$  бўлиб, бу ерда  $X_{nk}$  — йигинли амплитуда.  $W_{\max} = 4X_m^2$  га асосан интерференциянинг энг катта қийматида энергия тўлқин энергиясининг тўртланганига тенг экан, яъни

$$W_{\max} = 4W.$$

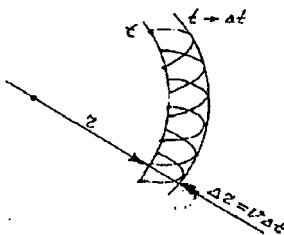
Энг кичик қийматда эса  $X_{nk} = X_{m1} - X_{m2} = 0$  бўлиб,  $W_{\max} = 0$  бўлади ва тебраниш сўнади.

Энди тўлқин дифракцияси ҳодисасини аниқлайлик. 1690 йил голландиялик физик олим Гюйгенс биринчи бўлиб тўлқин тарқалиш жараёнининг умумий принципини баён этди.

Гюйгенс принципи: айна моментда тўлқин етиб келган сиртдаги ҳар бир нуқта иккиламчи элементар тўлқинлар маркази бўлади, уларнинг токи ўровчиси келгуси вақт моментидagi тўлқинли сирт бўлади. Бошқачароқ таърифласак, тўлқин фронти етиб борган фазонинг ҳар бир нуқтасини янги тўлқин манбаи дейиш мумкин.

Агар вақтнинг  $t$  momentiда тўлқин фронти ва унинг тарқалиш тезлиги  $V$  маълум бўлса,  $t + \Delta t$  momentiдаги тўлқин фронтини аниқлаш учун шу тўлқин фронтининг исталган нуқтасини янги тўлқин манбаи деб қараш керак.

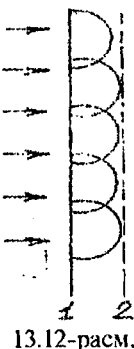
Фараз қилайлик, бир жинсли муҳитда сферик тўлқин тарқалаётган бўлсин (13.11-расм). Тўлқин сиртининг



13.11-расм.

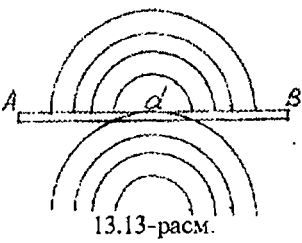


расм текислигидаги кўриниши  $r$  радиусли айлана сиртидан иборатдир. Вақтнинг  $t$  momentiда тўлқин fronti 1 ҳолатда бўлсин. Гюйгенс принципига биноан тўлқин фронтининг ҳар бир нуқтасини иккиламчи манба деб ҳисобласак,  $\Delta t$  вақтдап сўнг иккиламчи тўлқин масофага етиб келади. Янги манба атрофида ихтиёрий радиусли ярим ҳалқалар чизиб, бу ҳалқаларга уринма сирт ўтказиб, тўлқин фронтининг  $t + \Delta t$  вақт momentiдаги янги 2 тўлқин фронтини ҳосил қиламиз. Муҳит бир жинсли бўлганлиги сабабли бу тўлқин фронтининг айлана радиуси  $r + \Delta r$  га тенг бўлади, демак, иккиламчи тўлқин сирт сферадан иборат экап. Агар ясси тўлқин бир жинсли муҳитда тарқалаётган бўлса, тўлқиннинг исалган momentiдаги тўлқин fronti ҳам ясси бўлади (13.12-расм).



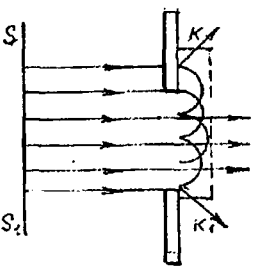
13.12-расм.

Энди Гюйгенс принципининг моҳиятини аниқлашга киришамиз. Бунинг учун сув сиртида тарқалаётган ихтиёрий шаклдаги тўлқинлар йўлига кичик “ $d$ ” тирқишли  $AB$  тўсиқ қўямиз. Тирқиш ўлчами тарқалаётган тўлқин узунлиги  $\lambda > d$ . Тўлқин тўсиққа етиб келиб, ундан қайтади. Тирқиш эса янги тўлқин манбаи бўлиб қолади. Тўсиққача келган тўлқин шакли қандай бўлса ҳам,  $d$  тирқишдан ярим ой шаклида  $k$  тўлқинлар тарқалади. Гюйгенс принципининг асл моҳияти ана шундай.



13.13-расм.

Энди ясси тўлқин йўлига  $d \geq \lambda$  бўлган тирқишни қўямиз (13.13-расм).  $d$  тирқишнинг ҳар бир нуқтасини янги тўлқин манбаи деб, ҳар бир нуқта атрофида ярим сферик элементар тўлқин фронтларини чизамиз. Бу элементар фронтларни ўраб олган  $KK$  фронт янги тўлқин fronti бўлади (13.14-расм). Янги фронт  $d > \lambda$  шартда қисмда ясси бўлиб, четки қисмларда йўналиш тўсиққа перпендикуляр бўлмай йўналишини ўзгарали. Тўлқиннинг ўз йўналишини ўзгартириш ҳодисасига **дифракция** ҳодисаси дейилади. Бошқача айтганда, тўлқинларнинг тарқа-



13.14-расм.

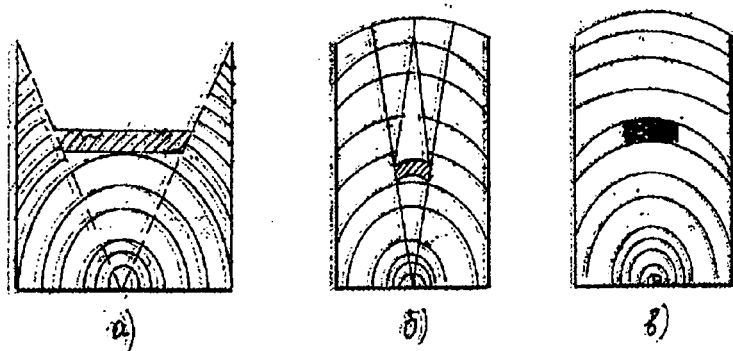
лишида тўғри чизиқлардан оғинч, уларнинг тўсиқларни айланиб ўтиб геометрик соя томонига тарқалишига **дифракция ҳодисаси** дейилалаи.

Дифракция ҳодисасини кузатишда қуйидаги ҳоллар бўлади:

1. Агар  $d > \lambda$  бўлган ҳолда, яъни тўсиқнинг ўлчами тўлиқ узунлигидан жуда катта бўлса, тўсиқнинг тиниқ сояси ҳосил бўлиб, тўлқин тўсиқни айланиб ўтмайди (13.15-расм, а).

2. Агар  $d = \lambda$  бўлса, дифракция ҳодисаси кузатилади ва тўлқин геометрик соя соҳаси томон тарқалади (13.15-расм, б).

3. Агар  $d < \lambda$  бўлса, тўлқин тўсиқни бутунлай ўраб олади, ғўеки тўлқин йўлида ҳеч қандай тўсиқ бўлмагандек тарқалади (13.15-расм, в).



13.15-расм.

Гюйгенс принципига асосан дифракция ҳодисасини тўлиқ тушунтириб бериб бўлмайди. XIX асрнинг бошларига келиб француз олими Френель Гюйгенс принципини тўлдириб, дифракция ҳодисасининг моҳиятини очиб беришга имкон берди. Френель ғоясига биноан, тўлқин сирт исталган вақт моментда иккаламчи тўлқинлар ўровчисидангина иборат бўлмай, балки уларнинг интерференцияланиш натижасидан ташкил топади. Бунда иккинчи тўлқинлар когерент тўлқинлар ҳисобланади. Иккиламчи когерент тўлқинларнинг интерференцияланиши Френель томонидан Гюйгенс принципини тўлдириди, натижада бу принцип Гюйгенс-Френель принципи деб номланди. Бу принцип асосида тўлқин сирти зоналарга бўлиниб, дифракция ҳодисаси текширилади.

## XIV боб

### 67-§. АКУСТИКА ЭЛЕМЕНТЛАРИ. ТОВУШ ТЎЛҚИНИ

Товуш деганда эластик муҳит зарралари тебранишларининг муҳит бўйлаб тўлқин сифатида тарқалиши тушунилади. Киши қулоғи одатда 16 дан 20000 Гц гача частотадаги тўлқинларни сезади. Бундай частотали тўлқинлар **товуш тўлқинлари** деб аталади. 16 Гц дан кичик бўлган частотали тўлқинлар инфратовушлар, 20000 Гц дан катта частотали тўлқинлар эса **ультратовушлар** деб аталади. Частоталари  $10^9$  дан  $10^{13}$  Гц гача бўлган тўлқинлар **гипертовушлар** деб аталади.

Физиканинг товуш ҳодисаларини ҳамда уларнинг бошқа физик ҳодисалар билан алоқасини ўрганадиган соҳаси **акустика** дейилади. Товуш тўлқинларининг физик табиати бир хил бўлса-да, частотасига қараб улар ўзига хос хусусиятга эга. Товушнинг ўзига хос хусусиятини тажрибада кўриб чиқайлик. Бунинг учун камертонни болгача билан ўрамиз (14.1-расм). Камертон товуш чиқара бошлайди. Агар камертон шохи ёнига ишга осилган шарчани олиб келсак, ҳар сафар камертонга шарча тегиши билан шарча ундан санчиди. Камертон тинч турса, унга тегиб турган шарча ҳам ҳаракатсиз бўлади. Тебранивчи жисм атрофидаги ҳавони ҳаракатга келтириб, атрофга тўлқин тарқатади. Бу тўлқинлар одам қулоғига етиб борганда,



14.1-расм.

қулоқнинг ички пардасини тебранириб товушни эшитишга имкон беради. Товуш мавжудлигини қулоққа таъсир этиб сезирадиган механик тўлқинлар **товуш тўлқинлари** деб аталади. Товушни сезишимиз учун механик тебранишлар манбаининг ўзи етарли эмас. Буни қуйи-даги тажрибадан осонгина аниқлаш мумкин. Шиша қалшоқ остига кўнғироқ жой-

лаштириб, сўнгра ҳавоси сўриб олинса, товуш эшитилмайди, демак, товуш тарқалиши учун эластик муҳитнинг бўлиши шарт экан, чунки ҳавосиз фазода бўлган кўнғироқ ўз энергиясини атроф-муҳитга бера олмайди.

Биз товуш мавжудлигини сезишимиз учун қуйидаги шар-  
тларни ҳисобга олишимиз керак:

1. Товуш манбаи мавжуд бўлиши.

2. Товуш манбаи билан қулоқ ўртасида эластик муҳит бўлиши.

3. Товуш манбаининг частотаси 16-20000 Гц оралиғида бўлиши.

4. Эшитилувчи товушни ҳосил қилиш учун тўлқиннинг қуввати етарли бўлиши керак.

Товуш тўлқиндан иборат бўлгани учун унинг тарқалиш тезлиги шу муҳитнинг хусусиятига боғлиқ бўлади.

Масалан, узоқда турган мусиқа асбобини чалаётган одамни ахтарамиз, сўнгра мусиқани эшитамиз. Бунда му-  
сиқа чалиш вақтини, товушнинг эшитилиш вақтини ва оралиқ масофани аниқлаб, товуш тезлигини аниқлаймиз. Шунга ўхшаш тажрибалар асосида товушнинг ҳавода тарқалиш тезлиги  $0^\circ$  ҳароратда 332 м/с,  $15^\circ\text{C}$  ҳароратда эса 340 м/с га тенглиги аниқланади. Товушнинг сувда тарқалиш тезлиги 1450 м/с, пўлатда эса 5000 м/с. Товушнинг тарқалиш тезлиги ҳароратга ва муҳитга, моддага боғлиқ бўлади. Масалан, газларда, водородда товуш тезлиги 1250 м/с, карбонат ангидридда эса 258 м/с, қаттиқ жисмлардан чўянда 3750 м/с бўлса, темирда 5000 м/с.

Демак, ўзгармас ҳароратда товуш тўлқинлари бир жинсли муҳитда ўзгармас тезлик билан, турли муҳитда эса турли тезликларда тарқалар экан.

Товушнинг тезлиги муҳитга боғлиқ бўлганлиги сабабли

$$U = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$
 формула орқали топилади, бу формулада  $E$  — Юнг

модули,  $\rho$  — муҳитнинг зичлиги.

Иккинчи томондан товушнинг тарқалиш тезлиги частота ва тўлқин узунлигига боғлиқ бўлганлигини ҳисобга олсак,

$$U = \lambda \nu = \frac{\lambda}{T}$$
 муносабатдан топилади.

## 68-§. ТОВУШНИ ТАВСИФЛОВЧИ КАТГАЛИКЛАР

Кулогимиз эшитадиган товушлар одамда сифат жиҳатдан ҳар хил сезги уйғотади. Баъзи бир одамлар учун мусиқа товуши паст эшитилса, бошқалар учун баланд эшитилади. Одам томонидан товушнинг фарқ қиладиган сифатлари бу товушнинг баландлиги, оҳангининг юксаклиги ва тембридир.

Товушнинг баландлиги тебраниш амплитудасига боғлиқ бўлганлиги сабабли товуш интенсивлигига ҳам боғлиқ бўлади. Товуш интенсивлиги деганда бирор нуқтадаги товуш кучининг товушнинг тарқалиш йўналишига перпендикуляр жойлашган  $1 \text{ см}^2$   $1 \text{ с}$  да ўтаётган энергия миқдорини тушуниш керак, унинг математик ифодаси қуйидагича:

$$J = \frac{W}{S \times t},$$

бунда,  $J$  — товуш интенсивлиги, унинг халқаро бирликлар

системасидаги бирлиги  $\left[ \frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \text{с}} = \frac{\text{В}_T}{\text{м}^2} \right]$ . Товуш интенсивлиги

тебраниш амплитудасининг квадратига тўғри пропорционал бўлади. Шунинг учун ҳам товуш тўлқинининг амплитудаси катта бўлган товушлар одамга баландроқ туюлади. Демак, товуш тебранишлари амплитудасининг ўзгариши товуш баландлигининг ўзгаришига олиб келади.

Текширишлар натижасига кўра одам қулоқларига таъсир этувчи товуш тўлқинлари етарли қувватга эга бўлгандагина одамлар қулоғи эшитади. Товуш частотаси  $20000 \text{ Гц}$  бўлганда товушни эшитишимиз учун қулоқ пардасининг бирлик юзига тўғри келадиган қувват

$2 \times 10^{-12} \text{ Вт/м}^2$  ( $\text{Ж/м}^2 \text{с}$ ) га тенг бўлиши керак. Бу қулоқнинг эшитиш чегарасидир. Паст частотали товушларда интенсивлик катта қийматга эришади.

Турли ўлчамли камертонларни навбатма-навбат тебрантирилса, товуш оҳанглариининг турлича бўлиши сезилади, бунга сабаб тебраниш частоталарининг ўзгаришидир. Ми-

сол учун, сиртлари турлича майинликда тайёрланган кесувчи жисмларни чархловчи дискларни олиб, уларни бир хилда айланма ҳаракатга келтириб сиртига чархланувчи жисм тегизилса, товуш оҳанги сирт гадур-будур бўлган дискда қаттиқроқ, сирти майин бўлганда кучсизроқ чиқинни сезамиз. Бунда чархланувчи жисмнинг тебраниш частотаси ўзгарипти. Қатъий маълум тебраниш частотасига тегишли товуш **оҳанг** дейилади. Тебраниш частотаси орқали тавсифланувчи товуш сифати оҳангнинг юксаклигини билдиради. Товуш частотаси қанча юқори бўлса, оҳанг ҳам шунча юқори бўлади ва аксинча, демак, иккинчи фарқ оҳангнинг юксаклиги экан. Оҳангнинг юксаклиги фақат тебраниш частотасига боғлиқ бўлади. Оҳангнинг юксаклигини товуш тўлқинининг ҳаводаги узунлиги билан тавсифлаш мумкин.  $0^{\circ}\text{C}$  ҳароратда товуш тўлқинининг тарқалиш тезлиги  $V=v\lambda = 332$  м/с эди, бундан  $v = 440$  Гц деб олсак,  $\lambda = 0,755$  м га тўғри келади.

Оҳангнинг юксаклиги тўлқин узунлигига боғлиқ бўлади. Маълум муҳит учун тўлқин узунлиги тебраниш частотасига тескари пропорционал экан.

Оҳангларни ажратиш мумкин бўлмаган мураккаб товуш **шовқин** дейилади. Шовқинга мисол сифатида электр қўнғирогининг жаранглани, баргларнинг шитирлаши, ҳаракатланётган поезднинг шовқини ва бошқаларни олиш мумкин.

Одамлар табиини уни кўрмасдан туриб билади. Мусиқа бўйича мутахассислар мусиқа асбобларнинг оҳангини эшитиб ажрата олади.

Товушни ҳосил қилувчи манбани аниқлашга имкон берувчи товушнинг сифатига **тембр** дейилади.

Маълумки, ҳар хил манбалар чиқарган товушларнинг тембри ҳар хил бўлади. Бунга сабаб манба томонидан ҳосил қилинган қўшимча турғун тўлқинларнинг юзага келишидир. Товуш манбаининг асосий оҳангига писбатан жуда баланд бўлган қўшимча оҳанглар **юқори гармоник оҳанг** ёки **обертон** деб аталади. Обертонлар ҳар бир товушга тегишли сифатни беради, бу сифат товуш тембридир. Обертон частотаси товуш манбаининг асосий оҳанги частотасига каррали бўлади.

## 69-§. ТОВУШНИНГ ҚАЙТИШИ ВА ЮТИЛИШИ. ТОВУШ РЕЗОНАНСИ

Икки муҳит чегарасига тушаётган товуш тўлқинлари қисман қайтиши ва ютилиши мумкин. Буни тажрибада аниқлаш учун шиша цилиндр идиш олиб, унинг тубига қўл соатини жойлаштирамиз. Соатнинг чиқиллашини эшитмаслик учун ундан маълум масофага нари турамиз. Сўнгра цилиндр идишнинг оғзига  $45^\circ$  бурчак остида шиша пластинка ўрнатамиз. Натижада шиша пластинкадан қайтган товуш тўлқинлари қулоққа эшитила бошлайди, бу соатнинг чиқиллашидир (14.2-расм). Табиатда товушнинг қайтиши кўп кузатилади. Товуш бинолардан, қоялардан, тўсиқлардан ва тоғлардан қайтади.

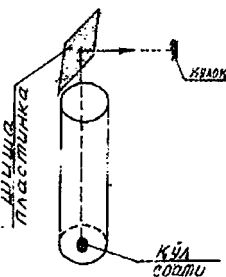
Агар товуш қайтараётган сирт товуш тўлқинининг тарқалишига перпендикуляр равишда ўрнатилса, товуш тўлқини манбаига қайтиб келади. Бирор ердан тарқалган товуш тўлқинининг яна ўша ерга қайтиш ҳодисасига **акс садо** дейилади.

Асосий товуш ва акс садо айрим-айрим эшитилиши учун асосий товушнинг эшитилиши тугаши керак. Бу вақт одамнинг товуш таъсирини сақлаб қолувчи вақт 0,1 с га тенг бўлади. 344 м/с тезлик билан тарқалаётган товуш 0,1 с да 34,4 м масофани босиб ўтади. 34,4 м масофа товушнинг тўсиққа етиб бориб ундан қайтиб босиб ўтган йўлидир. Демак, масофа 17,2 м бўлганда асосий ва акс садо айрим-айрим эшитилади.

Айтайлик, товуш манбаи А нуқтада жойлашган бўлсин. Тўсиқчага бўлган масофа  $|AD| = l$  (14.3-расм). Манбадан чиққан товуш тўлқини ВС тўсиқча келиб, сўнгра қайтиб А нуқтага келиш учун сарфлаган вақти  $t = \frac{2l}{v}$  га тенг, у ҳолда

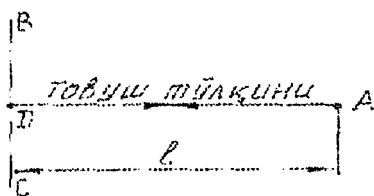
$$l = \frac{v t}{2} = \frac{340 \frac{\text{м}}{\text{с}} \times 0,1 \text{ с}}{2} = 17 \text{ м}.$$

Демак, тўсиқчага бўлган масофа 17 метр бўлиши керак экан. Хоналарнинг деворлари орасидаги масофа 17 м. дан кам



14.2-расм.

бўлганлиги сабабли асосий товуш билан акс-салдо кўшилиб кетади, натижада асосий товушнинг эшитилиш вақти узайиб кетади. Ёпиқ хоналарда товуш манбаидан товуш чиқариш тўхтатилгандан кейин овоз эшитилиши **реверберация** дейилади. Реверберация вақти 1 с бўлганда, кичик хоналарда товуш суст бўлади.

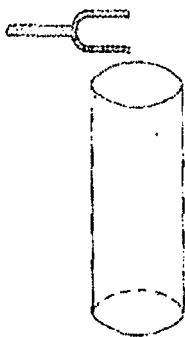


14.3-расм.

Товуш тўлқинлари икки муҳит чегарасидан қисман қайтиш билан қисман ютилади ҳам. Бунга сабаб тўлқин ҳаракат давомида энергиясининг бир қисмини муҳитда тартибсиз ҳаракат қилаётган молекулага беришидир. Мисол учун, гилам-20 %, сувалган девор - 3,4 %, дераза ойнаси - 2,7 % атрофида тушаётган энергияни ютади.

Товуш ҳодисаларида ҳам резонанс ҳодисаси кузатилади. Буни қуйидаги тажриба ёрдамида кузатиш мумкин:

Шиша цилиндр идиш олиб, унга сув қуямиз. Сўнгра камертонни тебратириб товуш чиқариб, сувли идиш устига яқинлаштирамиз, идишдаги сув сатҳини пасайтириб ёки кўтариб, товушнинг кучайиши ва сустайиши ҳолатини аниқлаймиз (14.4-расм). Товушнинг кескин кучайиши ҳолати шиша идиш ичидаги ҳаво устунининг тебраниш даври билан камертоннинг тебраниш даври мос тушганлигини билдиради. Бу ҳолатга **товуш резонанси** дейилади.



14.4-расм.

Камертондан чиқаётган товушни кучайтириш мақсадида резонанс ҳодисасидан фойдаланилади. Шу мақсадда камертон бир томони беркитилган яшикка ўрнатилади ва яшикнинг узунлиги резонанс бўладиган қилиб танлаб олинади.

## 70- §. УЛЬТРАТОВУШЛАР ВА УЛАРНИНГ ҚЎЛЛАНИЛИШИ

Частотаси 20000 Гц дан юқори бўлган товуш тўлқинлари **ультратовушлар** дейилади. Бу товушларни одам қулоғи эши-



та олмайди. Ультратовуш ҳодисалари бошқа товуш хоссаларидан фарқ қилади. Ультратовушнинг хусусиятлари қуйидагилардан иборат:

1. Ультратовуш ҳавода ва газларда кучли ютилади, қаттиқ жисм ва суюқликларда эса кам ютилади ва узоқ масофаларга тарқалади.

2. Ультратовушлар маълум бир йўналишда тарқалади. Маълумки, товуш тўлқинлари интенсивлиги фақат амплитуда боғлиқ бўлмай, тебраниш частотасига ҳам боғлиқ бўлади, яъни

$$J = \frac{1}{2} \omega^2 X_m^2 \rho V = 2\pi^2 v^2 X_m^2 \rho V .$$

Формулада  $\rho$  — муҳит зичлиги,  $V$  — муҳитдаги товуш тезлиги. Ультратовушнинг интенсивлиги оддий товуш интенсивлигига нисбатан юқори бўлади. Ультратовушлар асосий пьезосамара (тўғри ва тескари пьезосамара) ва магнитострикция услубида қабул қилинади ва узатилади.

Ультратовушлар икки йўналишда қўлланилади:

1) физик катталикларни ўлчаш ва ҳисоблашда, бу ҳолда паст интенсивликдан фойдаланилади;

2) физик-кимёвий жараёнларни аниқлашда, бу ҳолда юқори интенсивликдан фойдаланилади.

Денгиз чуқурликларини аниқлаш учун эхолот деб номланган асбобдан фойдаланилади. Бунинг учун кемага ультратовуш манбаи, ультратовушларни қабул қилгач, вақтни аниқ ўлчовчи асбоб ўрнатилади. Текширилган денгиз тубига тик равишда ультратовуш импульси юборилади ва денгиз тубидан қайтган ультратовуш импульси қабул қилиб олинади. Иккала вақт ҳам аниқ ўлчанади. Ультратовушнинг тарқалиш тезлиги ва вақти маълум бўлса, чуқурликни аниқ топиш мумкин. Бундан ташқари, ультратовушни горизонтал йўналишда тарқатиб, кема йўлидаги тўсиқ аниқланади. Ультратовушлар ёрдамида жисмларнинг нуқсонлари аниқланади.

Ҳозирги пайтда ультратовушлардан медицинада кенг фойдаланилади.

## Мундарижа

Муқаддима.....	3
<b>I Боб</b>	
<b>Кириш.....</b>	<b>5</b>
1-§. Механиканинг асосий тушунчалари.....	5
2-§. Механиканинг бош масаласи. Моддий нуқта. Санок системалари.....	7
3-§. Фазо ва вақт.....	10
4-§. Жисмнинг илгариланма ҳаракати кўчиши.....	11
5-§. Векторлар. Векторлар устида амаллар.....	14
<b>II Боб</b>	
6-§. Тўғри чизиқли текис ҳаракатда кўчиш.....	17
7-§. Ҳаракатнинг нисбийлиги. Кўчиш ва тезликларни кўчиш.....	20
8-§. Ҳаракатни график шаклда тасвирлаш.....	24
9-§. Бирликлар системаси.....	25
<b>III Боб</b>	
10-§. Тўғри чизиқли нотекис ҳаракат.....	28
11-§. Текис ўзгарувчан ҳаракат. Тезланиш.....	31
12-§. Текис ўзгарувчан ҳаракат тезлиги ва ҳаракат тенгламалари.....	34
13-§. Жисмларнинг эркин тушиши. Эркин тушиш тезланиши.....	37
14-§. Жисмнинг юқорига тик отилгандаги ҳаракати.....	39
15-§. Масала ечишда нималарга аҳамият бериш керак?.....	41
<b>IV Боб</b>	
16-§. Айлана бўйлаб текис ҳаракат.....	45
17-§. Жисмнинг айлана бўйлаб текис ҳаракатидаги тезланиши.....	49
18-§. Масала ечиш намуналари.....	52
19-§. Жисмнинг мураккаб ҳаракати.....	57
20-§. Масала ечиш намуналари.....	62
<b>V Боб</b>	
21- §. Динамика асослари. Ньютоннинг биринчи қону-	

ни.....	69
22-§. Жисмларнинг инертлиги ва массаси.....	72
23-§. Куч. Ньютоннинг иккинчи қонуни.....	76
24-§. Ньютоннинг учинчи қонуни.....	79
25-§. Эластиклик кучи. Гук қонуни.....	82
26-§. Бутун олам тортишиш қонуни.....	88
27-§. Оғирлик кучи ва жисмнинг вазни. Вазнсизлик.....	92
28-§. Масала ечиш намуналари.....	95
29-§. Планеталар ҳаракати. Ернинг сунъий йўлдошлари. Косметик тезликлар.....	101
30-§. Ишқаланиш кучлари. Ишқаланиш турлари. Амонтон ва Кулон қонуни.....	105
31-§. Масала ечиш намуналари.....	111
32-§. Галилейнинг нисбий принципи.....	116
<b>VI Боб</b>	
33-§. Механикада сақланиш қонунлари.....	119
33-§. Куч ва импульс.....	119
34-§. Иимпульснинг сақланиш қонуни.....	122
35-§. Реактив ҳаракат.....	124
<b>VII Боб</b>	
Энергиянинг сақланиш қонуни.....	128
36-§. Механик иш.....	128
37-§. Консерватив ва моноконсерватив кучлар бажарган иши.....	131
38-§. Кувват.....	137
39-§. Фойдали иш коэффициенти.....	139
40-§. Масала ечиш намуналари.....	141
41-§. Механик энергиянинг айланиш ва сақланиш қонуни.....	148
42-§. Абсолют эластик ва ноэластик тўқнашишлар.....	149
<b>VIII Боб</b>	
Гидростатика ва аэростатика асослари.....	155
43-§. Суюқлик ва газларда босим.....	155
44-§. Архимед қонуни.....	159
45-§. Атмосфера босими. Торричелли тажрибаси.....	161
<b>IX Боб</b>	
46-§. Гидродинамика ва аэродинамика асослари.....	165
47-§. Бернулли тенгламаси.....	168
48-§. Суюқлик ва газларда жисм ҳаракати.....	170
49-§. Масала ечиш намуналари.....	172

## **X Боб**

Статика асослари.....	178
50-§. Кучларни қўшиш ва ташқил этувчиларга ажратиш. Тенг таъсир этувчи куч.....	178
51-§. Параллел кучларни қўшиш.....	183
52-§. Оғирлик маркази.....	185
53-§. Таянч нуқтага ёки таянч чизиққа эга бўлган жисмларнинг мувозанати.....	187
54-§. Қаттиқ жисмларнинг айланиши. Куч моменти. Жуфт кучлар.....	188
55-§. Айланиш ўқиға эга бўлган жисмларнинг мувозанат шарти.....	190
56-§. Жисм мувозанати турлари.....	191

## **XI Боб**

57- §. Оддий механизмлар. Механиканинг олтин қоида-си.....	196
--	-----

## **XII Боб**

Тебранишлар ва тўлқинлар.....	208
58-§. Тебранма ҳаракат.....	208
59-§. Гармоник тебранишлар.....	211
60-§. Математик, пружинали ва физик тебрангичлар.....	213
61-§. Гармоник тебранма ҳаракат энергияси.....	218
62 -§. Мажбурий тебранишлар. Резонанс ҳодисаси.....	221

## **XIII Боб**

63-§. Механик тўлқинлар. Тўлқин турлари.....	229
64-§. Механик тўлқинларнинг тафсифловчи катталиклари.....	232
65-§. Бир жиғсли эластик муҳитда тўлқин тарқалиши.....	235
66-§. Тўлқин интерференцияси ва дифракцияси.....	237

## **XIV Боб**

67-§. Акустика элементлари. Товуш тўлқини.....	243
68-§. Товушнинг тафсифловчи катталиклари.....	245
69-§. Товушнинг қайтиши ва ютилиши. Товуш резонанси.....	247
70- §. Ультратовушлар ва уларнинг қўлланилиши.....	248

# МУЛОҲАЗАЛАР УЧУН

Б. О. Отақулов, Ю. П. Нулатов,  
И. А. Халилов, З. А. Фозисв

# ФИЗИКА

(Механика бўлими)

Тошкент — 2003

Нашр учун масъул:	И. Халилов
Таҳририят мудир:	М. Миркомиллов
Муҳаррир:	С. Нарзисв
Мусахҳиҳ:	М. Саъдуллаева
Компьютерда саҳифаловчи:	Ш. Хазратова

Босишга рухсат этилди 1.11.2003. Бичими 84x108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Офсет қоғози. Шартли босма табоғи 15,0.  
Нашр табоғи 12,5. Адади 1000. Буюртма 84.

«ЎАЖБНТ» Маркази. 700078, Тошкент.  
Мустақиллик майдони, 5

Андоза нусхаси Ўзбекистон Республикаси Олий ва  
ўрта махсус таълим вазирлиги «ЎАЖБНТ» Марказининг  
компьютер бўлимида тайёрланди.

«Хета - Принт» босмахонасида чоп этилди.  
Буюк Ипак йўли 235-А